

Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar

Editör: Dr. Adile Akpınar



ÖZGÜR
YAYINLARI

Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar

Editör

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

Research on Mathematics and Science

Editor: 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): 978-975-447-595-1

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub81>



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., (2023). *Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar*.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub81>. 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.

Dr. Adile AKPINAR

Praface

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.

Dr. Adile AKPINAR

İçindekiler

Ön Söz	iii
Bölüm 1	
<hr/>	
Lineer Diferansiyel Denklemler ve Çözümleri Üzerine	1
<i>Mehmet Akif Çetin</i>	
Bölüm 2	
<hr/>	
A Generalization of Szász Type Operators Involving Generating Function of Negative Order Genocchi Polynomials	15
<i>Erkan Agyuz</i>	
Bölüm 3	
<hr/>	
Blow-up for Some Semilinear Parabolic Problems With Generalized Sources	27
<i>Ebubekir Akkoyunlu</i>	
<i>Rabil Ayazoglu</i>	
Bölüm 4	
<hr/>	
Kimya Eğitimine Teknolojinin Entegrasyonu	41
<i>Senem Çolak Yazıcı</i>	
Bölüm 5	
<hr/>	
Yeşil Kimyasal Çözücüler	61
<i>Nükte Töpraksever</i>	

Bölüm 6

- Briket Üretiminde Uçucu Kül ve Taş yünü Atıklarının Kullanımının Araştırılması** 99
Mustafa Eken

Bölüm 7

- Our Dwarf World: Nanotechnology** 111
Hilal Kara
Hülya Çelik

Bölüm 8

- Synthesis and Optimizatin of Bioactive Silver Nanoparticles Using *Staphylococcus Aureus* Strain** 121
Şelmuz Asaf Başaran
Nurcihan Hacıoğlu Doğru

Bölüm 9

- Geçmişten Günümüze Biyolojik Silahlar ve Biyolojik ajanlar** 131
Saliha Dalgıç
Kağan Véryer
Rahmi Dumlupınar
Özlem Barış

Bölüm 10

- Ciğerotları, Etnobriyoloji ve Türkiye’de Bulunan Bazı Ciğerotlarının Etnobriyolojik Özellikleri** 153
Özcan Şimşek

Bölüm 11

- Biyosensörler** 171
İdil Karaca Açıarı

Bölüm 12

Microorganisms and Diversity of Bacteria	185
<i>Orhan Uluçay</i>	

Bölüm 13

Fen Bilimlerinde Bilimsel Süreç Becerileri ve Yaratıcı Düşünme	205
<i>Nilay Korkmaz</i>	

Lineer Diferansiyel Denklemler ve Çözümleri Üzerine

Mehmet Akif Çetin¹

Özet

Spektral teori modern matematiğin tarihi içerisinde fiziksel ve matematiksel yapılar hakkında en bilgi verici araç olmuştur. Son altmış yıldaki matematiksel yayınlarla bu konu oldukça hızlı bir gelişim göstermiştir. Katı hal fizikinde ve kristallerin kuantum mekaniği ile ilgili metallerin teorisinde ortaya çıkan periyodik katsayılı diferansiyel denklemlerin spektral analizi fizikçilerin ve matematikçilerin ortak ilgi alanlarından biri olmuştur. Buradaki spektral analiz kavramı aslında denklemin bazı şartlarla oluşturduğu özdeğerlerini ve bu özdeğerlerin denkleminde yerleştirilmesiyle elde edilen ve adına özfonksiyon denilen çözüm fonksiyonlarının bulunması işlemidir. İki ucu bağlanmış bir telin titreşimi, yüzey üzerindeki elektrostatik potansiyel, iletken bir çubuk üzerindeki ısı iletimi gibi kuantum fizikinden, dalga teorisine kadar birçok problem lineer diferansiyel denklemlerin değişik formları ile ifade edilmektedir. Bu çalışmada, lineer bir diferansiyel denklemin sonsuz boyutlu bir vektör uzayında diferansiyel bir operatör için özdeğer problemi olarak nasıl ortaya çıktığı ele alınmıştır. Ayrıca kendine eşlik kavramı, sonlu boyutlu uzayda lineer dönüşümlerle benzerlikten yararlanarak tanımlanmış ve kendine eş bir matrisin özdeğerlerinin reel ve özvektörlerinin ortogonal olması özelliklerinin Teorem 3 e nasıl çevrildiği gösterilmiştir.

Giriş

Bu bölümde, matematikte spektral teorisinin temelinde yatan lineer diferansiyel denklemler ve onların çözümleri üzerinde durulmuştur [1]. \mathcal{L}^2 uzayındaki ortogonal fonksiyon kümeleri, uygun sınır koşulları altında bazı ikinci mertebeden lineer diferansiyel denklemlerin çözümleri şeklinde doğal olarak ortaya çıkar. Bahsedilen türden denklemler genellikle, bu problemleri ve çözümlerinin özelliklerini inceleyen İsviçreli matematikçi Jacques Sturm

1 Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-4991-5098, akif.cetin@alanya.edu.tr

(1803-1855) ve Fransız matematikçi Joseph Liouville'den (1809-1882) sonra Sturm-Liouville sınır değer problemleri olarak anılır. Ancak bu bölüm içerisinde Sturm-Liouville problemlerine değinilmeyecektir. Burada ele alınan diferansiyel denklemler doğrudan Newton'un hareket yasalarının matematiksel modellemesi olarak, fakat daha çok Laplace denklemi, ısı denklemi ve dalga denklemi gibi fiziğin klasik kısmi diferansiyel denklemlerini çözmek için değişkenlerine ayırma metodunu kullanmanın bir sonucu olarak ortaya çıkar.

1.1 Lineer İkinci Mertebeden Denklemler

$I \subset \mathbb{R}$ olmak üzere I aralığında verilmiş

$$a_0(x)y'' + a_1(x)y' + a_2(x)y = f(x) \quad (1.1)$$

ikinci mertebeden adi diferansiyel denklemini düşünelim. Burada a_0 , a_1 , a_2 ve f ; I aralığı üzerinde verilmiş kompleks fonksiyonlardır. I aralığında $f = 0$ olduğu zaman denklem homojen olarak adlandırılır. Aksi takdirde denkleme homojen değildir denir. Eğer herhangi bir $\varphi \in C^2(I)$ fonksiyonu (1.1) denkleminin bir çözümü ise denklemin sağları ve her $x \in I$ için

$$a_0(x)\varphi''(x) + a_1(x)\varphi'(x) + a_2(x)\varphi(x) = f(x)$$

yazılır. Eğer

$$a_0(x)\frac{d^2}{dx^2} + a_1(x)\frac{d}{dx} + a_2(x)$$

ikinci mertebeden diferansiyel operatörünü L ile gösterirsek bu takdirde (1.1) denklemin $Ly = f$ formunda yazılabilir. Burada L operatörü lineerdir. Yani herhangi $\varphi, \psi \in C^2(I)$ fonksiyonları ve herhangi $c_1, c_2 \in \mathbb{C}$ sabitleri için

$$L(c_1\varphi + c_2\psi) = c_1L\varphi + c_2L\psi$$

eşitliği yazılabilir. Bu yüzden (1.1) denklemin lineer diferansiyel denklem olarak adlandırılır. Aksini belirtmediğimiz sürece bu bölümdeki tüm diferansiyel denklemler ve operatörler lineer olacaktır. Lineer homojen denklemlerle ilgili bir temel özellik şudur: Çözümlerin herhangi bir lineer kombinasyonu da yine bir çözümdür. Şöyle ki, eğer φ ve ψ sırasıyla

$$L\varphi = 0, \quad L\psi = 0$$

denklemlerini sağlıyorsa bu takdirde herhangi c_1 ve c_2 sabitleri için

$$L(c_1\varphi + c_2\psi) = c_1L\varphi + c_2L\psi = 0$$

olduğu açıktır. Bu eşitlik, süperpozisyon ilkesi olarak bilinir.

Eğer f_0 fonksiyonu I aralığında köke sahip değilse, bu durumda (1.1) denklemi a_0 a bölünerek

$$y'' + qy' + ry = f \quad (1.2)$$

elde edilir. Burada $q = \frac{a_1}{a_0}$, $r = \frac{a_2}{a_0}$ ve $g = \frac{f}{a_0}$ dir. (1.1) ve (1.2) denklemlerinin denk oldukları açıktır, bu yüzden aynı çözüm kümesine sahiptirler. Bu durumda (1.1) denklemine I da regüler denir. Aksi takdirde eğer bir $c \in I$ için $a_0(c) = 0$ oluyorsa denkleme singüler denir ve c noktasına da denklemin tekil noktası adı verilir.

Lineer denklemler için varlık teoremi gereğince eğer q , r ve g fonksiyonları I da sürekli ve x_0, I da bir nokta ise bu takdirde herhangi iki ξ ve η sayısı için (1.2) nin I da

$$\varphi(x_0) = \xi, \quad \varphi'(x_0) = \eta \quad (1.3)$$

şartını sağlayan tek bir φ çözümü vardır. (1.3) deki denklemler başlangıç koşulları olarak adlandırılır. (1.2) ve (1.3) denklem sistemine de başlangıç değer problemi adı verilir.

$I = [a, b]$ alırsak (1.1) denkleminin çözümleri a ve b de sınır koşullarına bağlı olabilir. Bu koşullar aşağıdaki formlardan biri şeklinde olabilir.

$$\begin{aligned} (i) \quad & y(c) = \xi, \quad y'(c) = \eta, \quad c \in \{a, b\} \\ (ii) \quad & y(a) = \xi, \quad y(b) = \eta \\ (iii) \quad & y'(a) = \xi, \quad y'(b) = \eta. \end{aligned}$$

Sınır koşulları (i) de olduğu gibi aynı c noktasında verildiğinde genellikle başlangıç koşulu olarak adlandırılır. Amacımız denkleminin tek çözümünü elde etmek olduğunda genellikle c noktasının I aralığının uç noktalarından biri olması gerekmez, c noktası iç noktalardan herhangi biri de olabilir. Ancak burada, çoğu fiziksel uygulamada olduğu gibi, sınır veya başlangıç koşullarını I aralığının uç noktalarında almayı tercih edeceğiz. (i)–(iii) formundaki sınır koşulları

$$\alpha_1 y(a) + \alpha_2 y'(a) + \alpha_3 y(b) + \alpha_4 y'(b) = \xi \quad (1.4)$$

$$\beta_1 y(b) + \beta_2 y'(b) + \beta_3 y(a) + \beta_4 y'(a) = \eta \quad (1.5)$$

olarak genelleştirilebilir. Burada α_i ve β_i , $\sum_{i=1}^4 |\alpha_i| > 0$ ve $\sum_{i=1}^4 |\beta_i| > 0$ şartlarını sağlayan sabitlerdir. Yani burada α_i ve β_i ler hepsi birden aynı

anda sıfır olmayacak şekilde seçilmişlerdir. (1.1), (1.4) ve (1.5) denklem sistemine sınır değer problemi denir.

(1.4) ve (1.5) sınır koşulları $\xi = \eta = 0$ olduğunda homojen, $\alpha_3 = \alpha_4 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ olduğunda ise ayrık olarak adlandırılır.

$$\alpha_1 y(a) + \alpha_2 y'(a) = \xi, \quad \beta_1 y(b) + \beta_2 y'(b) = \eta \quad (1.6)$$

formundaki ayrık sınır koşulları bizim için ayrı bir öneme sahiptir. (1.4) ve (1.5) deki katsayıların özel bir seçimiyle elde edilen

$$y(a) = y(b), \quad y'(a) = y'(b) \quad (1.7)$$

biçimindeki homojen şart da bizim için önemlidir. (1.7) ifadesine periyodik sınır koşulları adı verilir. Burada periyodik sınır koşullarının ayrık olmadığını belirtelim.

1.2. Çözümlerin Kökleri

$$y'' + q(x)y' + r(x)y = 0, \quad x \in I \quad (1.8)$$

şeklindeki bir diferansiyel denklemi, çözümlerinin özelliklerini inceleyebilmek için açık bir şekilde çözmek gerekli değildir ve zaten bu her zaman mümkün de değildir. Belirli koşullar altında, bu özellikleri tamamen denklemin parametreleri ve sınır koşulları belirler. Özellikle, bir çözümün köklerinin sayısı ve dağılımı, tekil noktaları, asimptotik davranışı ve ortogonallik özellikleri gibi niteleyici özelliklerinin tümü q ve r katsayıları ile verilen sınır koşulları tarafından belirlenir. Bu nedenle, bu katsayıların çözümün davranışı üzerindeki etkisini analiz ederek bu özelliklerden bazılarını çıkarmaya çalışabiliriz. Bu başlık altında, q ve r nin çözümlerin köklerinin dağılımına olan etkisini inceleyeceğiz. Ortogonallik de sonraki başlık altında ele alınacaktır.

Burada aşağıdaki Lemma'yı vermeden önce bir tanımdan bahsedelim: $f: I \rightarrow \mathbb{C}$ fonksiyonu bir $x_0 \in I$ noktası için eğer $f(x_0) = 0$ ve x_0 in bir U komşuluğundaki tüm $x \in I \cap U \setminus \{x_0\}$ için $f(x) \neq 0$ şartlarını sağlıyorsa x_0 a bu fonksiyonun izole kökü denir.

Lemma 1. Eğer y , (1.8) homojen denkleminin aşikar olmayan bir çözümü ise bu takdirde y nin kökleri I da izoledir.

İspat: y , (1.8) in bir çözümü olmak üzere $y(x_0) = 0$ olduğunu kabul edelim. Eğer $y'(x_0) = 0$ ise bu takdirde teklik teoremine göre y özdeş olarak sıfırdır. Eğer $y'(x_0) \neq 0$ ise bu takdirde, y' , I da sürekli olduğundan, x_0 in bir U komşuluğu vardır ki burada $U \cap I$ üzerinde $y' \neq 0$ dir. Sonuç olarak $U \cap I$ üzerinde y , ya kesin olarak artan ya da kesin olarak azalandır.

Teorem 1. (Sturm Ayırma Teoremi) Eğer y_1 ve y_2

$$y_1 y_2' - y_1' y_2 = 0, \quad \in$$

denkleminin lineer bağımsız çözümleri ise bu takdirde y_1 in kökleri y_2 nin köklerinden farklıdır. Ayrıca y_1 ve y_2 nin köklerinin oluşturduğu diziler birbirini takip eder yani y_1, y_2 nin ardışık herhangi iki kökü arasında tam olarak bir köke sahiptir ve aynı şekilde bunun tam tersi de doğrudur.

İspat: y_1 ve y_2 lineer bağımsız olduğundan

$$W(y_1, y_2)(x) = y_1(x)y_2'(x) - y_2(x)y_1'(x)$$

Wronskian determinanı sıfır olmaz ve bu yüzden I da bir işarete sahiptir. Öncelikle y_1 ve y_2 nin ortak bir kökünün olmayacağını belirtelim, aksi takdirde W , o noktada sıfır olurdu. Kabul edelim ki x_1 ve x_2 , y_2 nin ardışık iki kökü olsun. Bu takdirde

$$W(x_1) = y_1(x_1)y_2'(x_1) \neq 0$$

$$W(x_2) = y_1(x_2)y_2'(x_2) \neq 0$$

olur ve $y_1(x_1)$, $y_1(x_2)$, $y_2'(x_1)$ ve $y_2'(x_2)$ sayılarının tamamı sıfırdan farklıdır. y_2' , I da sürekli olduğundan, x_1 bir U_1 komşuluğuna sahiptir ve bu komşulukta y_2' işaret değiştirmez. Benzer olarak x_2 nin bir U_2 komşuluğu vardır ve bu komşulukta da y_2' işaret değiştirmez. Fakat y_2' in $U_1 \cap I$ ve $U_2 \cap I$ daki işaretleri aynı kalmaz, çünkü eğer y_2 bunlardan birinde artarsa bu takdirde diğerinde azalan olmak zorundadır. $W(x)$ in I da sabit bir işarete sahip olması için, $y_1(x_1)$ ve $y_2(x_2)$ nin zıt işaretlere sahip olması gerekir. Bu yüzden y_1 , sürekli olmasından dolayı, x_1 ve x_2 arasında en az bir köke sahiptir. Fakat böyle bir kök birden fazla olamaz. Çünkü eğer x_3 ve x_4 , y_1 in x_1 ve x_2 arasında kalan iki kökü olursa bu takdirde benzer mantıkla y_2 nin x_3 ve x_4 arasında kökünün olduğu sonucuna varırız. Ancak bu durum x_1 ve x_2 nin y_2 nin ardışık kökleri olmasıyla çelişir.

Sonuç 1. Eğer $y'' + q(x)y' + r(x)y = 0$ denkleminin iki çözümünün I da ortak bir kökü varsa bu takdirde bu çözümler lineer bağımlıdır.

(1.8) denkleminin köklerinin dağılımını incelemek için ortadaki terim olan qy' ifadesinden kurtulup denklemini

$$u'' + \rho(x)u = 0 \tag{1.9}$$

şekline dönüştürürsek bizim için çok daha uygun olacaktır. Bunun için

$$y(x) = u(x)v(x)$$

dersek

$$\begin{aligned}y'(x) &= u'(x)v(x) + u(x)v'(x) \\y''(x) &= u''(x)v(x) + 2u'(x)v'(x) + u(x)v''(x)\end{aligned}$$

olur. Bu türevleri denkleminde yerine yazarsak

$$vu'' + (2v' + qv)u' + (v'' + qv' + rv)u = 0$$

şeklini alır. O halde $2v' + qv = 0$ seçerek (1.9) u elde ederiz. Burada

$$v(x) = \exp\left(-\frac{1}{2}\int_a^x q(t)dt\right) \quad (1.10)$$

ve

$$\rho(x) = r(x) - \frac{1}{4}q^2(x) - \frac{1}{2}q'(x)$$

olur. v üstel fonksiyonu R de asla köke sahip değildir. Bu yüzden u nun kökleri y nin köklerine karşılık gelmiş olur. Böylece (1.8) denkleminin köklerinin dağılımını incelemek amacıyla dikkatimizi (1.9) denklemine çevirebiliriz.

Teorem 2. (Sturm Karşılaştırma Teoremi) φ ve ψ sırasıyla

$$\begin{aligned}y'' + r_1(x)y &= 0 \\u'' + r_2(x)u &= 0, \quad x \in I\end{aligned}$$

denklemlerinin aşikar olmayan çözümleri olsun ve ayrıca her $x \in I$ için $r_1(x) \geq r_2(x)$ olduğunu kabul edelim. Bu takdirde $r_1(x) \equiv r_2(x)$ ve φ, ψ in bir sabit katı olmadığı sürece, φ, ψ in ardışık her iki kökünün arasında en az bir köke sahiptir.

İspat: x_1 ve x_2, I da ψ in ardışık iki kökü olsun ve φ nin (x_1, x_2) açık aralığında kökünün olmadığını kabul edelim. φ ve ψ in her ikisinin de (x_1, x_2) üzerinde pozitif olduğunu kabul edelim. Aksi takdirde negatif fonksiyonun işaretini değiştiririz. φ' ve ψ' sürekli olduğundan $\varphi'(x_1) \geq 0$ ve $\psi'(x_2) \leq 0$ dır ve bu yüzden φ ve ψ in Wronskian determinantları

$$W(x_1) = \varphi(x_1)\psi'(x_1) \geq 0, \quad W(x_2) = \varphi(x_2)\psi'(x_2) \leq 0 \quad (1.11)$$

şartını sağlar. Fakat her $x \in (x_1, x_2)$ için

$$\begin{aligned}W'(x) &= \varphi(x)\psi''(x) - \varphi''(x)\psi(x) \\&= [r_1(x) - r_2(x)]\varphi(x)\psi(x) \geq 0\end{aligned}$$

olduğundan W , (x_1, x_2) de artan bir fonksiyondur. Fakat bu, (1.11) denklemlerle çelişir. Bu çelişkinin olmaması için $r_1(x) - r_2(x) \equiv 0$ ve $W(x) \equiv 0$ olmalıdır ki bu durumda da φ ve ψ lineer bağımlı olacaklardır.

Sonuç 2. φ , I da $y'' + r(x)y = 0$ denkleminin aşikar olmayan bir çözümü olsun. Eğer $r(x) \leq 0$ ise bu takdirde φ , I da en fazla bir köke sahiptir.

İspat: Eğer φ , I da x_1 ve x_2 gibi iki köke sahipse bu takdirde Teorem 2 den $u'' = 0$ ın $\psi(x) = 1$ çözümününün (x_1, x_2) de köke sahip olması gerekir ki bu imkansızdır.

Eğer

$$y'' + r(x)y = 0, \quad x \in I \quad (1.12)$$

denkleminin bir aşikar olmayan çözümü sonsuz sayıda köke sahipse bu durumda denkleme salınımlı denir. Teorem 2 ye göre bu denklemin salınımlı çözümlere sahip olup olmadığı r fonksiyonuna bağlıdır. Eğer $r(x) \leq 0$ ise Sonuç 2 den dolayı çözümler salınım yapmaz. Fakat, eğer bazı pozitif k sabitleri için

$$r(x) > k^2 > 0, \quad x \in I$$

ise bu takdirde (1.12) nin I daki herhangi bir çözümü, $y'' + k^2 y = 0$ ın herhangi bir çözümününün, örneğin $a \sin k(x - b)$ gibi, köklerinin arasına dağılan sonsuz sayıda köke sahiptir ki bu kökler

$$x_n = b + \frac{n\pi}{k}$$

olarak verilir. Bu yüzden I nın, uzunluğu $\frac{\pi}{k}$ olan tüm alt aralıkları denkleminin en az bir köküne sahiptir ve k arttıkça köklerin sayısının da artmasını bekleriz. Elbette bu, r nin sabit olduğu durumdur.

Sturm Ayırma Teoremi'nden çıkarabileceğimiz diğer bir sonuç da şudur: Eğer I aralığı sonsuz ve

$$y'' + q(x)y' + r(x)y = 0$$

denkleminin bir çözümü salınımlıysa bu takdirde tüm çözümleri salınımlıdır.

1.3. Kendine Eş Diferansiyel Operatör

Genel formda yazılmış lineer ikinci mertebeden (1.1) diferansiyel denkleminin biraz değiştirilmiş bir gösterimle geri dönüp

$$ü(ü)'' + ()' + () = 0 \quad (1.13)$$

denklemini göz önüne alalım. Şimdi, bu denklemin çözümlerinin ortogonalite özelliklerini araştırmak istiyoruz. Bu, doğal olarak, \mathcal{L}^2 de bulunan (1.13) ün C^2 deki çözümlerini aramız gerektiği anlamına gelir. (1.13) denklemini

$$L = p(x) \frac{d^2}{dx^2} + q(x) \frac{d}{dx} + r(x) \quad (1.14)$$

ikinci mertebeden bir lineer diferansiyel operatör olmak üzere

$$Ly = 0$$

biçiminde yazabiliriz. Burada y , $\mathcal{L}^2(I) \cap C^2(I)$ lineer vektör uzayındadır.

Kendine eş matrislerin bilinen özelliklerini \mathcal{L}^2 uzayına genişletmek için yapacağımız ilk iş, (1.14) operatörüyle tanımlanmış olan

$$L : \mathcal{L}^2(I) \cap C^2(I) \rightarrow \mathcal{L}^2(I)$$

operatörünün eşleniğinin formunu elde etmektir. Burada bu işe başlarken p, q ve r nin I da C^2 den olduklarını kabul ediyoruz. I kapalı ve sınırlı bir aralık olduğunda $C^2(I) \cap \mathcal{L}^2(I) = C^2(I)$ olduğunu belirtelim. L nin eşleniğini L' ile gösterirsek, L' nün bilinen tanımından, her $f, g \in C^2(I) \cap \mathcal{L}^2(I)$ için

$$\langle Lf, g \rangle = \langle f, L'g \rangle \quad (1.15)$$

elde ederiz. $I = (a, b)$ diyelim, burada I aralığı sonlu ya da sonsuz olabilir ve (1.15) in sol yanındaki diferansiyel operatörü f den g ye kaydırabilmek için kısmi integrasyon yöntemini kullanalım. Dolayısıyla

$$\begin{aligned} \langle Lf, g \rangle &= \int_a^b (pf'' + qf' + rf) \bar{g} dx \\ &= p\bar{g}f' \Big|_a^b - \int_a^b f'(p\bar{g})' dx + q\bar{g}f \Big|_a^b - \int_a^b f(q\bar{g})' dx + \int_a^b f\bar{r}g dx \\ &= \left[p\bar{g}f' - f(p\bar{g})' \right]_a^b + \int_a^b f(p\bar{g})'' dx + q\bar{g}f \Big|_a^b - \int_a^b f(q\bar{g})' dx + \int_a^b f\bar{r}g dx \\ &= \left\langle f, (p\bar{g})'' - (q\bar{g})' + \bar{r}g \right\rangle + \left[p(\bar{g}f' - \bar{g}'f) + (q - p')\bar{g}f \right]_a^b \end{aligned}$$

yazılır. Eğer (a, b) aralığı sonsuzsa veya integrallerden herhangi biri a ya da b de sınırsızsa bu takdirde buradaki integraller genelleştirilmiş integraller olarak düşünülür. Eğer $p \in C^2(a, b)$, $q \in C^1(a, b)$ ve $r \in C(a, b)$ ise bu takdirde yukarıdaki denklemin sağ yanının iyi tanımlı olduğunu belirtelim. Ayrıca yukarıdaki denklemin sağ yanındaki son terim a ve b sınırları arasındaki fark olarak yorumlanmalıdır. Bu yüzden her $f, g \in \mathcal{L}^2(I) \cap C^2(I)$ için

$$\langle Lf, g \rangle = \langle f, L^*g \rangle + \left[p(\bar{g}f' - \bar{g}'f) + (q - p')\bar{g}f \right]_a^b \quad (1.16)$$

ifadesini elde ederiz. Burada

$$\begin{aligned} L^*g &= (\bar{p}g)'' - (\bar{q}g)' + \bar{r}g \\ &= \bar{p}g'' + (2\bar{p}' - \bar{q})g' + (\bar{p}'' - \bar{q}' + \bar{r})g \end{aligned}$$

şeklindedir.

$$L^* = \bar{p} \frac{d^2}{dx^2} + (2\bar{p}' - \bar{q}) \frac{d}{dx} + (\bar{p}'' - \bar{q}' + \bar{r})$$

operatörüne L nin biçimsel eşleniği denir. Eğer $L^* = L$ oluyorsa, yani

$$\bar{p} = p, \quad 2\bar{p}' - \bar{q} = q, \quad \bar{p}'' - \bar{q}' + \bar{r} = r$$

oluyorsa, L ye biçimsel kendine eş denir. Bu son üç denklemin sağlanabilmesi için gerek ve yeter koşul p, q ve r fonksiyonlarının reel ve $q = p'$ olması gerekir. Bu durumda

$$\begin{aligned} Lf &= pf'' + p'f' + rf \\ &= (pf')' + rf \end{aligned}$$

olur. Bu yüzden L biçimsel kendine eş olduğunda

$$L = \frac{d}{dx} \left(p \frac{d}{dx} \right) + r$$

formundadır ve denklemini

$$\langle Lf, g \rangle = \langle f, Lg \rangle + p(\bar{g}f' - \bar{g}'f) \Big|_a^b \quad (1.17)$$

biçimine indirgenir. (1.15) ve (1.17) denklemlerini kıyaslırsak, her $f, g \in C^2(I) \cap \mathcal{L}^2(I)$ için

$$p(\bar{g}f' - \bar{g}'f) \Big|_a^b = 0 \quad (1.18)$$

ise biçimsel kendine eş olan L operatörünün kendine eş olduğunu görürüz. Bu noktada $q = p'$ olduğunda L^* ifadesindeki $\bar{p}'' - \bar{q}'$ teriminin ortadan kalktığına, dolayısıyla p'' ve q' nin sürekliliğinin artık gerekli olmadığına dikkat etmek önemlidir.

Şimdi $-L$ operatörü için özdeğer problemiyle yani

$$Lu + \lambda u = 0 \quad (1.19)$$

denkleminin çözümleriyle ilgileneceğiz. $u = 0$ olduğunda bu denklem elbette λ nın tüm değerleri için sağlanacaktır. $u \neq 0$ olduğunda ise λ nın belli değerleri için sağlanabilir. Bu λ değerleri de $-L$ nin özdeğerleridir. $C^2 \cap \mathcal{L}^2$ de bazı λ kompleks sayıları için (1.19) denklemini sağlayan herhangi bir $u \neq 0$ fonksiyonuna $-L$ nin λ özdeğerine karşılık gelen özfonksiyonu denir. Burada $-L$ nin özdeğerleri ve özfonksiyonları derken aynı zamanda (1.19) denkleminin özdeğer ve özfonksiyonlarından bahsetmiş oluyoruz. Bu denklem homojen olduğu için $-L$ nin özfonksiyonları bir çarpımsal sabite kadar belirlenir. (1.19) denkleminin uygun sınır koşulları eklendiğinde elde edilen sisteme Sturm-Liouville özdeğer problemi adı verilir. Açıkça, $-L$ nin (biçimsel) kendine eş olması için gerek ve yeter şart L nin (biçimsel) kendine eş olmasıdır diyebiliriz. Anlaşıldığı üzere L yerine $-L$ nin özdeğerlerini aramamızın nedeni, p pozitif olduğunda L nin negatif özdeğerlere sahip olmasıdır. Aşağıdaki teorem şimdiye kadar elde ettiğimiz sonuçları özetlemektedir. Yukarıda bahsedilenler, (i) ve (ii) özelliklerinin sonlu boyutlu uzaydan sonsuz boyutlu $\mathcal{L}^2 \cap C^2$ uzayına genelleştirilmesidir.

Teorem 3. $L : \mathcal{L}^2(a, b) \cap C^2(a, b) \rightarrow \mathcal{L}^2(a, b)$,

$$Lu = p(x)u'' + q(x)u' + r(x)u, \quad x \in (a, b)$$

biçiminde tanımlanan ikinci mertebeden bir lineer diferansiyel operatör olsun. Burada $p \in C^2(a, b)$, $q \in C^1(a, b)$ ve $r \in (a, b)$ dir. Bu takdirde

(i) Eğer p , q ve r katsayıları reel ve $q \equiv p'$ ise L biçimsel kendine eştir yani $L^* = L$ dir.

(ii) Eğer L biçimsel kendine eş ve denklemini sağlanıyorsa L kendine eştir yani $L' = L$ dir.

(iii) Eğer L kendine eş ise bu takdirde

$$Lu + \lambda u = 0$$

denkleminin özdeğerlerinin tamamı reeldir ve farklı özdeğerlere karşılık gelen özfonksiyon çifti $\mathcal{L}^2(a, b)$ de ortogonaldır.

İspat: (i) ve (ii) ifadelerini daha önceden ispatlamıştık. (iii) ifadesini ispatlayabilmek için $\lambda \in C$ nin $-L$ nin bir özdeğeri olduğunu kabul edelim. Bu takdirde öyle bir $f \in \mathcal{L}^2(a,b) \cap C^2(a,b)$, $f \neq 0$ fonksiyonu vardır ki

$$\begin{aligned} Lf + \lambda f &= 0 \\ \Rightarrow \lambda \|f\|^2 &= \langle \lambda f, f \rangle = -\langle Lf, f \rangle \end{aligned}$$

olur. L kendine eş olduğundan

$$-\langle Lf, f \rangle = -\langle f, Lf \rangle = \langle f, \lambda f \rangle = \bar{\lambda} \|f\|^2$$

yazılır. Bu yüzden $\bar{\lambda} \|f\|^2 = \lambda \|f\|^2$ dir. $\|f\| \neq 0$ olduğundan $\bar{\lambda} = \lambda$ dir.

Eğer μ , $-L$ nin $g \in \mathcal{L}^2(a,b) \cap C^2(a,b)$ özfonksiyonuyla ilişkili başka bir özdeğeri ise bu takdirde

$$\begin{aligned} \lambda \langle f, g \rangle &= -\langle Lf, g \rangle = -\langle f, Lg \rangle = \mu \langle f, g \rangle \\ (\lambda - \mu) \langle f, g \rangle &= 0 \\ \lambda \neq \mu &\Rightarrow \langle f, g \rangle = 0 \end{aligned}$$

olduğu görülür.

Hatırlatma 1. Daha önce belirtildiği gibi, L için verilen ifade de $q = p'$ olduğunda, bu teoremin sonuçları p' ifadesinin sürekli olması şeklindeki daha zayıf gereksinim altında geçerlidir.

Şimdi Teorem 3 ün (iii) kısmını biçimsel kendine eş olmayan diferansiyel operatörlere genelleştireceğiz. Eğer $Lu = pu'' + qu' + ru$ ise, burada $p > 0$ ve $q \neq p'$ dir,

$$Lu + \lambda u = 0$$

özdeğer denklemi, c bir sabit olmak üzere

$$\rho(x) = \frac{c}{p(x)} \exp\left(\int_a^x \frac{q(t)}{p(t)} dt\right) \quad (1.20)$$

biçiminde tanımlanan pozitif ρ fonksiyonuyla çarpılabilir. Böylece

$$\rho Lu + \lambda \rho u = 0 \quad (1.21)$$

denklemini elde ederiz. Şimdi burada ρL biçimsel kendine eştir. $\rho > 0$ olmak üzere (1.18) denklemi

$$\rho p(\bar{g}f' - \bar{g}'f) \Big| = 0$$

denkleminde denktir. Bu, ρL operatörünü kendine eş yapar. Eğer $u \in \mathcal{L}_\rho^2$, L nin λ özdeğerine karşılık gelen bir özfonksiyonu ise

$$\begin{aligned} \lambda \|u\|_\rho^2 &= \langle \lambda \rho u, u \rangle \\ &= \langle -\rho Lu, u \rangle \\ &= \langle u, -\rho Lu \rangle \\ &= \langle u, \lambda \rho u \rangle \\ &= \bar{\lambda} \|u\|_\rho^2 \end{aligned}$$

yazılır ki bu da λ nın bir reel sayı olduğu anlamına gelir. Üstelik $v \in \mathcal{L}_\rho^2$, L nin μ özdeğerine karşılık gelen başka bir öz fonksiyonu ise bu takdirde ρL kendine eş olduğundan

$$\begin{aligned} (\lambda - \mu) \langle u, v \rangle_\rho &= \lambda \langle \rho u, v \rangle - \mu \langle \rho u, v \rangle \\ &= \langle \lambda \rho u, v \rangle - \langle u, \mu \rho v \rangle \\ &= \langle -\rho Lu, v \rangle - \langle u, -\rho Lv \rangle = 0 \end{aligned}$$

yazılır. Bu yüzden eğer $\lambda \neq \mu$ ise \mathcal{L}_ρ^2 uzayında u , v ye ortogonaldir.

Böylece Teorem 3 ün (iii) kısmının aşağıdaki genişletmesini ispatlamış olduk.

Sonuç 3. Eğer $L: \mathcal{L}^2(a, b) \cap C^2(a, b) \rightarrow \mathcal{L}^2(a, b)$, kendine eş bir lineer operatör ve ρ , $[a, b]$ üzerinde pozitif ve sürekli bir fonksiyon ise bu takdirde

$$Lu + \lambda \rho u = 0$$

denkleminin özdeğerlerinin tamamı reeldir ve farklı özdeğerlere karşılık gelen herhangi bir özfonksiyon çifti $\mathcal{L}_\rho^2(a, b)$ de ortogonaldir.

Hatırlatma 2.

1. Sonuç 3 de bahsedilen $Lu + \lambda \rho u = 0$ denkleminin özdeğerleri ve özfonksiyonları aslında $-g^{-1}L$ operatörünün özdeğerleri ve özfonksiyonlarıdır.

2. (a, b) aralığının sonlu olduğunu kabul edelim. ρ ağırlık fonksiyonu $[a, b]$ üzerinde sürekli ve pozitif olduğundan, ρ nun minimum değeri α ve maksimum değeri β olmak üzere

$$0 < \alpha \leq \rho(x) \leq \beta < \infty$$

olur. Bu da

$$\sqrt{\alpha} \|u\| \leq \|u\|_{\rho} \leq \sqrt{\beta} \|u\|$$

anlamına gelir ve bu yüzden $\|u\|_{\rho} < \infty$ olması için gerek ve yeter şart $\|u\| < \infty$ olmasıdır. Bu iki norma denktir denir ve $\mathcal{L}_{\rho}^2(a, b)$ ve $\mathcal{L}^2(a, b)$ uzayları farklı iç çarpımlara sahip olmalarına rağmen açıkça aynı fonksiyonları içerirler.

3. Bu sonucun ispatındaki hiçbir şey L nin ikinci mertebeden diferansiyel operatör olmasını gerektirmez. Aslında sonuç, bir iç çarpım uzayında kendine eş herhangi bir lineer operatör için doğrudur.

KAYNAKLAR

Al-Gwaiz, M. A. (2008). *Sturm-Liouville Theory and its Applications*. Springer – Verlag London Limited.

A Generalization of Szász Type Operators Involving Generating Function of Negative Order Genocchi Polynomials

Erkan Agyuz¹

Abstract

In this chapter, using the generating function for obtaining the Szász type operators, we define an extension that includes Genocchi type polynomials. We investigate convergence properties such as modulus of continuity, Korovkin-Bohman theorem, Lipschitz class by using some of important definitions, equality and inequality.

Introduction

The Genocchi polynomials are one of the important special polynomial families. Genocchi polynomials are named after its creator, Angelo Genocchi (1817-1899). The generating function of Genocchi polynomials is defined to be is defined to be

$$\left(\frac{2t}{e^{t+1}}\right) e^{xt} = \sum_{n=0}^{\infty} G_n(x) \frac{t^n}{n!}, |t| < \pi.$$

If we put $x = 0$, The Genocchi numbers's generating function is described as follows:

$$\left(\frac{2t}{e^{t+1}}\right) = \sum_{n=0}^{\infty} G_n(0) \frac{t^n}{n!}.$$

¹ Gaziantep University, Naci Topçuoğlu Vacation School, Gaziantep/Turkey, ORCID: 0000-0003-1110-7578, eagyz86@gmail.com

The generating functions have a lot of bridges between mathematics and other applied sciences such as Combinatorics, Computer Aided Geometric Design (CAGD) and Machine learning. The generating functions are designed to help us effectively convert problems involving sequences into problems involving functions. Many researchers have studied with Genocchi polynomials and numbers by means of their Generating functions. Dere and Simsek derived properties of the Genocchi polynomials and constructed relations between Genocchi polynomials of higher order and other special polynomials and numbers of higher order such as Euler polynomials and Stirling numbers [1]. Kilar and Simsek studied some relations and formulas including the Genocchi polynomials of negative order and the other special polynomials and numbers [2]. Kim obtained some relations and formulas for q -analogue of Genocchi polynomials and The modified poly-Genocchi polynomials and numbers obtained from the modified degenerate poly-exponential function were studied by Kim *et al.*, who also came up with conclusions and identities regarding those polynomials and numbers as well as some other unique numbers and polynomials [3]. Srivastava *et al.* proposed a new form Euler type polynomials by aid of their generating function and presented n analogue abstraction of the closely-related Genocchi type polynomials [4]. A. F. Horadam defined negative order Genocchi polynomials by means of their generating functions as follows:

$$\left(\frac{1+e^t}{2t}\right)^k e^{tx} = \sum_{n=-k}^{\infty} G_n^{-k}(x) \frac{t^n}{n!}, \quad (1)$$

where $k \in \mathbb{N}$ [5].

Nowadays, the generating functions of special polynomial sequences are one of the important tools to construct positive linear operators. Brenke form polynomials were used by Varma *et al.* to introduce novel Szász form

operators and study the convergence characteristics of these operators [6]. Using Brenke form polynomials, Taşdelen *et al.* created a Kantorovich variant of Szász form operators and found convergence characteristics like a Voronovskaya-type finding [7]. Chlodowsky modified Szász form operators were provided by Mursaleen *et al.* along with Boas-Buck type polynomials and derived convergence features like the continuity modulus [8]. Prakash *et al.* suggested a new type sequence of operators that includes Apostol-Genocchi polynomials Via the use of their generating functions [9]. Menekşe Yılmaz presented a new Szász type operator by using Apostol-Genocchi polynomials of order α and studied approximation properties of these operators [10]. Gezer and Menekşe Yılmaz studied convergence properties of a generalizations of Kantorovich form operators which including Charlier polynomials and gave Voronovskaya type theorem by using an asymptotic formula [11]. See the following references for more information [12-17].

By the motivation above studies and the Eq. (1), we define our operator at the following definition:

Definition 1: Let $G_n^{-1}(x)$ be -1 order Genocchi polynomials. The operator is defined to be

$$\mathcal{G}_n^*(f, x) = \frac{2}{e+1} e^{-nx} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{G_k^{-1}(x)}{k!} f\left(\frac{k}{n}\right). \quad (2)$$

Main Results

In this section, we investigate the convergence properties of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$. To show the uniformly convergence of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$, we give the moment functions of operator at the following lemma:

Lemma 1: To all $x \in [0, \infty)$, Eq. (2) provides at the aforementioned equalities:

$$\mathcal{G}_n^*(1, x) = 1 \quad (3)$$

$$\mathcal{G}_n^*(s, x) = x + \frac{2e+1}{n(e+1)} \quad (4)$$

$$\mathcal{G}_n^*(s^2, x) = x^2 + \frac{5e+3}{n(e+1)}x + \frac{5e+1}{n^2(e+1)} \quad (5)$$

Proof: By using derivatives the generating functions of the -1 order Genocchi polynomials, we have:

$$\sum_{k=0}^{\infty} G_k^{-1}(x) \frac{t^k}{k!} = \left(\frac{1+e^t}{2t} \right)^1 e^{tx},$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} G_k^{-1}(x) k \frac{t^{k-1}}{k!} = \frac{1}{2} e^{tx} (xt + e^t (xt + t + 1) + 1),$$

and

$$\sum_{k=1}^{\infty} G_k^{-1}(x) k(k-1) \frac{t^{k-2}}{k!} = \frac{1}{2} e^{tx} (x(xt + 2) + e^t (x + 1)(xt + t + 2))$$

$t = 1$ and x is replacing by nx throughout the proof. Using the definition of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$, it's simple to see

$$\mathcal{G}_n^*(1, x) = \frac{2}{e+1} e^{-nx} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{G_k^{-1}(nx)}{k!} = \frac{2}{e+1} e^{-nx} \frac{e+1}{2} e^{nx} = 1.$$

Let $f = s$.

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_n^*(s, x) &= \frac{2}{e+1} e^{-nx} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{G_k^{-1}(nx)}{k!} \binom{k}{n} = \frac{2}{e+1} e^{-nx} \frac{1}{2n} e^{nx} (nx + e(nx + 2) + 1) \\ &= \frac{1}{(e+1)n} [nx(e+1) + 2e + 1] \\ &= x + \frac{2e+1}{n(e+1)} \end{aligned}$$

Let $f = s^2$.

$$\begin{aligned}
\mathcal{G}_n^*(s^2, x) &= \frac{2e^{-nx}}{e+1} \left[\frac{1}{2} e^{nx} (nx + e(nx+2) + 1) + \frac{1}{2} e^{nx} (nx(nx+2) + e(nx+1)(nx+3)) \right] \\
&= \frac{2e^{-nx}}{e+1} \frac{e^{nx}}{2n^2} [(nx + e(nx+2) + 1) + (nx(nx+2) + e(nx+1)(nx+3))] \\
&= \frac{1}{(e+1)n^2} [nx(e+1) + (2e+1) + (nx)^2(e+1) + 6nx + 3e] \\
&= x^2 + \frac{5e+3}{n(e+1)}x + \frac{5e+1}{n^2(e+1)}.
\end{aligned}$$

Now, using the moment functions at lemma 1 and Korovkin's theorem in [18], we demonstrate the uniform convergence of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$ as follows:

Theorem 2: We assume that $f \in [0, \infty] = C[0, \infty] \cap E$. Then

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|\mathcal{G}_n^* f - f\| = 0,$$

where $C[0, \infty]$ is continuously functions space, $E = \left\{ f: x \in [0, \infty), \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{f(x)}{1+x^2} \text{ exist} \right\}$ and $f(s) = s^i$ for $i = 0, 1, 2$.

Proof: Take into consideration the well-known Lemma 1 and the Korovkin's first theorem. Then, we obtain

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathcal{G}_n^*(s^i, x) = x^i, \text{ for } i = 0, 1, 2.$$

The operator $\mathcal{G}_n^*(f, x)$ satisfies converge consistently in every compact subset of $[0, \infty]$. The property (vii) of theorem 4.1.4 is used to accomplish the desired result in [18].

By using linearity property of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$, we give the 2nd order central moment at the following equation:

$$\mathcal{G}_n^*((s - x)^2, x) = \mathcal{G}_n^*(s^2, x) - 2x\mathcal{G}_n^*(s, x) + x^2\mathcal{G}_n^*(1, x) \tag{6}$$

Putting Eq. (3) –(5) along the right side of Eq. (6), we have

$$\mathcal{G}_n^*((s - x)^2, x) = x^2 + \frac{x}{n} \frac{5e+3}{e+1} + \frac{5e+1}{n^2(e+1)} - 2x^2 - \frac{x(4e+2)}{n(e+1)} + x^2 \tag{7}$$

After arranging Eq. (7), we get at the following lemma:

Lemma 3: To all $x \in [0, \infty)$, Eq. (2) provides the aforementioned equalities:

$$\mathcal{G}_n^*((s - x)^2, x) = \frac{x}{n} + \frac{5e+1}{n^2(e+1)}. \tag{8}$$

Now, we give estimate the order of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$ by using modulus of continuity.

The modulus of continuity is defined to be

$$\omega(f, \delta) = \sup|f(x) - f(y)|, \tag{9}$$

where $f \in [0, \infty]$ and $\delta > 0$. One of the important properties of modulus of continuity is

$$|f(x) - f(y)| \leq \omega(f, \delta) \left(\frac{|x-y|}{\delta} + 1 \right). \tag{10}$$

Theorem 4: We assume that $f \in [0, \infty] = C[0, \infty] \cap E$. The operator $\mathcal{G}_n^*(f, x)$ provides at the following inequality:

$$|\mathcal{G}_n^*(f, x) - f(x)| \leq 2\omega(f, \sqrt{\delta_n}),$$

where $\delta_n = \sqrt{\mathcal{G}_n^*((s - x)^2, x)}$.

Proof: Using the notion of the continuity modulus and Eq. (10), we have

$$|\mathcal{G}_n^*(f, x) - f(x)| \leq \mathcal{G}_n^*(|f(s) - f(x)|; x) \leq \omega(f, \delta) \left(\frac{\mathcal{G}_n^*(|x-y|, x)}{\delta} + 1 \right) \tag{11}$$

If we apply the Cauchy-Schwartz inequality to right hand side of Eq. (11), we reach

$$|\mathcal{G}_n^*(f, x) - f(x)| \leq \omega(f, \delta) \left(1 + \frac{1}{\delta} \sqrt{\mathcal{G}_n^*((s-x)^2, x)}\right).$$

By picking $\delta := \delta_n = \sqrt{\mathcal{G}_n^*((s-x)^2, x)}$, the proof is completed.

To examine estimation of the convergence rate of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$, we construct the theorem containing the Lipschitz class of order α which is another method. The definition of Lipschitz class of order α is given as

$$Lip_M(\alpha) := \{f \in C_B[0, \infty) : |f(t) - f(x)| \leq M|t - x|^\alpha; t, x \in [0, \infty)\}, \quad (12)$$

where $f \in C_B[0, \infty)$ and $\alpha \in (0, 1], M > 0$.

Theorem 5: For $f \in Lip_M(\alpha)$ and $x \in [0, \infty)$, we give the following inequality for $\mathcal{G}_n^*(f, x)$

$$|\mathcal{G}_n^*(f, x) - f(x)| \leq M \vartheta_n^\alpha(x). \quad (13)$$

Proof: Because the $\mathcal{G}_n^*(f, x)$ is monotonic, we give

$$|\mathcal{G}_n^*(f, x) - f(x)| \leq M \mathcal{G}_n^*(f, x)(|s - x|^\alpha; x). \quad (14)$$

By applying the Hölder inequality to Eq.(14), we obtain at the following inequality:

$$|\mathcal{G}_n^*(f, x) - f(x)| \leq M \left(\mathcal{G}_n^*((s-x)^2, x)\right)^{\frac{\alpha}{2}}. \quad (15)$$

Therefore, the desired result is obtained.

Conclusion

In this chapter, we defined a generalizations of Szász form operators involving (-1) order Genocchi polynomials by means of their generating

functions. However, we investigated uniformly convergence property of $\mathcal{G}_n^*(f, x)$ by using moment functions and Korovkin's theorem. By obtaining second order central moment functions for $\mathcal{G}_n^*(f, x)$, we presented an estimate to rate of convergence using the continuity modulus. And also, we gave some theorems to estimate the convergence rate of our operator such as Lipschitz class order α .

Because special polynomials and their generating functions have many applied areas, future works can be a bridge between approximation theory and special polynomials such as Bernoulli polynomials, Euler polynomials, Genocchi polynomials and Fubini type polynomials. By using q -generalizations of generating functions of special polynomials, the new type generalizations of positive linear operators can be defined and investigated their convergence properties. However, Many different generalizations of linear positive operators can construct by using generating functions method such as Kantorovich Szász form operators. And also, the Voronovskaya and Voronovskaya-Grüss theorems for new operators can be studied.

Acknowledgments

The author appreciates Dr. Mine Menekşe Yılmaz's advice. The author also thanks the editor of the book..

References

- [1] Dere, R., & Simsek, Y. (2011). Genocchi polynomials associated with the Umbral algebra. *Applied Mathematics and Computation*, 218(3), 756-761.
- [2] Kilar, N. (2022). Formulas for special numbers and polynomials derived from functional equations of their generating functions. *Turkish Journal of Mathematics*, 46(6), 2450-2465.
- [3] Kim, T. (2007). A note on the-Genocchi numbers and polynomials. *Journal of Inequalities and Applications*, 2007, 1-8.
- [4] Srivastava, H. M., Garg, M., & Choudhary, S. (2011). Some new families of generalized Euler and Genocchi polynomials. *Taiwanese Journal of Mathematics*, 15(1), 283-305.
- [5] Horadam, A. F. (1992). Negative order Genocchi polynomials. *Fibonacci Q*, 30, 21-34.
- [6] Varma, S., Sucu, S., & İçöz, G. (2012). Generalization of Szász operators involving Brenke type polynomials. *Computers & Mathematics with Applications*, 64(2), 121-127.
- [7] Taşdelen, F., Aktaş, R., & Altın, A. (2012, January). A Kantorovich type of Szász operators including Brenke-type polynomials. In *Abstract and Applied Analysis* (Vol. 2012). Hindawi.
- [8] Mursaleen, M., Al-Abied, A. A. H., & ACU, A. (2018). Approximation by Chlodowsky type of Szász operators based on Boas--Buck-type polynomials. *Turkish Journal of Mathematics*, 42(5), 2243-2259.

- [9] Prakash, C., Verma, D. K., & Deo, N. (2021). Approximation by a new sequence of operators involving Apostol-Genocchi polynomials. *Mathematica Slovaca*, 71(5), 1179-1188.
- [10] Meneks Yilmaz, M. (2022). Approximation by Szász Type Operators Involving Apostol-Genocchi Polynomials. *CMES-COMPUTER MODELING IN ENGINEERING & SCIENCES*, 130(1), 287-297.
- [11] Gezer, K. & Menekşe Yılmaz, M. (). Approximation Properties of a Class of Kantorovich Type Operators Associated with the Charlier Polynomials . *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , DOI: 10.53433/yyufbed.1187512
- [12] İspir, N., Aral, A., & Doğru, O. (2008). On Kantorovich process of a sequence of the generalized linear positive operators. *Numerical Functional Analysis and Optimization*, 29(5-6), 574-589.
- [13] Jung, H. S., Deo, N., & Dhamija, M. (2014). Pointwise approximation by Bernstein type operators in mobile interval. *Applied Mathematics and Computation*, 244, 683-694.
- [14] Kajla, A., & Agrawal, P. N. (2016). Szász-Kantorovich type operators based on Charlier polynomials. *Kyungpook Mathematical Journal*, 56(3), 877-897.
- [15] Kajla, A., & Agrawal, P. N. (2015). Approximation properties of Szász type operators based on Charlier polynomials. *Turkish Journal of Mathematics*, 39(6), 990-1003.
- [16] Varma, S., & Taşdelen, F. (2012). Szász type operators involving Charlier polynomials. *Mathematical and Computer Modelling*, 56(5-6), 118-122.
- [17] Verma, D. K., & Gupta, V. (2016). Approximation by a New Sequence of Operators Involving Charlier Polynomials with a Certain Parameter.

In *Modern Mathematical Methods and High Performance Computing in Science and Technology: M3HPCST, Ghaziabad, India, December 2015* (pp. 25-34). Springer Singapore.

- [18] Paltanea, R. (2004). *Approximation theory using positive linear operators*. Springer Science & Business Media.

Blow-up for Some Semilinear Parabolic Problems With Generalized Sources

Ebubekir Akkoyunlu¹

Rabil Ayazoglu²

Abstract

In this paper, we establish some conditions on parameter β to guarantee the existence of non-global solutions for the semilinear parabolic problems involving generalized sources with local and nonlocal type reaction terms and derive the upper bounds for the blow-up time and a criterion for blow-up. Moreover, we obtain the bounded of solutions under the suitable condition on parameter β .

1 Introduction

There are many articles that are concerned with nonlinear evolutionary processes and examine the behavior of the solution to initial or initial-boundary value problems that model the process. Because of the nonlinearity, some problems that emerge in ohmic heating, chemical reactions, gaseous ignition, and chemotaxis in biological systems exhibit explosive growth of the solution. Studies regard with these problems are generally related to the existence or nonexistence of global solutions and the blow-up of the solution in finite time. In some papers, various conditions and criteria for nonlinearity that imply blow-up occurs were presented and bounds on the blow-up time, structure of the blow-up, and the asymptotic behavior of the solution were determined (see [5, 10, 15] and references therein). According to Bandle and Brunner, the physical meaning of an explosion is generally thought of as a very large increase in temperature that leads to the combustion of a chemical reaction. In [23], there is a large bibliography examining the explosive behavior of solutions to problems in mechanics (see also [22]). In [12], the author considered various properties

1 Faculty of Education, Bayburt University, Bayburt, Turkey, eakkoyunlu@bayburt.edu.tr

2 Faculty of Education, Bayburt University, Bayburt, Turkey, rabilmashiyev@gmail.com

of the solutions of a large class of mixed initial-boundary value problems for the parabolic equation. This paper has been an important resource for researchers studying regard with blow-up in reaction-diffusion equations. After expressing the mathematical theory of the blow-up by Kaplan and giving a general approach, it was actively studied by researchers.

Various methods are used to investigate blow-up phenomena (see [5, 14]). These methods are generally used to obtain the upper bounds of the blow-up time. If blow-up occurs, little paper were studied to obtain lower and upper bounds on blow-up time. It is important to obtain lower and upper bounds for the process being modeled because of its explosive nature. In [18], a first order differential inequality technique was used to obtain a lower bound on the blow-up in finite time of a semilinear parabolic problem under homogeneous Dirichlet condition by authors (see [17] for homogeneous Neumann boundary condition). In [19] and [20], the authors extended these results to more general nonlinear parabolic problems. In these papers, the authors studied the blow-up time of solutions the equations such that $u_t = \text{div}(\rho|\nabla u|^2)\text{gradu} + f(u)$ and obtained lower bounds by using a differential inequality technique for blow-up time under suitable conditions.

In our this paper, we deal with the following parabolic problem involving generalized source $p(\cdot)$:

$$\begin{cases} u_t = \Delta u + f(x, u), & x \in \Omega, \quad t > 0, \\ u(x, 0) = u_0(x), & x \in \Omega, \\ u(x, t) = 0, & x \in \partial\Omega, \quad t > 0, \end{cases} \tag{1}$$

where $\Omega \in \mathbb{R}^N$ is a bounded domain with a smooth boundary $\partial\Omega$ and the source term as following

$$f(x, u) = \beta u^{p(x)} \text{ or } f(u) = \beta \int_{\Omega} u^{q(y)}(y, t) dy,$$

and $\beta > 0$ is a parameter. Let $p, q: \Omega \rightarrow (1, +\infty)$ generalized sources functions satisfy

$$1 < p^- \leq p(x) \leq p^+ < +\infty \text{ a. e. } x \in \Omega, \tag{2}$$

and

$$1 < q^- \leq q(x) \leq q^+ < +\infty \text{ a. e. } x \in \Omega. \tag{3}$$

We denote $L^h(\Omega)$ usual Lebesgue spaces with the norm $\|\cdot\|_{L^h(\Omega)} := \|\cdot\|_h$ ($1 \leq h \leq \infty$).

Problem (1) is an expanded version of the problems in the above-mentioned studies. These type problems describes the density of some biological species or the diffusion of concentration of some Newtonian fluids through porous medium in many biological species theories and physical phenomena (see [6, 9]). Under certain conditions on certain ranges of exponents and the initial data, the existence, uniqueness, blow-up and other qualitative properties of solutions for parabolic equations with constant and variable nonlinearity were studied by many authors (see [1, 2, 3, 4, 7, 8, 11, 13, 16, 19] and references therein).

In [21], the author studied upper bound for the blow-up in finite time with initial data which is sufficiently large for positive solutions of parabolic and hyperbolic problems with local and nonlocal type reaction terms involving a variable exponent for following problem:

$$\begin{cases} u_t = \Delta u + f(u), & (x, t) \in \Omega \times [0, T), \\ u(x, 0) = u_0(x), & x \in \Omega, \\ u(x, t) = 0, & (x, t) \in \partial\Omega \times [0, T), \end{cases} \quad (4)$$

where the source term is of the form

$$f(x, u) = a(x)u^{p(x)} \text{ or } f(u) = a(x) \int_{\Omega} u^{q(y)}(y, t)dy,$$

and functions $p, q: \Omega \rightarrow (1, \infty)$ and the continuous function $a: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$:

$$1 < p^- \leq p(x) \leq p^+ < +\infty, \quad (5)$$

$$1 < q^- \leq q(x) \leq q^+ < +\infty, \quad (6)$$

$$0 < c_a \leq a(x) \leq C_a < +\infty. \quad (7)$$

The author stated the following Theorem and proved the existence of initial data such that the corresponding solutions blow-up at a finite time.

Theorem 1 (Theorem 1.1 in [21]). *Assume that $\Omega \in \mathbb{R}^N$ is a bounded smooth domain and $u > 0$ is a solution of equation (4), with p, q and a satisfying conditions (5)-(7). Then, for a sufficiently large initial datum $u_0(x)$, there exists a finite time $T_f > 0$ such that*

$$\sup_{0 \leq t \leq T_f} \|u(\cdot, t)\|_\infty = +\infty.$$

The paper is organized as follows. In Section 2, we remember some necessary definitions, introduce some notations and give important lemmas which will be used to prove our main theorems. In Section 3, we obtain the upper bounds for the blow-up time and a criterion for blow-up under some sufficient condition on parameter β . Moreover, we obtain the global solution under the suitable condition on parameter β .

2 Preliminaries

Now, we shall introduce some notation, basic definitions and important lemmas which will be needed in the course of this paper.

We define the function

$$\eta(t) = \int_{\Omega} u \varphi_1 dx. \quad (8)$$

Let $\lambda_1 > 0$ be the first eigenvalue and $\varphi_1(x) > 0$ be the corresponding (smallest) eigenfunction of the Laplacian in Ω with zero Dirichlet boundary conditions (membrane problem):

$$\{\Delta \varphi + \lambda \varphi = 0, \quad x \in \Omega, \quad \varphi|_{\partial\Omega} = 0, \quad (9)$$

and

$$\int_{\Omega} \varphi_1 dx = 1.$$

Definition 2. We say that the solution $u(x, t)$ blows up in a finite time if there exists an instant $T_f < +\infty$ such that

$$\|u(\cdot, t)\|_\infty \rightarrow \infty \text{ as } t \rightarrow T_f.$$

We can easily see that the finite time blow-up happens if there exists a $T_f < +\infty$ such that $\eta(T_f) = +\infty$. Indeed:

$$\eta(t) = \int_{\Omega} u \varphi_1 dx \leq \|u(\cdot, t)\|_\infty \int_{\Omega} \varphi_1 dx = \|u(\cdot, t)\|_\infty \rightarrow \infty \text{ as } t \rightarrow T_f.$$

Thanks to this observation, blow-up of the solution $u(x, t)$ can be characterized in terms of the function $\eta(t)$.

We will investigate the upper bound for blow-up time of blow-up solution to problem (1) (see [12]) by using eigenvalue method of Kaplan. This method leads to an ordinary differential inequality of first order which blow-up in finite time.

Lemma 3. *Assume that $\Psi(t)$ is a solution of*

$$\Psi'(t) \geq c\Psi^k(t), \quad \Psi(0) > 0,$$

where $k > 1$, and $c > 0$. Then, $\Psi(t)$ cannot be globally defined, and

$$\Psi(t) \geq \left(\Psi^{1-k}(0) - \frac{k-1}{c} t \right)^{-\frac{1}{k-1}}.$$

By using Lemma 3, an upper bound can be obtained for the blow-up time.

3 Main Results and Proofs

In this paper we deal with the blow-up for positive solutions of parabolic problem involving generalized sources with local and nonlocal type reaction terms. Based on a modified differential inequality technique, we prove the upper bounds for the blow-up time and a criterion for blow-up under some sufficient condition on parameter β . Moreover, we obtain the global solution under the suitable condition on parameter β .

Our main results are the following theorems:

Theorem 4. *Assume that Ω is a bounded smooth domain in \mathbb{R}^N and $u > 0$ is a solution of the problem (1), and function p satisfying condition (2) and*

$$f(x, u) = \beta u^{p(x)}$$

with $\beta > 0$. If

$$\beta > \frac{\lambda_1 \eta(0)}{(\eta^{p^-}(0) - 1)_+},$$

where $\lambda_1 > 0$ is the first eigenvalue of the problem (9), then the problem (1) has no global solutions in finite time $T_f > 0$. We have

$$\int_{\eta(0)}^{+\infty} \frac{d\tau}{\beta\tau^{p^-} - \lambda_1\tau - \beta} \geq T_f,$$

where

$$\eta(0) = \int_{\Omega} u_0\varphi_1 dx.$$

Theorem 5. Assume that Ω is a bounded smooth domain in \mathbb{R}^N and $u > 0$ is a solution of the problem (1), and function q satisfying condition (3) and

$$f(u) = \beta \int_{\Omega} u^{q(y)}(y, t) dy$$

with $\beta > 0$. If

$$\beta > \frac{\lambda_1\eta(0)\|\varphi_1\|_{\infty}}{(\eta^{q^-}(0) - 1)_+},$$

where $\lambda_1 > 0$ is the first eigenvalue, and $\varphi_1 > 0$ in Ω is the first eigenfunction of the problem (9), then the problem (1) has no global solutions in finite time $T_f^0 > 0$. We have

$$\int_{\eta(0)}^{+\infty} \frac{\|\varphi_1\|_{\infty} d\tau}{\beta\tau^{q^-} - \lambda_1\|\varphi_1\|_{\infty}\tau - \beta} \geq T_f^0.$$

We consider the problem (1) but now ask that p satisfying condition $0 < p^- \leq p^+ \leq 1$. In this case, we show that the solution remains bounded for all time when a restriction is imposed on the constant β .

Theorem 6. Assume that Ω is a bounded smooth domain in \mathbb{R}^N and $u > 0$ is a solution of the problem (1). We define the function

$$\eta(t) = \int_{\Omega} u^2 dx, \tag{10}$$

with $\|u_0\|_2^2 = \int_{\Omega} u_0^2 dx$. Let

$$f(x, u) = \beta u^{p(x)}$$

with $\beta > 0$. If $0 < p^- \leq p(x) \leq p^+ \leq 1$ and β satisfies the following condition

$$0 < \beta \leq \frac{\left(2\lambda_1 \|u_0\|_2^2 - \frac{1-p^-}{2} \left(|\Omega|^{\frac{2}{1-p^-}} + |\Omega|^{\frac{2}{1-p^+}}\right)\right)_+}{(p^+ + p^- + 2) \|u_0\|_2^2},$$

where $\lambda_1 > 0$ is the first eigenvalue of the problem (9), then solution u of the problem (1) is bounded.

Proof of Theorem 4. Taking the scalar product in $L^2(\Omega)$ with φ_1 of both parts of the equation (1) and integrating the resulting expression in t , we obtain the equality

$$\int_{\Omega} u \varphi_1 dx - b_0 = -\lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi + \beta \int_0^t \int_{\Omega} u^{p(x)} \varphi_1 dx d\xi, \quad (11)$$

where

$$b_0 = (u_0, \varphi_1) > 0.$$

Next since $\varphi_1(x) > 0$ and $1 < p^- \leq p(x) \leq p^+, \forall x \in \Omega$, we derive that

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} u^{p(x)} \varphi_1 dx &\geq \int_{\Omega \cap \{x:u>1\}} u^{p^-} \varphi_1 dx \\ &= \int_{\Omega} u^{p^-} \varphi_1 dx - \int_{\Omega \cap \{x:u \leq 1\}} u^{p^-} \varphi_1 dx \\ &\geq \int_{\Omega} u^{p^-} \varphi_1 dx - \int_{\Omega} \varphi_1 dx \\ &= \int_{\Omega} u^{p^-} \varphi_1 dx - 1. \end{aligned} \quad (12)$$

By (11) and (12), we get

$$\eta(t) - b_0 \geq \beta \int_0^t \int_{\Omega} (u^{p^-} \varphi_1 - 1) dx d\xi - \lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi. \quad (13)$$

Furthermore, taking into account the fact that $p^- > 1$ by using Hölder’s inequality, in (8), we obtain

$$\begin{aligned} \eta(t) &= \int_{\Omega} u\varphi_1 dx = \int_{\Omega} u\varphi_1^{\frac{1}{p^-}} \varphi_1^{1-\frac{1}{p^-}} dx \leq \left(\int_{\Omega} u^{p^-} \varphi_1 dx \right)^{\frac{1}{p^-}} \left(\int_{\Omega} \varphi_1 dx \right)^{\frac{p^- - 1}{p^-}} \\ &= \left(\int_{\Omega} u^{p^-} \varphi_1 dx \right)^{\frac{1}{p^-}}, \end{aligned} \tag{14}$$

and the fact that $\int_{\Omega} \varphi_1 dx = 1$. By (11), (13) and (14), we can write

$$\eta(t) - b_0 \geq \beta \int_0^t (\eta^{p^-}(\xi) - 1) d\xi - \lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi. \tag{15}$$

From (15), we obtain

$$\eta'(t) \geq \beta(\eta^{p^-}(t) - 1) - \lambda_1 \eta(t), \quad t > 0 \tag{16}$$

with

$$\beta > \frac{\lambda_1 \eta(0)}{(\eta^{p^-}(0) - 1)_+}. \tag{17}$$

From (16), we get

$$\eta'(t) \geq f(\eta(t)), \quad t > 0, \tag{18}$$

where $f(s) = \beta s^{p^-} - s - \beta$, and now the result follows from Lemma 3 with (17). Namely, the function η^{p^-} is monotone increasing for all $t \geq 0$ because of $\eta'(t) > 0$, then the solution of the problem (1) blows up in finite time. Therefore the solution of the boundary value problem is unbounded. Moreover, dividing the both parts of (18) by $f(s)$ and integrating, we get

$$I(\eta) = \int_{\eta(0)}^{\eta(t)} \frac{ds}{f(s)} \geq t. \tag{19}$$

Because of the $I(s)$ is convergent at $s = +\infty$ with $p^- > 1$, the inequality (19) is possible only if there exists T_f such that $\lim_{t \rightarrow T_f} \eta(t) \rightarrow \infty$. Therefore u cannot exist globally. Thus the Theorem 4 is proved.

Proof of Theorem 5. Let consider the function f as

$$f(u) = \beta \int_{\Omega} u^{q(y)}(y, t) dy$$

with $\beta > 0$. In much the same way, we obtain

$$\eta(t) - b_0 = -\lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi + \beta \int_0^t \int_{\Omega} \left(\int_{\Omega} u^{q(y)}(y, \xi) dy \right) \varphi_1(x) dx d\xi, \quad (20)$$

where

$$b_0 = (u_0, \varphi_1) > 0.$$

Similarly relation (12), we have

$$\int_{\Omega} u^{q(x)} \varphi_1 dx \geq \int_{\Omega} u^{q^-} \varphi_1 dx - 1, \forall y \in \Omega. \quad (21)$$

By (20) and (21), we derive

$$\begin{aligned} \eta(t) - b_0 &\geq -\lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi + \beta \int_0^t \int_{\Omega} (u^{q^-}(y, \xi) - 1) dy \int_{\Omega} \varphi_1(x) dx d\xi \\ &\geq -\lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi + \frac{\beta}{\|\varphi_1\|_{\infty}} \int_0^t \int_{\Omega} (u^{q^-}(y, \xi) - 1) \varphi_1(y) dy d\xi \\ &\geq -\lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi + \frac{\beta}{\|\varphi_1\|_{\infty}} \int_0^t (\eta^{q^-}(\xi) - 1) d\xi, \end{aligned} \quad (22)$$

since

$$\eta^{q^-}(t) \leq \int_{\Omega} u^{q^-} \varphi_1 dy. \quad (23)$$

Then from (22) and (23), we have

$$\eta(t) - b_0 \geq -\lambda_1 \int_0^t \eta(\xi) d\xi + \frac{\beta}{\|\varphi_1\|_{\infty}} \int_0^t (\eta^{q^-}(\xi) - 1) d\xi.$$

Similarly (18), we have

$$\eta'(t) \geq \frac{\beta}{\|\varphi_1\|_{\infty}} \eta^{q^-}(t) - \lambda_1 \eta(t) - \frac{\beta}{\|\varphi_1\|_{\infty}} \equiv g(\eta(t)), \quad t > 0. \quad (24)$$

Since $q^- > 1$ and

$$\beta > \frac{\lambda_1 \eta(0) \|\varphi_1\|_\infty}{(\eta^{q^-}(0) - 1)_+}, \tag{25}$$

and by Lemma 3 with (25), the solution of the problem (1) blows up in finite time. Moreover, dividing the both parts of (24) by $g(s)$ and integrating, we see that

$$J(\eta) = \int_{\eta(0)}^{\eta(t)} \frac{ds}{g(s)} \geq t. \tag{26}$$

Because of the $J(s)$ is convergent at $s = +\infty$ with $q^- > 1$, the inequality (26) is possible only if there exists T_f^0 such that $\overline{\lim}_{t \rightarrow T_f^0} \eta(t) \rightarrow \infty$. Therefore u cannot exist globally. The proof of Theorem 5 is completed.

Proof of Theorem 6. By using (10) and first equation of problem (1), we compute

$$\begin{aligned} \mu'(t) &= 2 \int_{\Omega} uu_t dx \\ &= 2 \int_{\Omega} u(\Delta u + \beta u^{p(x)}) dx = -2 \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx + 2\beta \int_{\Omega} u^{p(x)+1} dx \\ &\leq -2 \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx + 2\beta \left(\int_{\Omega} u^{p^-+1} dx + \int_{\Omega} u^{p^++1} dx \right) \\ &\leq -2 \|\nabla u\|_2^2 + 2\beta \left(\int_{\Omega} u^{p^-+1} dx + \int_{\Omega} u^{p^++1} dx \right), \end{aligned} \tag{27}$$

since

$$u^{p(x)+1} \leq u^{p^++1} + u^{p^-+1}, \forall x \in \Omega.$$

By using Young's inequality for the last integrals with $0 < p^-, p^+ < 1$, we obtain

$$\int_{\Omega} u^{p^-+1} dx \leq \frac{p^- + 1}{2} \int_{\Omega} u^2 dx + \frac{1 - p^-}{2} |\Omega|^{\frac{2}{1-p^-}}, \tag{28}$$

and

$$\int_{\Omega} u^{p^++1} dx \leq \frac{p^+ + 1}{2} \int_{\Omega} u^2 dx + \frac{1 - p^+}{2} |\Omega|^{\frac{2}{1-p^+}}. \tag{29}$$

Let u be unbounded at some time T . From the Rayleigh principle

$$\lambda_1 \int_{\Omega} v^2 dx \leq \int_{\Omega} |\nabla v|^2 dx,$$

where $\lambda_1 > 0$ is the first eigenvalue of the problem (9). From (27), (28) and (29), we have

$$\begin{aligned} \eta'(t) \leq & [(p^+ + p^- + 2)\beta - 2\lambda_1] \int_{\Omega} u^2 dx + \frac{1 - p^-}{2} |\Omega|^{\frac{2}{1-p^-}} \\ & + \frac{1 - p^+}{2} |\Omega|^{\frac{2}{1-p^+}}. \end{aligned}$$

If we restrict $\beta > 0$ such that

$$\begin{aligned} \beta \leq & \frac{2\lambda_1 \|u_0\|_2^2 - \frac{1 - p^-}{2} \left(|\Omega|^{\frac{2}{1-p^-}} + |\Omega|^{\frac{2}{1-p^+}} \right)}{(p^+ + p^- + 2) \|u_0\|_2^2} \\ \leq & \frac{\left(2\lambda_1 \|u_0\|_2^2 - \frac{1 - p^-}{2} \left(|\Omega|^{\frac{2}{1-p^-}} + |\Omega|^{\frac{2}{1-p^+}} \right) \right)^+}{(p^+ + p^- + 2) \|u_0\|_2^2}, \tag{30} \end{aligned}$$

we easily get $\mu'(t) \leq 0$.

Moreover it must be noticed that the blow-up time is T (supposes to exist), but $\mu'(t) \leq 0$ holds for every time t , which implies that u is bounded. This is a contradiction. We can obtain that there is no time T such that u is unbounded. Therefore u is bounded for every time t . Thus, Theorem 6 is proved.

Remark 7. When $p(x) \equiv p = 1, \forall x \in \Omega$, i. e. $p^+ = p^- = p = 1$ in the condition (30), we have

$$\beta \leq \frac{\lambda_1}{2}.$$

Therefore, we can obtain that there is no time T such that the solution u of the problem (1) is unbounded for any u_0 .

References

- [1] S. Antontsev, S. Shmarev, Blow-up of solutions to parabolic equations with nonstandard growth conditions, *J. Comput. Appl. Math.*, Vol. 234, No. 9, pp. 2633-2645 (2010).
- [2] S. Antontsev, S. Shmarev, On the blow-up of solutions to anisotropic parabolic equations with variable nonlinearity, *Proc. Steklov Inst. Math.*, Vol. 270, No. 1, pp. 27-42 (2010).
- [3] R. Ayazoglu (Mashiyev), E. Akkoyunlu, Extinction properties of solutions for a parabolic equation with a parametric variable exponent nonlinearity, *Trans. Natl. Acad. Sci. Azerb. Ser. Phys.-Tech. Math. Sci. Mathematics*, Vol. 42, No. 1, pp.1-16 (2022).
- [4] K. Baghaei, M.B. Ghaemi, M. Hesaaraki, Lower bounds for the blow-up time in a semilinear parabolic problem involving a variable source, *Appl. Math. Lett.*, Vol. 27, pp. 49-52 (2014).
- [5] C. Bandle and H. Brunner, Blow-up in diffusion equations: a survey, *J. Comput. Appl. Math.*, Vol. 97, pp. 3-22 (1998).
- [6] J. Bebernes, A. Bressan, Thermal behavior for a concerned reactive gas, *J. Differ. Equ.*, Vol. 44, No. 1, pp. 118-133 (1982).
- [7] M. M. Bokalo, O. M. Buhrii, R. A. Mashiyev, Unique solvability of initial boundary-value problems for anisotropic elliptic-parabolic equations with variable exponents of nonlinearity, *J. Nonl. Evol. Equ. Appl.*, Vol. 2013, No. 6, pp. 67-87 (2014).
- [8] O. M. Buhrii, R. A. Mashiyev, Uniqueness of solutions of the parabolic variational inequality with variable exponent of nonlinearity, *Nonlinear Anal.*, Vol. 70, No. 6, pp. 2325-2331 (2009).
- [9] J. Furter, M. Grinfield, Local vs. nonlocal interactions in populations dynamics, *J. Math. Biol.*, Vol. 27, No. 1, pp. 65-80 (1989).
- [10] V. A. Galaktionov and J. L. Vázquez, The problem of blow-up in nonlinear parabolic equations, *Discrete Cont. Dyn. Sys.*, Vol. 8, pp. 399-433 (2002).
- [11] M. A. Herrero, J. J. L. Velazquez, Blow-up behaviour of one-dimensional semilinear parabolic equations, *Ann. Inst. H. Poincare Anal. Non Lineaire*, Vol. 10, No. 2, pp. 131-189 (1993).

- [12] S. Kaplan, On the growth of the solutions of quasilinear parabolic equations, *Comm. Pure Appl. Math.*, Vol. 16, No. 3, 305-330 (1963).
- [13] O. Kholyavka, O. M. Buhrii, M. Bokalo, R. Ayazoglu (Mashiyev), Initial boundary-value problem for third order equations of Kirchhoff type with variable exponents of nonlinearity, *Advances in Math. Sciences and Appl.*, Vol. 23, No. 2, pp. 509-528 (2013).
- [14] H. A. Levine, Nonexistence of global weak solution to some properly and improperly posed problems of mathematical physics: the method of unbounded Fourier coefficients, *Math. Ann.*, Vol. 214, pp. 205-220 (1975).
- [15] H. A. Levine, The role of critical exponents in blow-up theorems, *SIAM Reviw*, Vol. 32, pp. 262-288 (1990).
- [16] R. A. Mashiyev, O. M. Buhrii, Existence of solutions of the parabolic variational inequality with variable exponent of nonlinearity, *J. Math. Anal. Appl.*, Vol. 377, No. 2, pp. 450-463 (2011).
- [17] L. E. Payne and P. W. Schaefer, Lower bounds for blow-up time in parabolic problems under Neumann conditions, *Appl. Anal.*, Vol. 85, pp. 1301-1311 (2006).
- [18] L. E. Payne and P. W. Schaefer, Lower bounds for blow-up time in parabolic problems under Dirichlet conditions, *J. Math. Anal. Appl.*, Vol. 328, pp. 1196-1205 (2007).
- [19] L. E. Payne, G. A. Philippin, P. W. Schaefer, Blow-up phenomena for some nonlinear parabolic problems, *Nonlinear Anal.*, Vol. 69, No. 10, pp. 3495-3502 (2008).
- [20] L. E. Payne, G. A. Philippin, and P. W. Schaefer, Bounds for blow-up time in nonlinear parabolic problems, *J. Math. Anal. Appl.*, Vol. 338, pp. 438-447 (2008).
- [21] J. P. Pinasco, Blow-up for parabolic and hyperbolic problems with variable exponents, *Nonlinear Anal.*, Vol. 71, No. 3-4, pp. 1094-1099 (2009).
- [22] A. A. Samarskii, V. A. Galaktionov, S. P. Kurdyumov, and A. P. Mikhailov, *Blow-up in Quasilinear Parabolic Equations*, Walter de Gruyter, Berlin/New York (1995).
- [23] B. Straughan, *Explosive Instabilities in Mechanics*, Springer, Berlin (1998)

Kimya Eğitime Teknolojinin Entegrasyonu

Senem Çolak Yazıcı¹

Özet

Kimya bilimi soyut ve somut kavramları bir arada bulunduran, yaparak yaşayarak öğrenme ilkesine dayanarak öğrencilerin laboratuvar ortamında deney yaparak kalıcı öğrenmenin sağlandığı bir bilim dalıdır. Günümüzde birçok okulda laboratuvar olmaması, öğretmenlerin müfredatı yetiştirme endişesi ile deneylere yer verememesi veya kimyasalların pahalı olması gibi birçok nedenden dolayı öğrenciler deney yapamamakta, uygulamalı anlatım gereken bazı konular öğretmen merkezli düz anlatım yöntemi ile işlenmektedir. Teknolojinin eğitim dünyasında yerini alması ile birlikte eğitim amaçlı hazırlanan web 2.0 araçları, animasyonlar, etkileşimli sanal laboratuvarlar ve yapay zekâ uygulamaları soyut kimya kavramlarının somutlaştırılması konusunda kullandığımız ders materyallerinde biri haline gelmiştir. Farklı kullanım amacına yönelik hazırlanan web 2.0 araçları ile bir kimya konusunun teorisi görsel materyallerle zenginleştirilerek öğrenci ile paylaşılabilirliği gibi aynı web 2.0 aracı ile konu içeriğine uygun bir oyun hazırlanarak kalıcı öğrenmenin sağlanması amaçlanabilir, yapay zeka kullanan araçlar vasıtası ile laboratuvar ortamına taşınamayan deneyler sanal ortamda etkileşimli olarak öğrenciye sunulabilir ve bu sayede dikkat çekme, keşfetme, açıklama, derinleştirme ve değerlendirme olmak üzere bir konunun anlatılmasında yer verdiğimiz tüm aşamalarda teknolojiye yararlanabiliriz. Bu doğrultuda web 2.0 araçlarını tanımak, ihtiyaca göre konu anlatımına entegre edebilecek yöntemleri bilmek ancak eğitime teknolojinin entegrasyonu ile mümkün olmaktadır. Bu bölümde web 2.0 araçlarının kimya eğitiminde kullanılmasının yanı sıra eğitime teknoloji entegrasyon yöntemlerinden kimya konularının öğretiminde kullanılabilecek oyun tabanlı öğrenme ve harmanlanmış öğrenme türlerinden ters yüz sınıf modeli anlatılmıştır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi, scolakyazici@gmail.com-0000-0002-2326-8996

GİRİŞ

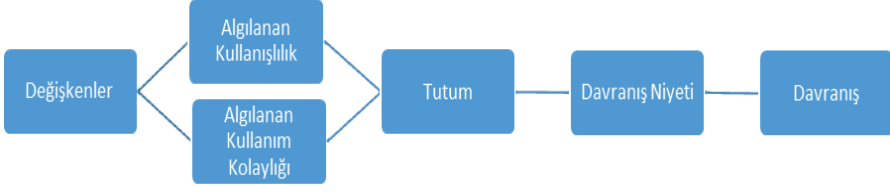
Öğretmenler olarak müfredat kapsamında dersin gerektirdiği konuyu dersimizi almakta olan tüm şubelerde aynı yöntem ve tekniklerle anlatmayı tercih etmeyiz. Öğrencilerin hazır bulunuşluğu ve profili, konunun zorluk derecesi ve mevcut imkânlarla göre ders anlatma şeklimizi değiştirmemiz gerekmektedir. Nasıl ki bir okuldaki farklı şubelerde dahi farklı yöntem ve tekniklerle ders anlatıyorsak, değişen ve gelişen dünyada öğretim yöntem ve tekniklerinin aynı olmasını beklemek mümkün değildir. Bu doğrultuda dijital yerliler olarak da adlandırılan yeni nesil öğrenenlerin öğrenme ihtiyaçlarına yönelik araçları geliştirmek ve eğitim hayatına entegre etmek günümüz eğitimcilerinin en önemli çalışma konularından biri haline gelmiştir.

21. yüzyıl becerileri kapsamında eğitim hayatının çıktıları arasında öğrenciye kazandırılması gereken beceriler arasında yer alan Bilgi ve İletişim Teknolojileri (ICT) Okuryazarlığının önemi özellikle Covid-19 salgını döneminde ön plana çıkmıştır. 31 Aralık 2019'da Çin, Wuhan'da yeni tip koronavirüs (COVID-19) enfekte pnömoni keşfi Dünya Sağlık Örgütüne bildirilen COVID-19 birkaç hafta içinde 160'tan fazla ülkeyi etkileyen bir salgın haline dönüşmüştür (Karadağ ve ark. 2021). Johns Hopkins Üniversitesi tarafından geliştirilen Covid 19 panosuna göre, etkisi neredeyse 2 yıl süren salgın farklı açılardan ülkeleri etkilemiş yaklaşık 672 milyon kişi enfekte olmuş, 6.9 milyon kişi hayatını kaybetmiştir. Tüm bu süreçte salgınla mücadele etmek için bazı önlemler alınmış bu önlemler kapsamında UNESCO verilerine göre Pandemi başlangıcında 100'den fazla ülkede eğitim öğretime ara verilmiş 1.5 milyondan fazla öğrencinin eğitim hayatı durma noktasına gelmiştir (UNESCO, 2020).

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiş ve bu durum birçok insanın ölümüne ve evsiz kalmasına neden olmuştur. Geride kalan insanların hayatı farklı alanlarda çıkmaza girmiş, MEB tarafından yapılan açıklamada ülke genelinde eğitim öğretime 2 hafta ara verilmiştir (meb.gov.tr). Üniversiteler ise bu süreçte zorunlu uzaktan eğitime geçmek durumunda kalmıştır. Yukarıda bahsedilen iki farklı durum farklı nedenlerle eğitim öğretimin mevcut koşullarda yüz yüze yapılma imkânının olmadığı durumlardır. Bir ülkenin gelişmesi, kalkınması ve her alanda yaralarını sarabilmesi için eğitim öğretimin kesintisiz devam etmesine ve her alanda yetişmiş insan gücüne ihtiyacı vardır. Yaşanılan süreçler ve günümüz öğrenenin ihtiyacı teknolojinin eğitime entegrasyon sürecini hızlandırmış ve öğretmenler derslerinde teknoloji kullanmış ve kullanmaktadır. Zorunlu uzaktan eğitime geçişle beraber teknoloji derslerde aktif olarak kullanılmaya başlamış, daha önce

derslerinde teknolojiyi kullanmayan, teknolojinin kullanımına karşı önyargılı olan veya teknoloji kullanımını bilmeyen öğretmenler dahi konuları en etkin şekilde anlatabilmek amacıyla teknoloji kullanımı konusunda kendilerini değiştirmek ve geliştirmek durumunda kalmıştır (Vishnu vd. 2022). Zaman içinde online eğitimin öğrenciye istediği an konuyu tekrar etme imkanı sunması, elektronik eğitim materyallerinin zamandan mekandan bağımsız olarak kullanılabilmesi, özellikle kimya gibi laboratuvar uygulamalarını içeren bilimlerde, laboratuvar ortamına taşınması veya görselleştirilmesi mümkün olmayan deneylerin öğrenciye ulaştırılabilmesi ve ekonomik olması gibi avantajları olduğu görülmüştür. Günümüzde, öğretmen merkezli geleneksel eğitim yerini öğrenciyi merkeze alan ve aktif öğrenmeyi destekleyen öğrenci merkezli eğitime bırakmış ve böylece teknolojinin eğitim hayatında yeri ve önemi bir kez daha anlaşılmıştır. Dijital dönüşümle beraber kara tahtalar yerini akıllı tahtalara bırakmış ders kitaplarının birincil ulaşılan kaynak yönünü etkileşimli tahtalardaki bilgisayar uygulamalarına bırakmıştır. Geçmişten günümüze yaşanan bu önemli farklılıklar öğretmenin eğitimdeki merkezîyetçiliği yerine öğrenci ile birlikte bilgiyi yapılandırdıkları eğitim anlayışına doğru ilerlemeyi sağlamıştır (Elmas ve Geban, 2012; Keser, 2005). Teknoloji çağına doğan Z kuşağı öğrencilerine cep telefonu, tablet ve bilgisayar gibi dijital araçları etkileşime alan farklı öğretim yöntemleri ile öğrenme ortamlarının oluşturulması ve teknolojik hazırbulunmuşluk seviyelerine uygun şekilde dersin hazırlanması, aktiviteler ve projeler yapılması öğrencilerin motivasyonlarına ve başarılarına katkıda bulunabilecektir (Conole ve Alevizou, 2010; Elmas ve Geban, 2012). Bu doğrultuda Milli Eğitim müfredatında yer alan öğretim programları çağın gereklilikleri ve öğrenenin ihtiyacı noktasında güncellenerek dinamik hale getirilmektedir. Güncel ortaöğretim kimya dersi öğretim programında birçok yetkinlikten bahsedilmekle beraber bunlardan biri /teknolojide temel yetkinlikler diğeri ise dijital yetkinliktir. Her iki yetkinlik “bilgiye erişim ve bilginin değerlendirilmesi, saklanması, üretimi, sunulması ve alışverişi için bilgisayarların kullanılması ayrıca internet aracılığıyla ortak ağlara katılım sağlanması ve iletişim kurulması gibi temel beceriler ile desteklenmektedir”. Bu bağlamda öğretim programlarının gelişmelerle ve bilimsel, sosyal, teknolojik vb. ihtiyaçlarla koşutluğu da öğretim programında açıkça belirtilmektedir. Yine kimya dersi öğretim programında “Öğretim Programının Temel Felsefesi ve Genel Amaçları” arasında “bilimsel ve teknolojik gelişmeleri sürekli takip ederek kendisini yenileyebilen, teorik bilgisini ve öğrendiklerini günlük hayatına aktarabilen bireylere ihtiyaç duyulduğu” da belirtilmektedir (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2018).

Değişen öğrenme ihtiyacı ve teknolojiye rağmen günümüzde geleneksel öğretim yöntemlerine bağlı kalan, teknolojiden uzak ve önyargılı öğretmenlerin varlığı mevcut eğitim sistemimizin bir gerçeğidir (Elmas, Demirdögen, ve Geban 2011). Eğitim hayatına hızla giren teknolojik araç gereçlerin öğretmenlerin hazırbulunuşluklarının, bilgilerinin yetersizliği ve her öğrencinin aynı imkana sahip olmaması (Teknolojide fırsat eşitliğinin sağlanamaması) (Horzum, 2010; Kıyıcı, 2010; Sezgin 2021) bu araç gereçlerin yerinde kullanılamaması gerçeğini doğurmakla beraber teknolojinin eğitim sistemine olan katkısının öğretmenler tarafından sorgulanmasına neden olmaktadır (Kayaduman vd., 2011). Zorunlu uzaktan eğitim dönemi ile birlikte derslerinde teknoloji kullanan öğretmenler teknolojinin faydalarını görmüş ve bu alanda belirli bir yeterlilik kazanmıştır. Çolak ve Gündoğdu (2023) tarafından yapılan “Kimya Öğretmenlerinin Derslerinde Teknoloji Kullanımı Ve Ters-Yüz Sınıf Modeli Kullanım Durumlarının İncelenmesi” isimli çalışmada öğretmenlerin Uzaktan eğitim döneminin ardından derslerde teknoloji kullanılması gerektiğini düşündükleri ve kullandıkları fakat konuya uygun ders materyali geliştiren veya seçen öğretmen sayısının çok az olduğu sonucu elde edilmiştir. Yine aynı çalışmada kimya öğretmenlerinin teknoloji entegrasyon modelleri hakkında bilgi sahibi olmadıkları ve derslerinde kullanmadıkları görülmektedir. Zorunlu uzaktan eğitim döneminin ardından öğretmenlerin derslerinde teknoloji kullanmaya devam etme durumunu Teknoloji Kabul Modeline (TAM) göre açıklamak mümkündür. TAM modeli alanyazında teknolojiyi bir ders materyali olarak kullanmanın öğrenme çıktıları üzerindeki olumlu etkisini gösteren birçok çalışma bulunmasına rağmen neden bazı eğitimciler derslerinde teknolojiye yer verirken bazılarının vermedikleri üzerine geliştirilen teorilerden biridir. Literatüre ilk kez Davis (1989) tarafından kazandırılan bir çalışma olup, bu modele göre insanların bir uygulamayı kullanma eğilimleri, o uygulamanın işlerini daha iyi yapmalarına yardımcı olacağına olan inançlarıyla doğru orantılıdır. Bu noktada algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığı olmak üzere iki önemli unsur ortaya çıkmaktadır (Davis, 1989, Venkatesh ve Davis, 2000). Ekstra çaba (algılanan kullanım kolaylığı) olmadan iş verimliliğini (algılanan kullanışlılık) artıran uygulamalar, kullanıcılar için çekici hale gelmekte ve söz konusu uygulamayı kullanma konusundaki tutumlarını etkilemektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Teknoloji Kabul Modeli (Yousafzai, Foxall, & Pallister 2007).

Teknolojide görülen bu değişimlerin ülkemizde eğitimde yaygınlaştırılması, yüksek maliyet gerektiren eğitim çözümlerini gelişmiş ülkelerden aynen almak yerine ülkemizin ekonomik ve sosyal yapısına uygun olacak biçimde yenilenmesi ve alt yapı ve eğitim desteğinin verilmesi, öğretmenlerin teknoloji kabullerini arttıracak eğitimler ile mümkün olacaktır (Savaş vd., 2011).

Web 2.0 Araçlarının Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları

Web 2.0 araçları literatürde farklı araştırmacılar tarafından farklı tanımlara sahip uygulamalar olmakla birlikte, hepsinin görüş birliğinde bulunduğu bazı noktalar vardır. Web 2.0 teknolojileri sosyal medya platformlarında karşımıza çıkmakta ve kullanıcıya içerik oluşturma, paylaşma, etkileşim kurma ve işbirliği yapma imkânı sağlamaktadır. Böylece kişi sadece bilgiyi tüketen konumda olmaz, aynı zamanda bilgiyi yeniden organize edebilir, mevcut materyale kendi dokunuşlarını ekleyebilir, yaratıcılığını kullanabilir ve en önemlisi tüm bunları görsel, video veya ses uygulamalarını kullanarak teknoloji ile yapar (Bennett, Bishop, Dalgarno, Waycott, ve Kennedy, 2012). Hâlihazırda web 2.0 platformlarını kullanma konusunda motive olan günümüz öğreneni için web 2.0 araçları aracılığı ile eğitim materyalleri sunulmasının eğitime katkı sağlayacağı da bir gerçektir. Alanyazında yer alan çalışmalarda web 2.0 araçlarının eğitimde kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarına bulgular yer almaktadır (Tablo 1). Eğitimciler olarak web 2.0 araçlarının avantajlarından yararlanarak eğitim öğretimin kalite ve etkililiğini arttırabiliriz.

Tablo 1. Web 2.0 araçlarının eğitimde kullanılmasının avantajları ve dezavantajları (Grosseck, 2009)

Avantajları	Dezavantajları
İstenilen uygulamayı seçme konusunda esneklik sağlaması	İnternet bağlantısı gerektiriyor olması ve uygulama performansının bağlantı hızına bağlı olması
İhtiyaç duyulan yerde ve zamanda bilgiye kolay ve hızlı erişim imkânı sağlaması	Yetişmiş eğitimci ihtiyacı gerektirmesi
Z kuşağının teknoloji kullanım konusunda gerekli bilgiye sahip olması	Geleneksel ders anlatış yöntemini benimsemiş öğretmenlerin derslerde teknoloji kullanımına ilişkin önyargıları
Hâlihazırda eğitime entegre kullanılabilecek birçok web 2.0 aracının kullanımında olması	Uygulama fazlalığının çok fazla olmasının doğru uygulamayı bulmayı zorlaştırması
Öğrenenin ilerleme seviyesini takip etme imkânı sunması	Farklı tarayıcılarda tüm web 2.0 araçlarının aynı performansı vermiyor olması
Bloglar, youtube, wiki'ler gibi birçok ücretsiz eğitim materyaline ulaşma imkânı sunması	Sunulan içeriklerin hepsi güvenilir olmaması ve eğitim amaçlı kullanılabilecek platforma ulaşılma ihtiyacı
Bilginin depolanması sonucu eski bilgiler ile yeni bilginin entegrasyonuna imkân sağlaması	Çoğu yazılımin sınırlı içeriğe ulaşımı ücretsiz sunuyor olması, ileri seviye kullanımda ücret talep edilmesi
İçerik oluşturma imkânı sunarak yaratıcılığı desteklemesi	Farklı kullanıcılar tarafından oluşturulan materyallerin profesyonelliğinin düşük olması
Sadece teknolojiye değil aynı zamanda öğretme ortamına odaklanma imkânı vermesi	Kişisel bilgilerin korunması açısından birçok sitesinin güvenli olmaması
Mevcut işleyişte büyük değişiklikler yapmadan konuya uygun araç bulabilme imkânı	Bazı web 2.0 araçlarının javascript gibi uygulamalara ihtiyaç duyması

Web 2.0 araçlarının eğitimde kullanılmasının pedagojik açıdan ele alabilmek oldukça önemlidir. Teknolojiyi eğitime entegre ederken öğreneni geleceğin iş dünyasına hazırlayabilecek teorik bilginin yanında entelektüel esnekliği kazandırmalı aynı zamanda web 2.0 araçları aracılığı ile inisiyatif/sorumluluk alabilme, merak, hayal gücü, keşfetme yeteneği, yaratıcılık, işbirliği ve iletişim kurma becerilerini de desteklemeliyiz (Grosseck, 2009). Öğretim yöntemimizi değiştirirken öğrencilerin işbirliği yapmasına, içerik

oluşturmada aktif görev almasına imkan oluşturabilir ve bu sayede aktif öğrenmenin gerçekleşmesini sağlayabilecek web 2.0 araçlarının kullanımı konusunda gerekli bilgiye sahip olma avantajını da göz ardı etmemiş oluruz. Burada dikkat edilmesi gereken unsurlardan bir tanesi web 2.0 araçlarının rastgele değil doğru ve planlı şekilde müfredatta yerini almasıdır. Derslerde teknoloji kullanımı (video, animasyon ve görsellerle) ile derse teknoloji entegrasyonu (önceden planlanan ve hazırlanan uygulamalar) birbirinden farklı süreçlerdir. Derste teknoloji kullanımında önceden hazırlanmış plan dahilinde olmayan uygulamalar gelişigüzel konunun bir bölümünde öğrenciye sunulur (öğretmen merkezli). Bu durumda düşük düzey düşünme görevlerinin tamamlanması için teknolojinin kullanımı formalite icabıdır. Derse teknoloji entegrasyonunda ise kullanılacak materyal, dersin hangi aşamasında, hangi kazanımı destekleyeceği öğretmen tarafından önceden belirlenmiştir. Böylece teknoloji kullanımı sınıf ortamının bir parçası olarak öğrenciler tarafından (öğrenci merkezli) planlı ve amaçlı şekilde üst düzey düşünme becerilerinin teşvik edilmesinde kullanılmaktadır (Dinçer, 2020). Eğitimde teknolojinin öğrenim çıktılarına etki yapabilmesi ancak eğitime teknolojinin entegrasyonu ile mümkündür ve bu doğrultuda öğretmenlere, derse teknoloji entegrasyonuna ilişkin verilecek uygulamalı eğitimlerin artması önem kazanmaktadır.

Web 2.0 araçlarının sınıflandırılması

Web 2.0 araçlarını bilgiye ulaşmak, bilgiyi depolamak, sınıflandırmak, analiz etmek, yeni bilgi yaratmak, var olan bilgiyi paylaşmak amacıyla kullanmak mümkündür. Farklı amaçlara uygun web 2.0 araçları oluşturulmuş ve son olarak kullanıcıya sunulmuştur. Web 2.0 aracının öncelikli kullanım amacının bilinmesi dersin hangi aşamasında kullanabileceğimiz konusunda da bizi yönlendirmektedir. Bilgilendirme toplantısı veya online ders işlemek istediğimizde seçeceğimiz araç Zoom veya Google meeting iken konu anlatımında Khan Akademiden yararlanabilir, ölçme değerlendirme sürecini ise Kahoot aracılığı ile tamamlayabiliriz (Tablo 2.). Bu noktada konunun yapısına, sınıfın seviyesine ve dersin aşamasına uygun aracı tanımak ve seçmek önemlidir.

Tablo 2. Eğitimde web 2.0 araçlarının sınıflandırılması

İçerik Yönetim Sistemleri: Belli bir amaç için oluşturulmuş içeriklerin düzenlenmesini sağlar	Edmodo
Çevrimiçi toplantı: Öğrencilerle bir araya gelmeyi sağlar	Zoom, Google Meeting, Voki (www.voki.com)
Depolama ve Dosya Paylaşımı: Çevrimiçi olarak kişiler ve gruplar arasında dosya paylaşım ortamı sağlayan araçlardır.	Dropbox (www.dropbox.com)
İnteraktif Sunumlar: Öğrencilerin etkileşimde bulunabilecekleri sunumlar hazırlanmasına imkân tanır	Wordwall, prezi
İnteraktif laboratuvar uygulamaları	YÖK Sanal Lab uygulaması, Chemlab, Chemcollective
Çevrimiçi Anket: Bir konuda çevrimiçi görüş alınmasına imkân sağlar.	Googleforms, Survey Monkey (www.surveymonkey.com)
Kavram Haritası & Çizim Araçları: Kavram yanılıgıları için kullanım imkânı sağlar.	MindMeister (www.mindmeister.com), storyboardthat
Animasyon & Video: Konunun somutlaştırılmasına katkı sağlar.	Animoto (www.animoto.com), GoAnimate (www.goanimate.com)
Ölçme değerlendirilmeye yönelik araçlar	Quizizz (www.quizizz.com), Socrative , Kahoot

KİMYA EĞİTİMİNE TEKNOLOJİNİN ENTEGRASYONU

Kimya bilimi günlük hayatımızın her aşamasında farkında olmadan kullandığımız bir bilimdir. Giydiğimiz kıyafetin bileşenleri, yediğimiz yemeğin pişme süresi, arabamızın çalışması ve kullandığımız birçok temizlik malzemesi tüm bunların hayatımızdaki varlığı kimya bilimindeki gelişmelerle birlikte olmakta ve bu alandaki gelişmelerle her geçen gün hayatımıza yeni ürünler girmektedir. Bu doğrultuda kimya bilimini bilmek ve anlamak oldukça önemlidir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin var olan bilgiyi depolama, işleme ve kullanıma açma imkânı sunması bilgiyi evrensel hale getirmiştir. Böylece öğrenenin ve öğretenin her türlü bilgiye anında ulaşması ve üstüne yeni bilgi eklemesi mümkün olmakta bu sayede bilimdeki ilerlemeler hızlanmaktadır (Sari, Hasibuan, Oktaviani, Yakob, ve Nazar, 2023).

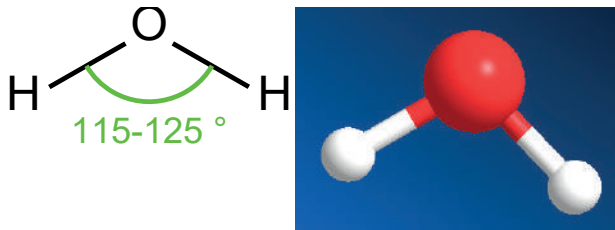
Kimya soyut ve somut kavramları içeren bir bilim dalı olup, soyut kavramların öğrenilmesi konusunda eğitimciler zorluk yaşamaktadır.

Kalabalık sınıflar, öğrenci öğrenme özellikleri, bilgi birikimleri ve öğrenme ihtiyacı yeni öğretim yöntemlerinin hayatımıza girmesine neden olmuştur (Ibáñez-González, ve Mazzuca-Sobczuk, 2018). Özellikle yaparak yaşayarak öğrenme ilkesine dayanan laboratuvar uygulamalarının fiziki koşullarının yetersizliği, kimyasalların yüksek maliyeti ve alanda yetişmiş eğitimci olmaması nedenleri ile yapılamaması sebebiyle kimya konularındaki bazı kavramlar öğrencilere anlatılamamaktadır. Bilim ve teknolojideki hızlı gelişmeler sonucu Milli Eğitim Bakanlığı tarafından yayınlanan ortaöğretim kimya dersi (9, 10, 11 ve 12. sınıflar) öğretim programında da güncelleştirmeler yapılmış, “bilgi ve iletişim teknolojilerinin” kimya öğretiminde kullanımına olan vurgu artırılmış ve konu anlatımlarının üst düzey bilişsel becerileri de yansıtacak şekilde günlük hayatla ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Yine güncel programda öğrencilerin kimya konularından elde ettikleri kazanımları bilişim teknolojilerini kullanarak düzenleyebilmeleri, raporlaştırmaları ve paylaşımlarının amaçlandığı belirtilmektedir. Hâlihazırda web 2.0 araçlarını sosyal medya platformu olarak aktif kullanan günümüz öğrenenin söz konusu tüm süreçleri bildikleri düşünüldüğünde bu bilgilerin kimya eğitimine entegrasyonu biz öğreticilerin üzerinde durması gereken konulardan biridir (Enawaty, 2023). Bir önceki bölümde üzerinde durulan web 2.0 araçlarının teknoloji çağındaki öğrenciler için akıllı telefonları aracılığı ile zamandan ve mekândan bağımsız olarak kullanılabilmesi eğitimciler için büyük bir avantajdır. Sanal laboratuvar ve akıllı zekâ uygulamaları gibi İleri teknoloji web 2.0 araçları öğrencilerin merakını teşvik edecek etkileşimli uygulamalarla özellikle radyoaktivite gibi laboratuvar ortamına taşınması mümkün olmayan durumların gerçekliğe en yakın halinin sanal versiyonunu eğitim dünyasının kullanımına sunmaktadır (Satpute & Bansode, 2016). Alan yazında bu konu üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Fatemah ve arkadaşlarının (2020) yaptıkları çalışmada, etkileşimli 3B görsellerle kimyasal yapıları görselleştirmenin öğrencilerin uzamsal öğrenme süreçlerine pozitif katkısı olduğu sonucuna ulaştıkları görülmektedir. Ayrıca kimya konularının anlatımında etkileşimli içeriklerin kullanılmasının öğrencilerin soyut kavramları öğrenmelerine katkıda bulunduğu (Virata ve Castro, 2019), motivasyonlarını arttırdığı (Acosta vd, 2019), problem tabanlı öğrenmeyi desteklediği (Enawaty, 2023), yaratıcı düşüncelerine katkı sağladığı (Meliboyeva ve Mamajonov, 2023) ve başarılarını arttırdığına yönelik çalışmalar yer almaktadır (Pamularsih ve Haryanto 2020) (Tablo 3).

Tablo 3. İleri Teknoloji Web 2.0 araçlarının kimya konularının öğretiminde kullanılmasının avantajları/dezavantajları (Achuthan vd. 2017; Achuthan vd. 2018; Çolak Yazıcı, 2022).

Avantajları	Dezavantajları
Her yerden her zaman erişilebilir olması	Teknolojik altyapı gerektirmesi
Öğrenenin kendi hızında öğrenmesine imkân sağlaması	Bazı uygulamaların öğrenciyi takip etme imkânı sunmaması
Laboratuvar veya kimyasal madde gerektirmemesi (Düşük maliyet)	Tecrübeli eğitimcinin bulunma güçlüğü
Kimyasal gerektirmemesinin çevreye olan zararın önüne geçmesi	Öğrencinin yaparak yaşayarak öğrenme imkânı olmaması
Yüksek görsel uzamsal zekâ gerektiren kimyasal reaksiyonlar, moleküler simetri, moleküllerdeki süstitüent gruplarının konumu gibi konuların anlatımına imkân sağlaması	El becerisinin gelişmemesi
Etik vb konulardan dolayı yapılamayan özellikle sağlık alanındaki bazı deneylerin gerçekleştirilmesine imkân sağlaması	Her konuya uygun uygulama bulma güçlüğü, Gerçeklikten uzaklaşma

Kimyada moleküler yapılar, kimyasal bağlar ve kimyasal reaksiyonlar öğrenciler için oldukça zorlayıcı konular olup laboratuvar ortamına taşınması da oldukça güç konulardır (Cai vd., 2014; Maier ve Klinker, 2013 Saidin, Halim ve Yahaya, 2019). Bu tür konuların görselleştirilmesi ve özellikle üç boyutlu görseller halinde öğrenciye sunulması, öğrenenin günlük hayatta gerçekleşen kavramları öğrenmesi açısından oldukça önemlidir. Aşağıda aynı uygulamanın farklı versiyonları aracılığı ile su molekülünün görselleştirilmiş hali yer almaktadır (Şekil 2.).



Şekil 2. ChemDrive Ultra ve Chem3D Uygulamaları aracılığı ile çizilen su molekülü

Farklı uygulamaların farklı özellikleri ile kimya bilimine ilişkin birçok kavramın öğrencinin anlayabileceği ölçüde sunulmasını sağlayan araçlara

ulaşmak günümüzde oldukça kolay olup söz konusu uygulamaların derse entegrasyonunun yanında konuya uygun materyalin seçilmesi de önemlidir (Enawaty, 2023). Eğitime teknoloji entegrasyonunu içeren birçok yöntem son dönemlerde ön plana çıkmaktadır. Oyun tabanlı öğrenme, Harmanlanmış Öğrenme, İşbirlikli Öğrenme, Proje Tabanlı Öğrenme, Sosyal Medya ile Öğrenme, Otantik Öğrenme ve Mobil cihazlarla öğrenme yöntemleri Covid-19 dönemi ile birlikte sıklıkla kullanılan teknoloji entegrasyon yöntemlerindedir. Kitabımızın bu bölümünde oyun tabanlı öğrenme modeli ve harmanlanmış öğrenme modellerinden ters-yüz sınıf modelinin kimya eğitiminde kullanılmasına ilişkin bilgiler paylaşılacaktır.

Kimya Eğitiminde Oyun Tabanlı Öğrenme Yönteminin Kullanılması

Eğitimde teknoloji kullanmanın ilkelerinden biri öğrenmenin verimini ve etkililiğini arttırmaktır (Lutf, Aftinia, ve Permani, 2023). Oyun tabanlı öğrenme bu ilkeden yola çıkarak öğrenenin ihtiyacına göre ortaya çıkan yöntemlerden biridir. Video oyunu ve oyun içeriğinin bilgiyi geliştirmek ve beceri kazanmak için tasarlandığı aynı zamanda oyuncuya problem çözme kabiliyetine göre ödül veren uygulamalar aracılığı ile öğrenmenin sağlandığı öğretim yöntemine Oyun tabanlı öğrenme denir. Oyun tabanlı öğrenmede hazırlanacak öğrenme içeriği ile eğlence arasında denge olması gerektiği gibi öğrencinin yeteneği/ön bilgisi ile oyundaki görev zorluğunun da birbirine yakın olması gerekir. Öğrenenin yapabileceğinden zor görevler içeren oyunlar, öğrencide kaygı uyandırabileceği gibi kolay görevler ise sıkılmasına neden olabilecektir. Oyun tabanlı öğrenmede hedeflenen kazanımın elde edilebilmesi için eğlenme, rekabet ve motivasyonun aynı anda seçilen uygulamada yer alması gerekmektedir, bilgi ise bu unsurlarla dengeli olarak sunulmalıdır. Oyun tabanlı öğrenme ortamında oyuncunun ilerleyen zorluk derecesine göre ulaşmaya çalıştığı bir amacının olmasının yanında, amaca ulaşmanın belirli kurallar çerçevesinde gerçekleşmesi oyuncuya anında ve yapılandırıcı dönüt sağlanabilecek etkileşimli öğrenci kontrolünde uygulamalar olması gerekmektedir. Pedagojik olarak öğrenmeye uygun oyunlar seçilmesine dikkat edilmeli aynı zamanda kişinin ilgisini çekmeyen, gerilim hissetmediği veya arada sürprizlerle pekiştirilmediği oyunları da tercih etmedikleri bilinmektedir (Licsatyadharma, Fernandez, Jeffina ve Udjaja, 2023; Naumoska, Dimeski, ve Stojanovska, 2023; Şendağ, 2021). Lenhart ve arkadaşları tarafından 2008 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada 12-17 yaş aralığındaki gençlerin %97'sinin bilgisayar, web aracı, taşınabilir uygulamalar ve konsol oyunları aracılığı ile oyun oynadıkları görülmüştür. Bazı web ortamında oynanan oyunlar aracılığı ile bireyin sosyalleşmesinin

mümkün olduğu bilinmekte, oyunların bireyi aktif öğrenen olarak sürece dâhil ettiği böylece oyuncunun oyunun kurallarını ve oyunu kazanmak için gereken farklı yetkinlikleri süreç içinde öğrendikleri ve bu bilgilerini gerçek dünyada kullanabildikleri de bilinmektedir (Liesatyadharna, Fernandez, Jeffina ve Udjaja, 2023). Sosyal medya platformu veya oyun oynama amacı ile web 2.0 platformunu kullanan birey bu tür uygulamaların rekabet ve işbirliğini bir arada sunması nedeni ile öğreneni pasif konumdan aktif öğrenen konumuna taşımakta ve bu sayede birey birçok kazanım elde etmektedir. Öğrencinin karmaşık problem çözme becerisi, yaratıcı düşünme becerisi, bilgi teknolojilerini kullanma becerisi, çok yönlü düşünme becerisi ve eleştirel düşünme yeteneği artmakta, aynı zamanda oyunların eğitim amaçlı kullanılması, video oyunları çağında yetişen yeni nesil öğrencilerini de motive etmektedir (Hwang, Chiu, ve Chen, 2015). Aşağıda periyodik tablo konusuna uygun olarak hazırlanmış eşleştirme, bulmaca, gameshow test ve köstebek oyunu olmak üzere 4 farklı oyun yer almaktadır (Şekil 3). Uygulama aracılığı ile öğretmen tarafından verilen teorik bilgiler öğrenci tarafından eğlenceli bir ortamda tekrar edilerek yapılandırmacı dönütler aracılığı ile pekiştirilerek kalıcı öğrenmenin sağlanması mümkündür.



Şekil 3. Wordwall aracı ile hazırlanan 4 farklı kimya oyunu.

McSharry ve Jones (2000) elementler, bileşikler ve karışımlar, metaller, ametaller, kimyasal reaksiyonlar konularının öğrencinin sırtına bir resim veya kelime yapıştırılması ve diğer arkadaşlarının maksimum 20 kapalı uçlu soru ile resim veya kelimenin ne olduğunu bulma esasına dayalı 20 soru oyunu ile öğretilebileceğini belirtmiştir. Alanyazında yapılan farklı

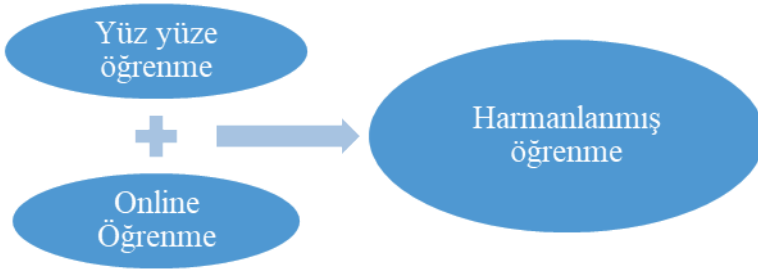
çalışmalarda ise element sembolleri ve periyodik tablo öğretiminde kes-yapıştır, zar oyunu, bulmaca ve tombala oyunu vb. birçok oyunun etkisi araştırılmıştır (Aycan, Türkoğuz, Sarı, ve Kaynar, 2002; Franco-Mariscal, Oliva-Martínez, ve Almoraima Gil, 2015; McSharry ve Jones 2000). Bayat, Kılıçaslan ve Şentürk (2012) “Periyodik Tabloda Köşe Kapmaca” oyunununun 7. Sınıf öğrencilerinin başarıları üzerine etkisi araştırılmış, oyun tabanlı yöntemin kullanıldığı grubun başarısının daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Peker ve Taş (2017) tarafından yapılan çalışmada Nesnel ve Dijital “Uygula Öğren Periyodik Cetvel” Materyalinin Öğrenci Başarısına Etkisinin Araştırılmış olup dijital uygula öğren periyodik cetvel materyalini kullanan öğrencilerin başarı ve motivasyonları üzerine etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Tinambunan ve Orongan, (2023) tarafından yapılan çalışmada kahoot ve edpuzzle gibi uygulamaların oyun tabanlı öğrenmede kullanılmasının öğrencilerin akademik başarı ve motivasyonlarını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kimya oyun uygulamaları; Professor Why™: Chemistry 1: öğrencilerin sanal laboratuvar uygulaması aracılığı ile etkileşimli ortamda deney yapabileceği bir oyundur. HoloLAB Champions: Sanal gerçeklik uygulaması aracılığı ile öğrencinin kimya deneylerini yapabileceği bir oyun platformudur. Edpuzzle, Wordwall, Kahoot vb birçok platform aracılığı ile kimya konularına uygun oyun hazırlanabilir veya öğrencilerin oyun hazırlaması istenebilir.

Kimya konuları için hazırlanacak oyunun hangi hedefe yönelik planlanması gerektiğinin önemli olduğu gibi dersin hangi aşamasında kullanılacağı da önemlidir. Eğitsel oyunlar konu dersin başında dikkat çekme veya ön bilgilerin hatırlanması amaçlı kullanılabileceği gibi dersin içinde veya dersin sonunda konunun pekiştirilmesi veya dersin değerlendirilmesi amacıyla da kullanılabilir. Ayrıca ders dışı etkinliği olarak verilen oyunlar ise öğrencinin konuyu ders dışında da pekiştirmesine imkân sağlayarak aktif öğrenme ortamı oluşturulması mümkündür. Bu noktada öğretmen, daha önceden hazırlanmış bir oyunu eğitsel amaçlı kullanabileceği gibi kendisi de konuya uygun bir oyun hazırlayarak kullanabilir veya öğrencilere oyun içeriği hazırlatarak yaratıcılıklarının artmasına katkı sağlayabilir. Önemli olan, hazırbulunuşluk düzeyleri, gelişim özellikler yaş ve becerilerine uygun eğitsel oyunların seçilmesidir.

Kimya Eğitiminde Ters-Yüz Sınıf Modelinin Kullanılması

Ters yüz sınıf modeli sınıf içerisinde gerçekleştirilen öğrenme ile çevrimiçi öğrenme etkinliklerinin planlı programlı bir şekilde bütünleştiği harmanlanmış öğrenme türlerinden biridir (Şekil 4)(Staker & Horn, 2012).



Şekil 4. Harmanlanmış öğrenme bileşenleri (Staker & Horn, 2012)

Ters yüz sınıf modeli öğrenci merkezli bir öğretim stratejisi olup amaç öğrenenin teorik bilgileri çevrimiçi materyaller aracılığı ile kendi öğrenme hızında ve öğrenme ortamında öğrenmesi, yüz yüze eğitim sırasında ise üst düzey problemlerin çözümüne imkân sağlayan bir sınıf ortamı oluşturulmasıdır (Bergmann & Sams, 2012). Grup tabanlı problem çözme aktivitelerinin yapıldığı, davranışçı ve yapılandırmacı yaklaşımların bir arada bulunduğu pedagojik bir modeldir (Çakır ve Yaman 2017). Ön bilgileri kendi öğrenme ihtiyacına uygun şekilde yapılandıran öğrenci öğretmene sınıf ortamında etkinlik yapma, farklı materyalleri kullanma, eşit öğrenme hızına sahip olmayan öğrencilerle ilgilenme imkânı tanır (Strayer, 2012). Böylece öğretmen bilgiyi hazır sunan öğretici konumundan çıkarak bilginin yapılandırmasına yardımcı olan rehber konumuna geçmekte, aynı zamanda öğrencinin öğrenme sürecinin tamamında sorumluluk alması ve derse katılması aktif öğrenmenin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Diğer öğrenme türlerinde olduğu gibi ters yüz sınıf modelinde de önceden planlama yapılması ve bir plan çerçevesinde modelin uygulanması başarının temel şartıdır. Modelin etkin şekilde kullanılması için sahip olması gereken özellikler;

1. Öğrencinin sürece aktif katılımının sağlanması
2. Ödev ve sınıf içinde gerçekleştirilen süreçlerin yer değiştirmesi
3. Öğrenme sürecinde teknolojinin sürece dahil edilmesi
4. Sunulan e-öğrenme içeriğinin konu ve gerçek hayatla ilişkili olması
5. Sınıfta öğrencinin problem çözme ve eleştirel düşünme becerilerine katkı sağlayacak etkinliklere yer verilmesi şeklinde sıralanabilir (Davies, Dean ve Ball 2013).

Sanal laboratuvarlar belirli kavramları öğrenmek veya açıklamak amacı ile oluşturulmuş etkileşimli, dijital simülasyonlar olup ters yüz sınıf modelinde sıklıkla kullanılan platformlardandır. Etkileşimli uygulamalar olması öğrenciye hata yapma imkânı sağlayarak konuyu yapılandırmasına imkân

tanımaktadır. Kavitha ve Anitha (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sanal laboratuvar uygulamalarının entegre edildiği ters yüz sınıflar ile sanal laboratuvarların entegre edilmediği ters yüz sınıf modellerinin öğrencilerin düşün, tasarla, uygula, çalıştır yaklaşımı özelliklerine katkısının daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda ters yüz sınıf modelinde uygulanacak etkileşimli içeriklerin önemi ön plana çıkmaktadır. Konu anlatımında seçilecek içerikler öğretmen tarafından hazırlanabileceği gibi konu anlatımlarını içeren ters yüz sınıf modeline uygun birçok siteden faydalanmak mümkündür (<https://www.khanacademy.org/>)

KAYNAKLAR

- Achuthan, K., Francis, S. P., & Diwakar, S. (2017). Augmented reflective learning and knowledge retention perceived among students in classrooms involving virtual laboratories. *Education and Information Technologies*, 22, 2825–2855.
- Achuthan, K., Kolil, V. K., & Diwakar, S. (2018). Using virtual laboratories in chemistry classrooms as interactive tools towards modifying alternate conceptions in molecular symmetry. *Education and Information Technologies*, 23, 2499–2515. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9727-1>.
- Acosta, J. L. B., Navarro, S. M. B., Gesa, R. F., & Kinshuk, K. (2019). Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. *Australasian Journal of Educational Technology*, 35(3), 102–117. <https://doi.org/10.14742/ajet.4182>
- Aycan, S., Türkoğuz, S., Sarı, E. & Kaynar, Ü. (2002). Periyodik cetvelin ve elementlerin tombala oyun tekniği ile öğretimi ve bellekte kalıcılığının saptanması. V. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi, Milli Eğitim Bakanlığı, 61, Ankara.
- Bennett, S., Bishop, A., Dalgarno, B., Waycott, J., & Kennedy, G. (2012). Implementing Web 2.0 technologies in higher education: A collective case study. *Computers & education*, 59(2), 524-534. doi:10.1016/j.compedu.2011.12.022.
- Bergmann, J. & Sams, A. (2008). Remixing chemistry class. *International Society for Technology in Education*, 36 (4) 22-27.
- Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of augmented reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>
- Conole, G. & Alevizou, P. (2010). A literature review of the use of web 2.0 tools in higher education. Retrieved 10 August, 2011, from http://www.heacademy.ac.uk/assets/EvidenceNet/Conole_Alevizou_2010.pdf
- Çakır, E., & Yaman, S. (2017). Fen bilimleri dersinde ters yüz sınıf uygulamalarının öğrencilerin fen başarıları ve zihinsel risk alma becerilerine etkisi. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi*, 5(2), 130-142.
- Çolak Yazıcı, S. Ve Gündoğdu, B. (2023). Kimya Öğretmenlerinin Derslerinde Teknoloji Kullanımı Ve Ters-Yüz Sınıf Modeli Kullanım Durumlarının İncelenmesi, Karadeniz 12th International Conference On Applied Sciences March 3-5, 2023 Rize
- Çolak Yazıcı, S. (2022). Kimya Konularında Bilgisayar Destekli Öğretim Yönteminin Kullanımı İle İlgili Tezlerin Betimsel İçerik Analizi Yöntemi ile İncelenmesi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 (4), 1379-1396. DOI: 10.17240/aibuefd.2022.22.74506-1100588

- Davies, R.S., Dean, L. & Ball, N. (2013). Flipping the classroom and instructional technology integration in a college-level information systems spreadsheet course. *Education Technology Research and Development*, 61(4), 563-580.
- Davis, F. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/24900810.2307/249008>.
- Dinçer, S. (2020). *Öğretim Teknolojileri*, Ankara, Pegem Akademi
- Elmas, R., & Geban, Ö. (2012). 21. Yüzyıl Öğretmenleri için Web 2.0 Araçları. *Uluslararası Çevrimiçi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 4 (1).
- Elmas, R., Demirdöğen, B, & Geban, Ö. (2011). Preservice chemistry teachers' images about science teaching in their future classrooms. *Hacettepe University Journal of Education*, 40, 164-175.
- Enawaty, E. (2023). Development of Basic Chemistry E-Module Based on Problem-Based Learning for Chemistry Education Students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(2), 568-573.
- Fatemah, A., Rasool, S., & Habib, U. (2020). Interactive 3D visualization of chemical structure diagrams embedded in text to aid spatial learning process of students. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 992- 1000. <https://doi.org/10.1021/acs.jchem.ed.9b00690>Fitriani.
- Franco-Mariscal, A. J., Oliva-Martínez, J. M., & Almoraima Gil, M. L. (2015). Students' perceptions about the use of educational games as a tool for teaching the periodic table of elements at the high school level. *Journal of Chemical Education*, 92(2), 278- 285. <https://doi.org/10.1021/ed4003578>
- Grosseck, G. (2009). To use or not to use web 2.0 in higher education?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 478-482.
- Horzum, M. B. (2010). Öğretmenlerin web 2.0 araçlarından haberdarlığı, kullanım sıklıkları ve amaçlarının çeşitli değişkenler açısından incelenmesi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 7(1), 603-634.
- Hwang, G.J., Chiu, L.Y., & Chen, C.H. (2015). A contextual game-based learning approach to improving students' inquiry-based learning performance in social studies courses. *Computers & Education*, 81, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.09.006>
- Ibáñez-González, M. J., & Mazzuca-Sobczuk, T. (2018). Active Methodologies in Chemistry. In *Proceedings* 2(21), 13391355. <https://doi.org/10.3390/proceedings2211339>
- Joag, S. D. (2014). An effective method of introducing the periodic table as a crossword puzzle at the high school level. *Journal of Chemical Education*, 91(6), 864-867.

- Kavitha, D., & Anitha, D. (2023). Virtual Lab Integrated Flipped Class for Effective Implementation of CDIO Framework in a Theory Course–A Case Study. *Journal of Engineering Education Transformations*, 36 262-268.
- Kayaduman, H., Sirakaya, M., & Seferoğlu, S. S. (2011). Eğitimde FATİH projesinin öğretmenlerin yeterlilik durumları açısından incelenmesi. *Paper presented at the meeting of Akademik Bilişim, Malatya, Turkey.*
- Kıyıcı, F. B. (2010). The definitions and preferences of science teacher candidates concerning web 2.0 tools: A phenomenological research study. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(2), 185-195.
- Lenhart, A., Kahne, J., Middaugh, E., Evans, C., & Vittek, J. (2008). Teens' gaming experiences are diverse and include significant social interaction and civic engagement. *Pew Internet and American Life Project Report.*
- Liesatyadharma, S., Fernandez, S. E., Jeffina, M., & Udjaja, Y. (2023). Holoreact: chemistry experiment game with hologram based to enhance learning on senior high school level. *Procedia Computer Science*, 216, 453-461.
- Lutf, A., Aftinia, F., & Permani, B. E. (2023). Gamification: Game as a medium for learning chemistry to motivate and increase retention of student learning outcomes. *JOTSE*, 13(1), 193-207.
- Maier, P., & Klinker, G. (2013). Augmented chemical reactions: An augmented reality tool to support chemistry teaching. In *2013 2nd Experiment@International Conference (exp. at'13)* (pp. 164–165). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ExpAt.2013.6703055>
- MEB(2018). Ortaöğretim kimya dersi öğretim programı (9, 10, 11 ve 12. sınıflar), Talim Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara,.
- MEB. (2018). Kimya dersi öğretim programı (9, 10, 11 ve 12. sınıflar). *Millî Eğitim Bakanlığı*. <http://mufredat.meb.gov.tr/> adresinden 04.03.2023 tarihinde erişilmiştir.
- Meliboyeva, G. S., & Mamajonov, M. (2023). Use Of Interactive Methods In Chemistry Education System. *Open Access Repository*, 9(2), 34-38.
- Naumoska, A., Dimeski, H., & Stojanovska, M. (2023). Using the Escape Room game-based approach in chemistry teaching. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 1-13. <https://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0352-51392200088N>
- Peker, E. A., & Erol, T. A. Ş. (2017). Nesnel ve dijital “Uygula Öğren Periyodik Cetvel” materyalinin öğrenci başarısına etkisinin araştırılması. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi*, 5(1), 20-42.
- Saidin, N. F., Halim, N. D. A., & Yahaya, N. (2019). Framework for developing a mobile augmented reality for learning chemical bonds. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 13(7), 54. <https://doi.org/10.3991/ijim.v13i07.10750>

- Sari, R. P., Hasibuan, M. P., Oktaviani, C., Yakob, M., & Nazar, M. (2023). Development of electronic learning chemistry assessment applications through project-based learning for increasing student scientific performance. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 11(1), 191-205.
- Staker, H., & Horn, M. B. (2012). Classifying K–12 blended learning. http://192.248.16.117:8080/research/bitstream/70130/5105/1/BLENDED_LEARNING_AND_FEATURES_OF_THE_USE_OF_THE_RO.pdf
- Strayer, J. F. (2012). How learning in an inverted classroom influences cooperation, innovation and task orientation. *Learning Environments Research*, 15(2), 171–193. Doi: 10.1007/s10984-012-9108-4
- Şendağ, S. (2021). Öğretim Teknolojileri. *Etkili ve Eğlenceli Öğrenme Deneyimi Tasarım Rehberi* Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık
- Tinambunan, S. R. N., & Orongan, M. J. Q. (2023). Game-based learning on students' motivation and academic achievement in science 9. *MPS*, 10, 20-19.
- UNESCO, (2020). Education: From disruption to recovery. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization <https://web.archive.unesco.org/web/20220629024039/https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/> (Erişim Tarihi: 10.02.2023)
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), 186–204.
- Virata, R. O., & Castro, J. D. L. (2019). Augmented reality in science classroom: Perceived effects in education, visualization and information processing. *In Proceedings of the 10th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management and E-Learning. IC4E '19* (pp. 85–92). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3306500.3306556>
- Vishnu, S., Sathyan, A. R., Funk, C., Sam, A. S., Radhakrishnan, A., Ragavan, S. O., & Kandathil, J. V. (2022). Digital competence of higher education learners in the context of COVID-19 triggered online learning. *Social Sciences & Humanities Open*, 100320-100329. <https://doi.org/10.1016/j.ssho.2022.100320>
- Yavuz, S. (2017). Kimya eğitimi alanında kavram yanılgıları ile ilgili tamamlanmış tezler üzerine bir içerik analizi: Türkiye örneği (2005-2015). *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 25(3), 957-974.
- Yousafzai, S.Y., Foxall, G.R. and Pallister, J.G. (2007). Technology acceptance: a meta-analysis of the TAM: Part 1. *Journal of Modelling in Management*, 2 (3), 251-280. <https://doi.org/10.1108/17465660710834453>

Yeşil Kimyasal Çözücüler

Nükte Topraksever¹

Özet

Son yıllarda, tehlikeli çözücülerin çevre üzerindeki etkisine ilişkin farkındalık önemli ölçüde artmıştır. Bu etkiyi azaltmak ve çevreyi korumak için birçok gelişme hayata geçirilmiştir. Bir gelişme, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını etkilemeden mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılıyorsa, sürdürülebilir olarak kabul edilir. Hem endüstriyel hem de laboratuvar ölçeğinde kimyasal faaliyetleri içeren teknolojiler, sürdürülebilirliği etkileyen ana faktörler olarak kabul edilir. Önemli hacimlerde tehlikeli kimyasalların kullanıldığı laboratuvar deneyleri gibi kimyagerlerin küçük ölçekli faaliyetleri bile, kimyasal atıkların kontrolsüz bir şekilde imha edilmesi durumunda çevreyi olumsuz yönde etkileme potansiyeline sahiptir.

Kimyasal faaliyetler (çevresel, biyolojik, klinik vb.) sonucu çevreyi ve doğrudan temas halinde olan kimyagerleri korumak için çeşitli önlemler geliştirilmiştir. “Yeşil kimya”, “çevreye zarar vermeyen kimya”, “temiz kimya” vb. gibi çeşitli terimler, kimyasal faaliyetlerin çevre dostu bir şekilde gerçekleştirilmesi ihtiyacını vurgulamak için tanımlanmıştır. Bu yaklaşımlar, reaktiflerin tüketimini ve atık oluşumunu en aza indirmeyi ve tehlikeli kimyasalları ortadan kaldırmayı hedefler. Bu çalışmada yeşil kimyanın 12 temel ilkesi ve bu ilkeler kapsamındaki yeşil çözücüler incelenmiştir.

1. Giriş

Kimyasal metotların geliştirilmesi ve doğrulanmasında bazı analitik parametrelerin (doğruluk, hassasiyet, tekrarlanabilirlik, basitlik, maliyet ve hız gibi) optimizasyonu gereklidir. Ancak, analizci güvenliği ve analitik yöntemlerin çevresel etkileri ile ilgili diğer hususlar genellikle dikkate alınmaz. Bazı durumlarda, analiz için kullanılan kimyasallar, tayin edilen türlerden bile daha toksiktir. Çevresel konular da dikkate alındığında, toksik çözücü ve reaktiflerin kullanımının yerine çevre dostu yöntemlerin geliştirilmesi

1 İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği, İstanbul, nukte.topraksever@istun.edu.tr

ve tercih edilmesi sürdürülebilir ve sağlıklı bir yaşam için önemli bir konu haline gelmiştir.

Özellikle kimya alanında son yıllarda, laboratuvar proseslerinde meydana gelen atıkların kontrol edilmesi ve bu atıkların kentsel atıklara karışmasının önlenmesi için çalışmalar yapılmaktadır (Armenta vd., 2019).

Yeşil Kimya, “tehlikeli maddelerin kullanımını ve oluşumunu azaltmak veya ortadan kaldırmak için kimyasal ürün ve proseslerin tasarımı” olarak tanımlanmaktadır. Yeşil Kimya kavramı ilk olarak 1990’ların başında kullanılmıştır (Anastas & Eghbali, 2010). ABD, İngiltere ve İtalya’da yapılan yüzlerce program yeşil kimyanın uluslararası kabul görmesini ve sürdürülebilir tasarımın bilgilendirilmesinde önemli bir rol oynamıştır (Beach vd., 2009). Yapılan uygulamalar; ABD Başkanlık Yeşil Kimya Mücadelesi Ödülleri (1995), 1997 yılında kurulan Yeşil Kimya Enstitüsü ve 1999’da Royal Society of Chemistry’nin “Green Chemistry” dergisinin ilk cildinin yayınlanmasıdır.

Yeşil Kimya’da tasarım en önemli kavramdır. Tasarım, insan niyetinin bir ifadesidir ve tesadüfen yapılmaz. Yenilik, planlama ve sistematik anlayış içerir (Anastas & Eghbali, 2010). Bununla birlikte tasarım, mevcut bir probleme verilen cevap noktasında birçok farklı strateji içermektedir (Ardatürk, 2022). Yeşil Kimya’nın on iki ilkesi, sürdürülebilirlik hedefine ulaşmak için uygulanan “tasarım kuralları”dır. Yeşil Kimya yaklaşımında amaç, sürdürülebilirliği sağlamaktır. Bu yüzden, birçok endüstri sektöründe Yeşil Kimya uygulamaları kullanılmaktadır. Havacılık, otomotiv, kozmetik, elektronik, enerji, ev ürünleri, ilaç ve tarımda yeşil kimya teknolojilerin başarılı uygulamalarının yüzlerce örneği vardır (Anastas & Eghbali, 2010).

2. Yeşil Kimyanın On İki İlkesi

Yeşil kimyanın on iki ilkesi 1998’de Paul Anastas ve John Warner tarafından yayınlanmıştır. Bu ilkeler, kullanılan hammadde, ürün ve reaktiflerin güvenliği, toksisitesi ve biyolojik olarak parçalanabilirliği süreçlerine uygulanan yeni kimyasal ürün ve proses tasarımı için yol gösterici bir çerçevedir (Abdussalam-Mohammed vd., 2020).

2.1. Atık Önleme

Yeşil kimyanın ilkelerinden ilki atıkların önlenmesidir. Atık oluşuktan sonra temizlemektense atık oluşumunu engellemek daha sağlıklı bir yoldur. Gerçek değeri olmayan herhangi bir maddenin üretilmesi veya kullanılmayan enerjinin kaybı israftır. Atıklar farklı şekillerdedir ve toksisitesine, miktarına ve salınma şekline bağlı olarak çevreyi farklı şekillerde etkileyebilirler. 1992’de

Roger Sheldon günümüzde yaygın olarak kullanılan E-faktörü veya çevresel etki faktörü kavramını bulunmuştur. Bu kavram, ürünün kilogramı başına üretilen atık miktarını ölçmeye yardımcı olur ve üretim sürecinin çevresel kabul edilebilirliğini değerlendirmede kullanılır (Sheldon, 2018). Bu ilke, Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl yaklaşık 12 milyar ton atık veya insan sağlığı ve çevre için yaklaşık 300 milyon ton tehlikeli atık üretildiğinden dolayı uygulanmaktadır. Toplam tehlikeli atığın %70'ini oluşturan ve metanol ve ksilen içeren en yüksek organik atığı kimya endüstrisi üretmektedir. Toksik reaktifler ve çözücüler kullanılarak yapılan reaksiyonlar sonucu meydana gelen ürünler de yüksek toksisitede olmaktadır. Kimya endüstrisi ve kimyasal madde üreticileri toksik atıklar ile ilgili ciddi önlemler almamaktadır, yeşil kimya bu toksik atıkların oluşumunu durdurmak ve kontrol edilebilmek için oldukça önem kazanmıştır (Abdussalam-Mohammed vd., 2020; Ivanković, 2017; Tang vd., 2005).

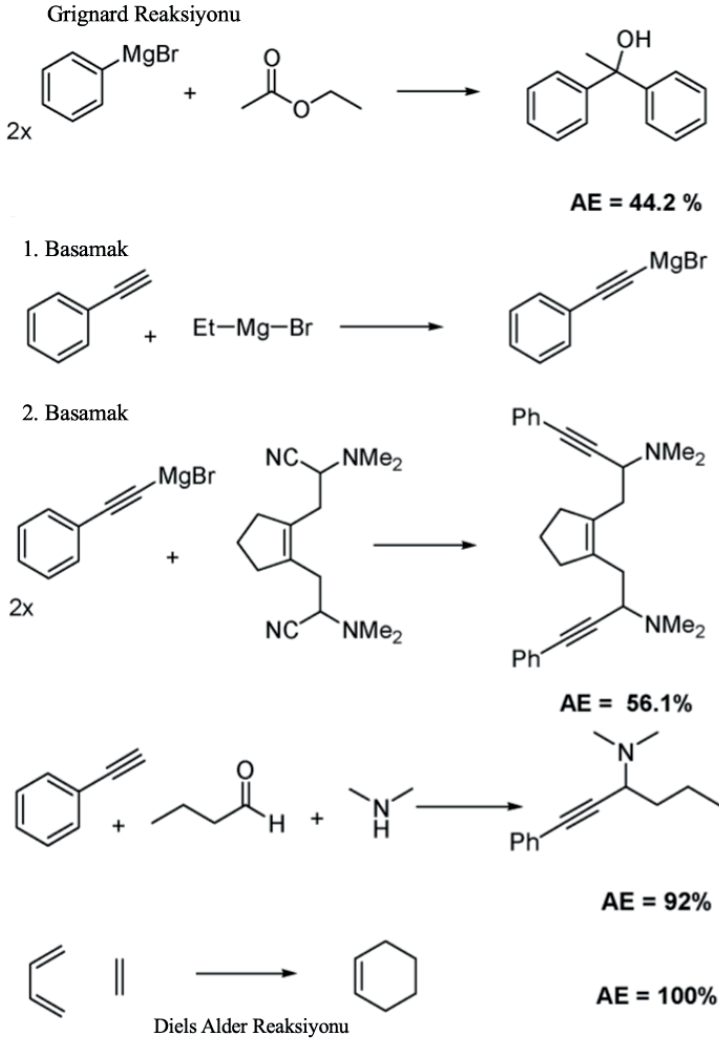
2.2. Atom Ekonomisi

Barry Trost 1990 yılında, sentetik verimlilik kavramını tanımlamıştır, atom verimliliği olarak da bilinen atom ekonomisi (AE), ham madde kullanımını en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir (Trost, 1991). İdeal bir reaksiyonda oluşan ürün, reaktantların tüm atomlarını içermektedir. Atom ekonomisi (AE), istenen ürünün molekül ağırlığının reaksiyonda kullanılan tüm reaktantların moleküler ağırlıklarına oranı olarak ölçülür.

$$AE = \frac{\text{Ürün molekül ağırlığı}}{\text{Reaktant molekül ağırlığı}}$$

Meydana gelen bir reaksiyonun veriminin ne kadar yüksek olduğunu hızlı bir şekilde değerlendirmeye yönelik teorik bir değerdir (Anastas & Eghbali, 2010).

Bu kavramı açıklamak için Şekil 1'deki reaksiyonlar incelendiğinde; organik sentezdeki önemi nedeniyle bilim camiasının takdirini kazanan Grignard reaksiyonu, metal reaktant kullanımı ve Grignard reaktifinin ayrı hazırlanması gerekliliği nedeniyle zayıf bir atom ekonomik reaksiyondur. Propargilik amin tipi yapı oluşturmak için Grignard reaktifi uygulandığında, AE değeri %56'dır. Her iki reaksiyonda da hammaddenin neredeyse yarısının kayıp olduğu görülmektedir. Son iki reaksiyon incelendiğinde AE değerlerinin sırasıyla %92 ve %100 olduğu görülmektedir. Diels-Alder reaksiyonları siklo katılma reaksiyonları arasında en yeşil reaksiyon türlerindedir (Anastas & Eghbali, 2010).



Şekil 1. Atom ekonomisi ve örnekleri

2.3. Daha Az Tehlikeli Kimyasal Sentez

Var olan yeşil tepkimelere ek olarak son yıllarda bazı yeni tepkimeler geliştirilmiştir. Kademeli veya tandem reaksiyonları metatezi, C-H aktivasyonu ve enzimatik reaksiyonlar, organik kimyagerlerin kullanabileceği toksik olmayan ve daha verimli reaksiyonlardır (Abdussalam-Mohammed vd., 2020). Toksik kimyasallar yerine biyolojik enzimler kullanıldığında birçok endüstriyel süreç daha temiz ve ucuz hale gelmiştir (Sheldon, 2018).

2.4. Güvenli Çözücüler

Kimyasal reaksiyonlarda kullanılan çözücüler, zararsız hale getirilmelidir. Örneğin, kromatografik ayrımlarda çevre kirliliğine neden olacak miktarlarda çözücü kullanılmaktadır. Geleneksel organik çözücülerin çoğu, toksik, yanıcı ve aşındırıcıdır (Ivanković, 2017). Bu yüzden çevre dostu çözücülerin geliştirilmesi gerekmektedir. Güvenli çözücüler, sentez sürecini kısaltmalı ve mümkün olduğunca yardımcı kimyasalların kullanımını azaltmalı ya da kullanılan yardımcı kimyasalların zararsız olmasını sağlamalıdır. Yeşil kimya ilkelerine göre, proseslerde, çalışan, çevre güvenliği ve proses sürdürülebilirliği için organik çözücüler yerine uygun ikameler seçilmelidir. Bu çözücüler, fiziksel ve kimyasal olarak kararlı, düşük uçuculuğa sahip, kullanımı kolay ve kolaylıkla geri dönüştürülebilir özelliklere sahip olmalıdır. Çözücüler, yeşil kimya araştırmalarının en aktif alanıdır (Ivanković, 2017; Madhavan Nampoothiri vd., 2010).

Çözücüler, sentez ve proseslerde boşa harcanan kimyasallar olduğu için yeşil kimyadaki en önemli zorluklardan biridir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için kimyagerler daha güvenli çözümler aramaya başlamıştır. Bunların bazıları; çözücüsüz sistemler, su, süper kritik akışkanlar ve iyonik sıvılardır (Abdussalam-Mohammed vd., 2020; Anastas & Eghbali, 2010).

Herhangi bir kimyasal reaksiyonda çözücü kullanmamak yeşil kimya uygulamaları için en iyi sonuçtur, çünkü yardımcı bir kimyasalın reaksiyondan uzaklaştırılması için ekstra zaman alıcı basamaklar ve enerji gereklidir. Ayrıca, kullanılan reaktiflerin fiziksel özelliklerine ve istenilen reaksiyonun sonucuna bağlı olarak, reaksiyonun çözücü olmadan gerçekleşmesini sağlamak için yeni tasarlanmış kimyasal sistemlere ihtiyaç vardır.

Su, gezende en bol bulunan moleküldür ve toksik olmayan bir çözücü olarak kullanılabilir. Bu nedenle su ortamında gerçekleşen reaksiyonların önemli avantajları vardır. Bunlar;

- Toksik olmadığı için herhangi bir tehlike oluşturmaz ve büyük ölçekli reaksiyonlarda faydalı bir çözücü olarak kullanılabilir.
- Birçok organik madde suda çözünmediği için, hidrofobik etki sonucu daha kolay ayırma ve daha hızlı reaksiyonlar elde edilebilir. Su ortamında gerçekleştirilen Diels-Alder reaksiyonu, çözücü olarak suyun kullanıldığı önemli örneklerden biridir.

2.5. Daha Güvenli Kimyasallar Tasarlamak

Kimyasal ürünlerin toksisitesi azaltılırken, işlevselliğini kaybetmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. İşlevsellik ve verimliliği korunurken, toksisiteyi en aza

indirmek, daha güvenli ürün ve prosesler tasarlamamanın en zor kısımlarından biridir. Bunu elde edebilmek için yalnızca kimya bilimi değil, toksikoloji ve çevre bilimi multidisipliner olarak çalışmalıdır. Ayrıca, güvenli kimyasallar üretme hedefi, optimum performans ile kimyasal ürün arasındaki dengedir ve toksisite ve tehlikenin mümkün olan en düşük seviyede olmasını hedefler (Sheldon, 2018).

2.6. Enerji Verimliliğini Arttırmak

Petrol hammaddelerinin tükenmesi ve enerji tüketiminin artması nedeniyle enerji verimli prosedürlerin geliştirilmesi ve yenilebilir enerji kaynakları arayışı ortaya çıkmıştır. Kimyasal prosedürlerin enerji gereksinimleri sonucu ortaya çıkan ekonomik ve çevresel etkileri bilinmelidir. 1973'te meydana gelen petrol krizi ile üretim sürecindeki her kJ'lik enerjiden yararlanmak için enerji tasarrufunun sağlandığı süreçlerin geliştirilmesi başlamıştır.

Kullanılmayan enerji de atık olarak kabul edilir. Bu yüzden, yoğun enerji kullanımı içermeyen kimyasal reaksiyonların tasarımı tercih edilir. Bunun bir örneği, bir kimyasal reaksiyonun oda sıcaklıklarında meydana gelebilmesi için uygun reaktantlar seçerek enerji kullanımını düşürmektir. Kimyasal bir sistemin enerji verimliliğini arttırmak, çözüm yollarından yalnızca biridir. Diğer bir yol alternatif enerji kaynakları bulunmasıdır. Yenilebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi (termal ve fotovoltaik), rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik ve hidrojen yakıt hücreleridir.

Yeşil kimya ile ilgilenen bilim insanları, yenilebilir enerji kaynaklarını, enerji verimli reaksiyonlarda ve kimyasal sistemlerin tasarımında kullanmaktadır.

Güneş enerjisi, dünyadaki birinci sürdürülebilir enerji kaynağıdır ve petrole alternatif olarak kullanılabilir. Güneş enerjisini voltaik enerjiye dönüştürmek için kimyasal prosesler tasarlamak oldukça zordur. Ayrıca, organik, inorganik ve hibrit güneş pilleri yüksek enerji verimlerine sahiptir. Bu hücrelerin temel prensibi, kullanılan malzemenin güneş enerjisinden fotonik enerjiyi absorbe etme yeteneğidir. Absorbsiyon, iletilebilen ve elektronik akım üretebilen uyarılmış durumların oluşumuna neden olur (Abdussalam-Mohammed vd., 2020).

2.7. Türevlerin Azaltılması

Bloklayıcı gruplar, fiziksel ve kimyasal süreçlerin geçici modifikasyonu gibi türevlendirme işlemleri azaltılmalıdır ya da mümkünse kaçınılmalıdır, çünkü bu tür adımlar ekstra reaktif kullanımına ve atık üretmeye neden olur. Olabildiğince biyolojik sentez kullanılmalıdır (Anastas & Eghbali, 2010; Ivanković, 2017).

2.8. Kataliz

Katalitik reaktifler, sitokiyometrik reaktiflerden üstündür. Atık oluşumu, sitokiyometrik miktarlarda reaktiflerin kullanımına bağlıdır (Anastas & Eghbali, 2010; Ivanković, 2017). Çevre koruması için, kataliz ilkesi, daha az enerji kullanımını sağlayan, organoklorlu bileşiklerin kullanımından kaçınan, daha az atık meydana getiren ve biyolojik olarak parçalanabilen katalizörlerin kullanımını gerektirir. Ayrıca, biyo-kataliz, doğal veya modifiye edilmiş enzimlere dayalı biyomimetik bir yaklaşım olduğu için yeşil kimyanın bir örneğidir. Hem saflaştırılmış enzimlerin doğrudan kullanımını hem de tasarlanmış canlı organizmalar tarafından gerçekleştirilen reaksiyonları içerir. Ortam sıcaklığı ve atmosfer basıncında reaksiyon meydana gelebileceğinden, reaksiyon koşulları da oldukça yeşil kimyaya uygundur.

Ek olarak, biyolojik olmayan katalizörlere kıyasla biyokatalizörler, reaksiyon hızı, düşük maliyet, katalitik seçicilik gibi avantajlara sahiptir, ancak, ısı duyarlılığı ve zayıf stabilite eksiklikleri vardır (Anastas & Eghbali, 2010).

2.9. Biyolojik Bozunma

Kimyasal ürünler, çevre için herhangi bir tehlikeye neden olmadan zararsız bozunma ürünlerine ayrılacak şekilde tasarlanmalıdır. Amaç, zararlı maddelerin oluşumunun önlenmesi ve geri dönüşüm kullanarak elde edilen atıkların mümkün olduğunca üretime geri döndürülmesidir. Çevre kirliliği sorunlarına karşılık biyobozunur malzeme ve kimyasal tasarlamak kolay bir iş değildir. Dallanmış zincirler, halojenli kısımlar, kuarterner karbonlar, üçüncül aminler ve bazı heterosiklik bileşiklerin kullanımından kaçınmak sürdürülebilirliği arttırabilir. Öte yandan, esterler, amidler gibi fonksiyonel gruplar çevresel olarak bozunabilir ürünlerin tasarlanmasına yardımcı olabilir (Anastas & Eghbali, 2010).

2.10. Analiz

Yeşil analitik kimya, daha az atık üreten, çevre ve insan sağlığı için daha güvenli olan analitik prosedürlerin kullanılması olarak tanımlanabilir (Anastas & Eghbali, 2010; Keith vd., 2007). Yeşil analitik kimyanın amacı, analitleri atık üretmeden tayin etmektir. Analitik kimya ile ilgili çevresel konular analitik süreç ile ilgilidir ve analitik aparatların imalatında kullanılan ürünlere dikkat edilmelidir. Yeşil kimya ile ilgilenen araştırmacılar, kullandıkları maddelerin toksisitesi ve olası çevresel etkilerini bilmelidir. Örneğin, civa elektrotları genellikle elektrokimya için kullanılmaktadır, bu elektrotlar yerine nanotüpler ve nanofiberler gibi karbon bazlı elektrotlar kullanılabilir (Anastas & Eghbali, 2010; Rocha vd., 2001).

2.11. Kaza önleme

Kimyasal reaksiyonda kullanılan maddeler, yayılma, patlama ve yangın gibi kimyasal kaza olasılığını en aza indirecek şekilde seçilmelidir. Organik çözücüler yerine süper kritik CO₂ kullanımı (toksik ve patlayıcı olmayan, çevre dostu olan) örnek olarak verilebilir. Güvenlik, kabul edilebilir risk düzeyine ulaşılarak bilinen tehlikelerin kontrolü olarak tanımlanır ve kişisel koruyucu donanım kullanımı ile güvenlik sağlanabilir. 1990 yılındaki kimyasal kaza önleme ve temiz hava kanunu değişikliklerine göre kazaları önlemek, tehlikelerin belirlenmesi ile başlar (Anastas & Eghbali, 2010).

Aşk kanalı ve Bhopal gibi kazaları önlemek için, kimyasalların ve proseslerin tasarımında toksisite, patlama ve yangınlık gibi fiziksel ve küresel tehlikeler ele alınmalıdır. Bu kaza bilim camiasına bir ilk hatırlatma olmalıdır. Çünkü hala birçok kimyasal ciddi tehlikelere neden olabilmesine rağmen, daha güvenli olanla değiştirilmek yerine kullanılmaya devam etmektedir (Abdussalam-Mohammed vd., 2020).

2.12. Yenilenebilir Hammaddelerin Kullanımı

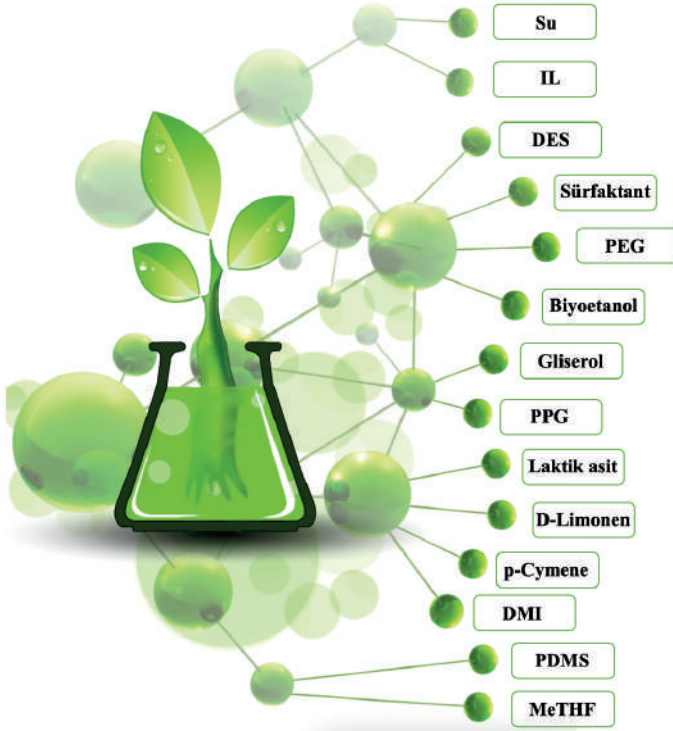
Yeşil kimyanın ilkelerinden biri, ekonomik ve teknik olarak kabul edilebilir olduğu durumlarda yenilebilir hammadde kullanımınıdır. Örneğin, plastik malzemeler yerine yenilebilir hammaddeler kullanılmalıdır ve bu malzemelerin çöpe atılması uygundur. Bu nedenle, biyolojik olarak parçalanabilen plastik malzemelerin üretimine ilgi artmaktadır. Biyobozunur ambalajların gıda endüstrisinde kullanımı atık yönetimi ve geri dönüşüm açısından önemli bir konudur. Gıda ve enerji kaynaklarına yönelik küresel talebin yanında, politika ve mevzuat değişiklikleri de dahil olmak üzere birçok faktör, biyolojik olarak parçalanabilen ambalajların gelişmesini etkiler (Ivanković, 2017).

Son yıllarda, yakıtlar, kimyasallar ve yenilebilir hammaddelerden elde edilen malzemelerin üretiminde önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Örneğin, biyoplastiklerin kullanılması sonucunda, enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları olumlu yönde etkilenmiştir. Dünya çapında bir şirket olan Coca Cola, %30 polietilen (PE) karışımlarında şişeler üretiyor, ancak Amerikan şirket mısır ve nişastadan elde edilen dekstrozun fermentasyonu ile laktik asitten elde edilen laktik asit polimerleri (LAP) üzerinde çalışmaktadır (Madhavan Nampoothiri vd., 2010).

3. Yeşil Kimyasallar ve Çözücüler

Eskiden kimyada yüksek verimler elde etmek için sentetik klasik prosedürler, kullanılmaktaydı, ancak bu prosedürlerin çevresel etkileri yeşil

kimya ortaya çıktığından beri özellikle dikkate alınmaya başlamıştır. Yeşil kimya, daha sürdürülebilir prosedürler geliştirmeyi, her türlü kimyasalla temas halinde olan profesyoneller ve genel halk için riskleri en aza indirmeyi amaçlar. Yeşil kimya, insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri önlemek için yeni sentez yöntemlerinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Son yıllarda, endüstride ve laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılan birçok organik çözücünün yerine daha güvenli, daha az toksik, çevre üzerinde daha az etkili ve mümkün olduğunda yenilenebilir kaynaklardan elde edilen reaktiflerle ilgili birçok çalışma yapılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Yeşil Kimyasallar

3.1. Yeşil Çözücü Olarak Su

Son yıllarda araştırmacılar organik reaksiyonlarda kullanılan organik çözücülerin yerine su kullanılması ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Su, toksik olmayan, güvenli, çevre dostu ve ucuz bir çözücüdür. Çözücü olarak suyun kullanıldığı bir reaksiyon gerçekleştirilmesinin iki yolu vardır, homojen karışımlarda ya da iki fazlı emülsiyonlarda direk çözücü ve diğer çözücülerle karıştırılarak kullanılabilir. “sulu reaksiyonlar” su içinde ya da

sulu süspansiyonlar içinde bir emülsiyon oluşturarak gerçekleşir. Bu tip reaksiyonlar, organik çözücülerle gerçekleşen reaksiyonlar ile kıyaslandığında hızlı bir reaksiyon ivmesi gösterir, sudaki reaktifler kısmen veya tamamen çözünür. Yapılan çalışmalara rağmen su halen tam olarak birçok toksik organik çözücünün yerine kullanılamamaktadır (Calvo-Flores vd., 2018).

3.2. İyonik Sıvılar (IL)

İyonik sıvılar, organik veya inorganik bir anyon ve büyük bir organik katyondan oluşan, erime sıcaklıkları 100 °C'nin altında olan organik tuzlardır (Krossing vd., 2006).

İyonik sıvıların, uçucu olmama, düşük yanıcılık, termal kararlılık (yaklaşık 300 °C), çeşitli bileşikler için güçlü çözüme gücü ve yüksek iyonik iletkenlik gibi özellikleri vardır. Sonuç olarak iyonik sıvılar geleneksel organik çözücülere alternatif olarak kullanılmaktadır. Çevreye zehirli buharlar yaymadıkları için çevre dostu çözücüler olarak kabul edilirler. Öte yandan, toksik olabilirler ve tehlikeli atık oluşturabilirler, bu nedenle “yeşil” tanımı iyonik sıvılar için biraz tartışmalıdır. İyonik sıvıları içeren araştırmalar, giderek daha biyolojik olarak parçalanabilir ve daha az toksik formülasyonların kullanımına doğru ilerlemektedir (Ghandi, 2014).

En çok çalışılan iyonik sıvılar, bromür, asetat, klorür, bis (triflorometilsülfonil) imid, tetrafloroborat ve heksaflorofosfat anyonlara bağlı, piridinyum, pirolidinyum, imidazolium, fosfonyum ve tetraalkilamonyum bazlı katyonlardan oluşur (Palumbo vd., 2017). İyonik sıvılar, destekli sıvı membran ekstraksiyonu, sıvı-sıvı mikro ekstraksiyon ve dağıtıcı sıvı-sıvı mikro ekstraksiyon (DLLME) gibi ekstraksiyon prosedürlerinde kullanılmıştır (Calvo-Flores vd., 2018).

3.3. Derin Ötektik Çözücüler (DES)

Derin ötektik çözücüler ilk kez 2001 yılında Abbot ve çalışma arkadaşları tarafından tanımlanmıştır. Geleneksel olarak kullanılan uçucu organik çözücülere alternatiflerdir. Buna ek olarak, organik asitler, amino asitler, şekerler, alkol ve kolinyum türevleri gibi doğal bileşiklerden üretildikleri için iyonik sıvılar için sürdürülebilir yeşil ikame olarak kabul edilirler (Smith vd., 2014)

Geleneksel organik çözücülere yeşil bir alternatif, Derin Ötektik Çözücüler (DES)'dir. IL, 20. yüzyılın ilk yıllarında Walden tarafından ilk kez bildirilen, uçucu olmayan tuz benzeri çözücülerin başka bir sınıfıdır. Hem IL hem de DES organik ve/veya inorganik katyonlar ve anyonlardan hazırlanabilir, ancak DES iyonik olmayanlardan da elde edilebilir, bu nedenle

IL olarak kabul edilmez (Kohli, 2018). Tablo 1, her iki tip arasındaki temel farklılıkları göstermektedir. DES'ler IL ile karşılaştırıldığında DES'ler çevre dostu çözücülerdir (Calvo-Flores & Mingorance-Sánchez, 2021).

DES'ler, genellikle oda sıcaklığına çok yakın erime noktasına sahip bir ürün vermek üzere iki veya daha fazla katının bir kombinasyonu ile hazırlanır. Düşük toksisite ve uçuculuk, çeşitli sıcaklıklardaki dikkate değer termal kararlılık, düşük uçuculuk, düşük buhar basınçları ve ayarlanabilir polaritelere sahiptirler ve çoğu biyolojik olarak parçalanabilir. Diğer bir özellikleri de hazırlanmasının kolay ve ucuz olmasıdır (Santana-Mayor vd., 2021; Smith vd., 2014).

DES'ler dört ana gruba ayrılır:

* Tip I: Kuaterner amonyum tuzu ve metal klorürden oluşurlar ve metal halid/imidazolyum tuz sistemlerine benzer olarak kabul edilebilirler (Calvo-Flores & Mingorance-Sánchez, 2021).

* Tip II: Kuaterner amonyum tuzu ve metal klorür hidrattan hazırlanırlar. Birçok hidratlı metal tuzunun nispeten düşük maliyeti ve hava/nemden doğal olarak etkilenmemeleri, endüstriyel proseslerde kullanımlarını uygun hale getirir (Abbott vd., 2004).

* Tip III: Kuaterner amonyum tuzu ve bir hidrojen bağı donörü (HBD) den oluşurlar. Tip III'te kolin klorür ve HBD'ler, metal ekstraksiyonu ve organik sentez gibi birçok uygulama için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhekenov vd., 2017).

* Tip IV: Metal klorür ve HBD'den oluşurlar. Bu sıvıların hazırlanması basittir ve suyla reaksiyona girmez; birçoğu biyolojik olarak parçalanabilir ve nispeten düşük maliyetlidir (Abbott vd., 2014).

Tablo 2, her türden bazı DES örneklerini göstermektedir (Calvo-Flores & Mingorance-Sánchez, 2021).

Tablo 1. DES ve IL karşılaştırması

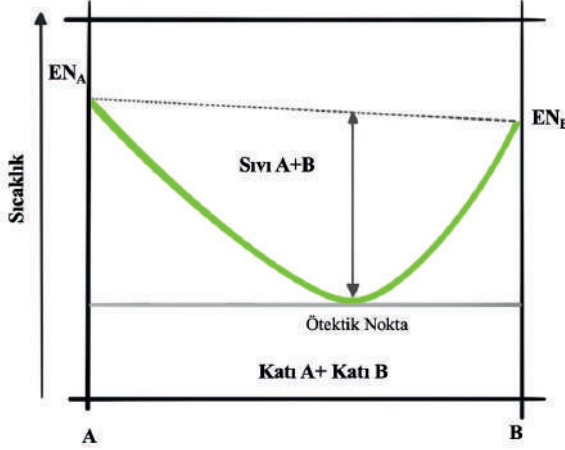
Derin Ötektik Çözücü	İyonik Likit
<ul style="list-style-type: none"> • Biyolojik olarak parçalanabilir ve non-toksik • Yüksek iletkenlik • Uygun maliyet • Viskozite uygun iyonik çözücülerle karıştırılarak düşürülebilir • Düşük maliyetli başlangıç bileşenlerinin karıştırılarak sentezi • İlave saflaştırma basamağı gerektirmez • Genellikle, neme duyarlı değildir hassasiyetleri yoktur 	<ul style="list-style-type: none"> • Her zaman çevre dostu değildirler, toksik olabilirler • İletkenlikleri orta yüksekliktedir • Pahalı ve geri dönüştürülebilir değildirler • Yüksek viskozite • Karmaşık sentez ve saflaştırma basamakları • Saflaştırma gerekebilir. • Neme duyarlıdır, kuru veya inert koşullar gereklidir

Tablo 2. DES sınıflandırması ve örnekleri

Tip	Formül	M/Z	Örnek
Tip I – Organik tuz/ İnorganik tuz	$Kat^+X^- + zMCl_x$	M=Zn, Sn, Fe, Al, Ga, In	ChCl/CoCl ₂
Tip II – Organik tuz/ Hidratlı inorganik tuz	$Kat^+X^-/zMCl_yH_2O$	M=Cr, Co, Cu, Ni, Fe	ChCl/CoCl ₂ .6H ₂ O
Tip III – Organik tuz/ Hidrojen donörü	$Kat^+X^-/RZ; MCl_x/$ RZ	M=Al, Zn; Z=CONH ₂ , OH, CO ₂ H	ChCl/üre
Tip IV – Al, Zn klorür/ Hidrojen donörü	MCl_x/zRZ	M=Al, Zn; Z=CONH ₂ , OH	ZnCl ₂ /üre

Derin ötektik çözücüler, Lewis veya Bronsted asitleri ve bazları olarak tanımlanabilecek katı maddelerin karışımları ile hazırlanır. Bileşenlerden biri hidrojen bağı alıcısı, diğeri ise hidrojen bağı vericisi olarak işlev görür. DES hazırlamak için başlangıç maddesi olarak çeşitli anyonik ve/veya katyonik türler kullanılabilir. Karıştırıldığında, bu bileşikler kendilerini oluşturan

maddelerden daha düşük erime noktasına sahiptirler. Böylece, bir termal denge süreci boyunca, iki katı madde ötektik sıcaklıklarda bir sıvı faz oluşturur (Şekil 3) (Calvo-Flores & Mingorance-Sánchez, 2021; Marcus, 2019).



Şekil 3. DES erime diyagramı

Bir reaksiyon kabına uygun miktarda katı eklenerek çok kolay hazırlanırlar, daha sonra ısıtılır ve renksiz bir sıvı olana kadar karıştırılırlar. Prosedür çok basittir ve yan ürün üretmez, bu nedenle atık olmadığından çevre dostu bir sentez olarak kabul edilebilir (Milani vd., 2020).

Ötektik noktaya karşılık gelen molar oran ve her bileşenin doğasına göre sıcaklık değişkendir. Böylece aynı bileşenlerle birden fazla DES tipi elde etmek mümkündür. İkili DES, en çok çalışılan ve kullanılan sistemlerdir, ancak üçlü DES'lerin tasarımı, sentezi, kullanımları ve uygulamaları da mevcuttur (Boldrini vd., 2022).

DES'in en iyi bilinen örneklerinden biri, kolin klorür ve ürenin (ChCl:Üre) 1:2 (mol:mol) oranında oluşturduğu ötektiktir. Bu DES 120 °C'lik bir erime noktasına sahiptir, her iki bileşen ayrı ayrı sırasıyla 302°C ve 133°C erime noktalarına sahiptir (Abbott vd., 2003).

Farklı molar oranlara sahip derin ötektik çözücü örnekleri Tablo 3'te verilmiştir. Başlangıç maddelerinin (HBD ve HBA) °C cinsinden erime noktaları (MP) ve elde edilen derin ötektik karışım tarif edilmektedir (Calvo-Flores & Mingorance-Sánchez, 2021). Doğal Derin Ötektik çözücüler, sürdürülebilirlik konseptini geliştirmek için tasarlanan diğer

bir DES kategorisidir (Paiva vd., 2014). Bu yeni derin ötektik çözücü sınıfı, düşük sitotoksisiteye sahip biyolojik olarak uyumlu maddelerin doğal kaynaklarından hazırlandıkları için metal içermeyen malzemelerdir. Elektrokimya, organik sentez, biyokataliz, gıda biliminde ekstraksiyon ve çeşitli alanlarda umut verici bir geleceğe sahipler (Santana-Mayor vd., 2021).

Tablo 3. HBA, HBD ve DES örnekleri ve erime noktaları (°C)

HBA	HBD	MP HBA	MP HBD	HBA:HBD
ChCl	Üre	300	133	1:2
ChCl	Gliserol	300	17.8	1:2
ChCl	Gliserol	300	17.8	1:3
ChCl	Benzoik Asit	300	122	1:1
ChCl	Okzalik Asit	300	190	1:1
ChCl	Ksilitol	300	96	1:1
MePPh ₃ Br	Gliserol	232	17.8	1:2
MePPh ₃ Br	Gliserol	232	17.8	1:4
MePPh ₃ Br	Gliserol	232	17.8	1:5
MePPh ₃ Br	Etilen Glikol	232	-12.9	1:5

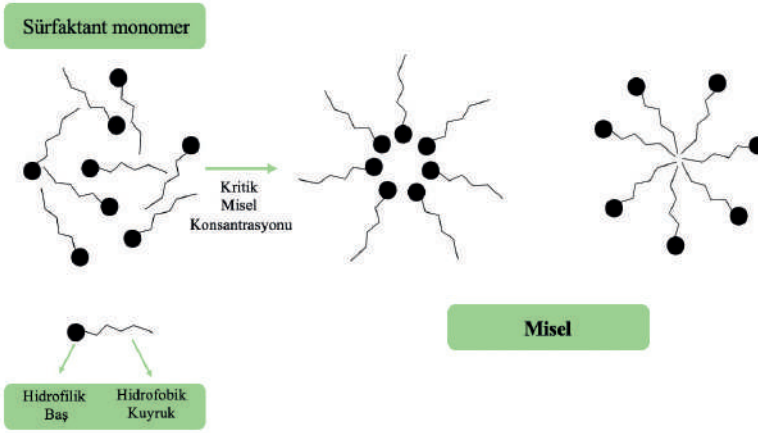
DES'ler, ayrı bileşenlerinkinden daha düşük erime noktası sağlayan iki katının karıştırılmasıyla oluşturulur. Bu düşüş, hidrojen bağı donörü ve tuz arasındaki etkileşimden kaynaklanır. Bilinen tüm DES'lerin erime noktaları 150 °C'nin altındadır.

Tablo 3'te, belirli bir HBA (hidrojen bağı akseptör) (ChCl) türü için, belirli bir erime noktası ile DES'leri elde etmek için HBD'yi (hidrojen bağı donör) uygun şekilde seçmenin önemli olduğu gözlemlenebilir, böylece karboksilik asitler gibi HBD kullanıldığında, oda sıcaklığında sıvı DES elde edilebilir (G. García vd., 2015; Gurkan vd., 2019).

Bir çözücünün yeşil karakteri hakkında iki temel soru vardır: toksisite ve biyolojik olarak bozunabilirlik. DES'lerin toksisitesi iyonik sıvılar ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha azdır (Halder & Cordeiro, 2019). NADES'ler (Doğal DES), başlangıç maddelerinin doğal olması nedeniyle, genellikle DES'lerden daha az toksiktirler ve çoğu biyolojik olarak parçalanabilir (Hayyan vd., 2016).

3.4. Sürfaktantlar ve Hidrotroplar

Sürfaktantlar, molekülde hem hidrofobik hem de hidrofilik kısımlar içeren amfifilik kimyasallardır ve hem sulu hem de organik fazlarda çözünürler. Suda, yüzey aktif madde moleküllerinin konsantrasyonu kritik misel konsantrasyonunun (CMC) üzerine çıktığında, moleküller, polar olmayan zincirlerin miselin merkezinde olduğu, polar başların su ile temas halinde olduğu misel formlarında düzenlenir. Diğer yandan, yüzey aktif madde molekülleri, polar olmayan ortamda, ters miseller oluşturarak yapının merkezindeki kutup başlarıyla düzenlenir (Şekil 4) (Aly & Górecki, 2020).



Şekil 4. Sürfaktant ve Misel Yapıları

Yüzey aktif maddeler, tek tabaka veya çift tabaka oluşturan inorganik yüzeyler üzerine adsorbe edilebilir. Tek tabaka düzeneğinde, bir iyonik yüzey aktif maddenin baş grupları, zıt yüklü mineral oksit yüzeyine (silika, titanyum oksit veya alümina) çekilir ve bir hemimisel ile sonuçlanır. İki tabakalı veya admisel agregasyonunda, yüzeye adsorbe edilen tek tabakanın polar olmayan zincirleri ile çözeltide bulunan yüzey aktif madde molekülleri arasındaki etkileşim yoluyla tek tabakanın üstünde ikinci bir tabaka oluşur. Bu düzenlemede, yüzey aktif madde moleküllerinin polar başları su ile temas halindeyken, polar olmayan zincirler, içinde organik moleküllerin çözülebileceği bir organik çekirdek oluşturur (Moradi & Yamini, 2012). Hemimisellerin veya admisellerin oluşumu pH'a, yüzey aktif madde konsantrasyonuna ve çözeltinin iyonik gücüne bağlıdır. Katı yüzeylere adsorbe edilen yüzey aktif maddeler, çoklu bileşiklerin ekstraksiyonu için kullanılmıştır (Hashemi vd., 2018; Aly & Górecki, 2020).

Amfifilik yeşil çözücüler olan hidrotroplar, sulu çözeltilerdeki hidrofobik bileşikleri misel çözünürlüğünden başka yollarla çözerler. Tipik olarak hidrofobik kısım ve hidrofilik baştan oluşurlar. Yüzey aktif maddelere benzerler; bununla birlikte, hidrofobik kısım, kendiliğinden toplanma yoluyla bir misel oluşturamayacak kadar küçüktür (Nagarajan vd., 2016). Minimum hidrotrop konsantrasyonu (MHC) olarak bilinen belirli bir konsantrasyonda hidrotroplar toplanabilir. Bu, sulu fazda hidrofobik bileşiklerin çözünürlüğünü artırır. Hidrotroplar toksik değildir, ucuzdur ve kimyasal olarak inerttir ve bu nedenle bazı bileşiklerin ekstraksiyonunda kullanılırlar (Kunz vd., 2016).

3.5. Sıvı Polimerler

Bazı inert polimerler, inorganik reaksiyonlarda uçucu organik bileşiklerin (VOC'ler) alternatifi olarak kullanılabilir (Calvo-Flores vd., 2018). Polietilen glikol (PEG) ve yapısal olarak benzer polipropilen glikol (PPG), en çok çalışılan sıvı polimerlerdir (LP). Sıvı polimerler, ihmal edilebilir uçuculuğa sahiptir. PEG ve PPG, kişisel bakım ürünlerinden gıda katkı maddelerine kadar uzanan ticari uygulamalarla hem kimya hem de biyolojide kullanımları olan polimerlerdir (Clarke vd., 2018).

3.5.1. Polietilen glikol (PEG)

PEG, 300 ile 10.000.000 um arasında değişen moleküler ağırlık aralığında bulunan etilen oksidin polimerizasyonu ile elde edilen bir bileşik ailesidir. Farklı geometrilerde farklı PEG formları mevcuttur: en yaygın olanı doğrusal olmakla birlikte, birkaç zincir bir çekirdek gruba bağlandığında dallı olarak da elde edilebilir. PEG'ler su, metanol, etanol, asetonitril, benzen ve diklorometan gibi birçok organik çözücüde çözünür, heksan ve dietil eterde çözünmez. PEG'ler çok düşük toksisite göstermektedir, bu nedenle birçok farmasötik preparatta ve kozmetikte kullanılmaktadırlar. PEG, yüzey aktif maddeler, yağlayıcı kaplama, boyalar gibi çeşitli ürünlerde veya sanat eserlerinin ve antikaların restorasyonu ve korunmasında kullanılır. PEG, çok iyi bilinen bir faz transfer katalizörüdür ve hem reaksiyon ortamı hem de gaz kromatografisi için sabit faz olarak ucuz, toksik olmayan ve çevre dostu bir çözücüdür. PEG, aminlerin ve tiyollerin konjuge alkenlerinin eklenmesi ve Suzuki, Stille, Sonogashira, Hiyama veya Heck reaksiyonu gibi birçok karbon-karbon bağı oluşturma reaksiyonu gerçekleştirilebilir (Calvo-Flores vd., 2018).

PEG, reaksiyon ortamı olarak kullanılmak üzere yüksek sıcaklıklar veya yardımcı çözücüler (genellikle su) gerektiren düşük erime noktalı mumsu bir katı haline gelir. 600 Da'nın altında PEG, saf haliyle bir çözücü olarak

kullanılabilir (Mansour vd., 2015). 800 Da'nın üzerinde, PEG'ler, eter gruplarının ve terminal hidroksil grubunun hidrasyonu nedeniyle suda yüksek oranda çözünür. Düşük moleküler ağırlıklı PEG, terminal OH gruplarının yoğunluğundaki etkili bir artış nedeniyle daha fazla çözünür. PEG, sulu çözeltilerde gerçekleştirilebilecek reaksiyonların aralığını artırarak, daha geniş bir organik substrat yelpazesinin çözünmesini kolaylaştırarak sulu çözeltilerin polaritesini etkili bir şekilde düşürür. PEG, petrokimya endüstrisinin bir yan ürünü olan etilen glikolden üretilir (Zhu vd., 2016). Selüloz, ksilitol ve sorbitol gibi şekerlerden etilen glikol üretimi, şekerlerin hidroksil gruplarını koruyarak atom açısından ekonomik ve sürdürülebilirdir. Şeker kamışı atığı gibi tarım ürünlerinden elde edilen PEG ticari olarak kullanılmaktadır (Sun & Liu, 2011).

3.5.2. Polipropilen glikol (PPG)

PPG, 2-metil-oksiiranın ve fonksiyonelleştirilmiş bir glikolün polimerizasyonu ile sentezlenen propilen glikolün bir polieteridir (Herzberger vd., 2016). PPG'ler, 200 ila 6000 uma arasında moleküler kütleyle sahip renksiz viskoz sıvılardır. Polipropilen glikol veya PPG terimi, genellikle bir uç hidroksil grubu olan, düşük ile orta değerler arasında molar kütleyle sahip polimerlerdir. Polipropilen oksitler, uç grupların polimer özellikleri üzerinde hiçbir etki yaratmadığı yüksek molar kütleli polimerler için kullanılır ("MAK Values 2012 (PDF komplett)", 2012).

PEG'ye benzer bir şekilde, PPG de bir yeşil çözücü olarak sınıflandırılmaktadır. Birçok poliüretan formülasyonunda, reoloji düzenleyicilerde, yüzey aktif maddelerde, ıslatma maddelerinde, ısı transfer maddelerinde, deri terbiyesinde, boya topları imalatında olmak üzere birçok proste bileşen olarak bulunur. Kozmetik preparatların üretiminde moleküler ağırlığı 1200 um'nin üzerinde olan PPG'ler kullanılmaktadır (Calvo-Flores vd., 2018). Bazı sentetik kimyasal çalışmalarda da PPG çözücü olarak kullanılmıştır. Örneğin, Leininger vd., saf PPG ve PPG/su karışımlarını SN1, SN2 ve Diels-Alder reaksiyonlarında reaksiyon ortamı olarak kullanmıştır. Çevreye zarar vermeyen bu prosesler birçok kimyasal reaksiyon için yeşil alternatifler sunmaktadır (Calvo-Flores vd., 2018; Leininger vd., 2003).

PEG biyolojik olarak kolayca bozunabilir; bununla birlikte, PPG biraz daha düşük biyolojik olarak parçalanabilirliğe sahiptir ve her iki polimer de moleküler ağırlıkları arttıkça daha az biyolojik olarak parçalanabilir hale gelir. Aynı zamanda bir dizi organik çözücüde çözünür, ancak heksan ve $scCO_2$ gibi polar olmayan organik çözücülerde çözünmez (Clarke vd., 2018).

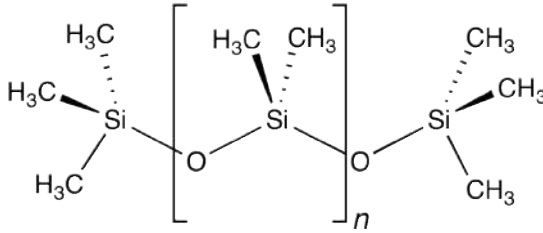
3.5.3. Polidimetilsiloksan (PMDS)

Polidimetilsiloksan (PDMS), organo silikon polimerdir. PDMS ayrıca dimetikon olarak da adlandırılır ve silikon yağı (polimerize siloksan) türlerinden biridir. PDMS, aşağıdaki net reaksiyonla dimetildiklorosilandan sentezlenir (Şekil 5).



Şekil 5. PDMS Sentezi

Şekil 6'daki n için ortalama değer, 90 ile 410 arasında değişmektedir.



Şekil 6. PDMS yapısı

PDMS renksiz, viskoz, inert, non-toksik ve yanıcı olmayan bir maddedir. PDMS suda ve etanolde çözünmez, karbon tetraklorür, benzen, kloroform, dietil eter, toluen ve diğer organik çözücülerde çözünür.

PDMS uygulama alanları; köpük önleyici ajan, gıda, kontakt lenslerde ve tıbbi cihazlarda, ayrıca şampuanlarda (dimetikon saç parlak ve kaygan hale getirir), gıdada (köpük önleyici madde), kalafatlamada, yağlayıcılarda ve ısıya dayanıklı karolarda bulunur. PDMS, göğüs implantlarında dolgu sıvısı olarak da kullanılmıştır, ancak bu uygulama güvenlik sorunları nedeniyle önemli ölçüde azalmıştır (Calvo-Flores vd., 2018).

3.6. Biyolojik Bazlı Çözücüler

Yeşil kimyanın ana hedeflerinden biri, yenilebilir kaynakları yenilebilir olmayanlardan daha iyi kullanmaktır. Şirketler ve bu konuda çalışma yapan araştırmacılar, biyokütleden biyoyakıt ve kimyasal üretmek için çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmalar sonucunda, değerli kimyasallar, yakıt ve diğer malzemelerin üretilmesi konusunda önemli ilerleme kaydedilmiştir

(Calvo-Flores vd., 2018; Carpenter vd., 2014). Günümüzde, petrokimya endüstrisine alternatif olarak bitkisel yağlar ve alglardan biyodizel, şeker ve lignoselülozdan alkol, ligninden polimer, tavuk tüyünden elektronik malzemeler gibi yakıtlar elde etmek mümkündür. Organik çözücüler özelliklerinden dolayı bu konuda yetersiz olduğu için son yıllarda biyokütleden elde edilen biyoçözücülerin endüstriyel ve laboratuvar ölçekli kullanımı için yeni yöntemler geliştirilmektedir.

Biyoçözücüler, mısır, buğday veya pancar gibi karbonhidrat bakımından zengin tarımsal ürünlerden veya atık olarak kabul edilen organik maddelerden elde edilebilir.

Biyokütleden çözücü hazırlamanın üç yolu vardır;

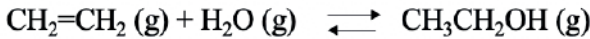
- Fermentasyon,
- Biyokütle türevlerinin kimyasal dönüşümü,
- Diğer proseslerden oluşan atık malzemelerin kullanılmasıdır (Calvo-Flores vd., 2018).

3.6.1. Biyolojik Bazlı Alkoller

Endüstride ve laboratuvarlarda birçok alkol yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alkoller hem petrokimya endüstrisindeki prosedürlerden hem de yenilebilir kaynaklardan elde edilebilir. Bunlar biyolojik bazlı alkoller olarak tanımlanmaktadır ve basit alkoller, glikoller ve polioller bu sınıfa dahildir (Calvo-Flores vd., 2018).

3.6.1.1. Biyoetanol

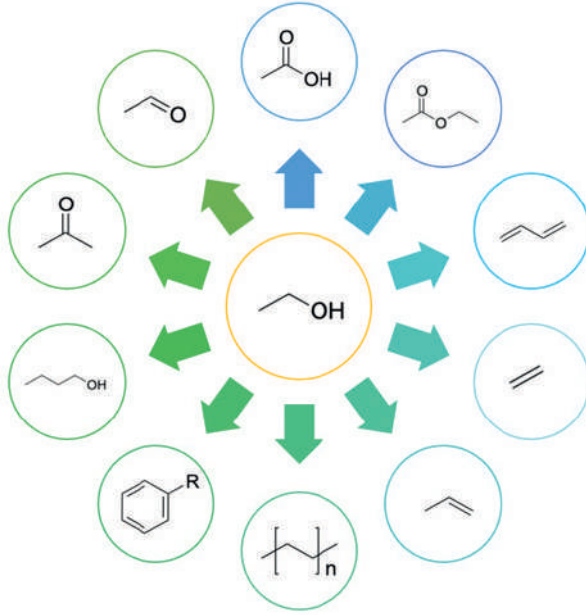
Biyokütle fermantasyonundan elde edilen etanol, en çok kullanılan biyobazlı kimyasallardan biridir ve biyoetanol olarak adlandırılır (Manochio vd., 2017; Taherzadeh vd., 2014). Petrokimya endüstrisinde, Şekil 7'de verilen reaksiyona göre etanol elde edilir (Calvo-Flores vd., 2018).



Şekil 7. Petrokimya endüstrisinde etanol sentezi

Biyoeanol şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, melas, patates ve buğday, arpa, yulaf ve pirinç gibi nişastalı malzemeler, tarımsal atıklar ve odunsu malzemeler gibi lignoselülozik hammaddelerden üretilebilir. Üretim prosesi, önışlem, hidroliz ve fermentasyon basamaklarını içermektedir (Rudolf vd., 2009).

Biyometanol doğrudan yakıt, yakıt katkı maddesi ve organik moleküllerin kimyasal sentezlerinde başlangıç maddesi olarak kullanılır (Şekil 8). Biyometanol, mevcut olan benzinli araç motorlarını değiştirmeden %15 oranında benzine eklenebilir (Calvo-Flores vd., 2018).



Şekil 8. Diğer kimyasalların sentezinde hammadde olarak etanol

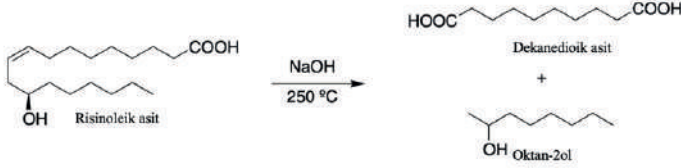
3.6.1.2. Bütan-1-ol

Bütan-1-ol, bütülasetat gibi birçok ürün için çözücü ve sentetik ara madde olarak kullanılan renksiz bir sıvıdır. Bütan-1-ol, petrokimya endüstrisinde aşağıdaki prosesler ile üretilir (Uyttebroek vd., 2015).

- Okso sentezi ile, düşük basınçlarda propenden (hidroformülasyonun ardından oluşan aldehitlerin hidrojenasyonu) %95'e kadarlık verimle bütan-1-ol ve %5 2-metil-1-propanol elde edilir.
- Reppe sentezi ile CO ve H₂O, üçüncül amonyum tuzu veya poli-nükleer demir karbonil hidritler varlığında 0.5-2x10⁶ Pa basınçta ve 100 °C'de propen ile reaksiyona girer.
- Asetaldehitin aldol ile yoğunlaştırılması, dehidrasyon ve krotonaldehitin hidrojenasyonu ile elde edilir (Ndaba vd., 2015).

3.6.1.3. Oktan-2-ol

Oktan-2-ol, düşük toksisiteye sahip renksiz yağlı bir C8 sıvı alkoldür (sıçanlarda oral LD>3.2 g kg⁻¹). Bu biyobazlı alkol, hint yağının ana bileşeni olan risinoleik asidin parçalamaya işlemiyle üretilir (Şekil 9).



Şekil 9. Biyobazlı oktan-2ol üretimi

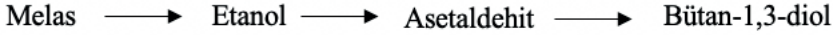
Oktan-2-ol, birçok reçine (izosiyanat, kısa alkid, epoksi vb.), boya, kaplama veya yapıştırıcılar için endüstriyel yeşil çözücü olarak ve nadiren minerallerin ekstraksiyon işlemlerinde kullanılır. Ayrıca köpük azaltıcı ve yağlayıcılar için katkı maddesi olarak da kullanılabilir. Oktan-2-ol, esterlerin (akrilatlar, adipatlar, maleatlar, sebakatlar, palmitatlar, miristatlar), polyesterlerin, ketonların (2-oktanon), etoksillenmiş yağların hazırlanmasında, koku ve aroma üretiminin sentezinde kimyasal bir ara maddedir (Calvo-Flores vd., 2018).

3.6.1.4. Propan-1,3-diol (PDO)

PDO, yüksek kaynama noktası (210 °C) gösteren su ile karışabilen renksiz, viskoz bir sıvıdır. Yapıştırıcı, laminat, kaplama, kalıp, alifatik polyesterler ve kopolyesterlerin (poli trimetilen tereftalat) üretiminde kullanılır. PDO, çeşitli kozmetik, kişisel bakım ve temizlik ürünlerine dönüştürülür. PDO, petrokimya endüstrisinde propilen veya etilen oksit gibi diğer maddelerden üretilir. Bununla birlikte, son yıllarda şirketler mısır gibi yenilenebilir hammaddeler kullanarak PDO'nun biyolojik üretimine yatırım yapmaktadır. Biyo-bazlı PDO, petrol hammaddeleri yerine bitki kaynaklı glikoz kullanılarak tescilli bir fermantasyon işlemiyle DuPont tarafından üretilmektedir (Y. Sun vd., 2014).

3.6.1.5. Bütan-1,3-diol

Bütan-1,3-diol (1,3-bütlen glikol), kokusuz, viskoz, tahriş edici olmayan, antimikrobiyal etki gösteren ve çok düşük toksisite gösteren bir çözücüdür (sıçanlarda oral LD 18.610 mg kg⁻¹). Melas gibi yenilenebilir başlangıç maddelerinden elde edilebilir (Şekil 10).



Şekil 10. Bütan-1,3-diol üretimi

Bütan-1,3-diol, tat ve koku gibi uçucu bileşikleri stabilize ettiği için çoğunlukla gıda aroma maddelerinde çözücü olarak, ayrıca antimikrobiyal özelliklerinden dolayı kozmetik ve farmasötiklerde stabilizatör olarak kullanılır. Bütan-1,3-diol, belirli poliüretan ve polyesterlerin üretiminde ara madde görevi görür (Calvo-Flores vd., 2018; Jiang vd., 2014).

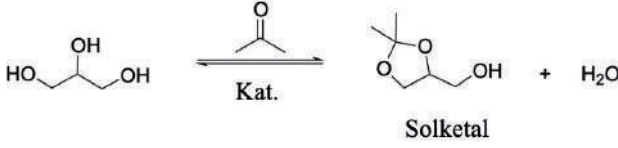
3.6.1.6. Gliserol

Gliserol, doğal olarak oluşan toksik olmayan bir maddedir. Son yıllarda, biyodizel üretimi için atık olarak gliserol üretilmektedir. Saf gliserol, 290 °C kaynama noktasına sahip, renksiz ve tatlı bir tadı olan viskoz bir sıvıdır. Gliserol, gıda endüstrisinde katkı maddesi, nemlendirici, koruyucu veya tatlandırıcı olarak ve birçok farmasötik üretim ve kozmetikte kullanılır (Tan vd., 2013). Gliserol, kimya endüstrisinde kimyasal madde üretimi için de önemli bir hale gelmiştir (Pagliaro vd., 2007).

Gliserol, toksik değildir (sıçanlarda oral LD 12.600 mg kg⁻¹), biyolojik olarak parçalanabilir ve özel bir kullanım önlemi veya depolama gerektirmeyen yanıcı olmayan bir maddedir, normal atmosfer basıncı altında uçucu değildir ve yüksek kaynama noktasına sahiptir (290 °C). Gliserol birçok inorganik tuz, asit, baz, enzim ve bazı geçiş metal kompleksleri için çözücü olarak kullanılabilir. Polaritesine rağmen, suda zayıf şekilde karışabilen organik bileşikler çözebilir. Reaksiyon ortamında su, dimetilsülfoksit (DMSO) ve dimetilformamid (DMF) gibi çözücülere benzer ve reaksiyon ürünlerinin basit sıvı-sıvı ekstraksiyonu ile elde edilmesini sağlar. Gliserol, geleneksel VOC'ler ile düşük bir çözünürlük gösterir ve birçok durumda bazı ILLere benzer özellikler gösterir, ancak daha düşük fiyata (Díaz-Álvarez vd., 2014; Pagliaro vd., 2007).

3.6.1.7. Solketal

Gliserol asetal veya ketal türevleri çözücü özellikleri göstermektedir. Gliserolün (2,2-dimetil-1,3-dioksolan-4-il)metanol) izopropilden asetal türevi solketal olarak bilinir ve asidik kataliz altında gliserol ve asetonan hazırlanabilir (Şekil 11) (J. I. García vd., 2010; Mota vd., 2010).



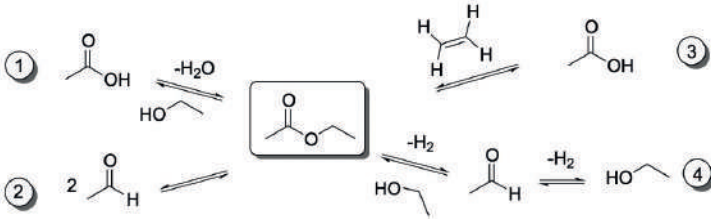
Şekil 11. Solketal sentezi

Solketal, su ile benzer yoğunlukta (1.063 g mL^{-1}) suda çözünür, renksiz ve kokusuz bir sıvıdır. Solketal, yüksek kaynama noktası ($188 \text{ }^\circ\text{C}$), düşük buhar basıncı ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve 0.16 Torr 'da) ve çok düşük toksisiteye sahiptir ($\text{LD } 507 \text{ g kg}^{-1}$). Solketal, boya uygulamalarında çözücü, mürekkep, temizlik ürünleri, soğutucu maddeler, ilaçlar ve böcek ilaçları vb. için kontrollü dağıtım sistemleri gibi endüstriyel ürünlerin hazırlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Solketalin reaksiyon ortamı olarak kullanımı, asidik ortamda az kararlı olmaları nedeniyle oldukça sınırlıdır, ancak nötr veya bazik ortamlarda kullanılabilir (Mota vd., 2010; Ozorio vd., 2012).

3.6.2. Biyobazlı Esterler ve İlgili Bileşikler

3.6.2.1. Etil Asetat

Etil asetat, sıvı-sıvı ekstraksiyonu, kromatografik ayırmalar, organik sentez ortamı ve birçok ürün için başlangıç maddesi gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılan organik bir çözücüdür. Baskı mürekkepleri, vernikler, yapıştırıcılar veya araba bakım kimyasalları gibi bazı ticari ürünlerde etil asetat bulunmaktadır, bununla birlikte emaye, plastik veya kauçuk üretiminde de kullanılır. Etil asetat, gıda endüstrisinde esans, aroma ve parfümlerin hazırlanmasında veya ilaç endüstrisinde birçok ürünün saflaştırılmasında uygulanır. Etil asetatın ana üretim yöntemleri (i) esterifikasyon, (ii) asetaldehit kondenzasyonu, (iii) etilen ilavesi ve (iv) etanol dehidrojenasyonudur (Şekil 12).

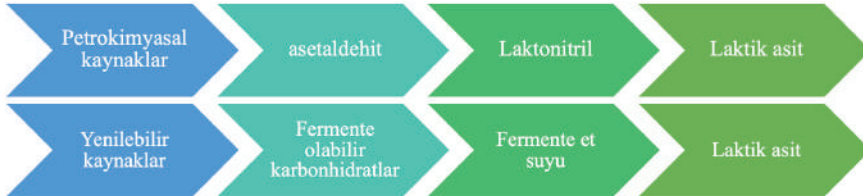


Şekil 12. Etilasetat üretimi

Etanol dehidrojenasyonu, 250 °C'nin altındaki yüksek sıcaklıklarda bakır katalizör ile gerçekleştirilir. Dehidrojenasyon yan ürünleri arasında dietil eter, asetaldehit ve aldol ürünleri bulunur. Son yıllarda etil asetat, geleneksel çözücülere kıyasla daha düşük toksisitesi ve tehlikesi nedeniyle daha çevreci bir alternatif olarak kabul ediliyor. Benzen veya metil etil keton ve etil asetat/ etanol karışımlarının yerini alabilir ve ayrıca kromatografik ayırmalarda diklorometana yeşil bir alternatif olarak kullanılabilir (Calvo-Flores vd., 2018).

3.6.2.2. Laktik asit ve Laktat

Laktat türevleri yeşil çözücü olarak oldukça büyük bir potansiyel göstermiştir. Laktatlar, boya, zambak, yağ, deterjan gibi ticari ürünlerde toluen, aseton veya ksilen gibi geleneksel çözücüler için iyi ikamelerdir, laktik asitten elde edilirler ve düşük toksisiteleri nedeniyle gıda katkı maddesi olarak da kullanılabilirler. Laktik asit, ilk kez 1780'de ekşi süttten izole edilen bir moleküldür. 1856'da Pasteur, laktik asit oluşumundan sorumlu *Lactobacillus* bakterisini keşfetmiştir. Laktik asidin endüstriyel üretimi 1895 yılında Alman "Boehringer Ingelheim" şirketi tarafından başlamıştır. Laktik asit, kimyasal veya biyoteknolojik işlemlerle üretilebilir (Şekil 13) (Ghaffar vd., 2014).



Şekil 13. Laktik asit üretimi

Laktik asit, çok düşük toksisiteye sahip (sıçanlarda oral LD 3543 mg kg⁻¹) düşük erime noktalı bir maddedir (53 °C). Bu nedenle, birçok kişisel bakım ürününün bir bileşeni olarak pH düzenleyici, nemlendirici veya cilt aydınlatıcı olarak kullanılabilir. Öte yandan, laktik asit sentetik kimyada önemli bir rol oynar. Birçok önemli kimyasalın sentezi için kullanılır. (Dusselier vd., 2013).

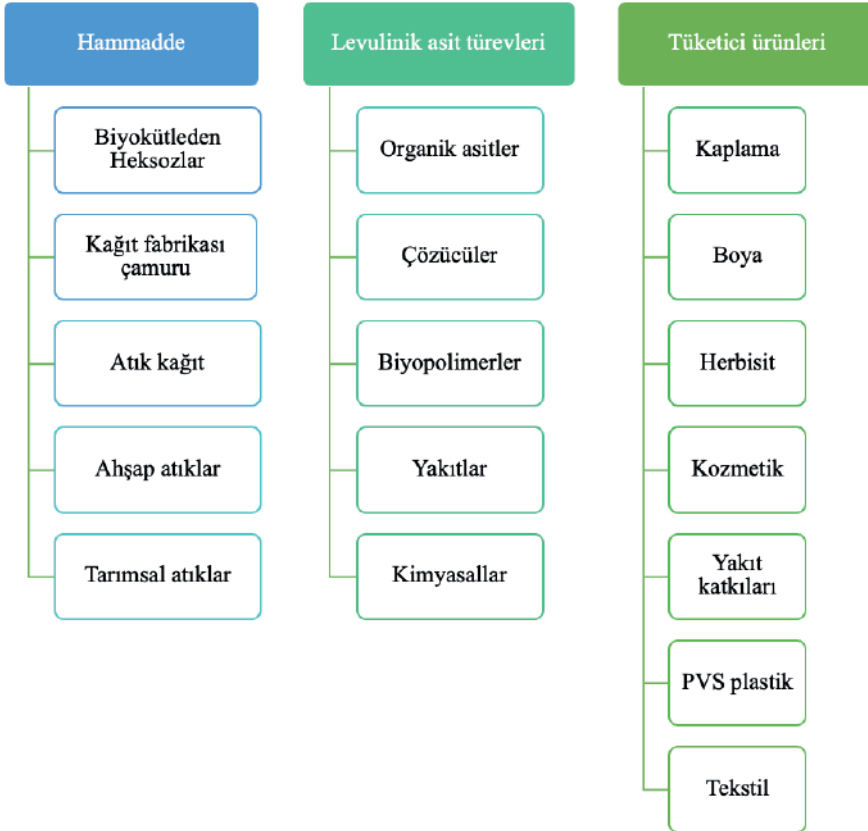
Etil, propil ve butil laktat gibi düşük moleküler ağırlıklı alkollerin laktik asit esterleri yeşil çözücüler olarak kabul edilir. Biyolojik olarak parçalanabilirler, yüksek kaynama noktası, düşük yüzey gerilimi ve düşük buhar basıncı özelliklerinden dolayı endüstriyel kullanımları mevcuttur. Böylece boya, vernik, zambak, yağ, deterjan, gıda katkı maddeleri, kozmetik,

ilaç vb. ürünlerin bileşeni olarak uygulanmaktadır. Etil laktat en çok kullanılan esterdir. Biyolojik kaynaklardan üretilir ve laktik asidin kaynağı olan mikroorganizmaya bağlı olarak S veya R izomeri olabilir. 151–155 °C'lik kaynama noktası, aseton, ksilen, metil etil keton (MEK), toluen veya diğer zararlı çözücülerin yerini almasına izin verir (Calvo-Flores vd., 2018).

3.6.3. Esterler ve İlgili Bileşikler

3.6.3.1. Levulinik Asitten γ -Valerolakton ve 2-Metil-THF

γ -Valerolakton ve 2-metil-THF, levulinik asitten (4-okso-pentanoik asit) üretilen alternatif çözücülerdir. Levulinik asit, biyoyakıtların ve diğer birçok kimyasalın üretiminde kullanılan lignoselülozdan üretilen biyobazlı bir üründür. Şekil 14, levulinik asit üretim yöntemlerini ve kullanım alanlarını göstermektedir (Climent vd., 2014).



Şekil 14. Levulinik asit üretim metodları ve kullanım alanları

2-MeTHF, toluene benzer özellikler göstermektedir, bu yüzden organometalik bileşikler ve metal hidritler, organokatalitik reaksiyonlar, biyotransformasyonlar ve lignoselülozik maddelerin işlenmesinde 2-MeTHF kullanılabilir (Calvo-Flores vd., 2018).

3.6.4. Karbonhidratlardan Elde Edilen Yeşil Çözücüler: Cyrene, Dimetilizosorbozit (DMI)

Dihidrolevoglukozenon (siren), atık selülozdan iki aşamada elde edilebilen biyo-bazlı bir çözücüdür ve ticari olarak mevcuttur (Şekil 17) (Sherwood vd., 2014).



Şekil 17. Siren sentezi

Siren, sülfolan, DMF veya NMP (N-metilpirolidin) gibi dipolar aprotik çözücülere alternatif olarak bazı reaksiyonlarda başarılı bir şekilde kullanılan kiral dipolar aprotik çözücüdür. Zayıf asitlerin varlığında nispeten kararludur ve yükseltgeyicilerin varlığında kararsızdır. Siren, levoglukozenon bileşikler ailesine aittir (Alves Costa Pacheco vd., 2016).

İzosorbid dimetil eter (dimetil izosorbid), çok düşük akut toksisiteye sahip olduğu ve D-glikoz hidrojenasyonu ile üretilen D-sorbitol gibi yenilenebilir bir hammaddeden sentezlendiği için yeşil bir çözücü olarak düşünülebilir (Tundo vd., 2010). DMI, yüksek bir kaynama noktası (235 °C) ve organik bileşiklerden daha fazla suya afinitesi nedeniyle ihmal edilebilir bir biyobirikim gösterir. Yüksek kaynama noktası nedeniyle, DMSO veya DMF gibi geleneksel yüksek kaynama noktalı çözücülerin ikamesidir (Aricò & Tundo, 2016).

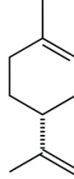
3.7. Endüstriyel Biyobozunur Çözücüler

Çözücüler, çözücü (saf veya karışım) olarak kullanılan sayısız madde ve uygulamaları ile endüstride en çok kullanılan ürün ailelerinden biridir. Yaygın endüstriyel çözücüler hem insanlar hem de çevre için tehlikelidir. Dünyanın her yerinde mevcut olan düzenleyici yasalar, insanlara ve çevreye yönelik riskleri azaltmak için yaygın endüstriyel çözücüler için uygun ikamelerin kullanılmasını teşvik etmektedir. Piyasada klor gibi tehlikeli maddeler

içermeyen, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen birçok endüstriyel çözücü bulunmaktadır (Cheremisinoff & Archer, 2003).

3.7.1. D-Limonen

Limonen (Şekil 18), iki stereoizomeri olan kiral siklik terpendir.

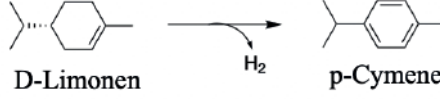


Şekil 18. D-Limonen yapısı

R izomeri en bol olanıdır ve güçlü bir portakal kokusuna sahiptir (genellikle D-limonen olarak adlandırılır). D-Limonene, portakalların kabuklarından elde edilen renksiz bir sıvı siklik terpendir. Toksik olmayan bir madde olan D-Limonene, FDA (Food and Drug Administration) tarafından genel olarak güvenli olarak kabul edilir ve bu nedenle gıda ile temas uygulamalarında kullanım için onaylanmıştır. US EPA tarafından da inert bir bileşen olarak onaylanmıştır. Kolayca temin edilebildiği için gıda ve kozmetik endüstrisinde aroma olarak ve temizleyiciler için birçok formülasyonda yıllardır kullanılmaktadır. D-Limonen biyolojik olarak parçalanabilir özelliğinden dolayı çevre dostudur ve ozon tabakasına zarar veren kimyasallar içermez. D-Limonen, temizlik amacıyla çözücü olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır ve doğal ürünlerin ekstraksiyonunda DCM, toluen veya heksan gibi çözücülerin yerine kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Chemat vd., 2012).

3.7.2. p-Cymene

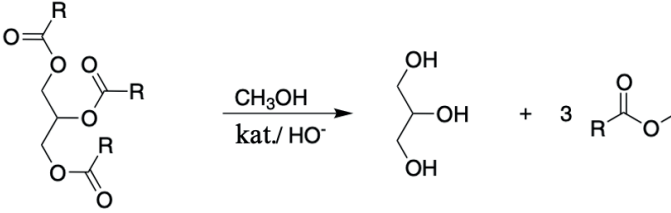
p-Cymene, kokuların, tatlandırıcıların, herbisitlerin, farmasötiklerin ve p-kresolün sentezi için endüstriyel bir ara madde görevi gören doğal olarak oluşan aromatik bir organik bileşiktir. p-Cymene, hafif hoş bir kokuya sahip renksiz bir sıvıdır. p-Cymene, geleneksel hazırlanması, bir asit katalizörü olarak $AlCl_3$ veya izopropil alkol ile toluen kullanılarak benzenin metil ve izopropil halojenürler ile Friedel-Crafts tarafından alkilasyonuna dayanır. Bununla birlikte, p-cymene limonenden sıralı izomerizasyon (Şekil 19) ve limonenin dehidrojenasyonu ile de elde edilebilir (Clark vd., 2012; Martín-Luengo vd., 2008).



Şekil 19. D-Limonenden p-Cymene eldesi

3.7.3. Metil Soyatlar

Metil soyatlar, bazik kataliz altında soya yağının metanol ile transesterifikasyonu ile elde edilen yağ asidi metil esterleridir (Şekil 20).



Şekil 20. Metil soyat sentezi

Aslında metil soyatlar, endüstriyel çözücü olarak yakıt yerine kullanılan biyodizeldir. Bu biyobazlı çözücü, biyolojik olarak parçalanabilmesi, düşük VOC'ler üretmesi ve insanlar için toksik olmaması nedeniyle yeşil çözücü özellikleri gösterir, bu nedenle Tehlikeli Hava Kirlenici (HAP) olarak listelenmez. Tek başına veya ticari formülasyonların bir parçası olarak tüm yüzeylerdeki kiri, tozu ve yağı temizlemek için çok amaçlı temizleyici veya yağ çözücü olarak kullanılabilir. Örneğin, duvarlardaki grafiti, işlenmemiş beton yüzeylerden toprağı veya motor gibi endüstriyel parçaları temizler. Toksik olmayan bir kimyasal olarak metil soyatlar, ellerdeki yağ, kir, boya ve mürekkebi sabun kullanmadan güvenli bir şekilde susuz olarak çıkarmak için kullanılabilir ve ekstraksiyon işlemleri için de çalışılmaktadır (Rajagopal, 2014; Srinivas vd., 2009).

3.8. SONUÇ

Kimya sektörünün geleceği tasarlanırken karşılaşılan bilimsel soru, kimya endüstrisi ürünlerinin gerekli olup olmayacağı değildir, asıl soru, sürdürülebilir bir Dünya için ihtiyaç duyulan sentetik kimyasalların karakteri, doğası ve üretim süreçlerinin ne olacağıdır. Günümüzde kimya sektöründe,

çoğunlukla fosil ve doğası gereği sonlu olan reaktiflerin üretim zincirine iletildiği hammaddeler kullanılmaktadır. Bu işlemlerin birçoğu, özellikle ürün karmaşıklığı arttıkça amaçlanan üründen daha yüksek oranlarda atık üretir.

Kimya endüstrisi ürünlerinin sağladığı birçok işleve duyulan ihtiyaç göz önüne alındığında, iki soru önemlidir;

- i- Performanstaki ilerlemeleri nasıl sürdürür ve büyük ölçüde genişletiriz?
- ii- İnsan ve gezegen refahının sürdürülebilirliğini tehdit eden zararlı etkileri nasıl sınırlandırır ya da ortadan kaldıracakları?

“Yeşil kimya” ve “yeşil mühendislik” alanları ile kimyasalların olumsuz etkileri azaltılırken, bu kimyasallardan daha verimli sonuçlar ve işlevsellik elde edilebilmektedir. Bu konuda başarı elde edebilmek için yalnızca kimyasal ürünlerin üretildiği ve kullanıldığı koşulların değiştirilmesi değil, aynı zamanda hammaddeden uygulamaya kadar tüm süreç boyunca kimyasal ürünlerin ve reaktiflerin doğal yapısının da değiştirilmesi gerekir. Bu durum, yalnızca moleküllerin içsel özelliklerinin ve dönüşümlerinin iyi düşünülerek tasarlanmasıyla gerçekleştirilebilir. Bu yüzden hem laboratuvar uygulamaları hem de endüstriyel alandaki ürünlerin ilk basamağı olan çözücülerin kullanımında yeşil ikameler seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abbott, A. P., Al-Barzinjy, A. A., Abbott, P. D., Frisch, G., Harris, R. C., Hartley, J., & Ryder, K. S. (2014). Speciation, physical and electrolytic properties of eutectic mixtures based on $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and urea. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16(19), 9047-9055. <https://doi.org/10.1039/c4cp00057a>
- Abbott, A. P., Capper, G., Davies, D. L., & Rasheed, R. K. (2004). Ionic liquid analogues formed from hydrated metal salts. *Chemistry - A European Journal*, 10(15), 3769-3774. <https://doi.org/10.1002/chem.200400127>
- Abbott, A. P., Capper, G., Davies, D. L., Rasheed, R. K., & Tambyrajah, V. (2003). Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures. *Chemical Communications*, 1, 70-71. <https://doi.org/10.1039/b210714g>
- Abdussalam-Mohammed, W., Ali, A. Q., & Errayes, A. O. (2020). Green Chemistry: Principles, Applications, and Disadvantages. *Chemical Methodologies*, 4(4), 408-423. <https://doi.org/10.33945/sami/chemm.2020.4.4>
- Alves Costa Pacheco, A., Sherwood, J., Zhenova, A., McElroy, C. R., Hunt, A. J., Parker, H. L., Farmer, T. J., Constantinou, A., de bruyn, M., Whitwood, A. C., Raverty, W., & Clark, J. H. (2016). Intelligent Approach to Solvent Substitution: The Identification of a New Class of Levoglucosenone Derivatives. *ChemSusChem*, 9(24), 3503-3512. <https://doi.org/10.1002/cssc.201600795>
- Aly, A. A., & Górecki, T. (2020). Green approaches to sample preparation based on extraction techniques. *Molecules*, 25(7), 1-33. <https://doi.org/10.3390/molecules25071719>
- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green Chemistry: Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301-312. <https://doi.org/10.1039/b918763b>
- Ardatürk, A. Ş. (2022). Bir tasarım stratejisi olarak işleri zorlaştırmak; Bilbao örneği. Murat D. (Ed.), *Mimarlık Bilimlerinde Güncel Konular-2022 içinde* (pp. 93-109). Lyon: Livre de Lyon
- Aricò, E., & Tundo, P. (2016). Isosorbide and dimethyl carbonate: A green match. *Beilstein Journal of Organic Chemistry* (12), 2256-2266. <https://doi.org/10.3762/bjoc.12.218>
- Armenta, S., Garrigues, S., Esteve-Turrillas, F. A., & de la Guardia, M. (2019). Green extraction techniques in green analytical chemistry. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, (116), 248-253. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.03.016>
- Beach, E. S., Cui, Z., & Anastas, P. T. (2009). Green Chemistry: A design framework for sustainability. *Energy and Environmental Science*, 2(10), 1038-1049. <https://doi.org/10.1039/b904997p>

- Boldrini, C. L., Quivelli, A. F., Manfredi, N., Capriati, V., & Abboto, A. (2022). Deep Eutectic Solvents in Solar Energy Technologies. *Molecules*, 27(3), 1-20. <https://doi.org/10.3390/molecules27030709>
- Calvo-Flores, F. G., & Mingorance-Sánchez, C. (2021). Deep Eutectic Solvents and Multicomponent Reactions: Two Convergent Items to Green Chemistry Strategies. *ChemistryOpen*, 10(8), 815-829. <https://doi.org/10.1002/open.202100137>
- Calvo-Flores, F. G., Monteagudo-Arrebola, M. J., Dobado, J. A., & Isac-García, J. (2018). Green and Bio-Based Solvents. *Topics in Current Chemistry*, 376(3), 1-40. <https://doi.org/10.1007/s41061-018-0191-6>
- Carpenter, D., Westover, T. L., Czernik, S., & Jablonski, W. (2014). Biomass feedstocks for renewable fuel production: A review of the impacts of feedstock and pretreatment on the yield and product distribution of fast pyrolysis bio-oils and vapors. *Green Chemistry*, 16(2), 384-406. <https://doi.org/10.1039/c3gc41631c>
- Chemat, S., Tomao, V., & Chemat, F. (2012). Limonene as green solvent for extraction of natural products. *Green Solvents I: Properties and Applications in Chemistry* (ss. 175-186). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1712-1_5
- Cheremisinoff, N. P., & Archer, W. L. (2003). *Industrial solvents handbook*. Marcel Dekker.
- Clark, J. H., Macquarrie, D. J., & Sherwood, J. (2012). A quantitative comparison between conventional and bio-derived solvents from citrus waste in esterification and amidation kinetic studies. *Green Chemistry*, 14(1), 90-93. <https://doi.org/10.1039/c1gc16299c>
- Clarke, C. J., Tu, W. C., Levers, O., Bröhl, A., & Hallett, J. P. (2018). Green and Sustainable Solvents in Chemical Processes. *Chemical Reviews*, 118(2), 747-800. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00571>
- Climont, M. J., Corma, A., & Iborra, S. (2014). Conversion of biomass platform molecules into fuel additives and liquid hydrocarbon fuels. *Green Chemistry*, 16(2), 516-547. <https://doi.org/10.1039/c3gc41492b>
- Díaz-Álvarez, A. E., Francos, J., Crochet, P., & Cadierno, V. (2014). *Send Orders for Reprints to reprints@benthamscience.net Recent Advances in the Use of Glycerol as Green Solvent for Synthetic Organic Chemistry*.
- Dusselier, M., van Wouwe, P., Dewaele, A., Makshina, E., & Sels, B. F. (2013). Lactic acid as a platform chemical in the biobased economy: The role of chemocatalysis. *Energy and Environmental Science*, 6(5), 1415-1442. <https://doi.org/10.1039/c3ee00069a>

- García, G., Aparicio, S., Ullah, R., & Atilhan, M. (2015). Deep eutectic solvents: Physicochemical properties and gas separation applications. *Energy and Fuels*, 29(4), 2616-2644.
<https://doi.org/10.1021/ef5028873>
- García, J. I., García-Marín, H., Mayoral, J. A., & Pérez, P. (2010). Green solvents from glycerol. Synthesis and physico-chemical properties of alkyl glycerol ethers. *Green Chemistry*, 12(3), 426-443.
<https://doi.org/10.1039/b923631g>
- Ghaffar, T., Irshad, M., Anwar, Z., Aqil, T., Zulifqar, Z., Tariq, A., Kamran, M., Ehsan, N., & Mehmood, S. (2014). Recent trends in lactic acid biotechnology: A brief review on production to purification. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 7(2), 222-229.
<https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.03.002>
- Ghandi, K. (2014). A Review of Ionic Liquids, Their Limits and Applications. *Green and Sustainable Chemistry*, 04(01), 44-53.
<https://doi.org/10.4236/gsc.2014.41008>
- Gurkan, B., Squire, H., & Pentzer, E. (2019). Metal-Free Deep Eutectic Solvents: Preparation, Physical Properties, and Significance. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 10(24), 7956-7964.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.9b01980>
- Halder, A. K., & Cordeiro, M. N. D. S. (2019). Probing the Environmental Toxicity of Deep Eutectic Solvents and Their Components: An in Silico Modeling Approach. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(12), 10649-10660. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01306>
- Hashemi, B., Zohrabi, P., & Dehdashtian, S. (2018). Application of green solvents as sorbent modifiers in sorptive-based extraction techniques for extraction of environmental pollutants. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, (109), 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.09.026>
- Hayyan, M., Mbous, Y. P., Looi, C. Y., Wong, W. F., Hayyan, A., Salleh, Z., & Mohd-Ali, O. (2016). Natural deep eutectic solvents: cytotoxic profile. *SpringerPlus*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2575-9>
- Herzberger, J., Niederer, K., Pohlit, H., Seiwert, J., Worm, M., Wurm, F. R., & Frey, H. (2016). Polymerization of ethylene oxide, propylene oxide, and other alkylene oxides: Synthesis, novel polymer architectures, and bio-conjugation. *Chemical Reviews*, 116(4), 2170-2243.
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00441>
- Ivanković, A. (2017). Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 6(3), 39. <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20170603.12>

- Jiang, Y., Liu, W., Zou, H., Cheng, T., Tian, N., & Xian, M. (2014). Microbial production of short chain diols. *Microbial Cell Factories*, 13(1).
<https://doi.org/10.1186/s12934-014-0165-5>
- Keith, L. H., Gron, L. U., & Young, J. L. (2007). Green analytical methodologies. *Chemical Reviews*, 107(6), 2695-2708.
<https://doi.org/10.1021/cr068359e>
- Kohli, R. (2018). Applications of ionic liquids in removal of surface contaminants. *Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques*, (11), 619-680.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815577-6.00016-5>
- Krossing, I., Slattery, J. M., Daguene, C., Dyson, P. J., Oleinikova, A., & Weingärtner, H. (2006). Why are ionic liquids liquid? A simple explanation based on lattice and solvation energies. *Journal of the American Chemical Society*, 128(41), 13427-13434. <https://doi.org/10.1021/ja0619612>
- Kunz, W., Holmberg, K., & Zemb, T. (2016). Hydrotropes. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, (22), 99-107.
<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2016.03.005>
- Leininger, N. F., Clontz, R., Gainer, J. L., & Kirwan, D. J. (2003). Polyethylene glycol-water and polypropylene glycol-water solutions as benign reaction solvents. *Chemical Engineering Communications*, 190(4), 431-444.
<https://doi.org/10.1080/00986440302082>
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N. R., & John, R. P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. İçinde *Bioresource Technology*, 101(22), 8493-8501.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.092>
- MAK Values 2012 (PDF komplett). (2012). *List of MAK and BAT Values 2012* (ss. 1-298). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527666034.oth01>
- Manochio, C., Andrade, B. R., Rodriguez, R. P., & Moraes, B. S. (2017). Ethanol from biomass: A comparative overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (80), 743-755. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.063>
- Mansour, F. R., Zhou, L., & Danielson, N. D. (2015). Applications of Poly(Ethylene)Glycol (PEG) in Separation Science. *Chromatographia*, 78(23-24), 1427-1442). <https://doi.org/10.1007/s10337-015-2983-y>
- Marcus, Y. (2019). *Deep Eutectic Solvents*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-00608-2>
- Martín-Luengo, M. A., Yates, M., Martínez Domingo, M. J., Casal, B., Iglesias, M., Esteban, M., & Ruiz-Hitzky, E. (2008). Synthesis of p-cymene from limonene, a renewable feedstock. *Applied Catalysis B: Environmental*, 81(3-4), 218-224. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2007.12.003>

- Milani, G., Vian, M., Cavalluzzi, M. M., Franchini, C., Corbo, F., Lentini, G., & Chemat, F. (2020). Ultrasound and deep eutectic solvents: An efficient combination to tune the mechanism of steviol glycosides extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105255>
- Moradi, M., & Yamini, Y. (2012). Surfactant roles in modern sample preparation techniques: A review. *Journal of Separation Science* 35(18), 2319-2340. <https://doi.org/10.1002/jssc.201200368>
- Mota, C. J. A., da Silva, C. X. A., Rosenbach, N., Costa, J., & da Silva, F. (2010). Glycerin derivatives as fuel additives: The addition of glycerol/acetone ketal (solketal) in gasolines. *Energy and Fuels*, 24(4), 2733-2736. <https://doi.org/10.1021/ef9015735>
- Nagarajan, J., Wah Heng, W., Galanakis, C. M., Nagasundara Ramanan, R., Raghunandan, M. E., Sun, J., Ismail, A., Beng-Ti, T., & Prasad, K. N. (2016). Extraction of phytochemicals using hydrotropic solvents. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 51(7), 1151-1165. <https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1143842>
- Ndaba, B., Chiyanzu, I., & Marx, S. (2015). N-Butanol derived from biochemical and chemical routes: A review. *Biotechnology Reports*, (8), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.08.001>
- Ozorio, L. P., Pianzolli, R., Beatriz, M., Mota, S., & Mota, C. J. A. (2012). Reactivity of Glycerol/Acetone Ketal (Solketal) and Glycerol/Formaldehyde Acetals toward Acid-Catalyzed Hydrolysis. *Article J. Braz. Chem. Soc.*, 23(5), 931-937.
- Pace, V., Hoyos, P., Castoldi, L., Domínguez De María, P., & Alcántara, A. R. (2012). 2-Methyltetrahydrofuran (2-MeTHF): A biomass-derived solvent with broad application in organic chemistry. *ChemSusChem*, 5(8), 1369-1379. <https://doi.org/10.1002/cssc.201100780>
- Pagliaro, M., Ciriminna, R., Kimura, H., Rossi, M., & della Pina, C. (2007). From glycerol to value-added products. *Angewandte Chemie - International Edition*, 46(24), 4434-4440. <https://doi.org/10.1002/anie.200604694>
- Paiva, A., Craveiro, R., Aroso, I., Martins, M., Reis, R. L., & Duarte, A. R. C. (2014). Natural deep eutectic solvents - Solvents for the 21st century. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2(5), 1063-1071. <https://doi.org/10.1021/sc500096j>
- Palumbo, O., Trequatrini, F., Navarra, M. A., Brubach, J. B., Roy, P., & Paolone, A. (2017). Tailoring the physical properties of the mixtures of ionic liquids: A microscopic point of view. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(12), 8322-8329. <https://doi.org/10.1039/c7cp00850c>
- Rajagopal, R. (Chemical technologist). (2014). *Sustainable Value Creation in the Fine and Speciality Chemicals Industry*. Wiley.

- Rocha, F. R. P., Nóbrega, J. A., & Fatibello Filho, O. (2001). Flow analysis strategies to greener analytical chemistry. An overview. *Green Chemistry*, 3(5), 216-220. <https://doi.org/10.1039/b103187m>
- Rudolf, A., Karhumaa, K., & Hahn-Hägerdal, B. (2009). Ethanol production from traditional and emerging raw materials. *Yeast Biotechnology: Diversity and Applications*, 489-513. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8292-4_23
- Santana-Mayor, Á., Rodríguez-Ramos, R., Herrera-Herrera, A. v., Socas-Rodríguez, B., & Rodríguez-Delgado, M. Á. (2021). Deep eutectic solvents. The new generation of green solvents in analytical chemistry. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, (134). <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116108>
- Sheldon, R. A. (2018). Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(1), 32-48. American <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03505>
- Sherwood, J., de bruyn, M., Constantinou, A., Moity, L., McElroy, C. R., Farmer, T. J., Duncan, T., Raverty, W., Hunt, A. J., & Clark, J. H. (2014). Dihydrolevoglucosenone (Cyrene) as a bio-based alternative for dipolar aprotic solvents. *Chemical Communications*, 50(68), 9650-9652. <https://doi.org/10.1039/c4cc04133j>
- Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. *Chemical Reviews*, 114(21), 11060-11082. <https://doi.org/10.1021/cr300162p>
- Srinivas, K., Potts, T. M., & King, J. W. (2009). Characterization of solvent properties of methyl soyate by inverse gas chromatography and solubility parameters. *Green Chemistry*, 11(10), 1581-1588. <https://doi.org/10.1039/b913050k>
- Sun, J., & Liu, H. (2011). Selective hydrogenolysis of biomass-derived xylitol to ethylene glycol and propylene glycol on supported Ru catalysts. *Green Chemistry*, 13(1), 135-142. <https://doi.org/10.1039/c0gc00571a>
- Sun, Y., Ma, C., Fu, H., Mu, Y., & Xiu, Z. (2014). Strains 11.3.2 Fermentation 11.3.2.1 Substrate and Co-substrate 11.3.2.2 Metabolic Regulation 11.3.2.3 Operation Modes 11.3.2.4 By-products 11.3.3 Bioprocess Optimization and Control 11. *Bioconversion of Glycerol into* (C. 1, Sayı 3).
- Taherzadeh, M. J., Lennartsson, P. R., Teichert, O., & Nordholm, H. (2014). 8 Bioethanol Production Processes. İçinde *Biofuels Production*.
- Tan, H. W., Abdul Aziz, A. R., & Aroua, M. K. (2013). Glycerol production and its applications as a raw material: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (27), 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.035>
- Tang, S. L. Y., Smith, R. L., & Poliakoff, M. (2005). Principles of green chemistry: Productively. *Green Chemistry*, 7(11), 761-762.

<https://doi.org/10.1039/b513020b>

Trost, B. M. (1991). Times to The Atom Economy A Search for Synthetic Efficiency. *Chron* 18(153). Knox. www.sciencemag.org

Tundo, P., Aricò, F., Gauthier, G., Rossi, L., Rosamilia, A. E., Bevinakatti, H. S., Sievert, R. L., & Newman, C. P. (2010). Green synthesis of dimethyl isosorbide. *ChemSusChem*, 3(5), 566-570.

<https://doi.org/10.1002/cssc.201000011>

Uyttebroek, M., van Hecke, W., & Vanbroekhoven, K. (2015). Sustainability metrics of 1-butanol. *Catalysis Today*, 239, 7-10.

<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.10.094>

Zhekenov, T., Toksanbayev, N., Kazakbayeva, Z., Shah, D., & Mjalli, F. S. (2017). Formation of type III Deep Eutectic Solvents and effect of water on their intermolecular interactions. *Fluid Phase Equilibria*, 441, 43-48.

<https://doi.org/10.1016/j.fluid.2017.01.022>

Zhu, Y., Romain, C., & Williams, C. K. (2016). Sustainable polymers from renewable resources. *Nature* 540(7633), 354-362.

<https://doi.org/10.1038/nature21001>

Briket Üretiminde Uçucu Kül ve Taş yünü Atıklarının Kullanımının Araştırılması

Mustafa Eken¹

Özet

Termik santrallerin bir yan ürünü olarak adlandırılan uçucu küller atık olarak santrallerde depolanma sorunu ve çevresel kirliliğine neden olmaktadır. Bu çalışmada uçucu küllün çimento ikame malzemesi olarak kullanıldığı ve atık taş yünlerinin eklenmesi ile briket üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Çimento yerine %30 oranında uçucu kül, pomza agregası yerine %5-10-15 oranlarında atık taş yünleri eklenerek briket üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen briket numuneleri üzerinde ısı iletkenlik ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda uçucu kül ve atık taş yün katkılı briket numunelerin üretilmesi ile literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1. Giriş

Dünyada en çok kullanılan yapı malzemesi grubu içerisinde yer alan betonun mekanik ve teknolojik özelliklerinin geliştirilmesi ile ilgili sürekli farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Özellikle betonun birim hacim ağırlığının düşürülmesi ve hafif beton ile ilgili çalışmalar son yıllarda gelişerek önemini arttırmış, birçok alanda uygulanması ile de geniş kullanım alanına sahip olacağı belirtilmiştir [1-2]. Hafif beton üretiminde hafif agregaların kullanılmasının temel unsur alındığı, birim hacim ağırlığının düşük, teknolojik özellikleri yüksek bir yapı malzemesi olarak tanımlamak mümkündür [3]. Literatürde hafif beton ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Demirboğa [4] yaptığı çalışmada, hafif betonun teknolojik özelliklerinin normal betona göre iyi olduğunu, dayanım ve yüksek sıcaklık gibi bazı durabilite özelliklerinin de gelişmeye katkı sağladığını ifade etmiştir. Öztürk [5] yaptığı çalışmada, pomza ve perlit katkılı hafif beton üretimi gerçekleştirmiştir. Hafif betonun

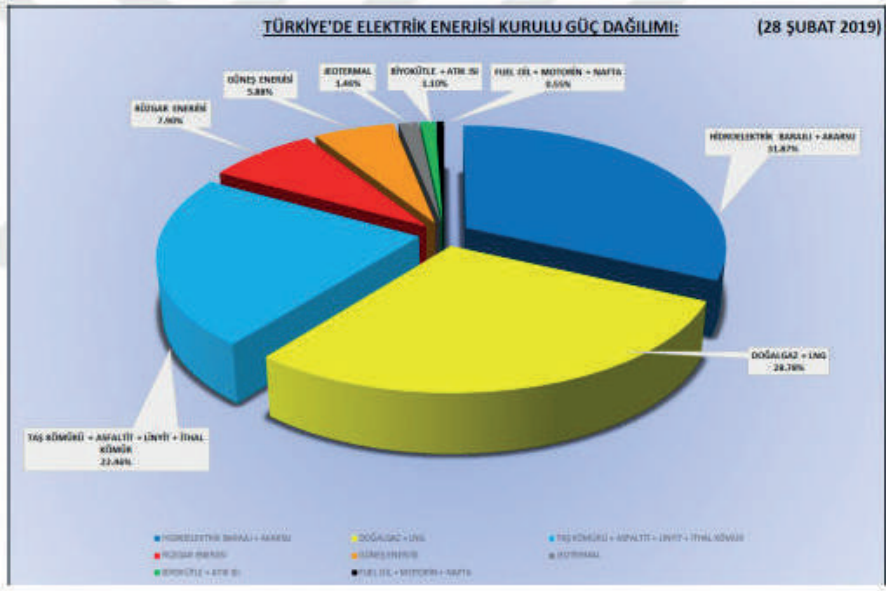
1 Asistant Prof. Dr. Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, mustafaeken.me@gmail.com, ORCID NO: 0000-0002-7559-876X

fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini araştırmış ve sonuç olarak da üretilen hafif betonun ısı-ses yalıtımında, zemin yalıtımında kullanılabileceğinin belirtmiştir.

İnşaat sektöründe enerjinin büyük bir kısmı ısıtma-soğutma giderleri ile olduğu belirtilmektedir. Enerji kaybının yaklaşık olarak %50'si binadaki duvar yapı malzemelerinden kaybedildiği ifade edilmiştir [6-10]. Meydana gelen enerji ve ısı kaybının azaltılması için duvarların yalıtım özelliği taşıyan malzemeler ile örülmesi ve kaplanması gerekmektedir [11]. Briket sahip olduğu 1800 kg/m³'ten düşük birim hacim ağırlığı ile hafif beton blok yapı malzemeleri grubunda yer almaktadır [12-13]. Briketler, kum, ince agrega, çimento ve su karışımı ile üretilen karmaşık yapıya sahip olmaması ile de inşaat sektöründe duvar blok malzemesi, asmolen, baca elamanı, lento ve peyzaj mimarisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [14-16].

Doğal kaynakların tüketiminin hızlı olması, çevresel etki faktörlerinin giderek artması ve doğal kaynaklarının koruma altına alınma fikrini ortaya çıkarmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde ulaşım, barınma, baraj gibi projeler ülkelerin ekonomileri için büyük bir fon oluşturmaktadır [17]. Bu amaçla doğal ve atık malzemelerin kullanımı sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır.

Ülkemiz enerji gereksinimlerini kömürle çalışan termik santrallerinden, güneş enerji santrallerinden vb. farklı enerji kaynaklarının çalışmasından temin edilmektedir. 2019 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verileri incelendiğinde elektrik üretim miktarının %22,46'sının kömür kaynaklarından, %28,78'sinin doğal gaz kaynaklarından, %31,87'sinin hidrolojik enerji kaynaklarından, %7,9'unun rüzgâr enerji kaynaklarından, %5,9'unun güneş enerji kaynaklarından, %1,46'sının jeotermal enerji kaynaklarından ve %1,65'inin ise diğer enerji kaynaklarından temin edildiği ifade edilmiştir. Şekil 1'de enerji kaynakları ve üretim yüzdeleri verilmiştir [18].



Şekil 1. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı

Kömürün yakılması ile meydana gelen külün yaklaşık %80'i uçucu kül olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen verilere göre yılda yaklaşık olarak 20 milyon ton uçucu kül temin edilmektedir. Ortaya atık olarak çıkan bu yüksek miktardaki malzemenin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır [19].

Literatürde farklı malzemeler kullanılarak briket üretimi gerçekleştirilmiştir. Akyol [20], yaptığı çalışmada uçucu kül, polistiren köpük ve pomza agregasının kullanılması ile hafif beton blok malzemesi üretimi gerçekleştirmiş ve çalışma sonucunda üretilen numunelerin inşaat sektöründe kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir. Çuhadaroğlu [21], fındık kabuğu katkılı briket üretimi gerçekleştirmiş ve çalışma sonucunda fındık kabuğu katkısının briket üretiminde kullanılabilirliğini, ısı-ses yalıtımında da katkı sağladığı ifade edilmiştir.

Bu çalışmada Ceyhan Sugözü Termik Santrali uçucu külü ve taş yünü atık katkılı briket üretimi amaçlanmıştır. Uçucu kül katkı oranı %30 ve taş yünü atıkları %5-10-15 oranlarında pomza yerine ikame edilerek briket üretilmiştir. Üretilen briket numunelerinin ultrasonik ses ve ısı iletkenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ile uçucu kül ve taş yünü atık katkılı briket numunelerinin ses ve ısı gibi teknolojik özelliklerine katkı sağladığı belirtilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Pomza

Briket üretimi için kullanılan 0-8 mm boyutlarına ait pomza (Şekil 1) agregasına ait fiziksel Tablo 1’de, kimyasal özellikler Tablo 2’de, elek analizi Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Pomza agregası

Tablo 1. Pomza fiziksel ve kimyasal özellikler

Fiziksel Özellik	Değerler
Gevşek yığın yoğunluk (Nemli numune)	548-648 kg/m ³
Gevşek yığın yoğunluk (Kuru numune)	398-448 kg/m ³
Özgül kütle	2,325 g/cm ³
Su emme oranı	% 28-68
Gözeneklilik	% 40-85
Renk	Beyaz-Açık gri
pH	5,5-6

Tablo 2. Pomza kimyasal özellikler

İçerik	%
SiO ₂	70,35
Al ₂ O ₃	13,90
Fe ₂ O ₃	1,40
TiO ₂	0,00
MnO	0,10
CaO	1-2
MgO	0,50
Na ₂ O	3,50
K ₂ O	3,55
FeO	0,90

Tablo 3. Pomza elek analizi

Standart Elekler (mm)	Elekten üstü kalan (g)	Elekten geçen (g)	Elekten geçen (%)
11,2	0	3000	100
8	672	2328	77,6
5,6	387	1941	64,7
4	333	1608	53,6
2	564	1044	34,8
1	330	714	23,8
0,5	159	555	18,5
0,25	207	348	11,6
Elek altı	348	0	0

2.1.2. Uçucu kül

Çalışmada temin edilen külünün kimyasal bileşenleri Tablo 3'te verilmiştir. SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ oranı toplamda % 60,24'dür. S+A+F oranının % 50 üzerinde ve CaO oranının % 10'dan yüksek olması (% 17,74), uçucu külün ASTM C 618 standardına göre C sınıfı yüksek kireçli uçucu kül sınıfında olduğunu göstermiştir.

Tablo 3. Uçucu kül kimyasal içeriği

İçerik	%
SiO ₂	35,50
Al ₂ O ₃	12,96
S+A+F	60,24
CaO	17,74
TiO ₂	0,63
Cr ₂ O ₃	0,02
MgO	2,34
Na ₂ O	0,16
K ₂ O	1,43
SO ₃	1,74
P ₂ O ₅	0,13
KK	2,83

2.1.3. Çimento

Çalışmadaki tüm numunelerde TS EN 197-1 standardına göre CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır.

Tablo 4. Çimento kimyasal ve fiziksel özellikler

İçerik (%)	Çimento
Kimyasal analiz test sonuçları	
SiO ₂	18.50
Al ₂ O ₃	5.33
Fe ₂ O ₃	2.79
CaO	64.37
MgO	3.40
SO ₃	2.45
Na ₂ O+K ₂ O	0.60
SrO	-
Kızdırma kaybı (%)	0.52
Fiziksel analiz test sonuçları	
Özgül ağırlık g/cm ³	3.14
İncelik g/cm ²	3315

2.1.4. Taş yünü

İnorganik malzemelerin 1350-1400°C sıcaklıklarda elyaf haline getirilmesi ile ortaya çıkan yalıtım malzemesi grubunda yer almaktadır. Taş yünü ısı, ses, akustik ve yangın yalıtımına karşı dayanıklı olduğu belirtilmektedir. Çalışmada kullanılan taş yünü atıkları MUSYAK Dış Cephe, Ses ve Isı Yalıtım Sistemleri Şanlıurfa/Türkiye bölgesinde faaliyet gösteren şirketten elde edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Briket üretimi

Pomza agregası kullanılarak üretilen briketlerin %30 oranında uçucu kül çimentodan ikame edilerek eklenmiş daha sonra taş yünü atıkları %5-10-15 oranlarında eklenerek briket karışımı elde edilmiştir. Üretilen biriket numunelerinin karışım oranları ve isimlendirmeleri Çizelge 6'da verilmiştir. Üretilen numuneler Maraş'ta bulunan briket fabrikasından temin edilen aynı ölçülerdeki katkısız referans numuneleriyle karşılaştırılmıştır. Üretilen briketler TS EN 771-3, TS EN 772-16-20 standartlarında verilen yönergeler dikkate alınarak üretilmiştir. Briketlerin boyut ve konfigürasyon testi 0,1 mm hassasiyetindeki kumpas yardımıyla ölçülerek briketlerin genel görünüşleri, numune boyutları ve kusurluluk durum tespiti yapılmıştır (Şekil 2- Şekil 3).



Şekil 2. Briket üretimi, boyut konfigürasyon ve deneysel şema

Tablo 6. Briket karışım oranları

Samples		Su Kg/m ³	Çimento Kg/m ³	Uçucu kül Kg/m ³	İnce agrega Kg/m ³	İri agrega Kg/m ³	Taş Yünü Atıkları (%)
Referans	R	105	245	-	550	2370	-
Taş Yünü Atıkları	T1-%5	105	171,5	73,5	550	2351,5	118,5
	T2-%10	105	171,5	73,5	550	2133	237
	T3-%15	105	171,5	73,5	550	2014,5	355,5

2.2.2. Isı iletkenlik katsayısı

Üretilen 17x35x17 cm boyutlarındaki briket numunelerinin ısı iletkenlik değerleri ASTC C 1113-90 standardında belirtilen numunelere göre KSÜ ÜSKİM laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

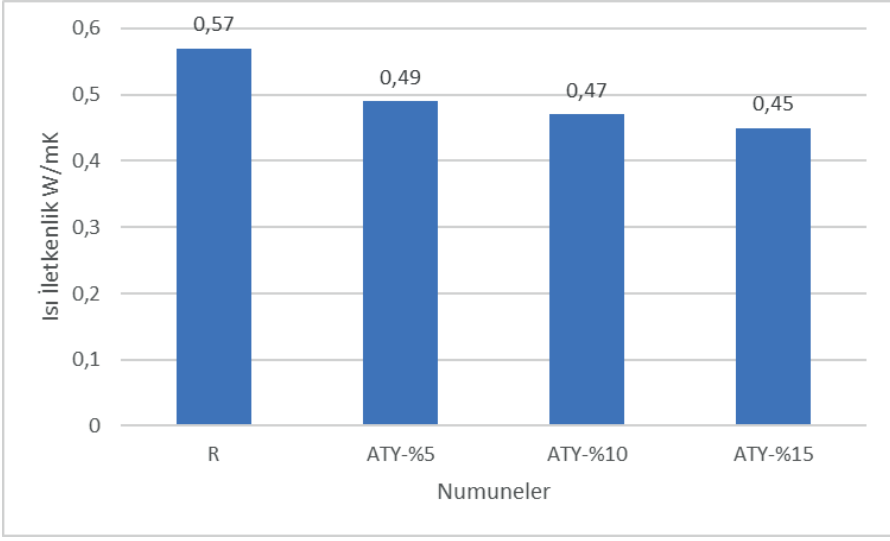
2.2.3. Ultrasonik ses geçirimsizliği

Ultrasonik penetrasyon hızı ASTM C 597 standardına göre belirlendi. R, T1, T2 ve T3 katkılı numuneler ultrasonik penetrasyon hızı testine tabi tutuldu. Ultrasonik penetrasyon hızı, belirli bir yol boyunca ses dalgalarının katettikleri yol dikkate alınarak geçen sürenin ölçülmesi prensibine dayanır. Ses dalgalarının yayılma hızı malzeme içerisindeki boşluk oranı ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Boşluk oranı, malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkileyen parametrelerdendir.

3. BULGULAR

3.1. Isı İletim Katsayısı Değerleri

Briket numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları ASTM C 1113-90 standardına göre Şekil 3'te verilmiştir.

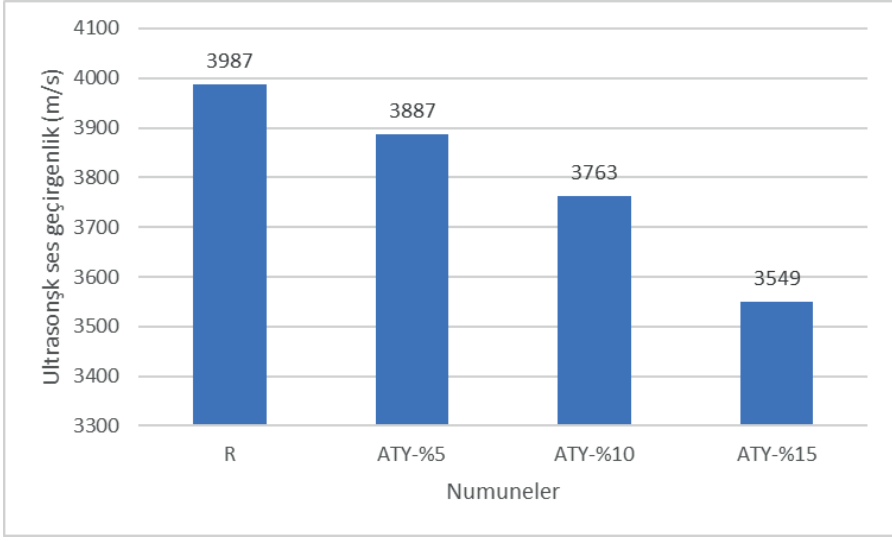


Şekil 3. Isı İletkenlik deney sonuçları

Briket numunelerin ısı iletkenlik katsayıları 0,45 W/mK- ile 0,57 W/mK arasında değerler içermektedir. En yüksek ısı iletkenlik değerine 0,57 W/mK ile R numunesinden elde edilirken, en düşük ısı iletkenlik değerine ise 0,45 W/mK ile T3 katkıli numuneden elde edilmiştir. Diğer atık taş yünü katkıli numuneler ATY-%5-ATY-%10 sırasıyla 0,49-0,47 W/mK değerleri ile R numunesine göre daha düşük ısı iletkenlik değerleri vermişlerdir. Briket numunelerin üretiminde kullanılan doğal lif katkıli numunelerin ısı iletkenlik değerlerinde ATY katkıli numunelerin R katkıli numunelere oranla daha iyi ısı iletkenlik değerleri verdiği Şekil 3'te görülmektedir. ATY sahip olduğu özellik bu değerlerin elde edilmesini açıkça göstermektedir ve literatürde de benzer sonuçlar ile desteklenmektedir [22,23].

3.2. Ultrasonik ses geçirimsiliği

Briket numunelerinin ultrasonik ses geçirimsiliği ASTM C 597 standardına göre Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Ultrasonik ses geçirgenlik sonuçları

Briket numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları 3549 ile 3987 m/s arasında değerler içermektedir. En yüksek ses geçirgenlik değerine 3987 m/s ile R numunesinden elde edilirken, en düşük ses geçirgenlik değerine ise 3549 m/s ile ATY-%15 katkılı numuneden elde edilmiştir. Diğer doğal lif katkılı numuneler ATY-%5-ATY-%10 sırasıyla 3887-3763 m/s değerleri ile R numunesine göre daha düşük ses geçirgenlik değerleri vermişlerdir. Briket numunelerin üretiminde kullanılan doğal lif katkılı numunelerin ses geçirgenlik değerlerinde T katkılı numunelerin R katkılı numunelere oranla daha iyi ses geçirgenlik değerleri verdiği Şekil 4'te görülmektedir. ATY malzemesinin sahip olduğu özellik bu değerlerin elde edilmesini açıkça göstermektedir ve literatürde de benzer sonuçlar ile desteklenmektedir [22,23].

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Uçucu kül ve atık taş yünü katkılı briketlerin çalışmada elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmıştır.

- Briket numunelerinin üretilmesi sonucunda gözlemlenen boyut ve konfigürasyon değerleri standartlara uygundur.
- Briket numunelerinin ısı iletkenlik değerleri arasında en iyi ölçüm değerine ATY-%15 katkılı numunede ulaşılmıştır.
- Briket numunelerinin ultrasonik ses geçirgenlik değerleri arasında en iyi ölçüm değerine ATY-%15 katkılı numunede ulaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

- [1] Turgutalp, Ü., 1978. Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Doçentlik Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [2] Türkmen, İ., 1997. Van – Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [3] Akçaözöğlü, S., 2008. Atık Pet Şişe Kırıklarının Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [4] Demirboğa, R., 1999. Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza ile Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [5] Öztürk, M., 2012. Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [6] Energy, transport and environment indicators, Eurostat (2011). (online datacode: nrg 100a).
- [7] The State Planning Organization (DPT), Ninth Development Plan, 2008. Tuğla ve Kiremit Sanayii Raporu (in Turkish), vol. 1, DPT 2773, ÖIK 703, Ankara, Turkey.
- [8] Balaras, C.A., Drousa, K., Argiriou, A.A., 2000. Asimakopoulos, D.N. Potential for energyconservation in apartment buildings, Energy and Buildings 31(2), 143-154.
- [9] Feng, Y. 2004. Thermal design standards for energy efficiency of residential buildingsin hot summer/cold winter zones, Energy and Buildings 36, 1309-1312.
- [10] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on theEnergy performance of buildings, Official Journal of the European Union 153(2010, May).
- [11] Coz Díaz, J.J., García Nieto, P.J., Domínguez Hernández, J., Álvarez Rabanal, F.P., 2010. A FEM comparative analysis of the thermal efficiency among floors made up ofclay, concrete and lightweight concrete hollow blocks, Applied Thermal Engineering 30(17-18), 2822-2826.
- [12] Özel, M. 2011. Thermal Performance and Optimum Insulation Thickness of Building Walls With Different Structure Materials. Applied Thermal Engineering, 31(17-18), 3854-63.
- [13] Postacıoğlu, B. 1987b. Yapı Malzemesi Dersleri, İ. T. Ü. İnşaat Fakültesi, İ. T. Ü. Matbaası, İstanbul.
- [14] Kocaman, P., 2009. Bims Agregaların ve Bimsbeton Ürünlerin Mimarlık ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [15] Termobims A. Ş., 2007. Termofor Ürünleri Kataloğu, Konya
- [16] Toklu, K., 2009. Pomza Taşından Üretilen Bims Blok Kalitesinin Artırılma Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi., İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Pamuk R., Kuruoğlu M., 2016. İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Bina İnşaatlarında Evrensel Uygulama Örnekleri Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik 9(1), 161177.
- [18] (<https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri>)
- [19] Aruntaş, H., Y., 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara.
- [20] Akyol, O. 2010. Polistiren Taneli Köpük Katkı ile Bimsblok Duvar Elemanı Üretimini Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [21] Çuhadaroğlu, B. 2005. Thermal conductivity analysis of a briquette with additive hazelnut shells. Building and Environment, 40, (7): 942-948.
- [22] Fathima, M., Balasubramanian, A., 2006. Effect of plant growth regulators on the quality of bast fibres in *Abelmoschus esculentus* (Linn.) Moench. Acta Bot. Croat. 65 (1), 101-112.
- [23] Anbukarasi, K. & Kalaiselvam, S. 2015. Study of effect of fibre volume and dimension on mechanical, thermal, an water absorption behaviour of luffa reinforced epoxy composites. Mater. Des, 66, 321-330.

Our Dwarf World: Nanotechnology

Hilal Kara¹

Hülya Çelik²

Abstract

Nanotechnology, which is the important technology of the 21st century, is the development and production of functional materials, tools and systems in these dimensions by understanding physical, chemical and biological events at the nanometer scale. It also opens new horizons in information, communication and science and technology by evaluating nanotechnology and nano-scale events that will shape the future and developing and applying similar ones. Nanotechnology is the technology of the information age. This technology has the power to revolutionize disease detection and treatment, environmental monitoring and protection, energy production and storage, crop production and food quality improvement, and the construction of complex structures. Nanotechnological research and studies; water treatment systems, energy systems, physical remediation, nano-medical, nano-health, legal and environmental applications, engineering, biology, chemistry, physics, computer programming, materials science and communication. Today, while nanotechnology creates many new working areas, its products are entering our daily lives with increasing speed. In this study, the application areas of nanotechnology, which has an important place in our lives, are presented.

1. INTRODUCTION

Nano means one billionth of a measure and is used in the Greek meanings small, dwarf. Nanotechnology refers to the technological products realized at the nanoscale and covers all the technology at the nona scale [1]. The first use of nanotechnology in history is the presence of nano-sized particles

1 Rabia Hatun Girls Anatolian Imam Hatip High School, Erzurum, ORCID: 0000-0002-7837-2272, hilalkara.1197@gmail.com

2 Ağrı Ibrahim Cecen University, Faculty of Pharmacy Department of Pharmaceutical Technology Departmen 03200 Ağrı/Turkey, ORCID:0000-0003-0805-0523, hycelik@agri.edu.tr

in the glass, giving a magnificent view when light is passed through the Lycurgus Cup, which was made in Ancient Rome in the fourth century [2]. The concept of nanotechnology was first introduced by Richard Feynman at a conference in 1959 with a speech entitled “There is plenty of room at the below” [3]. Feynmann said that the ability to manufacture products at atomic and molecular size will pave the way for many new discoveries, and said that the 24-volume Encyclopedia Britannica can be fit on a pin head, better electron microscopy, biological properties with desired properties. Structures, smaller and more functional computers and thousands of discoveries could be made [4].

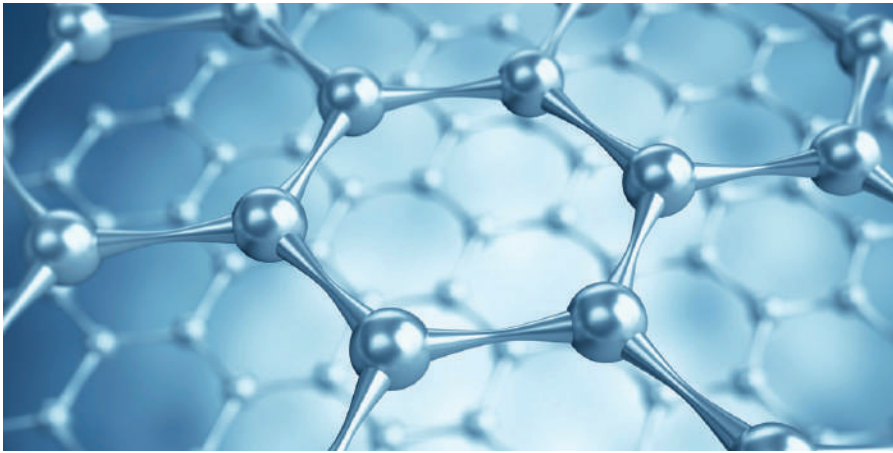


Figure 1. Nanotechnology [5].

Matter consists of atoms and different arrangement of atoms determines a substance. It is possible to obtain products with new properties by changing the atomic arrangement [6]. When nano-dimensions are reached, matter acquires very different physical, chemical and biological properties than macro-dimensions.

In nanotechnology, the desired product can be obtained by taking atoms and molecules one by one and redesigning them. Obtaining the substance in nano size has paved the way for efficient fuel use, drug discovery, and production of lighter and more durable materials [7]. For example, carbon nanotubes are very small in size, have high durability and flexibility. Because of these properties, they are used in spacecraft, television screens and solar cells. Since its chemical activity is low in medicine, it is anticipated to be used as a drug that can be transported to the desired tissue of the body. There are studies on tissue repair and its use in cancer treatment [8]. Nano-

sized carriers make it possible to overcome the difficulties in the treatment of diseases with the formulation of new drugs against infectious diseases. In addition, nanocarriers can be used to produce vaccines against infectious diseases [9]. One of the greatest features of nanotechnology will be in the development of new and effective medical treatments [10]. Nanoscale magnetic resonance imaging shows that nanotechnology can be applied in disease diagnosis. Considering the interactions of individual molecules and molecular groups in nanoscale materials is very important in terms of molecular structure control [11].

It is stated that in the future, thanks to nanotechnology, supercomputers can be looked at under the microscope, there will be nanorobots that find and heal the diseased tissue in the human body and perform surgery, the capacity of the human brain can be strengthened with additional nanomemories, and factories will pollute the environment much less thanks to nanoparticles that prevent pollution [12].

NANOTECHNOLOGY IN OUR LIFE

It is thought that the processing power and capacity of electronic devices and quantum computers obtained at nanometer scales with nanotechnology will increase several times. Construction materials obtained in atomic and molecular dimensions provide the emergence of stronger and lighter materials. These materials will enable revolutionary innovations in the construction industry with unmatched durability and low defect levels. Aviation and space vehicles are very costly technologies. The weight of the materials used in the production of these vehicles is the most important factor in increasing the cost. The fact that both lighter and more durable and flexible materials can be produced with nano technology reduces the cost in this sector. With the use of nanotechnology composites, it will be possible to establish environmentally friendly transportation systems [13].

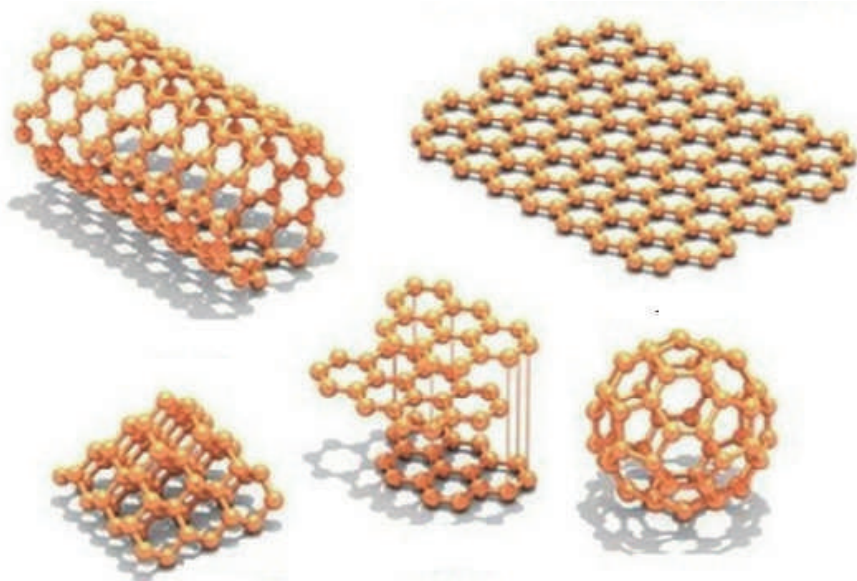


Figure 2. Different arrangement of carbon atoms [14].

Aerospace and space vehicles are very costly technologies. The weight of the materials used in the production of these vehicles is the most important factor in increasing the cost. The ability to produce both lighter and more durable and flexible materials with nano technology reduces the cost in this sector. With the use of nanotechnology composites, it will be possible to establish environmentally friendly transportation systems [13]. Advances in nanotechnology also provide opportunities for the development of healthier foods. [15].



Figure 3. Nano Food and Nano Food Usage Areas [16].

Studies are carried out that will provide beneficial contributions to the reduction of carbon dioxide in cheap and abundant clean water and environmental pollution with nanotechnology [17,18]. In open wounds, skin diseases, anti-allergic and antibacterial, Cooling and stress-reducing clothes have been developed that regulate the electrical balance, protect it from the harmful rays of the sun, protect the body's natural moisture balance, absorb and store heat and release it when needed [19].

The socks, which contain millions of silver nanoparticles in their structure, produced with nanotechnology, prevent the formation of bad odor, also have the ability to kill fungi and maintain their antimicrobial effect for a long time. Textile products that change color with external effects such as heat, light, pressure are dirt-proof and wrinkle-free, detect changes in body functions such as pulse, fever and blood pressure, and warn the user, can be produced. Products that protect from microorganisms, treat wounds and give medication, and make people with a pleasant smell feel better have already begun to be produced. Massachusetts Institute of Technology (MIT) is working on developing "super uniforms" using nanotechnology. These uniforms can support fractures, even develop artificial muscles, change color to provide camouflage, expand and contract according to the conditions of the environment. Uniforms with nanosensors will be able to report the body functions, health information and location of the soldier to the center. These products would be 80% lighter than those used today [20].



Figure 4. Nanotechnology and Health [21].

Medicine and Health Sector With nanotechnology, it will be possible to develop many new diagnostic and treatment methods by producing tools that can interact with living organisms. Machines that deliver drugs only to cells, tissues and organs where the disease is present, diagnostic tools that can act within the human body are examples of nano-technology applications in the field of medicine and health sector. The purpose of designing nano-sized drugs; Drugs in nanoparticle sizes have many advantages such as easily passing through the vessels and mixing with the blood, increasing the solubility and bioavailability with increasing surface area, directing the nanocarriers to the desired cell, tissue and organ, and staying in the circulation for a long time by binding to the molecules. Since a nanocarrier can contain both the active ingredient and the imaging agent, the efficacy of the treatment can be observed [22].

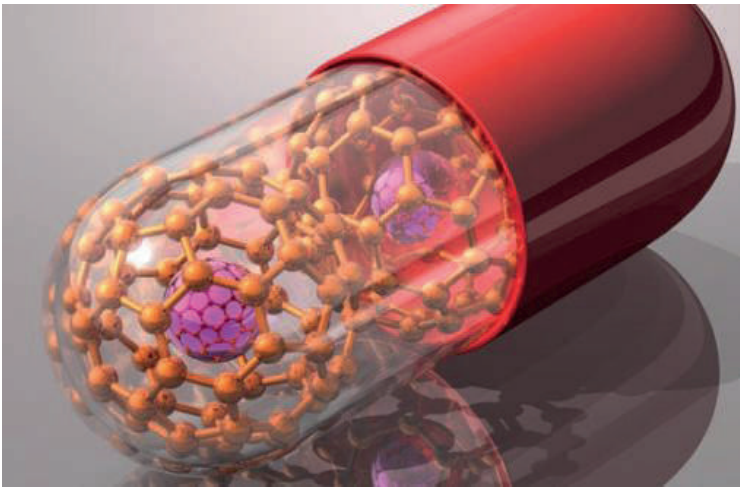


Figure 5. “Health-Friendly” Products of Nanotechnology [23].

With the development of biosensor technologies, it has enabled important developments in the fields of medical imaging, wound healing, pharmacology, microbiology, tissue regeneration, treatment of some chronic diseases, vaccines and genetics. Products produced with nanotechnology; It has been reported that by accelerating the diagnosis of the disease, it provides benefits in early diagnosis, detailed imaging and prevention of infection in cancer. [24].

It is expected to achieve success in cancer treatment at low doses thanks to drug delivery systems realized with nanoparticles [25].

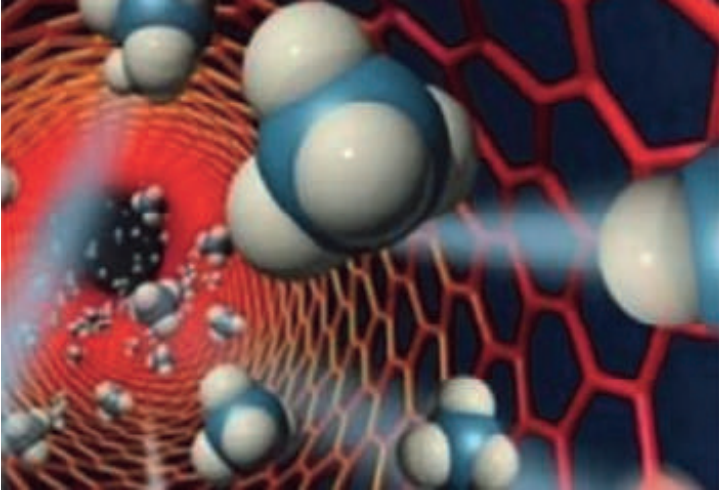


Figure 6. Medical Nanorobots [26].

With drug delivery systems using nanoparticles targeting tumor cells, high success can be achieved in cancer treatment with much lower drug doses. Separation of the brain from the systemic circulation by the blood-brain barrier, preventing the passage of molecules, complicates the treatment of nervous system diseases. Nanocarriers, which enable drug delivery to areas that are difficult to reach in the body, are particularly promising in the treatment of brain tumors [27].

The use of nanoparticles has gained importance as a result of the increase in bacteria resistant to antibiotics and consequently the decrease in the effectiveness of antibiotic treatments [28].



Figure 7. Nanotechnological medicines [29].

Alzheimer's disease is a disease that affects approximately 46 million people worldwide. The presence of the blood-brain barrier in the treatment of Alzheimer's disease makes the treatment of the disease limited. Nanotechnology also provides hope for the treatment of central nervous system diseases such as Alzheimer's disease. Recently, drugs can be transported to the brain at the desired concentration and efficiency with drug delivery systems based on nanotechnology. It is thought that thanks to nanocarrier drugs, the quality of life of patients in the treatment of Alzheimer's disease will increase [30].

2. CONCLUSION AND RESULTS

Nanotechnology, whose name we have heard frequently in recent years, has a great importance in our lives and is encountered in almost every area of life.

These studies at the molecular level, where quantum physics gains functionality in daily life, are used in all areas that benefit humanity. Nanotechnology; materials and manufacturing sector, nano-electrical computer technologies, medicine and health sector, aviation and space research, environment and energy, defense sector, biotechnology, agriculture and food. Advances in nanotechnology are also widely used in the fields of physics, chemistry, biology, computing, mathematics, pharmacy and medicine.

The main purpose of nanotechnology is to make human life easier, from making daily work more efficient to extending lifespan. From the food we eat to the energy sources we use, the vehicles we use, the houses we live in and the clothes we wear, all these applications of nanotechnology that make our lives easier are emerging every day, helping us to build a better and safer life.

REFERENCES

- Poole, C.P.Jr.; Owens, E.J.; Introduction to nanotechnology. John Wiley & Sons, New Jersey, 2003, Pp: 400.
- Toprak, A. *Nanoteknoloji*. books.google.com. <https://books.google.com.tr/books?id=s3ZJEAAAQBAJ>
- Hulla, J. E.; Sahu, S. C.; Hayes, A. W. Nanotechnology: History and future. *Human & experimental toxicology*. 2015, 34(12), 1318-1321.
- Taşçı, E.; Erkoç, Ş.; An algorithm for constructing various kinds of nanojunctions using zig-zag and armchair nanotubes. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2007, 7(4-5), 1653-1661.
- Okan Ş. Nanoteknolojiye Giriş: Teknik Gelişmeler ve Kullanım Alanları. 2018. <https://magg4.com/nanoteknolojiye-giris/>
- McNeil, S. E. Nanotechnology for the biologist. *Journal of leukocyte biology*, 2005, 78(3), 585-594.
- Berk, S.; Akkurt, İ. Nanopartikül: Geleceğin Korkulu Rüyası. *Tüberk Toraks* 2012, 60(2)180-47.
- Korucu, Y. *Nanotıp uygulamaları ve uygulamaları* (Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü), 2010
- Kirtane, A.R.; Verma, M.; Karandikar, P.; Furin, J.; Langer, R.; Traverso, G. Nanotechnology approaches for global infectious diseases. *Nature Nanotechnology*, 2021, 16(4), 369-384.
- Emerich, D. F.; Thanos, C. G. Nanotechnology and medicine. *Expert opinion on biological therapy*, 2003, 3(4), 655-663.
- Silva, G. A. Introduction to nanotechnology and its applications to medicine. *Surgical neurology*, 2004, 61(3), 216-220.
- Grubu, T. N. S. Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri (2004) Vizyon 2023 Projesi. Ankara, Türkiye.
- Özdoğan, E.; Demir, A.; Seventekin, N. Nanotechnology and its applications in textile industry. *Textile and Apparel*, 2006, 16(3), 159-168.
- Ersöz, M., Işıtan, A., & Balaban, M. (2018). Nanoteknoloji 1: nanoteknolojinin temelleri.
- Saka G.T. E. Nanotechnology applications in the food industry. *Journal of Etlik Veterinary Microbiology*. 2015
- Yaşar, H. Nano Food and Nano Food Usage Areas. <https://www.muhandisbeyinler.net/>
- Koo, Y. E. L.; Fan, W.; Hah, H.; Xu, H.; Orringer, D.; Ross, B.; Kopelman, R. Photonic explorers based on multifunctional nanoplatfoms for biosensing and photodynamic therapy. *Applied optics*, 2007, 46(10), 1924-1930.

- Song, W.T.; Li, M.Q.; Tang, Z.H.; Li, Q.S.; Yang, Y.; Liu, H.Y. Methoxy-poly(ethylene glycol)-block-poly(Lglutamic acid)-loaded cisplatin and a combination with iRGD for the treatment of non-small-cell lung cancers. *Macromol Biosci.* 2012, 12,1514-23.
- Şener, F. & Bulat, F. (2009). Nanoteknoloji ile Üretilen Akıllı Tekstiller ve Tüketicilerin Beklentilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. Hacettepe Üniversitesi Sosyoloji Araştırmalar e-Dergisi; 27 Nisan.
- Celep, Ş.; Koç, E. Nanotechnology and Its Application Areas in Textile. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü* 2008 Cilt:17-7
- Ersöz, M., Işıtan, A., & Balaban, M. (2018). Nanoteknoloji 1: nanoteknolojinin temelleri.
- Çalış, S. Nanoaygıtlar Nanofarmasötikler ve Uygulamaları, Ayla Zırh Gürsoy, Editör, Aktif Yayınevi, İstanbul, 2014.179-191, 2014
- Akkurt İ. Nanoteknolojinin “Sağlık Dostu” Ürünleri ve Nanoparçacık Kâbusu <https://m.bianet.org/bianet/saglik/179097-nanoteknolojinin-saglik-dostu-urunleri-ve-nanoparcacik-kabusu>
- Tüylek, Z. Biyosensörler ve nanoteknolojik etkileşim. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2017, 6(2), 71-80.
- Erdoğan, A.; Özkan, A. Kanser tedavisinde ve tümör görüntülemesinde nanoteknolojik uygulamalar. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 2013, 22(3), 426-440.
- Demirkıran A. Nanoteknolojinin İnsan Sağlığına Faydalı ve Zararlı Yönleri. *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.*, 2019; 9 (2): 136-148
- Toksoy, M. O.; Tırnaksız, F. F. kati lipid nanopartiküller ve beyne özgü ilaç taşıyıcı sistem olarak uygulamaları. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 2021, 45(2), 428-442.
- Onbaşı, D.; Çelik, G. Y.; Ökçesiz, A. Mikrobiyal biyofilmlere karşı yeni antibiyofil stratejileri ve nanoteknolojik yaklaşımlar . *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2017, 26 (3) , 262-266 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/eujhs/issue/44570/553117>
- Sezer, A. D. Biyoteknoloji İlaçlarında Patent. *Cleanrooms*. <https://cleanroom-news.org/biyoteknoloji-ilaclarinda-patent>
- Dereli, N.; Gün, Ö.; Hasçıçek, C. Nanosized drug delivery systems for alzheimer disease treatment. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 2016, 40 (1), 54-73 . DOI: 10.1501/Eczfak_0000000579

Synthesis and Optimizatin of Bioactive Silver Nanoparticles Using *Staphylococcus Aureus* Strain

Şhmuuz Asaf Başaran¹

Nurcihan Hacıoğlu Dođru²

Abstract

The term nanoparticle refers to particles with dimensions of 100 nm and below. Unlike large structured substances, nanoparticles have their own physical, chemical, electronic, mechanical, magnetic, thermal, dielectric, optical and biological properties with their nano-sized structure. Due to these properties of nanoparticles, synthesizing nanoparticles has gained a very important dimension in recent years. Bacteria are more preferred for the synthesis of nanoparticles due to their abundant diversity in nature, ease of application, high activity, rapid growth rates, easy reproduction, pH and pressure.

In this study, it was aimed to use *Staphylococcus aureus* isolate, isolated from the soils in Ezine district in silver nanoparticle synthesis, to optimize the synthesis steps and to reveal the antimicrobial activity of the synthesized nanoparticle. Uv-Vis and Scanning Electron Microscope (SEM) analyses and the color change in the reaction proved that the isolate has the property of nanoparticle synthesis. However, the effect of AgNO₃ concentration, pH and temperature on the synthesis steps was investigated. According to the results obtained, the isolate reaches the optimum production process at a concentration of 1 mM AgNO₃, at 37 oC, pH 10. In addition, the obtained particle showed higher antagonistic effect than the comparative antibiotic against the bacteria *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus haemolyticus* and *Acinetobacter baumannii* ATCC 19606.

-
- 1 Undergraduate student., Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Sciences, Department of Biology, Çanakkale, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1417-0444, asaf_248@hotmail.com
 - 2 Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Sciences, Department of Biology, Çanakkale, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5812-9398, nurcihan.n@gmail.com

Introduction

The term nanoparticle refers to particles with dimensions of 100 nm or less. Unlike large-structured materials, nanoparticles have unique physical, chemical, electronic, mechanical, magnetic, thermal, dielectric, optical and biological properties with their nano-sized structures (Portakal, 2008; Durán et al., 2011). Thanks to their unique structure, metal nanoparticles have a high function for use in the electronics and materials industry and allow the development of new methods in medical applications such as the production of antimicrobial substances, the delivery of drugs, the diagnosis and treatment of diseases (Gaikwad et al., 2013; Park et al., 2016; Singh et al., 2016; Składanowski et al., 2017).

Due to these properties of nanoparticles, synthesizing them has gained a very important dimension in recent years. Physical and chemical methods are applied in the production of nanoparticles. Hydrothermal/solvothermal method, sol-gel method, ultraviolet irradiation technique, aerosol technologies, lithography, laser ablation, ultrasonic applications, photochemical reduction techniques, stencil method, microwave approach and chemical vapor deposition are some of these methods. Chemical methods are expensive and unstable methods that require high energy, reducing/stabilizing agents and toxic chemicals. In addition, the produced nanoparticles may have biological side effects (Jena et al., 2015; Bakhshi and Hosseini, 2016; Park et al., 2016; Składanowski et al., 2017). Therefore, non-biological toxic, environmentally friendly and economical syntheses come to the fore in nanoparticle production. Plants, fungi, actinomycetes and bacteria can be used for nanoparticle synthesis. These can produce non-toxic metal nanoparticles such as gold, silver, platinum, iron sulfide, cadmium sulfide, selenium, zinc oxide; copper (Zhang et al., 2016). Thanks to their detoxification mechanism, microorganisms bind metals with proteins and peptides in their structures and eliminate the toxic effect of metals. Bacteria are more preferred for the synthesis of nanoparticles due to their abundant diversity in nature, ease of application, high efficiency, rapid growth rates, easy reproduction, pH and pressure.

It has been reported that bacteria belonging to *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Escherichia*, *Lactobacillus*, *Corynebacterium*, *Magnetospirillum*, *Clostridium* genera, especially *Bacillus*, are capable of synthesizing various nanoparticles. Among the nanoparticles synthesized intracellularly by bacteria are gold, silver, selenium, palladium, iron oxide, magnetite, cadmium sulfide, zinc sulfide and zinc oxide (Sweeney et al., 2004; Narayanan and Sakthivel, 2010; Harikrishnan et al., 2014; Lampis et al., 2014; Markus et al., 2016).

Metal nanoparticles synthesized by bacteria have the opportunity to be used in many industrial areas, especially medicine, pharmacy and food, with their non-toxic structure and environmental friendliness (Wei et al., 2012).

Silver nanoparticles (AgNP) were known to have an antimicrobial effect on bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Serratia entomophila*, *Klebsiella planticola*, *Klebsiella pneumoniae* and *Streptococcus* sp. (Du and Yi, 2016; Park et al., 2016; Rajeshkumar et al., 2016). It has been reported that silver nanoparticles, which also show antifungal properties, have inhibitory properties against *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* and *Candida tropicalis* (Abouelkheir et al., 2016; Du and Yi, 2016). In studies with bacteriologically produced some silver nanoparticles, has been observed that these particles have antioxidant and larvicidal activities such as catching DDPH radical and reducing iron ions (Lateef et al., 2015).

The primary objective of this research is to determine and optimize the nanoparticle synthesis by *Staphylococcus aureus* isolate obtained from Ezine soils. In addition, the antimicrobial activity of the synthesized AgNP was determined.

Material and Methods

Synthesis of AgNP by S. aureus

The bacterial isolates were isolated from Ezine districts soil. A series of basic biochemical tests were performed to identification of isolates according to Tamer et al. (1989). Bacterial strains were maintained on Luria–Bertani agar (LB agar) Petri dishes at 22 °C. Analytical grade AgNO₃ was purchased from Sigma Aldrich (Milan, Italy).

Single colonies of *S. aureus* strain from overnight LB agar Petri dishes served as the inocula for 100 mL LB broth cultures in 500 mL Erlenmeyer flasks. The cultures were incubated at 37 °C in a shaker (200 rpm) for 24 h. AgNP biosynthesis was carried out by resuspending 200 mg of bacterial strain in 100 mL of deionized water. 1 mM of AgNO₃ was added to culture and the reaction mixture was incubated for 24 h in a rotator shaker at 150 rpm and 37 °C. Characterizations of AgNPs were done by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Uv-Vis spectra (200-800 nm). SEM analysis was carried out as service procurement at Kastamonu University Central Laboratory (MERLAB).

Optimization of Synthesized AgNP

Determination of the effect of AgNO₃ concentration on the biosynthesis of NPs

In order to determine the ideal concentration value for the production of Ag nanoparticles, 50 mL of *S. aureus* supernatant was removed from a pre-prepared solution of AgNO₃ of 0.25, 0.5 and 1 mM to the incubator with agitation of 37 °C, 150 rpm. After 144 hours of incubation at 37°C in the agitated incubator (120 rpm), the samples were diluted by 1/5 with distilled water and absorbance measurement was made at a wavelength of 341 nm in the Uv-Vis spectrophotometer.

Determination of the effect of pH on the biosynthesis of NPs

From the prepared 50 mM solution of AgNO₃, 11.53 mM was added to the supernatant, and with 2 N HCl or 2 N NaOH, the pH values were adjusted to 6, 7, 8, 9 and 10 respectively. Incubation was continued in the agitated incubator at 37 °C, at 120 rpm, for 144 hours. At the end of incubation, the samples taken were diluted with distilled water at a rate of 1/5 and absorbance measurement was made at a wavelength of 341 nm in the Uv-Vis spectrophotometer. The pH value of the sample in which the absorbance value was read the highest was determined as the optimum pH.

Determination of the effect of temperature on the biosynthesis of NPs

The sample prepared at optimum concentration and pH value was incubated in the shaken incubator (120 rpm) at four different temperatures: 30 °C, 33 °C, 37 °C and 40 °C. The samples taken were diluted by 1/5 using distilled water and their absorbance was measured at a wavelength of 341 nm in the Uv-Vis spectrophotometer. The temperature value of the sample with the highest absorbance value was determined as the optimum temperature.

Determination of the antimicrobial effect of AgNPs

Disc diffusion method was used to determine the antimicrobial effect of AgNP on bacteria (Subhagriya and Gomathipriya, 2018). A total of 8 microorganisms obtained from Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Science, Department of Biology, Basic and Industrial Microbiology Culture Collection were used in antimicrobial activity studies.

Results and Discussion

Reduction of Ag⁺ into AgNPs during exposure to *S. aureus* bacteria could be seen by the color change. The color of fresh culture of bacteria was yellow. However, after addition of AgNO₃ and incubation, the emulsion turned dark brown (Figure 1). The color changes in aqueous solutions are due to the surface plasmon resonance phenomenon (Shakibaie et al., 2015). The result obtained is evidence that *S. aureus* is a good reducing agent for AgNPs.

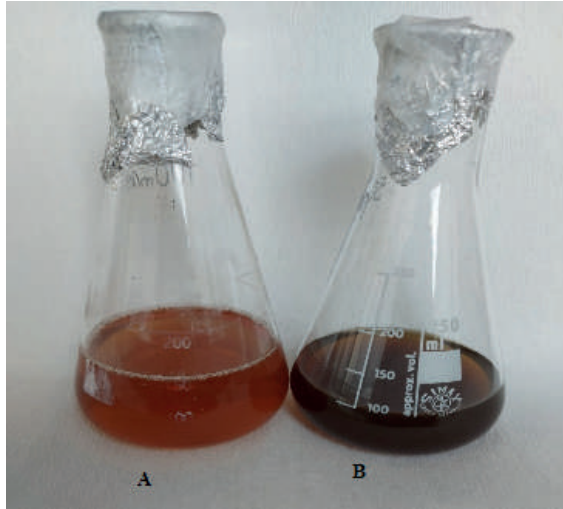


Figure 1. Colour changes of synthesized AgNP (A: Culture + *S. aureus*; B: Synthesized AgNP)

The morphology of AgNPs was determined by SEM characterization analyses. SEM is an important technique used to investigate the surface morphologies of nanostructures. SEM images of the AgNP sample are given in Figure 2. Ag nanoparticles appear to be haphazardly dispersed on the platform in bacterial culture medium and have sizes ranging in the range of 49-89 nm. The fact that AgNP, which normally have spherical structure, have an enlarged (extended) structure that does not have a complete spherical structure in the study is thought to be due to the aggregation of two or more Ag nanoparticles during synthesis. This is in line with other studies in the literature (Tamuly et al., 2013).

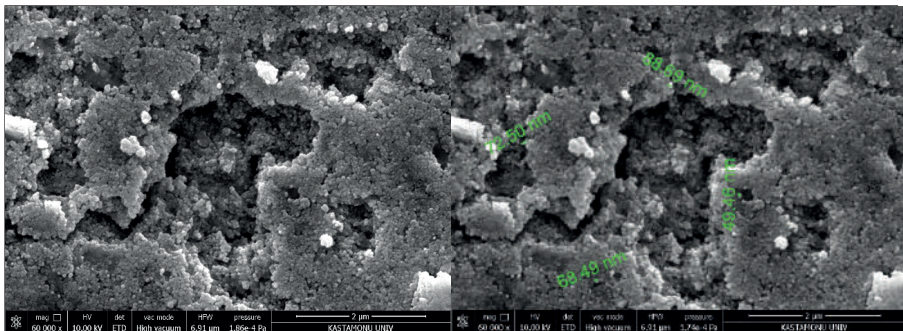


Figure 2. SEM images of synthesized AgNP

In the biosynthesis of AgNP, the most efficient production conditions were determined by optimizing the ambient pH, the concentration of the Ag solution and the temperature parameters. Three parallel studies were carried out in all of the applications. When the pH value was examined after incubation with 50 mL *S. aureus* from 0.25, 0.5 and 1 mM AgNO₃ solution, the pH value was 8. AgNP formation in the range of 396-387 nm was detected in the Uv-Vis spectrum (Figure 3). The maximum Uv-Vis absorbance value was observed by the culture supernatant at a concentration density of 1mM. Therefore, 1mM concentration was chosen as the optimum concentration.

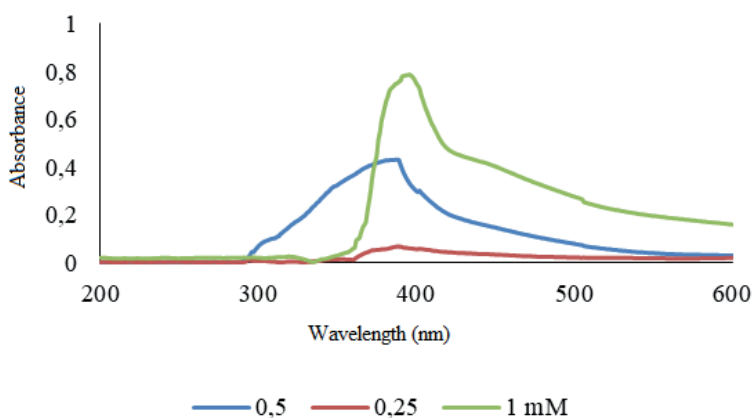


Figure 3. Uv-Vis spectra of different concentrations of AgNO₃ in AgNP synthesis

To study the effect of different pH on AgNP production; *S. aureus* cultures were treated with AgNO₃ prepared at optimum concentration. The pH of the samples was set to 5, 6, 7, 8, 9 and 10 respectively with 2 N HCl or 2 N NaOH. The samples treated with silver nitrate and adjusted to pH were removed to the incubator with 37 °C, 150 rpm shake. During the time with the addition of silver nitrate to cultures of different pH, a yellowish-brown color was observed in solution due to the surface plasmon resonance stimulation of AgNPs. It was observed that as the incubation period increased, the observed color became darker. AgNP formation in the range of 405-396 nm has been detected in the UV-VIS spectrum. It was observed that the absorbance value increased in direct proportion to the pH and the maximum Uv-Vis absorbance value was shown by the culture supernatant at pH 10 (Figure 4).

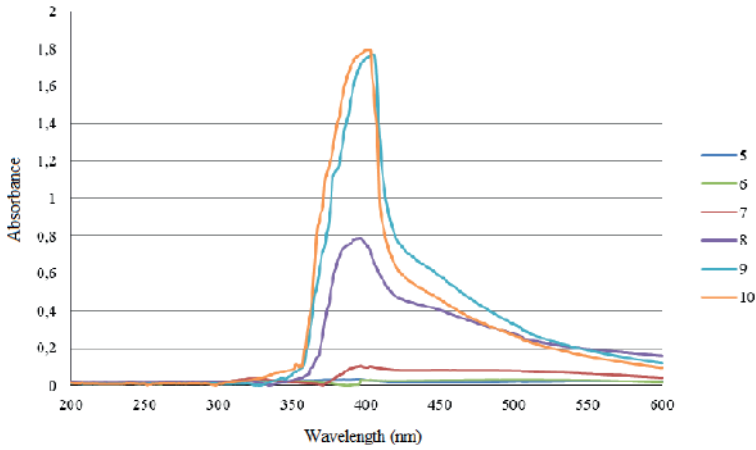


Figure 4. Spectrum graph of AgNP at different pH values

To study the effect of different temperature on AgNP production the samples were incubated at 3 different temperatures, 35, 37 and 40 °C. In the Uv-Vis spectrum, AgNP formation was detected at 396 nm. The maximum Uv-Vis absorbance value was observed to be demonstrated by the culture supernatant at 37 °C (Figure 5).

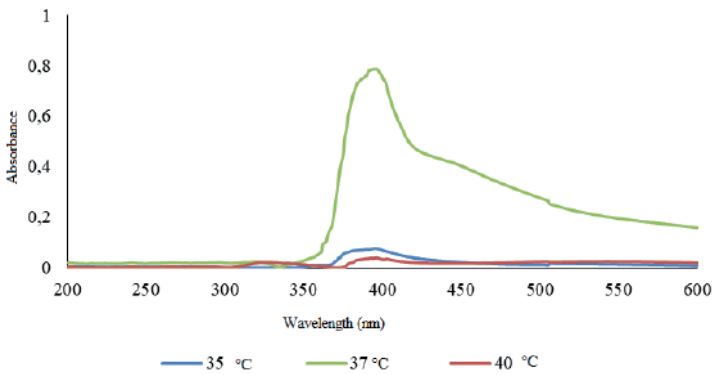


Figure 5. Uv-Vis spectra of AgNP at different temperatures

The antimicrobial activity results of AgNPs were given in Table 1. The zone diameters obtained against the bacteria *P. aeruginosa* ATCC 27853, *S. haemolyticus* and *A. baumannii* ATCC 19606 were higher than the comparison antibiotic P10 against the test cultures. This situation reveals the potential of the synthesized nanoparticle to become a new source of drugs.

Table 1. Antimicrobial activity results of AgNP

Test Cultures	*Disc Diffusion(mm) ^a	Control Antibiotics	
	AgNP	P10	NY100
<i>E. coli</i> NRRLB 3704	0	16.0	D
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	13	8.0	D
<i>P. vulgaris</i> ATCC 13315	11	13.0	D
<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	0	14.0	D
<i>S. haemolyticus</i> ATCC 43252	19	14.0	D
<i>A. baumannii</i> ATCC 19606	15	12.0	D
<i>S. aureus</i> ATCC 6538P	0	15.0	D
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	0	D	16.0

There has been no information in the literature on the synthesis of silver nanoparticle from *S. aureus* bacteria and the antimicrobial activity of the synthesized product. In one study, SeNPs (10-50 nm) produced by *Bacillus licheniformis* were found to have antimicrobial effects on some foodborne pathogenic bacteria (*B. cereus*, *E. faecalis*, *S. aureus*, *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium* and *S. Enteritidis*) (Khiralla and El-Deeb, 2015). In addition, biogenic SeNPs have been reported to have an antibiotic effect on *P. mirabilis*, *S. aureus* and *P. aeruginosa* (Shakibaie et al., 2015). According to the all this information, it can be said that it has the potential to be used as a new antimicrobial agent for antimicrobial agents coated with AgNPs.

Conclusion

The studies aimed to be carried out in the future are to carry out detailed studies for the comprehensive use of nanoparticle products synthesized by bacterial and all optimization conditions are revealed in medical, medical and industrial fields. The information obtained as a result of our pre-screening experiments suggests that AgNPs of *S. aureus* origin are of a quality to be used in more detailed research.

References

- Abouelkheir, S.S, El-Sersy, N.A., Sabry, S.A.F. (2016). Potential Application of *Bacillus* sp. SDNS Gold Nanoparticles. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 5(4), 546-552.
- Bakhshi, M., Hosseini, M.R. (2016). Synthesis of CdS Nanoparticles from Cadmium Sulfate Solutions Using the Extracellular Polymeric Substances of *B. licheniformis* as Stabilizing Agent. *Enzyme and Microbial Technology*, 95, 209-216.
- Du, J., Yi, T.H. (2016). Biosynthesis of Silver Nanoparticles by *Variovorax guanxiensis* THG-SQL3 and Their Antimicrobial Potential. *Materials Letters*, 178, 75-78.
- Durán, N, Marcato PD, Durán M, Yadav A, Gade A, Rai, M. (2011). Mechanistic Aspects in the Biogenic Synthesis of Extracellular Metal Nanoparticles by Peptides, Bacteria, Fungi, and Plants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(5): 1609-1624.
- Gaikwad, S., Ingle, A., Gade, A., Rai, M., Falanga, A., Incoronato, N., Galdiero, M. (2013). Antiviral Activity of Mycosynthesized Silver Nanoparticles Against Herpes Simplex Virus and Human Parainfluenza Virus Type 3. *International Journal of Nanomedicine*, 8, 4303.
- Harikrishnan, H., Shine, K., Ponmurugan, K., Moorthy, I.G., Kumar, R.S. (2014). In Vitro Eco-Friendly Synthesis of Cadmium Sulfide Nanoparticles Using Heterotrophic *Bacillus cereus*. *Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials*, 6(1), 1-7.
- Jena, S., Das, B., Bosu, R., Suar, M., Mandal, D. (2015). Bacteria Generated Antibacterial Gold Nanoparticles and Potential Mechanistic Insight. *Journal of Cluster Science*, 26(5), 1707-1721.
- Lampis, S., Zonaro, E., Bertolini, C., Bernardi, P., Butler, C.S., Vallini, G. (2014). Delayed Formation of Zero-Valent Selenium Nanoparticles by *Bacillus mycoides* Seite01 as A Consequence of Selenite Reduction Under Aerobic Conditions. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 35.
- Lateef, A., Ojo, S.A., Akinwale, A.S., Azeez, L., Gueguim-Kana, E.B., Beukes, L.S. (2015). Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles Using Cell-Free Extract of *Bacillus safensis* LAU 13: Antimicrobial, Free Radical Scavenging and Larvicidal Activities. *Biologia*, 70(10), 1295-1306.
- Lateef, A., Ojo, S.A., Oladejo, S.M. (2016). Anti-Candida, Anti-Coagulant and Thrombolytic Activities of Biosynthesized Silver Nanoparticles Using Cell-Free Extract of *Bacillus safensis* LAU 13. *Process Biochemistry*, 51(10), 1406-1412.
- Markus, J., Mathiyalagan, R., Kim, Y.J., Abbai, R., Singh, P., Ahn, S., Yang, D.C. (2016). Intracellular Synthesis of Gold Nanoparticles with Anti-

- oxidant Activity by Probiotic *Lactobacillus Kimchicus* DCY51 T Isolated from Korean Kimchi. *Enzyme and Microbial Technology*, 95, 85-93.
- Narayanan, K.B., Sakthivel, N. (2010). Biological Synthesis of Metal Nanoparticles by Microbes. *Advances in Colloid and Interface Science*, 156(1), 1-13.
- Park, T.J., Lee, K.G., Lee, S.Y. (2016). Advances in Microbial Biosynthesis of Metal Nanoparticles. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(2), 521-534.
- Portakal, O. (2008). Biyolojik Ölçümler ve Nanopartiküller. *Türk Biyokimya Dergisi*, 33(1), 35-38.
- Rajeshkumar, S., Malarkodi, C., Vanaja, M., Annadurai, G. (2016). Anticancer and Enhanced Antimicrobial Activity of Biosynthesized Silver Nanoparticles Against Clinical Pathogens. *Journal of Molecular Structure*, 1116, 165-173.
- Shakibaie, A.R.M. (2015). Antioxidant and Cytotoxic Effect of Biologically Synthesized Selenium Nanoparticles in Comparison to Selenium Dioxide. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28(1), 75-79.
- Singh, P., Kim, Y.J., Zhang, D., Yang, D.C. (2016). Biological Synthesis of Nanoparticles from Plants and Microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 34(7), 588-599.
- Składanowski, M., Wypij, M., Laskowski, D., Golińska, P., Dahm, H., Rai, M. (2017). Silver and Gold Nanoparticles Synthesized from *Streptomyces* sp. Isolated from Acid Forest Soil With Special Reference to its Antibacterial Activity Against Pathogens. *Journal of Cluster Science*, 28(1), 59-79.
- Subhappriya, S., Gomathipriya P. (2018). Green synthesis of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles by *Trigonella foenum-graecum* extract and its antimicrobial properties. *Microbial Pathogenesis*. 116, 215-220.
- Sweeney, R.Y., Mao, C, Gao, X., Burt, J.L., Belcher, A.M., Georgiou, G., Iversen, B.L. (2004). Bacterial Biosynthesis of Cadmium Sulfide Nanocrystals. *Chemistry and Biology*, 11(11), 1553-1559.
- Tamer, A. Ü., Uçar F, Ünver E., Karaboz İ., Bursalıoğlu M. & Oğultekin (Eltm) R. (1989). 3. ve 4.Sınıf Mikrobiyoloji laboratuvar kılavuzu, T.C. Anadolu Üniv. Eğitim, Sağlık ve Bilimsel Araş. Çalışmal. Vakfi Yayın., No:74, Eskişehir.
- Wei, X., Luo, M., Li, W., Yang, L., Liang, X., Xu, L, Liu, H. (2012). Synthesis of Silver Nanoparticles by Solar Irradiation of Cell-Free *Bacillus amyloliquifaciens* Extracts and AgNO₃. *Bioresource Technology*, 103(1), 273-278.

Geçmişten Günümüze Biyolojik Silahlar ve Biyolojik ajanlar

Saliha Dalgıç¹

Kağan Veryer²

Rahmi Dumlupınar³

Özlem Barış⁴

Özet

Çalışmamızda, devletlerin biyolojik silah programları, geçmiş-ten günümüze biyolojik ajanların sebep olduğu salgınları ve bu ajanların genel özellikleri, uluslararası yapılan çalışmalar, geli-şen biyoteknolojinin biyo-silahların gelişimine etkisi ve Türki-ye'nin biyolojik silahlar ile ilgili yasal mevzuatı hakkında bil-giler verilmiş ve tartışılarak yeni çalışmalara temel bir kaynak hazırlanmıştır.

GİRİŞ

Canlılarda ki şiddet duygusu; bazı sosyologlara göre öğrenilmiş bir davranışken, bazı psikologlara göre içgüdüsel bir davranış olarak açıklanmıştır (Yadigaroğlu, 2006; Natarajan and Caramaschi, 2010). Doğada ki bütün canlılar, bireysel olarak ya da topluluk halinde yaşarken, çeşitli nedenlerle (Besin, su kaynağı, barınma, üreme vb.) birbirleri ile savaşmışlardır (Yorgancılar, 2011). Literatüre bakıldığında; canlılar arasında ki bu savaşlar mikro dünyadan (mikroorganizmalar), makro dünyaya (bitkiler, hayvanlar, insanlar, vb.) kadar çok geniş bir yelpazeye yayılış göstermektedir

- 1 Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Atatürk Üniversitesi, 25030, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3343-4852
- 2 Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, 80000, Osmaniye, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0227-1619
- 3 Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Atatürk Üniversitesi, 25030, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9701-9896
- 4 Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Atatürk Üniversitesi, 25030, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2679-5599

(Sinsheimer, 2018). Literatürdeki kaynaklardan anlaşılmıştır ki, savaş canlılığın temelinde yatan bir olgudur. İnsanlarda, çoğalıp topluluklar halinde yaşamaya başladıkları ilk andan itibaren çeşitli nedenlerle anlaşmazlıklar yaşamış ve bu anlaşmazlıklar yüzünden birbirleriyle savaşmak zorunda kalmışlardır (Gümüsel, 2018). İnsanlar arasında ki bu savaşlar, geçmişte olduğu gibi gelecekte de var olmaya devam edecektir. Bu nedenle insanlar kendilerini savunabilmek için sürekli yeni ve daha güçlü silahlar geliştirme çabası içerisinde olacaktır (Tuncer ve Saruhan, 2008).

Eski çağda ki savaşlarda ilkel silahlar (taş, sopa, yay, ok, kılıç, mızrak vb.) kullanılırken, barutun icadıyla ateşli silahlar (tüfek, tabanca ve top gibi aletler ülkelerin envanterine girmeye başlamış ve 20. Yüzyıla doğru giderek daha tehlikeli ve yıkıcı silahlar üretilmiştir (Sarıbaş, 2019). Diğer taraftan teknoloji ve bilimde meydana gelen gelişmeler sebebiyle kimyasal, biyolojik ve nükleer silahlar üretilmiş ve savaşların yıkım gücü çok daha ileri boyutlara taşınmıştır (Varlık ve Çifçi, 2021).

Günümüzde kullanılan askeri silahlar: patlayıcı içeren (konvansiyonel) silahlar ve kitle imha silahları (KİS) olarak kategorize edilmiş ve tek bir KİS'in dahi patlama şiddeti, binlerce patlayıcı silahtan çok daha fazla tahrip gücüne sahiptir (Kılıç, 2006). Atom çekirdeğinin kaynaşması, füzyonu veya ikisinin karışımıyla meydana gelen yüksek enerjili bir patlama oluşturan etken araçların tümü, nükleer silah olarak adlandırılmaktadır (Bozbiyık vd. 2001). Nükleer silahların kullanımları yaklaşık 70 yıl kadar önceye dayanmaktadır (Kibaroglu, 2013).

Diğer silahların aksine biyolojik ve kimyasal silahlar, silahlara (ok, bomba, vb.) toksik ajanların (hardal gazı, bakteri, vb.) yerleştirilmesiyle yapılır buna rağmen en ölümcül kimyasal silahlar bile tahribat gücü bakımından, nükleer silahların yanına bile yaklaşamaz (Sarıbeyoğlu, 2004; Kaya, 2020).

Nükleer silahları hedef kitleye ulaştıracak oldukça sağlam ve kesin metotlar mevcutken, biyolojik ve kimyasal silahlarda ise çevresel etmenler sebebiyle (hava olayları, ajan davranışı, çevreye etkisi vb.) kesin bir yayılım ve tahribat alanı belirlemek neredeyse imkansızdır. Bununla beraber bu silahların (nükleer, biyolojik ve kimyasal) kullanılması, dünya üzerinde ciddi insan kaybına ve çevresel sorunlara sebep olmaktadır (Varlık ve Çifçi, 2021). Bunun en büyük örneklerinden bir tanesi birinci dünya harbinde ki kimyasal silah kullanımı, ikincisi ise ikinci dünya harbinde ki nükleer silah kullanımıdır (Bellamy and Freedman, 2001; Yazırdağ, 2017).

Meydana gelen vakalar nedeniyle, KİS'lerin yasaklanması için yapılan çalışmalar hız kazandı ve 1968 yılında bir sözleşme (Nükleer Silahların

Yayılmasını Önleme Anlaşması (NPT)) imzalandı ve hemen ardından 1972 yılında kimyasal ve biyolojik silahları yasaklayan başka bir sözleşme (Kimyasal Silahlar Sözleşmesi (CWC)) imzalandı (Littlewood, 2005).

Çalışmamızda, devletlerin biyolojik silah programları, geçmişten günümüze biyolojik ajanların sebep olduğu salgınları ve bu ajanların genel özellikleri, uluslararası yapılan çalışmalar, gelişen biyoteknolojinin biyosilahların gelişimine etkisi ve Türkiye'nin biyolojik silahlar ile ilgili yasal mevzuatı hakkında bilgiler verilmiş ve tartışılarak yeni çalışmalara temel bir kaynak hazırlanmıştır.

Biyolojik Silahlar ve Biyoterörizm

Biyolojik silahlar; herhangi bir yönden (Tarımsal, sağlık, ekonomik vb.) insanlara zarar verme amacı ile üretilen, her türlü biyolojik organizma (virüs, bakteri, böcek vb.) ve bu organizmalardan elde edilen toksinlerin (botulinum, risin vb.) kullanıldığı tehlikeli silahlardır (Atlas 1998).

Günümüzde Birleşmiş Milletler (BM), Dünya Sağlık rgt (WHO) ve Kuzey Atlantik Antlaşması rgt (NATO) gibi örgütlerin ve Biyolojik Silahlar Sözleşmesinin de (BWC) yer alan verilere göre; insanlara, yerli hayvanlara, yararlı bitkilere ve hatta eşyalara zarar verebilecek 43 potansiyel biyolojik ajan (15 bakteri, 24 virüs, 2 mantar ve 2 parazit) bulunmaktadır (Kılıç, 2006).

Hastalık Kontrol ve nleme Merkezleri (CDC) tarafından hastalık yapıcı mikroorganizmaların (MO) morbidite/mortalitenin önemi, bulaşmasının kolay olması ve kullanım şekline göre MO'lar; A, B ve C gruplarına ayrılmaktadır (elen ve elik, 2013).

A Grubu: İnsandan insana bulaşabilen, çok sayıda lme, halk içinde paniğe, sosyal yapının bozulması ve özel önlemler almayı zorunlu hale getiren en tehlikeli biyolojik ajanların bulunduğu gruptur (Uyar ve Akçalı, 2006).

B Grubu: Oluşturduğu tehdit, bulaşma, yayılma ve ölüm konusunda orta derece tehlike arz eden biyolojik ajanların bulunduğu bir gruptur (Akçalı, 2005).

C Grubu: Son zamanlarda ortaya çıkan hastalık oluşturabilecek biyolojik ajanların bulunduğu gruptur (Berger vd. 2016).

Biyolojik silahlar çabuk yayılım göstermeleri, üretimlerinin basit olması, transferlerinin kolay olması, geniş bir alana yayılması, ufak maliyetlerle fazla sayıda üretilmesi ve kullanan kişiye dair iz bırakmamaları nedeniyle

oldukça avantajlı silahlardır (Ruoff, 2001). Biyolojik silahların bu özellikleri, para sıkıntısı çeken ülke ve terör örgütleri için bulunmaz bir avantajdır. Kişi veya gruplar tarafından canlılara zarar vermek için biyolojik ajanların kullanılmasına biyoterörizm adı verilmektedir (Rajesh, 2018).

Şarbon, veba, tularemi, ruam ve tifüs gibi hastalıkların ajanları 2. Dünya savaşında kullanılmış ve ciddi can kayıplarına sebep olmuştur (Frischknecht, 2003).

Biyolojik Silahların Tarihçesi

1346 yılında Tatarların, Kaffa şehrini işgali sırasında veba ajanı (*Yersinia pestis*) ile enfekte olmuş ölü insanları mancınikle surların içine fırlatması, tarihte rapor edilen ilk biyolojik silah kullanımınıdır (Erkekoğlu ve Gümüşel, 2018). Ancak milattan öncede (M.Ö.) biyolojik silahlar kullanılmıştır. M.Ö. 184'te Hannibal'ın II. Eumenes'e karşı deniz savaşında, Hannibal'ın adamları zehirli yılan dolu testilerini düşman gemilerine atmış ve savaşın galibi olmuşlardır (Pakdemirli ve Dülger, 2021). M.Ö. 6. Yüzyılda Asurluların düşmanlarının su kaynaklarına ölü hayvan atarak içme sularını zehirlemesi benzer bir şekilde Asyalıların da aynı dönemde çavdar mahmuzunu (*Claviceps purpurea*) ajanını su kaynaklarına karıştırmaları, Atinalı Solon'un ishale sebep olan bir bitkiyi Krissa şehrinin su ardiyelerine karıştırmaları, Milattan sonra (M.S.) 14. yüzyılda İspanyolların, Fransızlara cüzzam hastalığına (*Mycobacterium leprae*) yakalanmış insan kanının karıştırmış olduğu şaraplar vermesi ve 19. Yüzyılda Rajneeshee tarikatının, Oregon'da ki restoranların salatalarına tifo ajanı (*Salmonella typhimurium*) karıştırmaları tarihteki çarpıcı biyolojik silah kullanımlarına örnektir (Bellamy and Freedman, 2001; Kılıç, 2006; Erkekoğlu ve Gümüşel, 2018; Tercan, 2020; Oğuz ve Taşkesen 2021; Pakdemirli ve Dülger, 2021).

Ülkelerin Biyolojik Silah Programları

Almanya biyolojik silah programı

1. Dünya harbinde ruam ve şarbon ajanlarını, müttefik olduğu devletlerin sığır ve atlarına gizlice bulaştırmış, *B. anthracis* sporları içeren bir diğ macunu üretmiş, 2. Dünya harbi zamanında da toplama kamplarında insanlar üzerinde çeşitli hastalık ajanları (riketsiyal ensefalit, hepatit A, sıtma) ile ilgili deneyler yürütmüş ve bu hastalıklara karşı tedavi geliştirmeye çalışmışlardır (Kılıç, 2006; Dökmeci ve Çavlan, 2020; Ayaz ve Artuk, 2022). Bununla beraber Almanya Biyolojik Silah Geliştirme ve Araştırmalarını Savunma adı altında çok sayıda bitki patojeni ile ilgili çalışmalar yapmış, 1943 yılının Ekim ayında 140 000'e yakın patates böceğini bitkilere bulaştırıp pek çok agrotörizm çalışmasına imza atmışlardır (Güleç, 2020).

İngiltere ve Kanada biyolojik silah programı

Birleşik Krallık'ın 1930'larda ki biyolojik silah programı esasen bitki ve hayvansal ürünleri ortadan kaldırmayı hedefleyen projeleri içermiş, Kanada ise sığır vebası üzerinde çalışmış ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ile insanları etkileyebilen şarbon ajanı üretimine imza atmıştır (Kılıç, 2006). Bununla beraber İngiltere 1942'de İskoçya'nın batı kıyısında bulunan Gruinard adasında B. anthracis kullandığı ve şarbon ile fazlasıyla deneyler yaptığı bilinmektedir (Macar ve Asal, 2020). Yapılan deneyde şarbonun bu adayı 36 yıl boyunca enfekte ettiği rapor edilmiştir (Klietmann and Ruoff, 2001). Adanın temizlenmesi için 1979'da 2 000 000 ton deniz suyu ve 280 ton formaldehit karışımı kullanılmış ve 1987' de şarbon ve sporları temizlenmiştir (Yüksel ve Erdem, 2016) Şarbon bakterisinin, Gruinard adasından temizlenmesi olayı, biyolojik silahların çok ciddi ve öngörülemez sonuçlara neden olabileceğini kanıtlamaktadır.

ABD biyolojik silah programı

1942 yılında Maryland (Detrick) kampında saldırı amaçlı *Brucella* ve *Bacillus* suşları ile biyolojik silah üretmiş ve hemen ardından ABD 1943 yılında Detrick kampını (şimdiki adı Ford Detrick) biyolojik savaş ve savunma adı altında bir merkeze çevirmiş olup 1972 senesine kadar da saldırı amaçlı çalışmalara imza atmıştır (Doğancı ve Baysallar, 2001). ABD 1953 yılında sarıhumma virüsü programını başlatmış, 1969 yılında ise biyolojik silah çalışmalarını sonlandırdığını belirtmiş ancak elde edilen bilgi, silah ve teknolojiyi üçüncü dünya ülkelerine ve terör gruplarına aktarmaya yönelmiş ancak ve ancak 11 Eylül taarruzunun ardından bu yönelimden de vazgeçmiştir (Roffey vd. 2002).



Şekil 1 Şarbon ile kontamine olan Gruinard adası (Balmer, 2015)

Rusya biyolojik silah programı

1950'li yıllarda genetik mühendisliğinde ki gelişmeler sonunda genetiği değiştirilmiş patojenlerle çalışmalara başlamış, batıda yaşanan gelişmeleri özenle takip eden Rusya genç bilim insanlarında oluşan bir grupla hastalıkların savaşlar esnasında ki etkilerini incelemiş ve çeşitli projelerini hayata geçirmeyi amaçlamıştır (Yakıcıer, 2002; Dökmeci ve Çavlan, 2020). 1972'de Rusya biyolojik silahlar sözleşmesini imzalamış olsa bile, Brejnev aracılığı ile 1973'te bildirilen saklı bir yönerge ile aşı, antibiyotik ve kıtalar arası iklimsel etkilere dirençli, genetiği değiştirilmiş patojen olan tehlikeli bir biyolojik silah geliştirme çalışmalarını ortaya çıkarmıştır (Doğanalp, 2016). 1991 yılının sonlarında Rusya dağıldıktan sonra, 1992'nin Nisan ayında başkan Yeltsin, Rusya'nın biyolojik silah çalışmalarını bitirmediğini ve dağılına dek çalışmalarını sürdürdüğünü belirtmiştir (Hart, 2009).

Japonya biyolojik silah programı

1931 yılında Japonya, Çin'in kuzeyinde bulunan Mançurya Eyaleti'ni işgal edip buraya Salgın Hastalıkları Önleme ve Su Arıtma Merkezi adı altında Japon ordusu gizli kimyasal ve biyolojik silah merkezini kurmuş, 1941'de bu birime getirilen insanlar üzerinde tifüs ve veba hastalıklarına rastlanmış bununla beraber ABD tarafından savaş kazanılınca bu birimde ki bütün dokümanlara el konulmuş ve saklanmıştır (Najmuldeen, 2020).

İran biyolojik silah programı

İran'ın BWC'nin belirttiği olumlu tedbirlere yönelik herhangi bir bilgi vermemesi, Birleşmiş Milletlerin (BM) elindeki kanıtlara istinaden İran'ın BWC maddelerine aykırı biyolojik silah taşıdığını iddia etmiş ve 2005 yılında hazırlanan ayrı bir raporda herhangi bir delil olmamasına rağmen aynı ifadeleri kullanmıştır (Celep, 2020; Friedman, 2022).

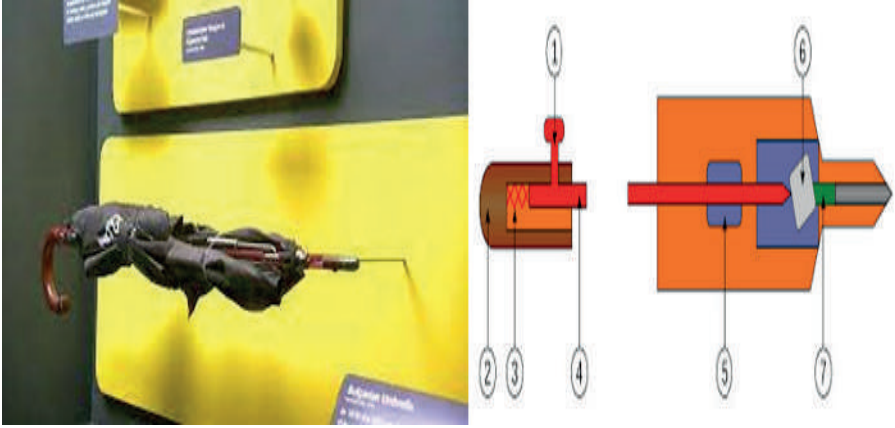
Irak biyolojik silah programı

Irak 1970 yıllarında biyolojik silah ajanları ile ilgilenmeye başlamış, bu yolda ki kararlılığını 1974 yılında duyurmuş ve hemen ardından 1975'te bu amaca hizmet edecek olan araştırma enstitüsü olan İbnül Heysen Araştırma Enstitüsünü kurmuş ancak 1978 yılına kadar çokta bir faaliyet gösteremeyen enstitü kapatılmıştır (Kılıç, 2006). 1985'te Irak'ın biyolojik savaş ajanlarıyla tekrar uğraşmaya başlaması Müsenna isimli imal kuruluşları ve araştırma merkezlerinin kurulması sonucunda gerçekleşmiş olup ilk etapta bakteri kültürlerinin, yurt dışından tedarik edilmesi ve araştırma odaklı programların

kısa sürede ricin, şarbon ve botulinum toksini tarzı bir takım yok edici, biyolojik savaş ajanlarının üretimine imza atmışlardır (Yüksel ve Erdem, 2016). Irak 1990'lı yıllarda birçok insan ve bitki patojeni olan biyolojik ajanı elinde bulundurduğunu belirtmiş ve 1998 yılında ilk defa biyolojik ajanları bombalara konumlandırıp denemeler yapmış, bu denemelerde toksinleri hem füzelerin başlıklarına hem de uçaktan atılan bombalara yerleştirerek başarı elde etmişlerdir (Zilinskas, 1997; Daban and Daban, 2018). Irak, Kuveyt'i işgal ettikten hemen sonrasında savaş esnasında kullanmak için 25 tane El-Hüseyin balistik füze başlığı ve 100 tane R400 bombasını, biyolojik toksinlerle doldurmuş ve kullanıma hazır hale getirmiştir (Ateş ve Erhan, 2020).

Diğer biyolojik silah saldırıları ve girişimleri

1960'lı yıllarda Japonya'da hastanede çalışan bir mikrobiyolog gıda kaynaklı dizanteri ve tifo salgınlarından sorumludur (Çelen, 2013). 1978 senesinde BBC'de görev yapmakta olan bir yazar olan Georgi Markov'un risin toksini içeren bir şemsiye düzeneği ile hayatına son verilmiş ve saldırıdan bulgar özel servisi sorumlu tutulmuştur (Kılıç, 2006).



Şekil 2 Georgi Markov'a düzenlenen suikastte kullanılan şemsiye (Yalçınkaya, 2018)

1915 yılında Aum Shinirikyo isimli bir tarikat japonya'da en az 8 kere şarbon ve botulinum toksini ile suikast düzenlemiş ancak herhangi bir hastalığın oluşmamasının nedeni hala bilinmemektedir (Atlas, 1998). Aum Shinirikyo tarikatı 1992'deki Ebola virüsü elde etmek için çalışmalar yapıldığı bilinmektedir (Bray, 2003). ABD'de bir medya kuruluşunun yöneticisine şarbon tozu eklenmiş bir mektup gönderilmiştir (Atlas, 1988).

Mikrobiyal Biyolojik Ajan Türleri

Biyolojik silah olarak kullanılan mikroorganizmalar, (virüsler, rickettsialar, bakteriler, protozoalar, funguslar veya Genetiği geliştirilmiş yeni mikroorganizmalar) gözle tespit edilemeyecek kadar ufak ve virüsler hariç hücre yapısına sahip, uygun şartlarda çoğalabilen ve insan sağlığına zarar verebilen ajanlardır (Coşar 2012).

Bakteriler

Tek hücreli basit ama dünya üzerinde ki baskın canlı grubudur. Yeryüzünde meydana gelen ilk yaşam formları olup, okyanus toprak, deniz, asitli su, hava ve yer kabuğunun derinliklerinde, hatta radyoaktif atıklar gibi ekstrem koşullarda bile bulunabilen büyük bir kısmı faydalı bir kısmı da hastalık etkeni olan mikroorganizmalardır (Persat vd. 2015; Dökmeci ve Çavlan, 2020).

Bacillus anthracis (Şarbon).

İnsanlık tarihinde varlığı çok eskiye dayanmakta olan şarbon; M. Ö. 1190-1491 yıllarında Avrupada, M. Ö. 3000 yılında da Çin tarafından şarbonun varlığı tespit edilmiş, kutanöz formunda deri lezyonlarının renginin kömür renginde olmasından dolayı, ismini Yunanca da kömür olarak bilinen “anthrakis” kelimesinden almış olup, şarbonla alakalı yapılan araştırmalar 19. Yüzyılda ivme almış, 1876 yılında Robert Koch aracılığıyla *Bacillus anthracis*'in şarbona sebebiyet verdiği kanıtlanmıştır (Şahin ve Demir, 2020).



Şekil 3 Sivas'ta şarbon tehlikesi (31 Ağustos 2018)

Francisella tularensis (Tularemi)

Toplumda tularemi olarak isimlendirilen *F. tularensis*; fakültatif, hücre içi bakteriyel bir patojen olup insanları enfekte edebilen, patojenitesi oldukça yüksek ve aerosol yolla alındığında bazı suşlar ölüme neden olabilecek enfeksiyona neden olabilmektedir (Demir 2009). Şimdilerde güçlü bir biyolojik silah olarak kullanılabileceği, endişeye neden olmaktadır (Conlan 2004).



Şekil 4 Tularemi hastası bir adam (Belediye Veteriner Hekimler Derneği 2018)

Yersinia pestis (Veba)

Yersinia pestis: gram boyama sonucunda saç tokası şeklinde bir morfolojik özellik gösteren, sporsuz, aerobik, gram negatif, cocobasil veya basil olan, güneş ışınlarına maruz kaldığında çabuk yok olabilen, hareket edemeyen, oda sıcaklığında canlılığını uzun süre koruyabilen, dondurulduğu takdirde yirmi beş yıl kadar canlılığını devam ettirebilen bir mikroorganizmadır (Şahin ve Demir, 2020). Hastalıkları sınıflandırma bilimi (nozolojik) tarafından benzersiz bir hastalık olarak kabul gören hastalık; ölüme sebebiyet veren, lenf düğümlerinin şişmesiyle meydana gelir (Sarıbaş 2019).

14. yüzyılda Avrupa nüfusunun 1/3 ünü tarihten silmiş olması, salgının ne kadar ciddi sonuçlar doğurduğunu göstermiş olup, vebadan kurtulanlarda ise psikolojik travmalar meydana gelmiş ve korku içinde yaşamlarını sürdürmüşlerdir (Yıldız 2014).

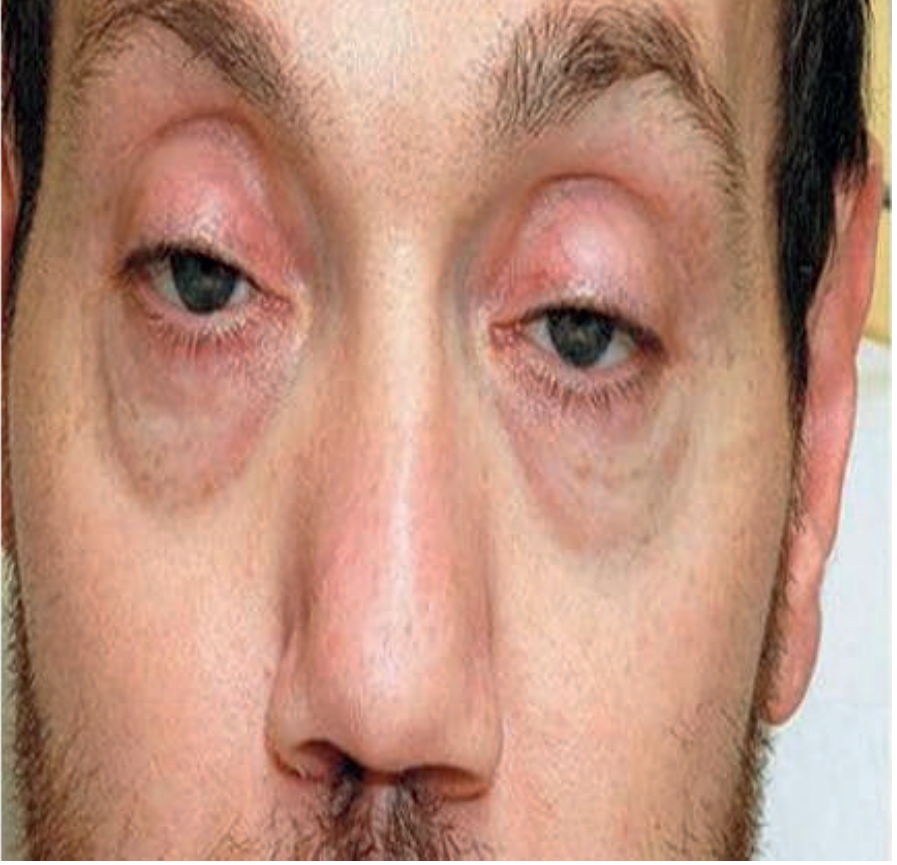


Şekil 5 Veba hastalığı (Medical Park 2022)

Clostridium botulinum (Botulizm).

Clostridium botulinum bakterisi: çevrede yaygın bir şekilde yer alan ısıya dayanıklı spor üretebilen, çubuk benzeri, gram pozitif ve anaerobik bir türdür (Şahin ve Demir 2009). *Clostridium* tarafından üretilen yüksek moleküler ağırlıklı proteini olan aynı zaman da bir çeşit nörotoksini olan botulinum toksini, yiyeceklerden kaynaklanan ve zehirlenmeye sebep olan etken bir madde özelliğine sahip olup, toprakta, hayvanların bağırsaklarında ve suda bulunur (Eivazzadeh-Keihan et al. 2018).

Ana nörotransmitter görevi gören asetilkolinin salınmasını engelleyerek, nöral iletimini kesip kas felcinin yaşanmasına sebebiyet verir (Eivazzadeh-Keihan et al., 2018). *C. botulinum*'un sebep olduğu botulizm rahatsızlığı başta bebeklerin "bal tüketmesi sonucunda" olmakla beraber diğer bireyleride etkileyerek; kusma, felç, karın krampları, bulantı, konuşmakta yahut yutmakta zorlanma, göz kapaklarında sarkma, az ağlama, yorgunluk, zorlanma ve sinirlilik benzeri türlü sorunlara sebebiyet verebilmektedir (Almeida et al., 2019).



şekil 6 Botulizm (Sepulveda vd. 2010)

Clostridium perfringens (Gazlı kangren).

Gram pozitif, anaerobik, spor meydana getirebilen, çubuk şeklinde bir basil olan *C. perfringens*: 1891 senesinde William H. Welch aracılığıyla ilk defa yaşı 38 olan bir erkeğin otopsisinden elde edilmiş; tanınmayan bir bakteri olarak belirlenmiş olup, bulaştığı kan damarlarında gaz kabarcıkları meydana getirdiği görölmüştür (Yao and Annamaraju, 2021). *C. Perfringens*'in bölünme (binary fission) için ihtiyaç duyduğu süre diğer anaeroplara kıyasla oldukça kısadır ayrıca diğer anaerop bakterilere kıyasla oksijene karşı daha dirençli olması onu iyi bir biyolojik ajan yapmaktadır (Gohari vd. 2021). Bununla beraber *C. Perfringens* insan ve hayvan bağırsaklarında, kanalizasyonda, toprakta, dışkılarda, çürüyen bitki örtüsü ve besinlerde bulunabilir (Wisniewski and Rood, 2017; Yadav et al., 2022).



Şekil 7 Gazlı kangren (Yavuz 2021)

***Rickettsia spp.* (Riketsiyal ensefalit)**

Tarihte ilk riketsiyoz hadisesi bilindiği kadarıyla Edward E. Maxey aracılığıyla 1899 senesinde dağlar ateşi (RMSF) rahatsızlığı olarak tanımlanmış ve 1984 ile 2005 seneleri arasında geçen zamanda dünya genelinde enfeksiyona sebep olmuş 11 farklı *Rickettsia* cinsine ait tür tanımlanmıştır (Parola et al., 2005). *Rickettsia* türleri ile alakalı yapılan en kapsamlı çalışma 1997'de belli başlı benekli ateş grubundaki *Rickettsia* bakterilerinin, kenelerden izole edilerek elde edilen öngörülere göre patojenitelerinin yüksek olabileceği düşünülüyorken, günümüzde bunun sadece bir öngörüden ibaret olmadığı patojenitelerinin yüksek olduğu kesinleşmiş ve NATO, BM ve WHO gibi örgütler tarafından biyoterörizm aracı olarak kullanılabilir organizmalar olduğu belirtilmiştir (Kortepeter et al., 1999; Köprülü 2012).

***Chlamydia ssp.* (Klamidyal hastalıklar)**

Chlamydialar gram negatif ve obligat intraselüler organizmalar olup insanlarda solunum yolu, göz ve genital enfeksiyonlara sebep olabilmekte, bununla beraber klamidyal hastalıklara karşı önlemlerin başarısız olması onları iyi bir biyolojik ajan yapmaktadır (Sahu et al., 2018). Hindiler, ördekler, güvercinler ve tavuklar gibi evcil kuşlar üzerinde *C. psittaci*'nin prevalansı hakkında Mısır'da sınırlı sayıda çalışmalar yapıldığı bilinmekle beraber, var olan durumun ciddiyeti; yaşa, cinsiyete, enfeksiyon yoluna, fizyolojik duruma, çevreye, yönetim faktörlerine, *Chlamydia* türlerine, maruz kalma derecesine göre farklılık gösterebilmekte; bu hayvansal enfeksiyon kümes hayvanı çalışanlarını enfekte etmesi durumunda halk sağlığını tehdit edebilecek sonuçlar doğurabilmektedir (Jake et al., 2020).

Virüsler

Çoğalabilmek için canlı hücrelere ihtiyaç duyan, canlı hücre dışında herhangi bir faaliyet göstermeyen, DNA ya da RNA yönetici moleküllerinden sadece birini içeren, bakteri, bitki, hayvan ve insanları enfekte edebilen oldukça tehlikeli biyolojik silah olabilmek kapasitesi olan, AIDS, Ebola, Hepatit, kuduz, iek ve benzer hastalıklara sebep olabilen, bazı özellikleri sebebiyle ne canlı ne de cansız kabul edilemeyen, protein bir kılıf ile korunan, nükleik asit formasyonlarıdır (şahin ve Demir 2020). Ayrıca, Rajesh'in (2018) yaptığı bilimsel bir çalışmaya göre; insanlarda hastalığa yol açan 219 çeşit virüs türünün var olduğu kayda geçirilmiştir.

Korona virüsler (Covid-19)

Korona virüsler, 1966 yılında Bynoe ve Týrell aracılığı ile soğuk algınlığı geçiren hastalardan keşfeden, hayvan ve insanlarda hastalık yapabilen, pozitif yüklü tek sarmallı bir RNA ya sahip, küresel bir şekle sahip, lipid bir zarfı olan virüslerdir (Velevan and Meyer, 2021). Alfa, beta, gama ve delta olmak üzere 4 alt aileye sahip olan korona virüslerin; doğal rezervuarları kuř ve domuzlar olmasına rağmen alfa ve beta ailesinin doğal kaynağının yarasalar olduğu dūřünülmektedir (Ahmad et al., 2020).

2012 yılında MERS isminde ki bir korona virüs Arabistan yarımadasında başlayıp 27 ũlkeye yayılmış ve yüksek ateş, ishal, kusma, öksürük, böbrek yetmezliği, myalji ve zatürre gibi önemli rahatsızlıklara sebep olmuştur (Akkuş, 2020).

COVID-19 hastalığı etkeni ise beta koronovirüs ailesinden olan SARS-CoV ile yakından ilgili olduğu belirtilmiştir (Ahmad et al., 2020) İlk kez Çin'in Wuhan bölgesinde meydana gelen pnömoni salgını esnasında keşfedilmiştir (Kaya, 2020).

2019 yılında meydana gelen COVID-19 pandemisi büyük bir hızla bütün dünyayı enfekte edip önemli düzeyde can ve mal kayıplarına sebep olmuştur (Yang et al., 2020). Yapılan son düzenlemeler de Dünya genelinde 200 000 000'a yakın tespit edilmiş vaka ve 4 000 000'a yakın ölüm rapor edilmiştir (Ndwandwe and Wiysonge, 2021).

COVID-19 enfeksiyonunun çocuklardaki durumu daha kesin bir şekilde belirtilmemiş sebeplerden ötürü yetişkinlere oranla çoğunlukla hafif ve taşıyıcı durumunda olup, Öte yandan çocuklarda vahim ve ölüme sebep olan olaylarda yayınlanmıştır. Yakın zamanda yapılan bir meta-analizinde, lökosit indeksinde meydana gelen değişikliklerde tutarsızlık olduğu belirtildiği gibi, klinik laboratuvar sonuçlarının çocuklarda yetişkinlere göre baya farklılıklar olduğu söylenmektedir (Odabaşı vd 2022).

COVID-19 bulaşma şeklinin, solunum yolu virüslerinin diğerlerinde gözlendiği şekilde; enfektivite, havanın solunması yoluyla bulaşabildiği gibi, havada asılı kalan damlacıklarla da bulaşabilmektedir (Nikolai et al., 2020). Şüpheli durumlarda ki vakalar, Polimerizasyon zincir reaksiyonları (PCR) testiyle saptanabilmektedir (Akbiyık ve Avşar, 2020). Bununla beraber COVID-19 sadece 2 ay gibi kısa bir sürede hem MERS'ten hem de SARS'tan daha fazla vakaya sebep olmuş, ölüm oranlarındaysa zayıf kalmıştır (Akkuş 2020). Bütün bu özellikleri bakımında COVID-19'un biyolojik silah olarak kullanılabilirliği oldukça muhtemel bir ihtimaldir.

Kanamalı Ateş Hastalığı Ajanları

Arena virüsler (Lassa ateşi)

Arena virüsleri iki parçadan oluşan tek iplik bir RNA'ya sahip, zarflı ve ambiense kodlama yeteneğine sahip olan virüslerdir (Perez-Losade et al., 2015). 1969 senesinde Nijerya'nın kuzeydoğusunda Borno Eyaleti, Lassa köyünde ilk kez tanımlanmış olup bu hayvan kaynaklı virüs çoğu yerde ve çoğunlukla kommensal kemirgen konakçı *Mastomys natalensis*'te yer alan idrar ile atılması sonucunda kalıcı hastalık belirtileri gözlemlenmektedir (Verma and Varma 2019). İnsanlara geçişi hastalıklı *Mastomys* sıçanlarının dışkısı yahut idrarı ile ev eşyalarına ve yiyeceklere bulaşması sonucunda meydana gelebilen, insandan insana enfektesi ise; hastalıklı insanın dışkısı, kanı, diğer vücut salgıları yahut idrarı ile direk temas etmesi veya bulaşan ortamlarla dolaylı olarak temasının olması ile gerçekleşebildiği söylenmektedir (Faisal et al. 2017). Lassa kanamalı ateşi olarak ta bilinen ve batı Afrika'da endemik bir şekilde bulunan virüse karşı aşı ve tedavi seçeneklerinin bulunmaması bu virüsün önem arz ettiğini gösterir (Faisal et al. 2017). Bu özellikler bakımından genetiği değiştirilerek bir çeşit biyosilah yapılabileceği dikkatlerden kaçmamalıdır.

Bunya virüsler (Kırım-kongo kanamalı ateşi (KKKA))

Afrika, Orta Doğu ve Asya'da yer alan hayvan gruplarında kan ile beslendiği bilinen kenelerden bulaşabilen bir hastalık olup, kişilerin birbiriyle temas etmesi sonucunda bulaşıcılık gösterir. (Elaldı, 2004). Dünya'da ilk kez 1944'lü yıllarda rapor edilmiş ve ülkemizde ki ilk vaka Tokat ilimizde kayıtlara geçmiş ardından çevre illere dağılmıştır (Akyazı 2006).

***Variola major* (çiçek hastalığı).**

Hastalığa sebep olan *Variola major* virüsü tek doğal konakçısı insan olan, kişiden kişiye bulaşıcılığı yüksek bir virüs olup lezyon veya aerosol yolla bulaşabilmektedir (Tercan 2020). İnkübasyon süresi bir ila iki hafta

sürebilen, bulaştıktan sonra ki ilk 4 gün içerisinde aşı yapılırsa mortalite ve morbidite azaltılabilen, kusma, baş ağrısı, halsizlik ve ateş gibi septomlara sebep olabilen bir virüstür (Çelen, 2013). Uzun zamandır (Biyolojik ve Toksik Silahların Kontrolü) hususunda bu ajanları stoklanmasını, kullanımını ve üretimini engelleyebilmek için için milletler arası platformlarda kongreler devam etmekte, protokoller yapılmaktadır (Kletmann et al. 2001).



şekil 8 Çiçek Hastalığı (Tüzünler, 2019)

Maymun çiçeği

Variola virüsünün yakın bir akrabası olup; Afrika ülkeleri başta olmak üzere dünyanın geri kalanında bulaşması sebebiyle bu enfeksiyonun, pandemik özelliğe sahip olduğu bilinmektedir (şimşek 2022). Döküntüleri çiçek hastalığına benzerlik gösteren; fakat ölüm oranı ve yayılma hızının çiçek enfeksiyonundan daha az olan zoonotik viral bir hastalık olduğu bilinmektedir. Bu virüs enfeksiyonlu kişilerin vücut sıvıları ile direk temas etme, döküntü, yüz yüze uzun zaman bakmak, vücut sıvılarına temas etmiş eşyaların kullanımı, öpüşme, sarılma, hastalıklı hayvanlara dokunma veya bu hayvanlardan elde edilen ürünlerin tüketilmesiyle bulaştığı bilinmektedir (Tepetaş ve Sungur 2022).

2022 yılının mayıs ayında meydana gelen küresel maymun çiçeği salgını esnasında; ortaya çıkan lezyonların aşamalarının farklı olduğu, ölümlerin çoğunlukla çocuklar ve genç yetişkinler arasında meydana geldiği bilinmektedir (Kaya 2022). WHO insanlara maymun çiçeği enfeksiyonuyla ilgili çeşitli uyarılarda bulunmuş, yayılımının hızlı olması durumunda

hastanelerde yardımcı sistemlere ihtiyaç olabileceği konusunda bilgilendirdiği bilinmektedir (Akın vd., 2022).



Şekil 9 Maymun çiçeği hastalığı (Euronews, 2022)

Parazitler

Parazitler çoğunlukla orta mertebede mortalite ve morbidite oluşturabilen ajanlardır (Aşillioğlu ve Gökpınar, 2022). Parazitleri biyolojik savaş ajanı olarak 2 yolla kullanmak mümkün. Bunlardan bir tanesi su ve besin kaynaklarının biyolojik faktörler (*Toxoplasma gondi*, *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* vb.) ile kontamine edilmesi, ikincisi ise hayvansal kaynaklı ajanların ekolojik ortama bırakılmasıdır (Aksoy ve Özkan, 2006). Bu yöntemler ile yapılacak herhangi bir silah ancak ve ancak uzun vadelere etkili olabilmektedir.

Funguslar

Mantarları, Hücre duvarı kalın bir kitin tabakasından meydana gelen, hücre zarında ergosterol içeren, ökaryotik organizmalar olarak tanımlayabiliriz, bununla beraber insanlarda ölümcül enfeksiyon ve hastalıklara sebep olabildikleri bilinmektedir (Rajesh, 2018). Fungusların hızlı bulaşması, ökaryotik organizma olması, güçlü mikotoksinlere sahip olması ve benzersiz adaptasyon yetenekleri sebebiyle funguslar silah olarak kullanılırsa en tehlikeli biyolojik tehditlerden birisi olacağı neredeyse kesindir (Bennet and Klich, 2003; Casadevall ve Pirofski 2006; Peterson, 2006).

Sonuç

Kısaca açıklamak gerekirse biyolojik ajanlar hangi zamanda olursak olalım Dünya’da ki insan hayvan ve çevre sağlığını kötü etkilemektedir. Buna rağmen biyolojik ajanların silah olarak kullanılması, AIDS, SARS, İspanyol gribi, MERS ve COVID-19 pandemisiyle meydana gelen salgınlar, virüs savaşları ve gelişmiş teknoloji gösterileriyle 21. Dünya düzeni hakkında endişe verici fikirler vermektedir.

Dünya çapında biyoterörizm gerçek ve artan bir tehdit haline gelmiştir. Biyolojik Silahlar, terörizmi destekleyen ülkeler tarafından bir çeşit şantaj ve konvansiyonel silahlardaki eksiklikleri gidermek için kullanılan bir güçtür.

Biyolojik saldırılara karşı ana korunma metodu biyolojik ajanlara karşı hazırlık ve bilinçli olmaktır. Biyolojik silahların doğru ve hızlı bir şekilde tanımlanabilmesi için; kapasitesi yüksek, gelişmiş bir milli referans laboratuvarının kurulması, biyoterör ve doğal yoldan gelişen istilaların erken teşhis edilmesi ve hızlı bir şekilde kontrol edilmesine olanak sağlayacaktır.

Türkiye gelişen teknolojiye bir an önce ayak uydurmalı; istihbarat, koruma, tanı, tedavi ve erken teşhis gibi mevzular da ilgili araştırma-geliştirme faaliyetleri üzerine yoğunlaşmalı, biyolojik ajanlarla ilgili lazım olan tüm malzemeyi ve teçhizatı elde ederek her zaman geliştirmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Rahmi Dumlupınar danışmanlığında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından desteklenen “Biyolojik Silahlar” adlı tezinden hazırlanmıştır.

Kaynakça

- Natarajan, D., and Caramaschi, D. 2010. Animal violence demystified. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 4, 1-16.
- Yorgancılar, F.N., 2011. Sürdürülebilir rekabet anlayışı olarak yenilik yeteneği. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 11(21), 379-426.
- Sinsheimer, M., 2018. Microbe Farmers: How fermentation artisans are bringing peace to the war on microbes.
- Frischknecht F., 2003. The history of biological warfare. Human experimentation, modern nightmares and lone madmen in the twentieth century. *EMBO Reports*. 4 (1), 47-52.
- Persat, A., Nadell, C.D., Kim M.K., Ingremeau, F., Siryaporn, A., Drescher, K., Wingreen N.S., Bassler, B.L., Gitai, Z., Stone H.A., 2015. The mechanical world of bacteria. *Cell*. 161(5), 988-997.
- Rajesh, P., 2018. Infectious diseases as agents of bioterrorism. *Life Science Edge*, 5(1), 10.
- Yadigaroğlu, H., 2006. Biyoterörizm, modern savaş ve biyolojinin araçsallaştırılması: I. Dünya savaşında ALMANYA örneği. *Zamanın İzleri*, 281.
- Erkekoğlu, P. and Koçer-Gümüşel, B., 2018. Biyolojik savaş ajanları: Tarihçeleri, patofiziolojileri, tanıları, tedavileri ve önlemler. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 43(2), 81-111.
- Tüncel, C. and Saruhan, İ., 2009. Biyolojik silah olarak böcekler. *Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer (Kbrn) Kongresi*, 85-95.
- Sarıbaş, S. 2019., Biyolojik silahlar: Marina Fiorato'nun şifacı romanında veba hastalığını biyolojik ajan olarak kurgulanması bir değerlendirme. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 6(39), 1854-1863.
- Varlık, S. and Çifçi, O., 2021. Biyolojik silahların gelişimi ve uluslararası hukuktaki yeri. *Adli Birimler ve Suç Araştırmaları Dergisi*, 3(3), 1-2.
- Kılıç, S., 2006. Biyolojik silah olarak toksinler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 63(1), 85-106.
- Bozbiyık, A. Hancı, İ. H. Özdemir, Ç. and Demirkan, Ö., 2001. Nükleer silahlar: Üretimi ve etkileri. 10, 10, 386.
- Kıbaroğlu, M., 2013. Enerji mi? silah mı? nükleerin iki yüzü. *Middle Eastern Analysis/Ortadoğu Analiz*, 5(58).
- Sarıbeyoğlu, M., 2004. Kitle imha silahlarının kullanımının yasaklanmasına ilişkin uluslararası düzenlemeler.
- Sarıbeyoğlu, M., 2004. Kitle imha silahlarının kullanımının yasaklanmasına ilişkin uluslararası düzenlemeler.
- Bellamy, R. J. and Freedman, A. R., 2001. Bioterrorism. *Qjm*, 94(4), 227-234.

- Littlewood, J. (2005). The biological weapons convention: a failed revolution. Aldershot, UK. Ashgate, 250.
- Atlas, R. M., 1998. The medical threat of biological weapons. *Critical Reviews in Microbiology*, 24(3), 157-168.
- Uyar, Y. and Akçalı, A., 2006. Viral agents as biological weapons. *Turkish Bulletin of Hygiene and Experimental Biology*, 63(1), 67-78.
- Akçalı, A., 2005. Biyolojik silah olarak virüsler. *Mikrobiyoloji Bülteni*, 39 (3), 383-397.
- Berger, T. Eisenkraft, A. Bar-Haim, E. Kassirer, M. Aran, A. A. and Fogel, I., 2016. Toxins as biological weapons forterror—characteristics, challenges and medical counter measures: a mini-review. *Disaster and Military Medicine*, 2(1), 1-7
- Çelen, M. B. and Çelik, G. Y., 2013. Biyolojik silahlar
- Kliemann, W. F. and Ruoff, K. L., 2001. Bioterrorism: implications for the clinical microbiologist. *Clinical Microbiology Reviews*, 14(2), 364-381.
- Kortepeter, M. G. And Parker, G. W., 1999. Potential biological weapons threats. *Emerging infectious diseases*, 5(4), 523.
- Köprülü, T. K., 2012. Tokat ilinde bulunan sert kenelerdeki (Acarı: Ixodidae) *Rickettsia* varlığının moleküler yöntemlerle tesbiti.
- Pakdemirli, A. and Dülger, D., 2021. Tarihsel bir biyolojik ajan ve KBRN açısından önemi: Ruam (Glanders) *Burkholderia mallei*. *Etilik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 32(2), 178-184.
- Parola, P. Paddock, C. D. and Raoult, D., 2005. Tick-borne rickettsioses around the world: emerging diseases challenging old concepts. *Clinical Microbiology Reviews*, 18(4), 719-756.
- Tercan B., 2020. Biyolojik afetler ve COVID- 19. *Paramedik ve Acil Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 1(1), 41- 50.
- Oğuz, Ş., and Taşkesen, S., 2021. Revaluation of the soviet and russian biological weapons program. *Uluslararası Kriz ve Siyaset Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 773-803.
- Dökmeci, A. H. and Çavlan, B., 2020. Biyolojik silah; biyolojik savaşlar, pandemiler ve Covid-19: *EJONS International Journal on Mathematic, Engineer Ingand Natural Sciences*, 16(4), 841-859.
- Ayaz, T. and Artuk, C., 2022. Yeni Nesil Savaşlar: Biyolojik Savaş ve Tıp. 2022, 25-29.
- Güleç, D., 2020. Covid 19; gıda güvenliği ve biyoterorizm (3).
- Macar, O. D., and Asal, U. Y. (2020). Covid-19 ile uluslararası ilişkileri yeniden düşünmek: tarih, ekonomi ve siyaset ekseninde bir değerlendirme. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(37), 222-239.

- Yüksel, O. and Erdem, R., 2016. Biyoterörizm ve Sağlık. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 19(2) 203-222.
- Doğancı, L. and Baysallar, M., 2001. Biyoterörizm ve biyolojik savunma. Flora, 6(4), 209-224.
- Roffey, R. Tegnell, A. and Elgh, F., 2002. Biological warfare in a historical perspective. Clinical Microbiology and Infection, 8(8), 450-454.
- Yakıcıer, C., 2002 Gen teknolojileri ve ulusal güvenlik. 8(3), 120-126.
- Yıldız, F., 2014. 19. Yüzyıl'da Anadolu'da salgın hastalıklar (Veiba, Kolera, Çiçek, Sıtma) ve salgın hastalıklarla mücadele yöntemleri (Master'sthesis).
- Yao, P. and Annamaraju, P., 2021. Clostridium perfringens. StatPearls.
- Doğanalp, T., 2016. Uluslararası hukukta kitle imha silahları ve silahsızlanmaya yönelik girişimler. Uluslararası Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 3(4), 15-28.
- Hart, J., 2009. Sovyet biyolojik silah programı. Ölümcül kültürlerde 132-156): Harvard Üniversitesi Yayınları.
- Najmuldeen, A., 2020. II. Dünya savaşında Japonya'nın uyguladığı Asya katliamları. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 7(8), 191-201.
- Celep, B., 2020. Demokrasi ve nükleer silahlar: İran örneği. 66(3), 101.
- Friedman, D. Kimyasal ve Biyolojik Silahların Yayılmasını Önleme: Obama Vizyonu ve Nükleer Silahsızlanma, 87-98.
- Zilinskas, R. A. (1997). Iraq's biological weapons: the past as future?. Jama, 278(5), 418-424.
- Daban, E. Z. and Daban, C., 2018. Saddam Hüseyin dönemi Irak dış politikası: Irak-İran savaşı, Kuveytin işgali ve ABD'nin Irak'a müdahalesi. Ahi Evran Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2(1), 83-109.
- Ateş, B. Y. and Erhan, Ç. T. D., 2020. *ABD'nin Ortadoğu Politikası ve Kitle İmha Silahları* (Doctoraldissertation, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyasal Bilgiler Fakültesi Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı).
- Bray, M., 2003. Defense against filoviruses used as biological weapons. Antiviral research, 57(1-2), 53-60.
- Coşar, Ş., 2012. Toplu çalışma alanlarında biyolojik ajanlar ve çalışan üzerine etkileri önleme yöntemleri.
- Şahin, F. and Demir, S., 2020. Virüsler, viral pandemileri etkileyen faktörler ve sonuçları. Muzaffer Şeker, Ali Özer ve Cem Korkut. Türkiye Bilimler Akademisi, 55-76.
- Conlan. W., 2004. Vaccines against Francisella tularensis—past, presentand future. Expertreview of Vaccines, 3(3), 307-314.
- Eivazzadeh-Keihan, R. Pashazadeh-Panahi, P. Baradaran, B. Guardia, M. Hejazi, M. Sohrabi, H. And Maleki, A., 2018. Clostridium botulinum nörotoksi-

- ninin algılanması için optik ve elektrokimyasal biyosensörlerde son gelişmeler. *Analitik Kimyada TrAC Eğilimleri* 103,184-197.
- De Almeida¹, M. A., Reis-Feroldi, M. M., and Lira, M. L. A., 2019. Frontal fibrosing alopecia development in two patients after botulinum toxin applications: relationship or coincidence? *Surgical Cosmetic and Dermatology*. 2019(13), e20210036.
- Mehdizadeh-Gohari, I. Navarro, M. A. Li, J. Shrestha, A. Uzal, F. A., and McC-lane, B. A., 2021. Pathogenicity and virulence of *Clostridium perfringens*. *Virulence*, 12: 723-753.
- Wisniewski, J. A. and Rood, J. I. 2017. The Tc_p conjugation system of *Clostridium perfringens*. *Plasmid*, 91, 28-36.
- Yadav, J. P. Kaur, S. Dhaka, P. Vijay, D. and Bedi, J. S., 2022. Prevalence, molecular characterization, and antimicrobial resistance profile of *Clostridium perfringens* from India. *A scoping Review Anaerobe*, 102639.
- Yavuz, U. and Akçalı, A., 2006. Biyolojik silah olarak viral ajanlar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 63(1), 67-78.
- Sahu, R. Verma, R. Dixit, S. Igietseme, J. U. Black, C. M. Duncan, S. and Dennis, V. A., 2018. Future of human Chlamydia vaccine: potential of self-adjuvanting biodegradable nanoparticles as safe vaccine delivery vehicles. *Expert Review of Vaccines*, 17(3), 217-227.
- El-Jakee, J. El-Hariri, M. D. El-Shabrawy, M. A. Khedr, A. A. Hedia, R. H. Khairy, E. A. and Ragab, E., 2020. Efficacy of a preparedtis suculture-adapted vaccine gainst Chlamydia psittaci experimentally in mice. *Veterinary World*, 13(11), 2546.
- Velavan, T. P. and Meyer, C. G., 2021. COVID-19: a PCR-defined pandemic. *International Journal of Infectious Diseases*, 103, 278-279.
- Ahmad, T. Khan, M. Musa, T. H. Nasir, S. Hui, J. Bonilla-Aldana, D. K. and Rodriguez-Morales, A. J., 2020. COVID-19: Zoonotic aspects. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 36, 101607.
- Akın, K. D. Gurkan, C. Budak, A. and Karataş, H., 2022. Classification of Monkeypox skin lesion using the explainable artificial intelligence assisted convolutional neural networks. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 40, 106-110.
- Akkuş, M. S., 2020. Koronavirüs ve COVID-19. *Aksaray Üniversitesi Tıp Bilimleri Dergisi*, 1 (2), 15-20.
- Aşılıoğlu, B. and Gökpınar, S., 2022. Biyoterörizm ve potansiyel biyoterörizm ajanı olan parazitler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 15(1), 66- 85.
- Bennett, J.W. and Klich, M., 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Review*, 16, 497-516.

- Casadevall, A. and Pirofski, L. A., 2006. The weapon potential of human pathogenic fungi. *Medical Mycology*, 44(8), 689-696.
- Akbıyık, A. and Avşar, Ö., 2020. Coronavirüs enfeksiyonu virüsünün (COVID-19) epidemiyolojisi ve kontrolü. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 5 (2), 109-116.
- Tepetaş, M. and Sungur, S., 2022. Maymun çiçeği virüsü salgını. Estüdam Halk Sağlığı Dergisi, 7(3), 550-556.
- Şimşek, D., 2022. Maymun çiçeği virüsü hastalığı (Monkeypox). *A A*, 25, 05.
- Ndwandwe, D. and Wiysonge, C. S., 2021. COVID-19 vaccines. *Current opinion in immunology*, 71, 111-116.
- Verma, S. and Varma, R. K., 2019. Recent emerging diseases likely to cause major epidemics. *Indian Journal of Drugs*, 7(2), 49-51.
- Odabaşı V. Öztosun, G. Özdemir, Ö. F. Bozdemir, T. And Alabaz, D., 2022. Çocuklarda COVID-19. Çukurova Tıp Öğrenci Dergi, 2(1), 1-8.
- Faisal, A. R. M. Imtiaz, S. H. Zerine, T. Rahman, T. and Shekhar, H. U., 2017. Compute raider epitope design as a peptide vaccine component against Lassa virus. *Bio information*, 13(12), 417.
- Pérez-Losada, M. Arenas, M. Galán, J. C. Palero, F. and González-Candelas, F., 2015. Recombination in viruses: mechanisms, methods of study, and evolutionary consequences. *Infection, Genetics and Evolution*, 30, 296-307.
- Aksoy, Ü. Ç. and Özkan, A. T., 2006. Biyolojik silah olarak paraziter ajanlar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 63 (1), 79-84.

Ciğerotları, Etnobriyoloji ve Türkiye’de Bulunan Bazı Ciğerotlarının Etnobriyolojik Özellikleri

Özcan Şimşek¹

Özet

Ciğerotları, boynuzotları ve karayosunlarından oluşan briyofitler ilkel yapıları ve zengin tür çeşitliliği ile dünyadaki ikinci büyük karasal bitki grubunu oluştururlar. Ciğerotları orta devoiyen dönemlerden günümüze ulaşmış en eski karasal bitkilerdendir. Bu kadar uzun zaman dilimi boyunca neslini devam ettirebilmiş ve bunu yaparken de çeşitli adaptasyonlar geliştirmişlerdir. Ürettikleri sekonder metabolitler sayesinde insanlar tarafından gıdadan tıba, kozmetikten tekstile kadar birçok farklı alanda kullanılmışlardır. İnsan varoluşundan bu yana bitkilerle sürekli ilişki içinde olmuştur. Bu ilişkiyi incelemek amacıyla disiplinler arası bir alan olan etnobotanik bilimi doğmuştur. Briyofitlerin insan ile ilişkisini inceleyen bilim ise etnobriyoloji olarak adlandırılmıştır. Bilim dünyası için yeni sayılabilecek alanlar olmaları nedeniyle etnobriyoloji ve etnobotanik alanındaki çalışmalar ancak son yıllarda hızlanabilmiştir. Bu çalışma ile etnobotanik, etnobriyoloji, ciğerotlarının özellikleri ile Türkiye’de yayılış gösteren bazı ciğerotlarının etnobriyolojik özellikleri hakkında bilgiler sunulmuştur.

GİRİŞ

Pek tanınan bitkiler olmayan ve çoğunlukla karayosunları ile karıştırılan ciğerotları doğada oldukça yaygın bulunan, zarif ve ilginç bitkilerdir. ‘Ciğerotu’ kelimesinin kökeni, vücudun belirli bir bölümüne benzeyen bitkilerin vücudun o bölümündeki rahatsızlıkları tedavi etmek için kullanılabileceğini belirten ‘imza doktrini’ne dayanmaktadır. Tallusu ciğerotları insan karaciğerine belli belirsiz benzediğinden, Yunanca ve Latince karaciğer anlamına gelen “Hepatica” kelimesinden türetilmiş ve diğer dillere de uyarlanmıştır (örn. liverwort (İngilizce), leberkraut (Almanca), hepatiche (Fransızca), fegatella

1 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yenice Meslek Yüksekokulu Ormancılık Bölümü, Yenice, Çanakkale, ORCID: 0000-0002-3210-7641, ozcansimsek@comu.edu.tr

(İtalyanca), Azez alsacher (Arapça), vb.) (Bowman, 2016). Her ne kadar Fry ve Fry (1911) “çiğeroTLu” kelimesinin ilk olarak 18. yüzyıl başlarında İtalyan botanikçi Micheli tarafından kullanıldığını ifade etse de Fuchs ilk kez 1542’de yayınlanan *De Historia Stirpium* adlı eserinde, basılı literatürde *M. polymorpha*’nın (dişi) ilk kesin tasvirine yer verirken bu bitki için “liken” yerine “hepatica” ifadesini kullanan eski yazarları eleştirmekte ve bitkinin eski Yunan eserlerinde karaciğer için herhangi bir kullanımına rastlamadığından bahsetmektedir (Bowman, 2016). Bu da bize çiğeroTLu teriminin çok daha önceleri de kullanıldığını göstermektedir.

İnsanlığın bitkilerle olan ilişkisi her ne kadar bilişsel devriminden de önceye, varoluşundan bu zamana dayanıyor olsa da bitkiler hakkındaki bilimsel araştırmaların temelleri M.Ö. 6. ila 4. yüzyıllarda Yunanlı filozofların dünyayı anlama çabası ile başlamıştır. İlk zamanlarda araştırmalar bitki listesi oluşturma ve bu listedeki bitkilerin nasıl kullanılacağını tarif etme üzerine odaklanmıştır. Bilinen en eski listelerden birinin Karystos’lu Diokles tarafından M.Ö. 350 civarında hazırlanmış olduğu bilinmekte ve listesinde bitkilerin basit tanımlarını, habitatlarını ve tıbbi kullanımalarını içerdiği düşünülmektedir. Her ne kadar bu ilk yazılı eserlerin orijinalleri günümüze ulaşamamış olsa da antik Yunan’dan Rönesansa kadar eski yazarlar bu liste şeklindeki yazım formatını kullanmaya devam etmişlerdir. Antik çağlardan karanlık çağa kadar kimi eserlerde belirsiz bazı tanımlamalar ve çizimlerde çiğeroTLarına rastlanmakla birlikte ilk gerçekçi ve net çiğeroTLu tanım ve çizimlerine rönesans döneminde rastlanmaktadır. Bu dönemde yapılan tanım ve çizimlerde özellikle *Marchantia* cinsi bitkilere odaklanılırken yanında diğer bazı çiğeroTLu taksonlarına da yer verilmektedir (Bowman, 2016).

Gezegenin ilk karasal bitkilerinin günümüzdeki temsilcileri olan çiğeroTLarı ile ilgili en eski fosil örneğe orta devoniyen dönemde rastlanmaktadır. İyi korunmuş tallus fosilleri ile *Metzgeriothallus sharonae* bilinen en eski çiğeroTLu olarak kayda geçmiş olmakla birlikte bundan daha eski döneme tarihlenen çiğeroTLu spor fosilleri de mevcuttur (Şimşek vd. 2016). Dolayısıyla çok eski zamanlardan beri gezegenimizde varlığını sürdürebilmiş olan çiğeroTLarının insanlar tarafından da tarih boyunca çeşitli amaçlarla kullanılmış olması kaçınılmazdır.

ÇİĞEROTLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

ÇiğeroTLarı (*Marchantiophyta*), boynuzotları (*Anthocerotophyta*) ve karayosunlarını (*Bryophyta*) içeren bitki grubu için “Briyofit” terimi kullanılmaktadır. Briyofitlerin arasında karayosunlarından sonra en çok tür içeren grup çiğeroTLarıdır. Söderström vd. (2015) dünyadaki çiğeroTLu

ve boynuzotlarının toplamını 92 familya ve 398 cinse ait 7486 tür olarak belirtirken bunların yalnızca 215'i boynuzotudur.

Çiçekli bitkiler ve eğreltilerde olduğu gibi briyofitler de fotosentez yoluyla kendi besinlerini üretirler. Klorofil içerdikleri için büyük çoğunluğu yeşil renktedir. Bununla birlikte briyofitler su ve çözünmüş mineralleri almak ve bünyesinde suyun iletimini sağlamak için gerekli uygun bir kök ile iletim sistemine sahip değildir. Bu nedenle de boyut olarak küçük bitkilerdir (Atherton vd, 2010).

Tür zenginliği bakımından karayosunlarından daha küçük bir grup olmasına rağmen ciğerotları form olarak daha fazla çeşitliliğe sahiptir. Ciğerotları form özellikleri nedeniyle yapraksı (Jungermanniopsida sınıfı) ve tallussu (Marchantiopsida sınıfı) şeklinde alt bölümlere ayrılabilirken bunlara ek olarak hem yapraksı hem de tallussu ciğerotlarının özelliklerini gösteren Haplomitriopsida sınıfı da üçüncü bir form olarak dikkat çeker (Hodgets vd, 2019).

Yapraksı ciğerotları yaprakları bakımından, basit veya iki/üç loblu yapraklardan, derinlemesine liflere bölünmüş veya asimetrik olarak bölünmüş yapraklara, bir lob diğerinden daha büyük veya küçük bir cebe dönüşmüş loba sahip yapraklardan kask benzeri çeşitli şekillere kadar farklı şekil ve boyutta yapraklara sahip ilginç bitkilerdir. Ayrıca, yapraksı ciğerotları tipik olarak gövdenin karşıt taraflarına doğru uzanan iki sıra ana (yanal) yaprağa sahipken, birçok türün gövdesinin alt yüzeyinde (alt yaprak veya amphigastria) ek bir sıra yaprak vardır ve bunlar genellikle yan yapraklardan daha küçük olup şekil olarak da farklıdır (Hodgets vd, 2019).

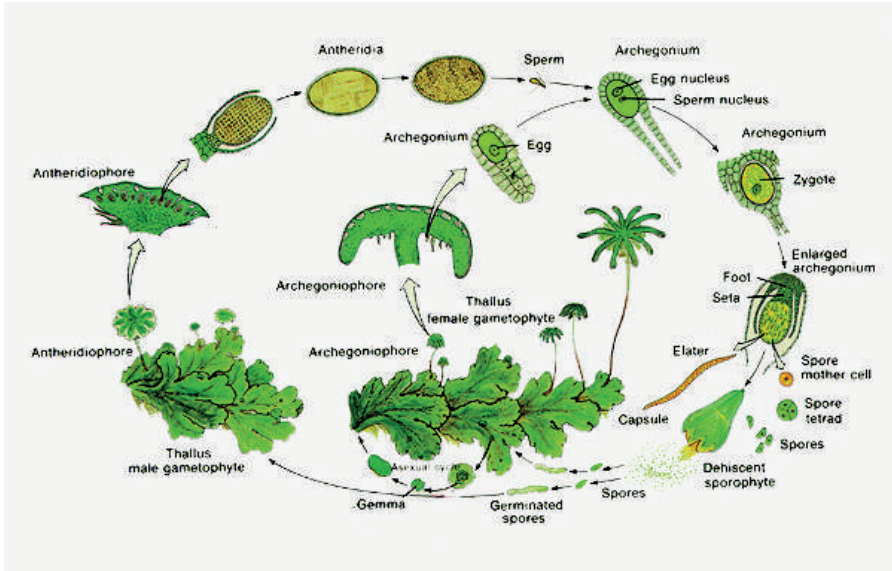
Ciğerotları oldukça ilkel bitkilerdir. Her ne kadar karasal yaşama ilk adaptasyon sağlayan bitkilerden olsalar da üremeleri halen suya bağımlıdır. Tohumsuz bitkiler olan ciğerotlarında polen ve tohum oluşumu görülmez. Üremelerini sporlar vasıtasıyla gerçekleştirirler. Spor oluşumu için anteridyum adı verilen erkek organdaki spermilerin arkegonyum adı verilen dişi organdaki yumurtaya ulaşması gerekir. İşte bu aşamada suya ihtiyaç vardır. Zira spermiler yumurtaya ancak suda yüzerek ulaşabilmektedirler. Dolayısıyla ortamda su bulunmadığı zaman spermilerin yumurtaya ulaşması mümkün olmaz ve böylece dölleme gerçekleşemez. Bu sebeple de ciğerotlarının üremeleri suya bağımlıdır (Şimşek, 2012).

Karasal yaşama geçişte adaptasyon süreci ciğerotlarını bazı önlemler geliştirmeye de teşvik etmiştir. Bu bitkilerin karada yaşamalarına karşın üremelerinin suya bağımlı olması nesillerinin devamlılığı için olumsuz bir durumdur. Bu sebeple ciğerotları karasal yaşama adaptasyon sürecinde

vejetatif üreyebilme özelliğini kazanmışlardır. Bazı tallusu çiğerotharı “gemma çanağı” denilen yapılarının içerisinde “gemma” adı verilen bir hücre grubu meydana getirirler. Bazı yapraksı çiğerotharı ise yapraklarının kenarlarında ya da sürgünlerinin uçlarında gemma oluştururlar. Oluşan gemmalar suyun yeterli olmaması gibi üreme için elverişsiz koşullar altında ve döllenmenin gerçekleşmediği durumlarda ayrıldığı bitkinin bir kopyasını oluşturmak ile görevlidirler. Böylelikle bitki neslinin devamlılığı sağlanabilir. Gemmadan gelişen bitki genetik olarak ayrıldığı bitki ile bire bir aynı özellikleri taşır. Çiğerotharının üremelerini sağlayan sporlar sporofitte oluşturulur. Bir çiğerothu anteridyum adındaki erkek organ ve arkegonyum adındaki dişi organı ihtiva eder. Yumurthanın döllenmesi sonucu oluşacak sporofit arkegonyumdan farklılaşarak gelişir. Böylelikle sporofit gametofitin üzerinde gelişir. Sporofit beslenmesini seta yardımıyla gametofitten sağlar. Bu sebeple çiğerotharında sporofit gametofite bağımlıdır. Sporofit üç temel bölümden oluşur. Bu bölümler, içinde sporların geliştiği kapsül, kapsüle besin ulaşmasını sağlayan seta ve seta vasıtasıyla kapsülü gametofite bağlayan ayak kısımlarıdır. Briyofitler genel olarak dörtlü gruplar olan spor tetradları oluşturur. Tetrad adındaki bu dörtlü yapı tek bir spor ana hücresi tarafından meydana getirilir ve sıkı bir şekilde tetrahedral formda paketlenir. Riccia ve Sphaerocarpos gibi bazı cinslerde spor ana hücrelerinin hepsi spor oluşturmayıp bu hücrelerden bazıları verimsiz besleyici hücrelere dönüşürler. Bu hücreler sporların beslenmesine yardımcı olurlar. Elaterler de bazı sporojen hücreleri tarafından meydana getirilir. Bazı sporojen hücreleri spor ana hücresi olmak üzere farklılaşırken bazıları da elater ana hücreleri olmak üzere farklılaşır. Böylece bu hücreler elater ya da pseudo-elaterleri meydana getirirler. Elaterler sporların kapsülden ayrılmasını sağlamaya yardımcı olurlar. Tüm türlerde elater bulunmayabilir. Çoğu türde spor tetradları elaterlere tutunur. Elaterler kapsül duvarına bağlıdır (Şimşek, 2012).

Bir çiğerothunun yaşam döngüsü iki evreden oluşmaktadır. Bunlar birey gelişiminin olduğu “n” kromozomlu “haploid” safha ve üremenin olduğu “2n” kromozomlu “diploid” safhadır. Bu aşamaların birbirini takip etmesi neticesinde çiğerotharında “haplodiplobiyont” bir döl almaşı görülür. Bir çiğerothunun yaşamı haploid bir spor ile başlar. Toprağa düşen spor uygun şartları bulduğunda çimlenerek protonema yapısını oluşturur. Protonema safhası kısa süreli geçici bir aşamadır. Protonema apikal bölünmeler geçirerek genç bireyi meydana getirir. Birey yeterince geliştiğinde erkek ve dişi üreme organlarını meydana getirir. Erkek ve dişi organ aynı bireyde bulunabileceği gibi farklı bireylerde ya da aynı bireyin farklı kollarında da bulunabilirler. Erkek ve dişi organın aynı birey üzerinde bulunduğu durumda bitkiye monoik bitki, erkek ve dişi organların farklı bireyler üzerinde bulunduğu

durumlarda ise bitkiye dioik bitki denir. Bitkinin yaşamının ikinci aşaması ise üreme ile devam eden aşamadır. Yeterli olgunluğa erişen ve üreme organları gelişen çiğertotu erkek organlarında spermleri, dişi organlarında ise yumurtaları oluşturur. Olgunlaşan spermler suda yüzerek dişi organdaki yumurtaya ulaşırlar ve döllenmeyi gerçekleştirirler. Yumurtanın döllenmesiyle $2n$ kromozomlu zigot oluşur. Embriyo 3 temel yapıyı oluşturacak şekilde bölünmeye başlar. Bu bölümler sporofitin gametofite bağlandığı ayak kısmı, içinde sporların oluşacağı kapsül kısmı ve kapsülle ayak kısmı arasında, sporofitin gametofit vasıtasıyla beslenmesinde işlevi olan seta kısmıdır. Kapsül duvarına bağlı elaterler kapsülün patlayarak sporların dışarıya çıkmasına yardımcı olur. Spor toprağa düşer ve çimlenmek için uygun koşulları bekler. Böylelikle çiğertotunun yaşam döngüsü baştan başlar (Şekil 1).



Şekil 1 Tallussu bir çiğertotunun yaşam döngüsü (Kaynak: URL 1)

ETNOBOTANİK VE ETNOBRİYOLOJİ

Etnobotanik, bitkiler ve insanlar arasındaki ilişkiyi inceleyen disiplinler arası bir alandır. Etnobotanik terimi ilk olarak 1895 yılında Amerikalı botanikçi John William Harshberger tarafından Aborjinler'in kullandığı bitkiler ile ilgili bir çalışmada kullanılmıştır. Etnobotanik sözcüğünün anlamı, ortaya çıktığı yıldan bu zamana kadar giderek genişlemiştir. Etnobotaniğin konusu bitkilerin sadece tıbbi ve gıda amaçlı kullanımı değildir. İnsanların bitkilerden somut ya da soyut şekillerde yararlanmaları veya sadece isim vermeleri bile etnobotaniğin konusuna girer. Etnobotanik çalışmalarda

adlandırılan ve yararlanılan bitkilerle ilgili tüm yerel bilgiler kayıt altına alınır (Balos, 2021).

“Etnobriyoloji” terimi ise ilk kez briyolog Seville Flowers (1957) tarafından Utah’ın Gosiute halkı tarafından briyofitlerin kullanımıyla ilgili bir makalede kullanılmıştır. Gerek etnobotanik çalışmaların ağırlıklı olarak gelişmiş bitkiler üzerinde yoğunlaşması gerekse briyofitler ile ilgili literatürde çok fazla araştırma olmaması etnobriyoloji terimine olan ilginin düşük kalmasına sebep olmuştur. Bunun yanında çok iyi tanınan bitkiler olmamaları, küçük yapıları nedeniyle ayırt edilmelerinin zor olması, halk arasında çiğerothu, boynuzotu, karayosunu ayrımlarının olmayıp tüm briyofitler için “ağaç yosunu”, “kaya yosunu” gibi genel tanımlamalar yapılması bu bitkilerin etnobotanik kullanımları konusunda bilgi elde edilmesini zorlaştıran etmenlerdir. Briyofitlerin kullanımlarının daha büyük, daha göze çarpan trakeofit kuzenlerinin kullanımları kadar sık olmaması gerçeğine rağmen, dünya çapında briyofit kullanımının birçok ilginç örneği bulunmaktadır. Özellikle Çin tıbbında bu konuda dikkate değer örnekler rastlanmaktadır. Bununla birlikte yalnızca Çin değil, dünyanın birçok farklı bölgesinde briyofitlerin insanlar tarafından çeşitli amaçlarla kullanılması söz konusudur (Harris, 2008). Örneğin *Marchantia polymorpha* L. en çok bilinen ve üzerinde antik çağlardan beri en çok çalışma yapılan çiğerothu türü olup bu bitkinin eski çağlarda karaciğere iyi geldiğine inanıldığı ve çiğerothu teriminin bu bitki dolayısıyla ortaya çıktığı kabul edilmektedir (Bowman, 2016).

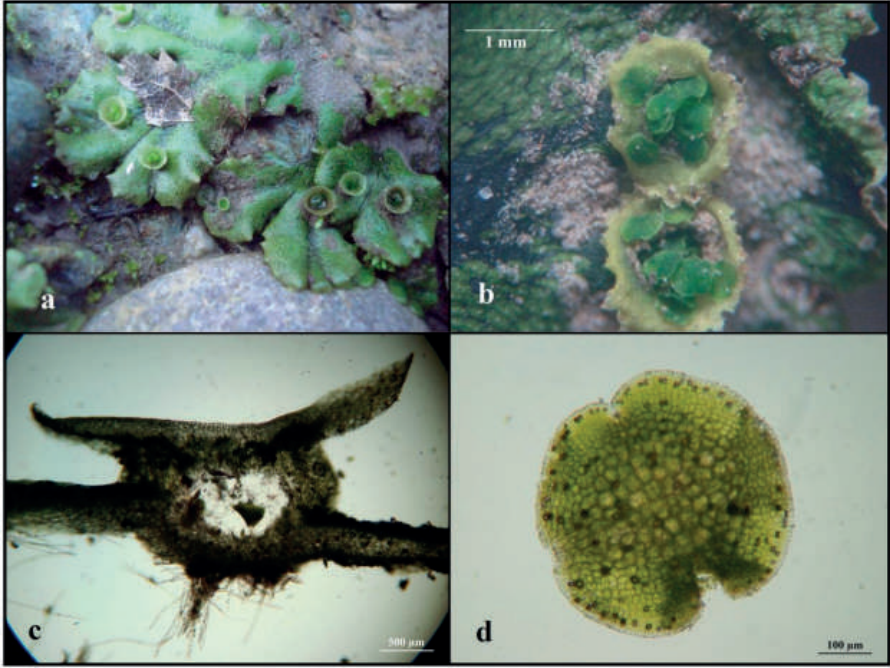
Abay (2011) yaptığı çalışmada briyofitlerin etnobriyolojik özelliklerine dair literatürü incelemiş ve Türkiye’de yayılış gösteren bazı briyofitlerin etnobriyolojik kullanımlarını ortaya koymuştur. Buna göre literatürde briyofitlerin indikatör türler olarak değerlendirildiği, erozyon kontrolünde önemli işlevleri olduğu, bitkilerin büyümesi için gerekli azot elementini bağlamada önemli görevleri olduğu bildirilmektedir. Ayrıca, atmosferdeki SO₂ ve asit yağmurlarının etkilerinin ölçülmesinde bir briyometre olarak bu grup bitkilerin kullanılabilceğinden de söz edilmektedir. Hava kirliliğinde ağır metallerin biyoindikatörleri ve radyoaktif elementlerin de önemli gösterge türleri olduğu yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Briyofitler bu tür ekolojik kullanımlarının yanında bahçecilikte, bonsaide de önemli ölçüde kullanılmaktadır. Ekonomik açıdan da önemli bir yere sahip olan bu bitkiler tıpta birçok hastalıkların tedavisinde uzun yıllardan beri kullanılmıştır. Hatta bazı ülkelerde halen kullanılmaya devam edilmektedir (Abay, 2011).

TÜRKİYE'DE YAYILIŞ GÖSTEREN BAZI CİĞEROTLARININ ETNOBRYOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Kiremit ve Keçeli 2009 yılında yayınladıkları çalışma ile Türkiye’de 169 ciğerotu türü olduğunu bildirmiştir. O tarihten bugüne yeni bulguların ortaya çıkmasıyla bu rakamın 170’den fazla olduğu söylenebilir. Türkiye’de bulunan ciğerotlarından etnobiyojik özelliğe sahip türler de mevcuttur. Etnobiyojik olarak kullanılan ciğerotlarının ağırlıklı şekilde tallussu türlerden oluştuğu dikkati çekmektedir. Etnobiyojik özelliği bilinen ve Türkiye’de yayılış gösteren bazı ciğerotları şu şekildedir:

Marchantia polymorpha:

Dünyada en çok kullanılan ve tıbbi kullanımından en çok bahsedilen briyofit türüdür (Şekil 2). En az on farklı ülkede tıbbi olarak değerlendirilmiştir. Hatta bitki şekil itibariyle karaciğere benzediği için, geçmişte karaciğer hastalıklarının tedavisinde kullanılmış olmakla beraber günümüzde bu kullanım şekli çok yaygın değildir. Bitkinin kullanım alanlarına örnek vermek gerekirse; Çin’de harici hastalıklarda bazı bitki yağları ile karıştırılarak egzama, kesik, ısırık, yara ve yanık tedavisinde, ateş, toksinlerin atılması ve karaciğer bozukluklarında, kesikler, zehirli yılan ısırıkları, yanıklar ve açık yaraların tedavisinde, bıçak yaralarında, kırık kemiklerde, kan çıbanı ve ayaklardaki mantar hastalıklarının tedavisinde kullanılır. Küba’da, verem ve tüberküloz tedavisinde kullanılır. Avrupa ve Hindistan’da da karaciğer tedavisinde kullanıldığı bildirilmiştir. Kolombiya’da eski zamanlarda idrar kesesindeki taşların atılmasında ve karaciğer tedavisinde kullanılmıştır. Fransa’da, bu bitkiden üre temizleyici ve karaciğer tedavi edici olarak yararlanılmıştır. Almanya’da hala kepek ve kaşıntı tedavisinde kullanılmakla beraber, karaciğer hastalıklarındaki kullanımı günümüzde sona ermiştir. Hindistan’da yanıklar için, çıban ve apseler için ilaç olarak kullanılmaktadır. İngiltere’de karaciğer ve deri hastalıkları, tüberküloz ve ödem tedavisinde kullanıldığı rapor edilmiştir. Amerika’da da karaciğer tedavisinde kullanılmıştır. Vietnam’da ise bıçak yarası, kırık kemik, yılan ısırığı, sivilce, deri hastalıkları, yanık tedavisinde kullanılmaktadır (Abay, 2011).

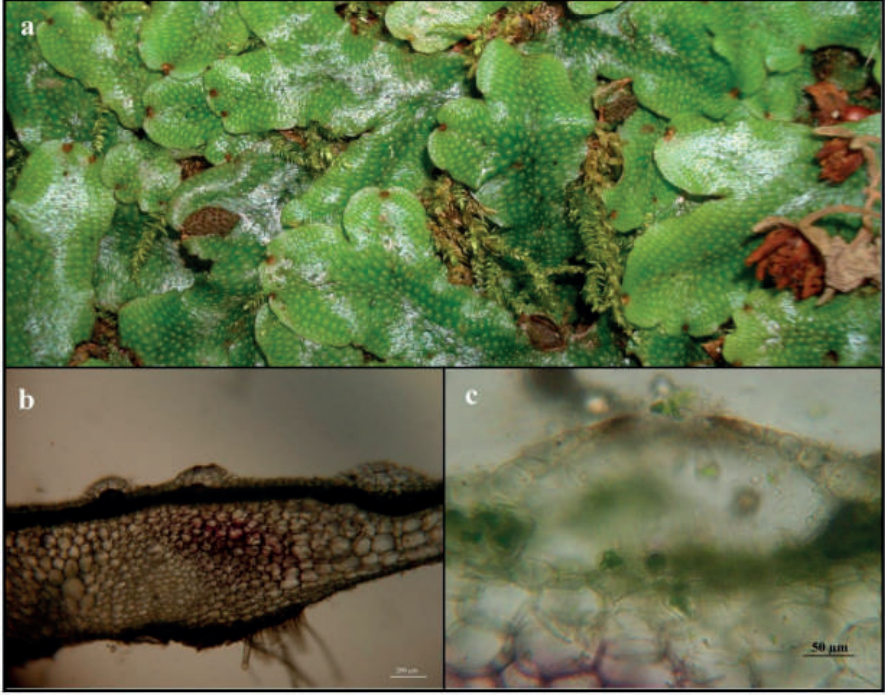


Şekil 2 Marchantia polymorpha L. (Kaynak: Şimşek, 2012) a. Bitkinin doğal ortamında görünüşü, b. Gemma çanaklarının makroskobik görünüşü, c. Enine kesitte gemma çanağı, d. Gemma

Conocephalum conicum:

Bu çiğeroqu türü beş farklı ülkede (Kanada, Çin, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, İskoçya) tıbbi açıdan önemli bir bitki olarak tescillenmiştir (Şekil 3). Bu bitkinin kullanım şeklinin çoğu, çeşitli deri hastalıklarının tedavisi yönündedir. Buna karşın, Avrupa ülkelerindeki bilgiler bu bitkinin dâhili olarak da alındığı yönündedir. Kanada’da ağız yaralarının ve isiliklerin, kaşıntıların tedavisinde ağızda tutularak kullanılmıştır. Küçük çocuklar için kullanılacağı zaman hazırlanan malzemenin suya sokularak ve etkisi azaltılarak hazırlanmış bir eriyikle ağza sürülerek temizlendiği, böbrek hastalıklarında ve katarakt tedavisinde de halen kullanıldığı bildirilmektedir. Çin’de kaynar suyla haşlanmış yerler, egzama, kesik, ısırılan (yılan ısırığı) ve incinen yerler ile yanıkları tedavi etmek için bitkisel yağlarla hazırlanmış bir karışım olarak kullanılmaktadır. Antimikrobiyal, antifungal ve vücuttaki ateş ile zehirli toksinleri atmada kullanıldığı, vücuttaki yarık yerler, şiş dokular ve safra kesesi taşı tedavilerinde de kullanılabileceği anlatılmaktadır. Ağrıyı durdurucu, vücudun arka kısmında oluşan kan çıbanı, sivilce veya kangreni, bıçakla yararlanan yerleri, kırılan kemikleri iyileştirmede kullanıldığı ifade

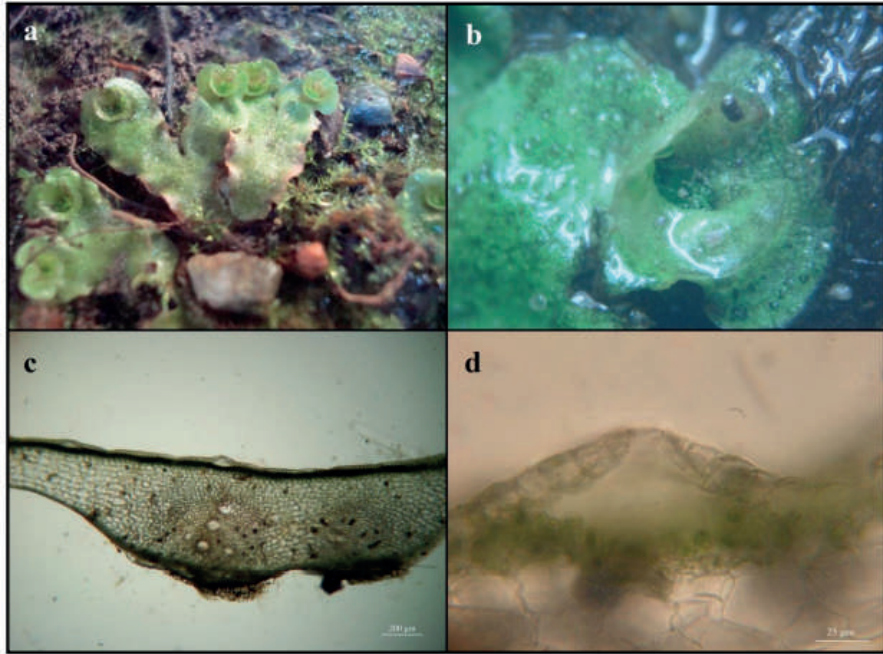
edilmektedir. Fransa’da idrar yolu rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılmıştır. Amerika’da bir zamanlar tıbbi özelliğe sahip bir bitki olduğu, İngiltere’de ise böbrek taşı rahatsızlıklarında faydalı olacağı düşünülmüştür (Abay, 2011). İnsektisit özelliği üzerine yapılan araştırmalar bulunmaktadır (Öztürk vd, 2018).



Şekil 3 *Conocephalum conicum* (L.) Underw. (Kaynak: Şimşek, 2012) a. Bitkinin doğal ortamında görünüşü, b. Tallusun enine kesiti, c. Enine kesitte hava poru

Lunularia cruciata:

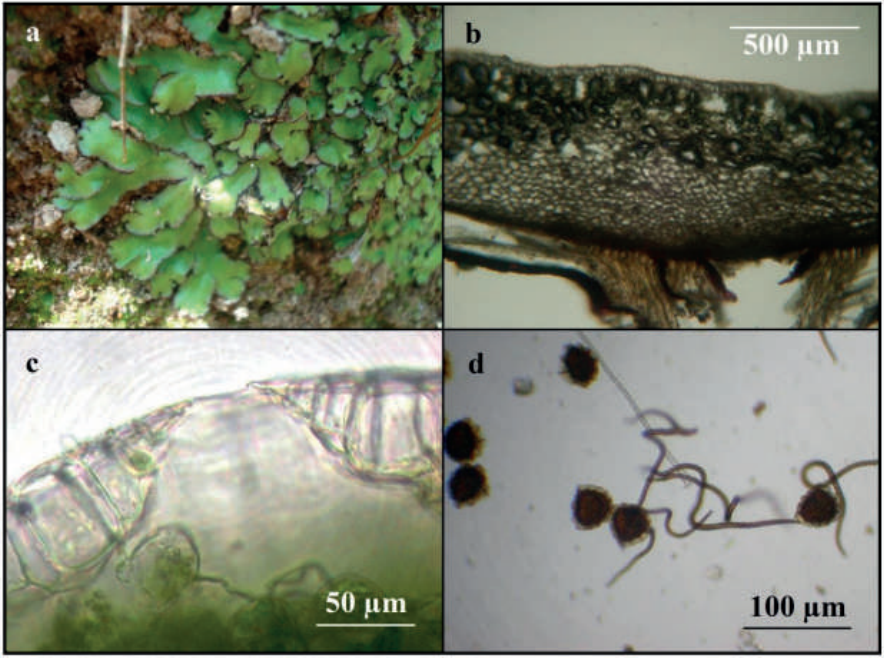
Peru’da böbrek tedavisinde; tüm bitkinin kaynatılarak çay şeklinde kullanıldığı ya da mısır birasında bir malzeme olarak kullanıldığı rapor edilmiştir (Şekil 4) (Abay, 2011). Ayrıca bayıllara karşı kullanımı da söz konusu olup asıl önemli özelliğinin ise test edilen briyofitler arasında en önemli antibiyotik aktivite gösteren türlerden biri olduğu bilinmektedir. *L. cruciata*’nın kimyasal analizi antimikrobiyal, antioksidan, sitotoksik ve kardiyotonik aktivitelere sahip olan lunularin, lunularik asit ile bisbibenzillerin ve bunların türevleri olan luteolin-7-O-glucoside ve quercetin’in varlığını ortaya koymuştur (Motti vd. 2023).



Şekil 4 Lanularia cruciata (L.) Dumort. (Kaynak: Şimşek, 2012) a. Bitkinin doğal ortamındaki görünüşü, b. Yarım ay şeklinde gemma çanağı, c. Tallusun enine kesiti, d. Enine kesitte hava poru

Reboulia hemisphaerica:

Çin’de kanamayı durdurmada, harici yaralarda ve eziklerde kullanılmıştır. Lekeler, hemostaz, dış yaralar ve morluklar için kullanıldığı bilinmektedir (Şekil 5). Antimikrobiyal etkisi olduğu da bilinmektedir (Mondal ve Mondal, 2009; Abay, 2011; Chandra vd, 2017). Tosun vd. (2016) bitkinin yara iyileştirme potansiyelini gösteren bir çalışma gerçekleştirmiştir.



Şekil 5 *Rebulia bemisphaerica* (L.) Raddi (Kaynak: Şimşek, 2012) a. Bitkinin doğal ortamındaki görünüşü, b. Tallusun enine kesiti, c. Enine kesitte hava poru, d. Sporlar ve elaterler

Plagiochasma rupestre:

Peru'da böbrek hastalıkları ve yara tedavisinde kullanıldığı ve bütün bitkinin kaynatılıp çay şeklinde içildiği ifade edilmiştir (Şekil 6) (Abay, 2011). Tosun vd. (2016) tarafından yapılan çalışma ile yara iyileştirme potansiyeli ortaya konmuştur.



Şekil 6 Plagiochasma appendiculatum Lehm. et Lind. (Kaynak: URL 2)

Targionia hypophylla:

Türkiye’nin güney bölgelerinden toplanan bazı çiğeroqları ile yapılan çalışmada *Reboulia hemisphaerica* ve *Plagiochasma rupestre* ile birlikte *Targionia hypophylla*’nın da yara iyileştirme potansiyeli olduğu tespit edilmiştir (Tosun vd, 2016). Hindistan’ın Kerela eyaletinde cilt yaralarında iyileştirme amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (Chandra vd. 2017).



Şekil 7 *Targionia hypophylla* L. (Kaynak: URL 4)

Bazzania trilobata:

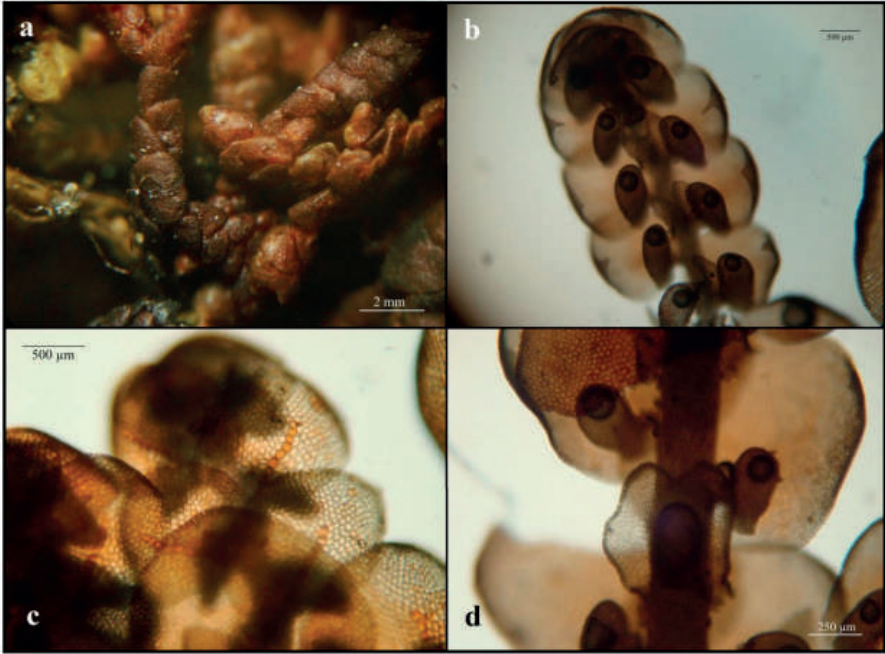
Amerika Birleşik Devletleri'nde sarı boya olarak kullanılmaktadır (Şekil 8) (Abay, 2011). Bununla birlikte yapılan çeşitli araştırmalarda *B. trilobata*'nın antifungal özellikleri ortaya konmuştur (Mekuria vd, 1999; Scher vd, 2004).



Şekil 8 Bazzania trilobata (L.) Gray (Kaynak: URL 3)

Frullania tamarisci:

Çin’de antiseptik, kalbi temizleyici, yanıkları, ritim bozukluklarını, kızarmış gözleri ve bulanık görmeyi tedavi edici özelliği bildirilmektedir (Şekil 9) (Abay, 2011). *F. tamarisci*’nin antiseptik özelliğinin yanında alerjik özelliği de bildirilmiştir (Chandra vd, 2017).



Şekil 9 *Frullania tamarisci* (L.) Dumort. (Kaynak: Şimşek, 2012) a. Bitkinin makroskobik görünümü, b. Bitkinin ventralden görünümü, c. Yapraklarda farklılaşmış hücre dizileri (Ocelli), d. Alt yaprak ve ventral yaprak lobülleri

KAYNAKLAR

- Abay, G. (2011). Ethnobotanical Uses of Some Bryophytes Spreading in Turkey. In 2nd International Non-Wood Products Symposium (p. 305).
- Atherton, I., Bosanquet, S., & Lawley, M. (Eds.). (2010). *Mosses and liverworts of Britain and Ireland: a field guide* (p. 848). Plymouth: British Bryological Society.
- Balos, M. (2021). Mardin ili geofit florası ile etnobotanik özellikleri ve bazı taksonlar üzerinde fitokimyasal araştırmalar. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Bowman, J. L. (2016). A brief history of Marchantia from Greece to genomics. *Plant and Cell Physiology*, 57(2), 210-229.
- Chandra, S., Chandra, D., Barh, A., Pandey, R. K., & Sharma, I. P. (2017). Bryophytes: Hoard of remedies, an ethno-medicinal review. *Journal of traditional and complementary medicine*, 7(1), 94-98.
- Flowers, S. (1957). ethnobotany of the Goshute Indians of Utah. *The Bryologist*, 60(1), 11-14.
- Fry, E., & Fry, A. (1911). *The Liverworts, British and Foreign*. Witherby & Company.
- Fuchs L, Füllmaurer H, Meyer A, Specklin VR. (1542) *De historia stirpium commentarii insignes*. In officina Isingriniana, Basileae
- Harris, E. S. (2008). Ethnobotany: traditional uses and folk classification of bryophytes. *The bryologist*, 111(2), 169-217.
- Hodgetts, N., Cáliz, M., Englefield, E., Fettes, N., García Criado, M., Patin, L., Nieto, A., Bergamini, A., Bisang, I., Baisheva, E. and Campisi, P., 2019. A miniature world in decline European Red List of Mosses, Liverworts and Hornworts. IUCN.
- Kiremit, H.Ö. and Keçeli, T. 2009. An Annotated Check-list of the Hepaticae and Anthocerotae of Turkey, *Cryptogamic Bryologie*, 30(3); 343-356.
- Mekuria, T., Blaeser, P., Steiner, U., Dehne, H. W., Lyr, H., Ressel, P. E., & Sisler, H. D. (1999). Bryophytes as a new source of antifungal substances in crop protection. *Modern fungicides and antifungal compounds II*. (Eds H Lyr, PE Russell, HW Dehne, HD Sister) pp, 483-490.
- Mondal, K. A., & Mondal, S. (2009). Ethnobotany-Seeking More Deserving Future. *Frontiers in Biology*, 1, 31-36.
- Motti, R., Palma, A. D., & de Falco, B. (2023). Bryophytes Used in Folk Medicine: An Ethnobotanical Overview. *Horticulturae*, 9(2), 137.
- Öztürk, M., Gökler, İ., & Altay, V. (2018). Medicinal bryophytes distributed in Turkey. *Plant and Human Health, Volume 1: Ethnobotany and Physiology*, 323-348.

- Scher, J. M., Speakman, J. B., Zapp, J., & Becker, H. (2004). Bioactivity guided isolation of antifungal compounds from the liverwort *Bazzania trilobata* (L.) SF Gray. *Phytochemistry*, 65(18), 2583-2588.
- Söderström L, Hagborg A, von Konrat M, Bartholomew-Began S, Bell D, Briscoe L, Brown E, Cargill DC, Costa DP, Crandall-Stotler BJ, Cooper ED, Dauphin G, Engel JJ, Feldberg K, Glenn D, Gradstein SR, He X, Heinrichs J, Hentschel J, Ilkiu-Borges AL, Katagiri T, Konstantinova NA, Larraín J, Long DG, Nebel M, Pócs T, Felisa Puche F, Reiner-Drehwald E, Renner MAM, Sass-Gyarmati A, Schäfer-Verwimp A, Moragues JGS, Stotler RE, Sukkharak P, Thiers BM, Uribe J, Váña J, Villarreal JC, Wigginton M, Zhang L, Zhu R-L (2015) World checklist of hornworts and liverworts. *PhytoKeys* 59: 1–828. doi: 10.3897/phytokeys.59.6261
- Şimşek Ö. 2012. Bolu Dağları Ciğerotları (Hepaticae) Florası. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı. Ankara.
- Şimşek, Ö. , Canlı, K. & Gürsu, G. (2016). Bryophyte in the Beginning of Terrestrial Life . *Anatolian Bryology* , 2 (1-2) , 70-74 . DOI: 10.26672/anatolianbryology.267213
- Tosun A, Süntar İ, Keleş H, Özenoğlu-Kiremit H, Asakawa Y, Küpeli-Akkol E (2016) Wound healing potential of selected liverworts growing in Turkey. *Turk J Pharmacy* 13(3):285–291
- URL 1. Website: http://comenius.susqu.edu/hons/250/weekly_assignments/activities/plant-images/laboratory-non-vascular-embryophytes.htm (Erişim tarihi: 08.03.2023)
- URL 2. Wikimedi. Website: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plagi-ochasma_rupestre_112043455.jpg (Erişim Tarihi: 08.03.2023)
- URL 3. British Bryological Society. Website: <https://www.britishbryological-society.org.uk/learning/species-finder/bazzania-trilobata/> (Erişim Tarihi: 09.03.2023)
- URL 4. British Bryological Society. Website: <https://www.britishbryologicalsociety.org.uk/learning/species-finder/targionia-hypophylla/> (Erişim Tarihi: 09.03.2023)

Biyosensörler

İdil Karaca Açarı¹

Özet

Bölüm; biyosensörlerin tanımı, tarihçesi, temel yapısı, performansını etkileyen özellikler, sınıflandırılmaları ve uygulama alanları hakkında açıklayıcı bilgiler sunmaktadır.

Giriş

“Sensör” kelimesi, kökenini Latince “sentire” kelimesinden alır. Bu temelde herhangi bir şeyi ‘tanımlamak’ anlamına gelir [1]. Sensör; çevreden gelen uyarı ve sinyalleri alan ve bunlara cevap veren bir cihazdır [2]. Son zamanlarda açıklanan sensör sınıflarından biri olan biyosensörler ise; fiziksel ve kimyasal algılama tekniğinin bir karışımıdır. Ortamın biyofiziksel veya biyokimyasal özelliklerini yorumlamak için kullanılabilen alıcı-dönüştürücü tabanlı araçlardır. Özetle, biyolojik süreçlerin değişimlerini ölçen ve bunları elektrik sinyaline dönüştüren analitik cihaz olarak tanımlanabilir [3]. Ayrıca bu tip sensörleri diğerlerinden ayıran en ilgi çekici özellik, ortamdaki belirli biyolojik moleküllerin tespit edilmesini sağlayan biyolojik/organik tanıma elemanının varlığıdır [4]. Biyosensörler, disiplinler arası bir teknolojidir. Mühendislik, mikrobiyoloji, fizik, kimya, biyoloji, biyoteknoloji vb. pek çok alanı içerir [5].

1. Tarihçesi

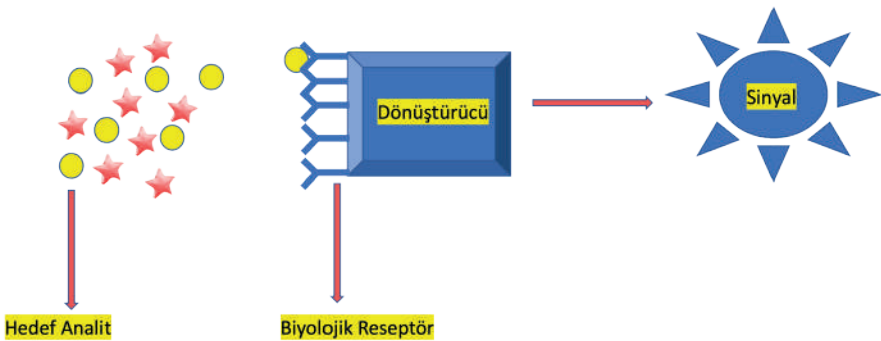
Biyosensör kavramı eski bir olgudur. Bildirilen ilk biyosensör kavramı, Cremer’in [6] sulu bir çözeltide asılı duran bir asidin konsantrasyonunun, bir cam zarla ayrıldığında çözeltinin bölümleri arasında üretilen elektrik potansiyeline eşdeğer olduğunu keşfettiği 1906 yılına dayanır. Bu, 1909’da Soren Peder Lauritz Sorensen tarafından pH kavramının geliştirilmesine yol açtı ve bunu, 1922’de Hughes tarafından bu pH’ı ölçmek için bir elektrotun geliştirilmesi izledi [7]. Bunu “biyosensörlerin babası” olarak bilinen Leland

1 Malatya Turgut Özal Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, ORCID: 0000-0001-6783-7030, e-mail: idil.karaca@ozal.edu.tr

C. Clark, Jr. tarafından 1959'da “gerçek biyosensör” tanımının geliştirilmesi izledi. Clark, oksijen veya hidrojen peroksitin varlığını saptayan bir glikoz oksidaz elektrodu kullanarak biyolojik numunelerde glikozu saptamak için bir sensör geliştirdi [8,9]. 1962 yılında Clark ve Lyons glukoz oksidaz enzimini bir membran yardımıyla oksijen elektrot üzerine hapsederek kandaki glukoz derişimini ölçmüşlerdir [10,11]. 1967 yılında G.P. Hicks ve S. J. Updike tarafından enzim jelle immobilize edilerek ilk pratik enzim elektrodu hazırlanmıştır [12,13]. 1975 de İlk ticari glikoz sensör sistemi (YSI Inc.) piyasaya sürülmüştür [14]. 1983 de İlk yüzey plasmon rezonans (SPR) immunosensör geliştirilmiştir [15]. 1999 yılında İlk ticari in vivo glukoz biyosensörü (Minimed Inc.) piyasaya sunulmuştur [14]. 2000 li yıllarda giyilebilir invazif olmayan glikoz sensörü (Cygnus Inc.) tanıtılmıştır [14]. 2010 lara geldiğimizde doğadan ilham alan yapı değiştiren biyosensör sistemler karşımıza oldukça sık çıkmaktadır [16]. Sonraki yıllarda biyosensör sistemleri ile ilgili çalışmalar hızlı bir ivme kazanmış olup bu ivme günümüzde de hız kaybetmeden devam etmektedir.

2. Temel Yapısı

Genel olarak, biyosensörlerde, Şekil 1'de gösterildiği gibi biyolojik bir algılama elemanı (biyolojik reseptör), fizikokimyasal dedektör veya dönüştürücü ve bir sinyal işleme sistemi bulunur [17,18]. Biyolojik algılama elemanları, bir sinyal oluşturmak için ilgilenilen analit ile etkileşime girmek için kullanılır. Algılama elemanları normalde dokular, mikroorganizmalar, organeller, hücre reseptörleri, enzimler, antikorlar ve nükleik asitler gibi malzemeleri içerir. Algılama elemanı ve ilgilenilen analitin etkileşimi yoluyla üretilen sinyal daha sonra dönüştürücü aracılığıyla ölçülebilir ve ölçülebilir bir elektrik sinyaline dönüştürülür. Sinyal işleme sistemi bu nedenle elektrik sinyalini yükseltir ve dijital ekran, çıktı veya renk değişimi şeklinde ölçülebilir bir sinyal üreten bir bilgi işlemcisine iletir [17,19,20].



Şekil 1. Bir biyosensörün temel şeması. Şekil Tetyana ve ark. [17] çizdiği şekil üzerinde değişiklikler yapılarak yeniden tasarlandı.

2.1. Biyolojik Reseptörler

Biyolojik reseptörler hedef analit veya maddenin varlığını ve/veya konsantrasyonunu algılamaktan veya tespit etmekten sorumludur. Hedef analiti spesifik olarak tanıyan bir biyokimyasal reseptör görevi görmektedir [21]. Biyolojik reseptör bir hedef analit ile etkileşime girdiğinde, ışık, ısı, pH, yük veya kütle değişimi şeklinde bir sinyal üretir [6]. Biyolojik reseptör, test numunesindeki hedef bileşiği veya analiti seçici olarak tespit edebilmelidir. Paddle'a göre biyolojik reseptör, transdüser tarafından izlenen fizikokimyasal sinyalin üretimi yoluyla tüm cihazın hassasiyetini belirler [22]. Biyosensörlerde kullanılan en yaygın biyolojik reseptörler enzimlerdir. Diğer tanıma bileşenleri arasında antikorlar, nükleik asitler, doku ve mikroorganizmalar yer almaktadır [23]. Glikoz oksidaz enzimi, glikozu bağlayan ve onu oksijen varlığında glukonik aside dönüştüren biyolojik reseptör olarak kullanılır [17].

2.2. Dönüştürücü (Transdüser)

Genel olarak bir dönüştürücü, bir enerji biçimini diğerine dönüştürebilen bir malzemedir [6]. Dönüştürücü, hedef analit ile biyolojik reseptör arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak biyolojik reseptörden alınan biyokimyasal sinyali piezo-elektrik, optik, elektrokimyasal vb. ölçülebilir bir sinyale dönüştürmekten sorumludur [24]. Biyokimyasal etkileşimin türüne bağlı olarak dönüştürücü seçimi gerçekleştirilir [10]. Elektrokimyasal tepkimeler sonucunda, genellikle elektrotlar arasındaki ortamın iletkenliğinde bir değişiklik, ölçülebilir bir potansiyel veya ölçülebilir bir akım meydana gelmektedir. Optik dönüştürücülerde; hedef ışık, piezoelektrik dönüştürücülerde; kristalin salınım rezonansının kütle yüklenimi nedeniyle meydana gelen değişimdir ve termistörlerde ise ısı değişimidir [12,25,26]. Bir dönüştürücü tasarlanırken hedef analite özgüllük, analit konsantrasyon aralığı, tepki süresi ve pratik uygulamalar için uygunluk gibi parametrelere önem verilmelidir. İdeal bir dönüştürücü analite oldukça özgül olmalı ve mümkün olan en kısa sürede en düşük analit konsantrasyonunda ölçüm verebilmelidir [27].

3. Biyosensör Performansını Etkileyen Özellikler

Biyosensör üzerinde seçicilik, duyarlılık, kararlılık, doğrusallık ve tekrar üretilebilirlik gibi özelliklerin optimizasyonu biyosensörün performansını doğrudan etkiler.

3.1. Seçicilik

Seçicilik, bir biyolojik reseptörün içerisinde analit ve diğer bileşenleri içeren çözelti içerisindeki analite özgü olma özelliğidir. Enzim- substrat, antijen-antikor ilişkileri seçiciliğe iyi örneklerdir [28]

3.2. Duyarlılık

Duyarlılık, biyosensör tarafından tespit edilebilecek minimum analit miktarı, tespit limitini veya hassasiyetini tanımlar. Bir numunedeki analit kalıntılarının varlığını doğrulamak için ng/ml hatta daha düşük derişimlerdeki analit miktarlarını ölçebilmek gerekmektedir [28]. Bu nedenle duyarlılıkta biyosensörün performansını oldukça etkiler.

3.3. Kararlılık

Biyosensör sisteminin etrafındaki veya içindeki olumsuzluklarına karşı duyarlılık derecesi kararlılık olarak ifade edilir. Biyosensör sistemindeki olumsuzluklar, biyosensörün çıkış sinyallerinde kaymaya neden olabilir. Kaymaya bağlı olarak biyosensörün doğruluğunda ve hassasiyetinde hatalar olabilir. Biyosensörün kararlı bir şekilde yanıt vermesinde; elektronik kısmın ayarlamasının iyi yapılması ve sistemin belirli aralıklarla takip edilmesi önemlidir [28,29].

3.4. Doğrusallık

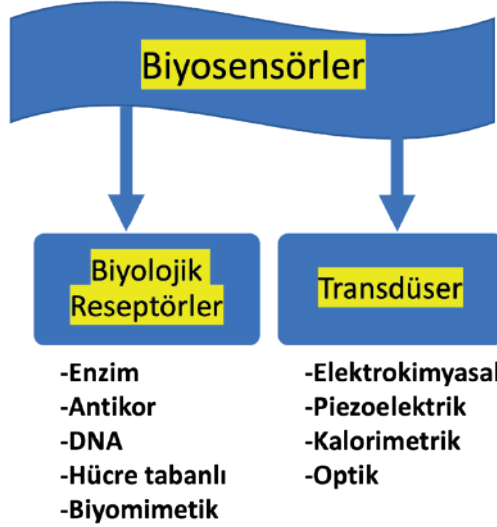
Biyosensörün doğrusallığı, ölçülecek analitin derişimi ve biyosensörün çözünürlüğü ile orantılıdır. Biyosensörün çözünürlüğü, biyosensörün yanıtını değiştirmek için gerekli olan analit derişimindeki en düşük miktar olarak tanımlanmıştır. İyi bir biyosensör çözünürlüğü, sadece analit tayini için değil aynı zamanda analiti geniş bir çalışma aralığında tespit edebilmek için de gereklidir. Doğrusallıkta doğrusal aralık terimide önemlidir. Doğrusal aralık; analit derişimi ile doğrusal bir şekilde biyosensör yanıtının değiştiği aralık olarak tanımlanmaktadır [28].

3.5. Tekrarlanabilirlik

Tekrarlanabilirlik, biyosensör sistemlerde numunenin birçok kez ölçümünde gerçek değere yakın bir ortalama değer sağlama kapasitesidir. Tekrarlanabilir sinyaller, biyosensör sistem ölçümüne yüksek bir güvenilirlik sağlar. Tekrarlanabilirlik, bir biyosensördeki dönüştürücü ve elektroniklerin hassasiyeti, doğruluğu ile karakterize edilir [29].

4. Biyosensörlerin Sınıflandırılması

Biyosensörler, kullanıldıkları alanlara göre veya biyolojik reseptörlere ve transdüserin türüne göre basitçe sınıflandırılabilir [30]. Şekil 2, farklı biyosensör kategorilerini göstermektedir.



Şekil 2. Farklı biyosensör kategorileri

4.1. Biyolojik Reseptör

Biyolojik reseptör veya biyolojik tanıma elemanı, bir biyosensörün önemli ayırt edici özelliğidir. Biyoreseptör için, numune matrisinden başka bir maddenin müdahalesini önlemek için belirli hedef analite karşı seçici ve hassas olmak oldukça önemlidir [30]. Genel olarak biyosensörler, kullandıkları biyolojik reseptör mekanizmasının türüne göre beş grup halinde sınıflandırılabilir.

4.1.1. Enzim Bazlı Biyosensör

Enzim bazlı biyosensörler, günümüze kadar çeşitli uygulamalar için kullanımda büyük bir öneme sahiptir. Enzimler, substratlarını spesifik olarak tanıma ve dönüşümlerini katalize etme yeteneğine sahip çok verimli biyokatalizörlerdir. Bu benzersiz özellikler, enzimleri analitik cihazlar geliştirmek için güçlü araçlar haline getirir [31]. Çalışma prensibi, spesifik algılama için katalitik etki ve bağlanma yeteneklerine dayanmaktadır [32]. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalar, enzim bazlı biyosensörlerin

kolesterol, gıda güvenliği ve çevresel izleme, ağır metaller ve ayrıca pestisitleri tespit etmek için kullanılabilceğini göstermiştir [30]. Ayrıca, son çalışmalar, DNA saptaması için bir nükleik asit biyosensörü içeren enzim katalitik uygulamasının kullanıldığından bahsetmişlerdir [33,34].

4.1.2. İmmünoensör

1950'lerde ilk kez antikor bazlı bir biyosensör uygulandı ve immüno-teşhis için yeni bir yöntem geliştirilmiş oldu [35]. O zamandan beri, klinik teşhis için biyoreseptör olarak bir antijen/antikordan oluşan immünoensör geliştirmede yoğun çabalar harcanmıştır [30]. Bir antijenden oluşan bir immünoensör, antikorun oldukça spesifik, kararlı ve çok yönlü olan antijene bağlanma yeteneğini kullanır. Bir antikorun antijeninin bağlanma tarafına yönelik özgüllüğü, amino asitlerinin bir fonksiyonudur [36]. Özellikle klinik kimya gibi alanlarda hızlı tespit, yüksek hassasiyet ve özgüllüğün önemli olduğu uygulamalar sağlayarak önemli bir rol oynayacağı öngörülmüştür. Bakteri ve patojen tespiti için bir immünoensörün geliştirilmesi, bakım noktası ölçümünde uygulanması nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalar, immünoensörün kanser/tümörlerin saptanmasında kullanımı için geniş çapta araştırıldığını göstermektedir. Geleneksel teşhis yöntemi hassasiyet, seçicilik ve zaman alıcılık açısından zayıf olduğundan, immünoensörler kanserin erken evrelerinin saptanması için umut verici araçlar haline gelmektedir [30].

4.1.3. DNA/Nükleik Asit Bazlı Biyosensör

Spesifik bir teşhis uygulaması için bir nükleik asit dizisinin kullanımı 1953'ün başlarında geliştirildi ve halen günümüzde bu alandaki çalışmalar geniş çapta büyümeye devam etmektedir [37]. Nükleik asitleri biyolojik tanıma elemanı olarak algılayan nükleik asit bazlı biyosensörde, çift sarmallı DNA (dsDNA) oluşturmak için iki tek sarmallı DNA (ssDNA) zinciri arasındaki oldukça spesifik afinite bağlanması reaksiyonu kullanılır. Bu biyosensör çalışma prensibinde, dsDNA olmak üzere iki nükleik asit arasında kararlı bir hidrojen bağı oluşturmak için ssDNA'nın tamamlayıcı zincirinin tanınmasına dayanır. Bunu başarmak için, sabitlenmiş bir ssDNA, baz dizisinin ilgilenilen hedefi tamamlayıcı olduğu bir biyoreseptörde prob olarak kullanılır. Bu biyosensör, karmaşık bir karışımda tek bir molekül türünün varlığını ölçebilen analitik araçlar sağlamak için dikkate değer bir özgüllüğe sahiptir [38]. DNA bazlı biyosensör, virüs ve hastalık tespiti için klinik teşhiste potansiyel uygulamaya sahiptir [30].

4.1.4. Hücre Tabanlı Biyosensör

Hücre tabanlı sensörler, canlı hücreyi biyospesifik algılama elemanı olarak kullanan ve canlı hücrenin hücre içi algılama yeteneğine dayanan bir tür biyosensördür. Hücre dışı mikroçevre durumu, fizyolojik parametre ve uyarın ile hücre arasındaki etkileşim yoluyla bir yanıt üretir. Bakteriler ve mantarlar gibi mikroorganizmalar, belirli molekülleri veya çevreleyen ortamın genel durumunu tespit etmek için hücre tabanlı biyosensörlerde kullanılabilir. Ayrıca, hücrelerde bulunan proteinler, belirli bir analitin tespiti için biyoreseptörler olarak da kullanılabilir [30]. Bu biyosensörün algılama limiti, ortamın fiziksel ve kimyasal parametrelerini kontrol etmek için esas olarak hücrenin uzun süre canlı kalabileceği doğal çevre koşulları tarafından belirlenir. Bununla birlikte, hücre bazlı biyosensörün başlıca sınırlamaları, sterilizasyon, ömür, biyoyumluluk vb. gibi çeşitli koşullara bağlı olan hücrenin kararlılığıdır. Hücre tabanlı sensörlerin başarısını yöneten diğer bir konu, esas olarak, bozulmamış hücrelerin çoklu alıcı davranışından dolayı hücre tabanlı sensörün zayıf mikrobiyal sensör seçiciliğine sahip olduğu seçiciliğe bağlıdır [39]. Hücre bazlı biyosensörler, çözünen maddeler tarafından inhibisyona karşı daha az hassastır ve hücre ölümü olasılığı nedeniyle dar bir aralığı aşmamaları gerekmesine rağmen, enzim bazlı biyosensöre göre yetersiz pH ve sıcaklık değerlerine daha toleranslıdır. Enzimatik sensörlerden daha uzun bir ömür beklenebilir ve aktif hücrelerin izole edilmesi gerekmediğinden çok daha ucuzdur [40]. Hücre tabanlı sensörlerin tıbbi teşhis, çevresel analiz, gıda kalite kontrolü, toz endüstrisinde kimyasal-ilaç ve ilaç tespiti için ortaya çıkan araçlar haline geldiği bilinmektedir [30].

4.1.5. Biyomimetik Biyosensör

Biyomimetik biyosensör, doğal bir biyosensörün işlevini taklit eden yapay veya sentetik bir sensördür. Bunlar, aptasensörlerin biyobileşen olarak aptamerleri kullandığı aptasensörleri içerebilir. Aptamerler; amino asitleri, oligosakkaritleri, peptitleri ve proteinleri tanımak için tasarlanabilen sentetik nükleik asit şeritleridir. Aptamerler ilk kez 1990'ların başında yapay nükleik asit ligandları olarak tanımlandı. Bu nedenle aptamerler, nükleik asit problemleri ile kimyasal olarak ilişkiliydi, ancak daha çok antikorlar gibi davranırlar ve diğer biyotanıma bileşenlerine kıyasla şaşırtıcı derecede çok yönlülük gösterdiler. Bir aptamerin, antikor bazlı biyosensörlere göre yüksek bağlanma etkinliği, hayvanların kullanımını ortadan kaldırması, daha küçük ve daha az karmaşık olması gibi avantajları mevcuttur. Aptamerlerin yüksek özgüllükleri, küçük boyutları, modifikasyon ve immobilizasyon çok yönlülüğü, yeniden üretilebilirlik veya hedef bağlama tarafından indüklenen konformasyonel değişiklik gibi özellikleri, çeşitli biyo-algılama formatlarını optimize etmek

için başarıyla kullanılmıştır [30]. Son zamanlarda klinik uygulama için biyomimetik sensör ve aptasensörde yeterli ilerleme kaydedilmiştir [41].

4.2. Transdüser

Transdüser (dönüştürücü), sinyal algılama sürecinde önemli bir role sahip olan biyosensörün bir bileşenidir. Ayrıca çok çeşitli fiziksel, kimyasal veya biyolojik etkileri yüksek hassasiyet ve ölçülen büyüklük için minimum bozulma ile elektrik sinyaline dönüştüren bir cihaz olarak tanımlanabilir [42]. Transdüserlere dayalı dört tip sensör (elektrokimyasal, piezoelektrik, kalorimetrik, optik) yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.2.1. Elektrokimyasal Biyosensör

İletim elemanı olarak bir elektrotun kullanıldığı elektrokimyasal sensör, sensörlerin önemli bir alt sınıfını temsil eder. 1999 yılında IUPAC'ın yaptığı tanımlamaya göre, bir elektrokimyasal biyosensör; bir elektrokimyasal biyosensör, elektrokimyasal transdüksiyon elemanı ile doğrudan uzamsal temas halinde tutulan bir biyolojik tanıma elemanı kullanarak belirli kantitatif veya yarı kantitatif analitik bilgi sağlayabilen bağımsız entegre bir cihazdır. Elektrokimyasal biyosensörler temelde oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarından üretilen akımı ölçer. Üretilen akım, mevcut elektroaktif türlerin konsantrasyonu veya üretim/tüketim oranı ile ilişkilendirilebilir. Ortaya çıkan elektrik sinyali, hedef ve analit tarafından tanıma işlemi ile ilgilidir ve analit konsantrasyonu ile orantılıdır. Elektrokimyasal immünosensör alanında oldukça fazla çalışma mevcuttur [30]. Wang çalışmasında, elektrokimyasal biyosensörü klinik teşhiste yeni seviyelere getiren, hasta başı kanser teşhisi için elektrokimyasal tabanlı bir cihazın kullanıldığını bildirmiştir [43]. Wang ve arkadaşları tarafından yapılan farklı bir çalışma, elektrokimyasal immünosensörlerin klinik analizdeki popülaritesinin giderek arttığını ve bunun kısmen gelişmiş sensör tasarımından kaynaklandığını ortaya koydu [44]. Belluzo ve arkadaşları, elektrokimyasal immünosensörün mevcut laboratuvar yöntemlerine kıyasla umut verici bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur [45]. Literatürde mevcut olan diğer çalışmalar da elektrokimyasal biyosensörlerin hız, basitlik, düşük maliyet, yüksek hassasiyet ve nispeten basit enstrümantasyon gibi avantajları olduğunu vurgulamışlardır. Elektrokimyasal biyosensörler, bir biyotanıma olayı sırasında tespit edilen elektrokimyasal değişikliklerin doğasına bağlı olarak amperometrik, potansiyometrik, empedans ve kondüktometrik olmak üzere dört kategoride sınıflandırılır [30].

4.2.2. Piezoelektrik Tabanlı Biyosensör

Piezoelektrik, ilk olarak 1880'de Curie kardeşler tarafından keşfedilen, merkezi olmayan kristal veya benzeri bir yapıdaki mekanik ve elektrik sistemleri arasındaki doğrusal etkileşim olarak açıklanabilir [30]. Esasen, piezoelektrik tabanlı biyosensör, salınan bir kristalin doğal bir rezonans frekansında rezonansa girmesi prensibiyle çalışır. Bir biyosensördeki temel öğeler, dönüştürücü ve biyotanıma öğeleridir. Bu nedenle, piezoelektrik biyosensörde transdüser piezoelektrik malzemeden (örn. kuvars) yapılı ve biyoalgılama malzemesi doğal bir frekansta titreşen piezoelektrik malzeme ile kaplanır. Frekans, belirli bir akım değeri üreten harici bir elektrik sinyali tarafından kontrol edilir ve hedef analit, algılama malzemesine maruz kaldığında, bağlanma/tepki, mevcut okumada toplanabilecek değişiklikler üretecek bir frekans kaymasına neden olur [30]. Bu sensörlerin hassas, taşınabilir ve gerçek zamanlı biyoalgılama için uygun olduğu belirtilmiştir [46]. İmmün algılama uygulamaları için geniş çapta uygulanmış ve benimsenmiştir [30]. Literatürde, piezoelektrik sensörün kolera toksin tanı tespiti, hepatit B, hepatit C ve gıda kaynaklı patojen tespiti gibi çeşitli uygulamalarda kullanıldığını bildiren makaleler bulunmaktadır [47-50]. Daha da önemlisi, piezoelektrik yöntemin hepatit B virüs DNA'sı için 8,6 pg/l ve kolera toksini tespiti için 25 ng/ml tespit limiti elde edilmesiyle çok hassas olduğu ortaya konulmuştur [49, 51].

4.2.3. Kalorimetrik Tabanlı Biyosensör

1962'de Clark ve Lyons tarafından tanıtılan ilk enzim tabanlı biyosensörler, kalorimetrik tabanlı transdüksiyonun geliştirilmesine ilham vermiş ve araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Aslında, neredeyse tüm kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar ısı alışverişini içerir. Bu nedenle, tüm biyokimyasal reaksiyonlarla sonuçlanan ısının üretilmesi ve emilmesi genel fikri, kalorimetrik tabanlı biyosensör teorisinin doğuşuna katkıd bulunmuştur. Kalorimetrik tabanlı biyosensördeki prensip, biyotanıma elemanı ile uygun bir analit arasındaki reaksiyonda, sıcaklıktaki değişikliklerin ölçülmesini içerir. Sıcaklıktaki bu değişiklik, tüketilen reaktanların veya oluşan ürünlerin miktarı ile ilişkilendirilebilir. Kalorimetrik cihazda, ısı değişimi bir termistör (genellikle metal oksit) veya termopil (genellikle seramik yarı iletken) kullanılarak ölçülür. Kalorimetrik tabanlı biyosensör, daha fazla hassasiyet için kolayca minyatürleştirilebilir ve mikroakışkan ile entegre edilebilir. Son zamanlarda gıda endüstrisinde ve çevresel izlemede kalorimetrik yöntem de kullanılmaya başlanmıştır [30].

4.2.4. Optik Tabanlı Biyosensör

Geçtiğimiz yıllarda, optik biyosensör hızlı ilerlemeler kaydetti ve gıda güvenliği, güvenlik, yaşam bilimi, çevresel izleme ve tıp gibi pek çok alanda kullanıldı. Bu transdüksiyon yöntemleri, hedefin/analitin farklı özelliklerini ölçebilir. Optik tabanlı biyosensör, etiketsiz, gerçek zamanlı ve paralel algılama sağlayabilir. Optik fiber ile entegre yüzey plazmon rezonansı veya floresans, optik tabanlı biyoalgılama için mevcut olan en popüler yöntemdir [30].

Kaynaklar

1. Ali J, Najeeb J, Ali M.A, Aslam M.F, Raza A. Biosensors: Their Fundamentals, Designs, Types and Most Recent Impactful Applications: A Review. *J Biosens Bioelectron*. 2017, 8, 1000235.
2. Buenger D, Topuz F, Groll J. Hydrogels in sensing applications. *Prog. Polym. Sci*. 2012, 37, 1678-1719.
3. Haleem A, Javaid M, Singh R.P, Suman R, Rab S, Biosensors applications in medical field: A brief review. *Sensors International*. 2021, 2, 100100
4. Wang J. Zinc oxide nanocomb biosensor for glucose detection. *Appl. Phys. Lett*. 2006, 88, 3106.
5. Hinze S. Bibliographical cartography of an emerging interdisciplinary discipline: The case of bioelectronics. *Scientometrics* 1994, 29, 353-376.
6. Bhalla N, Jolly P, Formisano N, Estrela P. Introduction to biosensors. *Essays Biochem*. 2016, 60,1-8.
7. Hughes WS. The potential difference between glass and electrolytes in contact with the glass. *J. Am. Chem. Soc*. 1922, 44, 2860-2867.
8. Clark LC, Lyons C. Electrode systems for continuous monitoring cardiovascular surgery. *Ann. N. Y. Acad. Sci*. 1962, 102, 29-45.
9. Li Y-CE, Lee IC. The Current Trends of Biosensors in Tissue Engineering. *Biosensors*. 2020,10,1-22.
10. Telefoncu, A. Biyosensörler. İzmir: Ege Üniversitesi Yayınları. 1999,1-280.
11. Mohanty S.P, Kougiianos E. Biosensors: A Tutorial Review. *IEE Potentials*. 2006, 25, 35-40.
12. Çolak Ö. Sakkaroz Tayini için Biyosensör Hazırlanması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
13. Updike S.J, Hicks G.P. Reagentless Substrate Analysis With Immobilized Enzymes. *Science*, 1967, 158, 270-272.
14. Wang J. Glucose Biosensors: 40 Years of Advances and Challenges. *Electroanalysis*. 2001, 13, 983-988.
15. Liedberg B, Nylander C, Lundstrom I. Surface-Plasmon Resonance for Gas-Detection and Biosensing. *Sensors and Actuators*, 1983, 4, 299-304.
16. Valle 'e-Be 'lisle A, Plaxco K.W. Structure-switching biosensors: inspired by Nature. *Current Opinion in Structural Biology*.2010, 20, 518-526.
17. Tetyana P, Shumbula P.M, Njengele-Tetyana Z. Biosensors: Design, Development and Applications (Chapter). Book:Nanopores, Edited by Sadia Ameen, M. Shaheer Akhtar and Hyung-Shik Shin. 2020, pp. 1-19.
18. Malhotra S, Verma A, Tyagi N, Kumar V. Bi-osensors: principle, types and applications. *Int. J. Adv. Res. Innov. Ideas Educ*. 2017, 3, 3639-3644.

19. Malik P, Katyal V, Malik V, Asatkar A, Inwati G, Mukherjee T.K. Nanobiosensors: Concepts and Variations. *ISRN Nanomaterials*. 2013, 1-9.
20. Grieshaber D, MacKenzie R, Voros J, Reimihult E. Electrochemical Biosensors - Sensor Principles and Architectures. *Sensors*. 2008, 8, 1400-1458.
21. Chaubey A, Malhotra BD. Mediated biosensors. *Biosensors & Bioelectronics*. 2002, 17, 441-456.
22. Paddle BM. Biosensors for chemical and biological agents of defence interest. *Biosensors & Bioelectronics*. 1996, 11, 1079-1113.
23. Eggins B.R. Chemical Sensors and Biosensors. *Analytical Techniques in the Sciences*. *Batı Sussex: John Wiley & Sons Limited*, 2002, pp.1-4.
24. Thevenot DR, Toth K, Durst RA, Wilson GS. Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. *Biosens. Bioelectron*. 2001, 16, 121-131.
25. Özöner Ş. Horseradish Peroxidase Enzimi Kullanılarak Amperometrik Fenol Biyosensörlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2010.
26. Eggins B.R. *Biosensors: An Introduction*. *Batı Sussex: John Wiley & Sons Limited ve Stuttgart: B. G. Teubner*, 1996, 1-13.
27. Sethi R.S. Transducer aspects of biosensors. *Biosens. Bioelectron*. 1994, 9, 243-264.
28. Keskin M, Arslan F. *Biyosensörler*. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*. 2020,1-2, 51-60.
29. Nikhil B, Pawan J, Nello F, Pedro E. Introduction to biosensors. *Essays in Biochemistry*, 2016, 60, 1-8.
30. Perumal V, Hashim U. Advances in biosensors: Principle, architecture and applications. *J. Appl. Biomed*. 2014, 12,1-15.
31. Leca-Bouvier B.D, Blum L.J. Enzyme for biosensing applications. In: Zourob, M. (Ed.), *Recognition Receptors in Biosensors*. Springer, New York. 2010, pp. 177-220.
32. David W.G, et al., Clinical applications of micro- and nanoscale biosensors. In: Gonsalves, K., Halberstadt, C., Laurencin, C.T. (Eds.), *Biomedical Nanostructures: Clinical Applications of Micro- and Nanoscale Biosensors*. Wiley, LN, 2008. p. 2008.
33. He Y, Zhang S, Zhang X, Baloda M, Gurung A.S, Xu H, Zhang X, Liu G. Ultrasensitive nucleic acid biosensor based on enzyme-gold nanoparticle dual label and lateral flow strip biosensor. *Biosens. Bioelectron*. 2011, 26, 2018-2024.
34. Lin L, Liu Q, Wang L, Liu A, Weng S, Lei Y, Chen W, Lin X, Chen Y. Enzyme-amplified electrochemical biosensor for detection of PML-RARa

- fusion gene based on hairpin LNA probe. *Biosens. Bioelectron.* 2011, 28, 277–283.
35. Donahue A.C, Albitar M. Antibodies in biosensing. In: Zourob, M. (Ed.), *Recognition Receptors in Biosensors*. Springer, New York. 2010, pp. 221–248.
 36. Fowler J.M, Wong D.K.Y, Halsall H.B, Heineman W.R. Recent developments in electrochemical immunoassays and immunosensors. In: Zhang, X., Ju, H., Wang, J. (Eds.), *Electrochemical Sensors, Biosensors and Their Biomedical Applications*. Elsevier, San Diego, 2008, pp. 115–140.
 37. Liu A, Wang K, Weng S, Lei Y, Lin L, Chen W, Lin X, Chen Y. Development of electrochemical DNA biosensors. *Trends Anal. Chem.* 2012, 37, 101–111.
 38. Brett A.M.O, DNA based biosensors. In: Gorton, L. (Ed.), *Comprehensive Analytical Chemistry XLIV: Biosensors and Modern Biospecific Analytical Techniques*. Elsevier, Amsterdam, 2005, pp. 179–208.
 39. Belkin S, Gu M.B. *Whole Cell Sensing Systems I: Reporter Cells and Devices*. Springer, Heidelberg. 2010.
 40. Struss A.K, Pasini P, Daunert S. Biosensing systems based on genetically engineered whole cells. In: Zourob M.(Ed.), *Recognition Receptors in Biosensors*. Springer, New York, 2010, pp. 565–598.
 41. Vallet-Regí M, Arcos D.A. *Biomimetic Nanoceramics in Clinical Use: From Materials to Applications*. RSC Publishing, Cambridge. 2008.
 42. Lowe R.S. Overview of biosensor and bioarray technologies. In: Marks, R.S, Lowe, C.R, Cullen, D.C, Weetall H.H, Karube I. (Eds.), *Handbook of Biosensors and Biochips*. Wiley, Weinheim. 2007.
 43. Wang J. Electrochemical biosensors: towards point-of-care cancer diagnostics. *Biosens. Bioelectron.* 2006, 21, 1887–1892.
 44. Wang Y, Xu H, Zhang J, Li G. Electrochemical sensors for clinic analysis. *Sensors*. 2008, 8, 2043–2081.
 45. Belluzo M.S, Ribone M.É, Lagier C.M. Assembling amperometric biosensors for clinical diagnostics. *Sensors*. 2008, 8, 1366–1399.
 46. Nicu L, Guirardel M, Chambosse E.D.R, Rougerie P, Hinh S, Trevisiol E, Francois J.M, Majoral J.P, Caminade A.M, Cattan E, Bergaud C. Resonating piezoelectric membranes for microelectromechanically based bioassay: detection of streptavidin gold nanoparticles interaction with biotinylated DNA. *Sens. Actuators B: Chem.* 2005, 110, 125–136.
 47. Skládal P, Riccardi C.D.S, Yamanaka H, Da Costa P.I. Piezoelectric biosensors for real-time monitoring of hybridization and detection of hepatitis C virus. *J. Virol. Methods*, 2004, 117, 145–151.

48. Chen S.H, Wu V.C.H, Chuang Y.C, Lin C.S. Using oligonucleotide-functionalized Au nanoparticles to rapidly detect foodborne pathogens on a piezoelectric biosensor. *J. Microbiol. Methods*. 2008, 73, 7–17.
49. Yao C, Zhu T, Tang J, Wu R, Chen Q, Chen M, Zhang B, Huang J, Fu W. Hybridization assay of hepatitis B virus by QCM peptide nucleic acid biosensor. *Biosens. Bioelectron*. 2008, 23, 879–885.
50. Serra B, Gamella M, Reviejo A.J, Pingarrón J.M. Lectin-modified piezoelectric biosensors for bacteria recognition and quantification. *Anal. Bioanal. Chem*. 2008, 391, 1853–1860.
51. Chen H, Hu Q.Y, Yue-Zheng Jiang, J.H., Shen G.L, Yu R.Q. Construction of supported lipid membrane modified piezoelectric biosensor for sensitive assay of cholera toxin based on surface-agglutination of ganglioside-bearing liposomes. *Anal. Chim. Acta*. 2010, 657, 204–209.

Microorganisms and Diversity of Bacteria

Orhan Uluçay¹

Abstract

Microbiology is the branch of science that investigates microscopic organisms known as microorganisms and their isolation by various methods. Microorganisms can have single or multicellular eukaryotic cell structure as well as prokaryotic unicellular structure. When prokaryotic cells are examined, they are cells that do not have organelles surrounded by membranes and whose genetic material is dispersed in the cytoplasm. Until 30-35 years ago, Archaea, which were included in a different class, were defined as having a prokaryotic cell structure and considered bacteria. It has been observed that some archaea can cause diseases in humans, animals, and many plant species. It is possible to come across many areas in nature. Microbiology is also divided into different branches within itself. Virology, mycology, bacteriology, and parasitology are examined from four primary areas. This study provides basic information for understanding the diversity and characteristics of microorganisms and bacteria. In this way, it is tried to recognize the interest of humanity in the world of microorganisms and to explain basic information in this way. Currently, when scientists classify species based on microorganisms and consider that only about 5% of the microorganisms existing in the world have been identified, it will be easily understood how important a field of study microbiology is.

Introduction

According to the Turkish Language Association Dictionary of Veterinary Medicine Terms, microorganisms are living organisms including bacteria, fungi, protozoa and microscopic algae. Although there have been various information about some effects and usage areas of microorganisms for centuries, microorganisms were first seen and started to be studied in 1675 with Leewenhoek's discovery of the microscope. In approximately 200 years, Louis Pasteur proved some functions of microorganisms in the emergence of undesirable flavors in

1 Kafkas Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-0820-5372, orhanulucay@gmail.com; orhanulucay@kafkas.edu.tr

winemaking in his studies on the fermentation stage and concluded that heat treatment has an effect on the death of unwanted microorganisms. This practice, called pasteurization, is still accepted today. At that time, Robert Koch's work also made essential contributions to microbiology, and his work in this field has continued with rapid progress until today (Aran, 1993).

Microorganisms and General Properties

This chapter, it is tried to give general content about microorganisms by taking into account the undergraduate programs and considering the basic information that is felt to be lacking in the program. Microorganisms are divided into biological groups such as microscopic algae, viruses, bacteria, fungi (moulds and yeasts), and protozoa (Fung, 1987).

Protozoa

They are single-celled microscopic organisms and are found in both terrestrial and aquatic environments. They have animal characteristics such as movement, ingestion of food and the absence of a cell wall. Some protozoa take their nutrients in dissolved form by absorption. Others feed by swallowing bacteria and other protozoa in their environment. There are free-living species in the sea, fresh water and soil, as well as species living symbiotically or parasitically in or on living host cells or tissues. Protozoa are divided into four branches as flagellates, pseudopods, spores and ciliates according to their movement patterns (Clarholm et al., 2007).

Microscopic Algae

Most algae are considered plant-like protists because they carry chloroplasts and have a cellulose cell wall. More than seven thousand species of green algae have been described. Most of them are aquatic, living in freshwater and seas (Jankovská & Komárek, 2000). Some species can be found symbiotically on the surface of snow, moist soils, green parts on the surface of tree stumps, and some species can be found symbiotically in lichens and protozoa (Hurst, 2021).

Viruses

Since viruses are different from other microorganisms in terms of their structural and general characteristics, they do not belong to any of the above groups (Ulucay et al.). They are expressed as genetic elements located inside and outside the cell containing DNA or RNA. They are not involved in any metabolic activity when outside the cell, but can reproduce within the living host cell (Brown & Bhella, 2016).

Bacteria

They are organisms that can be found in almost every environment. Some of them cause diseases such as typhoid, tuberculosis and cholera. In addition to such harmful activities, they also have many benefits. For example, they transform organic dead residues into reusable materials (Uluçay et al., 2022b). This prevents the loss of essential nutrients. The simplest distinguishing features are their shape and size. Their size varies between 1 and 10 μ . Most bacteria are ready feeders (heterotrophs). They analyse the surrounding organic food sources with their enzymes, convert them into simple organic compounds and then absorb them (Uluçay et al., 2022a). Some bacteria are autotrophs (autotrophs), which can produce their own food by photosynthesis or chemosynthesis from simple inorganic compounds with a special pigment. Bacteria reproduce towards their width. Bacteria are one of the most effective groups of organisms in the life of living organisms, both beneficial and harmful. Although their harms are emphasized more, they also have many benefits (Oztas Gulmus & Gormez, 2020). In vaccine production, disease-causing bacteria are either killed or rendered harmless. For example, typhoid and cholera vaccines are produced from dead bacteria, while tuberculosis (= tuberculosis) vaccine is produced from weakened live bacteria. In the production of some serums, weakened disease bacteria are inoculated into some animals such as horses and cows, and then the serum obtained from the liquid part of the blood taken is used in the treatment of some diseases such as tetanus and diphtheria (Hifumi et al., 2017). Most antibiotics are produced by bacteria. As in the production of antibiotics, bacteria are also utilized in the production of some vitamins (group B, K, etc.), hormones, and amino acids (Singh et al., 2017). It is known that some food spoilage is the result of the harmful activities of bacteria. However, these harmful activities can be controlled and converted into useful ones. For example; yoghurt, cheese, butter, vinegar, pickles, and brine are prepared by this method. Bacteria are also used in the production of some alcohols, acids, and acetone. Is the presence of bacteria in our body beneficial or harmful to us? Bacteria on our skin, which covers our whole body, is actually a shield that protects us from disease factors. In this way, our body is protected from many diseases. There are some bacteria not only on our skin but also in our digestive tract (Probert & Gibson, 2002). Bacteria in small nodules on the roots of plants such as chickpeas or broad beans flick free nitrogen from the atmosphere. Thanks to the nitrogen formed by these bacteria, plants continue their development. On the other hand, the soil is enriched in terms of nitrogenous compounds (Reinikovaite et al., 2023). For this reason, legumes are called green fertilizers. Bacteria are also

utilized in the fight against insects that cause great damage to agricultural and industrial plants. Chemical insecticides (insecticides) are known to cause environmental pollution and even cancer. Therefore, biological control is gaining importance. One of the ways of biological control is the control of pests by using bacteria-containing some toxic substances. These bacteria reproduced under special conditions are sprayed on the plants in the fields. One of the most important activities of bacteria is the cycling of matter (Ulucay et al., 2022a). With the processing of the residues accumulated with the death of living organisms by bacteria, dead organic substances are converted into CO₂, H₂O, and mineral salts that can be used in new nutrient synthesis. Even the formation of oil deposits takes place as a result of the activities of bacteria (Xu et al., 2023).

Fungi (Mould and Yeasts)

Fungi are characteristically filamentous (mycelial) organisms in eukaryotic cell structure (Patel et al., 2023). They have a cell wall like plants and most of them cannot move. Since they lack photosynthetic pigments, they obtain their nutrients from organic substances mostly by absorption. Today, there are more than one hundred thousand species of fungi. The living conditions (habitat) of fungi have some differences. Some of them are aquatic, but most of them live in soil and dead plant residues. Fungi, which can be encountered almost everywhere, generally perform useful activities for us, but some of them can cause various economic losses and jeopardize our health. The useful activities of fungi can be summarised as follows: a) Fungi, most of which live in the soil, together with other soil microorganisms, play a major role in the mineralization of dead organic residues that fall to the ground, thus eliminating garbage heaps. In the meantime, the physical, chemical, and biological properties of the soil improve, and its productivity increases. In addition, the CO₂ they release during these activities passes into the air and regulates the CO₂ balance of the air. b) Fungi are among the organisms we use as food. Some of them are cultured (e.g. *Agaricus bisporus*); some are collected from nature [e.g. *Morchella esculenta* (morel)] and consumed as vegetables. In recent years, some fungi with high protein value have been produced by cell culture method and used as human food or animal feed. (Amara & El-Baky, 2023). Some fungi are used in the preparation of some special cheeses (Rokfort, Gorgonzola, Kamembert, mouldy cheese produced in Anatolia). These provide special flavour and odour to the cheese. Foods such as tempeh and shoyu prepared in some Far Eastern countries are also matured with fungi. c) As we all know, the CO₂ released by the yeast used in bread making

causes the dough to gain a sponge-like appearance and allows the bread to bake inside. Yeast cells also enrich bread with protein and vitamins. Yeasts are also used in the preparation of some beverages such as beer and wine (Satora & Pater, 2023). The first known antibiotic penicillin was obtained by Fleming in 1929 from a mould species (*Penicillium notatum*) (Houbraken et al., 2011). Fungi are also utilized in the production of alcohols, organic acids, vitamins, enzymes, and hormones. As for the harmful activities of fungi; fungi that live as parasites in many living things, including humans, cause their death known. Saprophytic fungi, on the other hand, cause deterioration in various foodstuffs; leather, wood, etc. They cause goods, structures, and clothing made of leather, wood, etc. to become useless by rotting (Kukovincts et al., 2008).

Classification of Bacteria

The categorization of living things according to their characteristics, living conditions, and/or kinship status is called classification, and the field of biology that performs classification is called taxonomy (systematic). The purpose of classification is to find an easy way to understand nature. Living things are classified and named according to their common characteristics and kinship status. The first classifications were made only according to the external appearance of living things and the first classification of living things was made by Aristotle by dividing them into plants and animals. The main element of classifications based on science is species. Organisms that have the same origin, have the same characteristics, have the same number of chromosomes, and produce fertile offspring when mated with each other are called organisms of the same species (Taylor & Ingvarsson, 2003).

Organisms are grouped into 3 super kingdoms according to the type of ribonucleic acid in their cells. Viruses are excluded from this classification because they are acellular (acellular, cell-free). The distinction between eukaryotes and prokaryotes refers to a definition made according to the nucleus. Eukaryotes are those with true nuclei, while prokaryotes are those with primitive nuclei. The distinction between eukaryotes and prokaryotes refers to a definition based on the nucleus (Sapp, 2005).

Prokaryote

It is the upper realm that covers microorganisms that do not have true nuclear membranes and membrane-bound organelles, and whose DNA molecule is free within the cell.

Eukaryote

Their genetic material is contained in a membrane-enclosed nucleus. There are various membrane-enclosed organelles. Studies on the taxonomy and nomenclature (nomenclature) of bacteria were initiated in the early 20th century by Chester, Buchanan, and their teams (Winslow et al., 1917). Bacteria are usually classified according to their shape, although different classes are known. The two main groups of bacteria are cocci (spherical) and bacilli (rod-shaped). These two groups are further subdivided into gram-positive and gram-negative bacteria. Gram staining uses a mixture of purple dye and iodine to stain the magnesium ribonucleate found in some bacteria dark purple. The purple stain cannot be washed with alcohol. Bacteria that stain purple are gram-positive. Those that stain pink are gram-negative. Mycobacteria are not revealed by gram staining and are instead stained by an acid-resistant method called the Ziehl-Nielsen method (Zinserling, 2022). A second subdivision of bacteria is between aerobic and anaerobic organisms.

Characteristics of Bacteria

Morphological Properties

In this method, different colours are applied to different bacteria or bacterial structures according to their staining properties (Gram staining). The two most commonly used differential staining methods are Gram staining and acid-based staining. Gram staining was designed as a method by histologist Christina gram. Gram (+) bacteria are those bacteria that are blue-black or purple in colour on microscopic analysis of Gram-stained media. Gram (+) bacteria get this colour because of a mixture of ultraviolet and iodine in their cell walls. Gram (+) bacteria with thicker cell walls produce more vivid colour. The gram classification system of Gram (+) bacteria is “empirical” and is based on differences in the structure of the “cell wall”. They show themselves in purple colour under the microscope (Ulucay et al., 2022b).

Characteristic Properties of Gram (+) Bacteria;

- ✓ Cytoplasmic membrane (membrane or wall)
- ✓ Thick cell Wall
- ✓ Single-ring flagellar structure
- ✓ Polysaccharide capsules
- ✓ They contain teichoic or lipoteichoic acid

For example: *Streptococcus equi*, *Bacillus anthracis*

Gram (-) bacteria are bacteria that do not take crystal violet stain in the Gram staining stage. In the Gram staining stage; counter dye is added after the crystal violet, so that Gram (-) bacteria have a red-pink colour. Most gram (-) bacteria are pathogenic. Pathogenic gram (-) bacteria have high disease-causing properties in humans. Pathogenicity is due to some properties of a gram (-) bacteria in the cell wall, namely LPS (lipopolysaccharide). They are seen in pink colour under the microscope.

Characteristic Properties of Gram (-) Bacteria;

- ✓ Cell walls contain thinner peptidoglycan than gram (+) bacteria.
- ✓ Outside the peptidoglycan layer there is a “Lipopolysaccharide” membrane.
- ✓ The outer membrane of the cell contains “Porins” that pass certain molecules.
- ✓ There is a “periplasmic space” between the peptidoglycan layer and the outer membrane
- ✓ The S layer is attached to the outer membrane
- ✓ Flanella has 4 rings
- ✓ Teichoic acid or lipoteichoic acid is absent
- ✓ Cytoplasmic membrane

For example: *Brucella abortus*, *Escherchia coli*

Microscopic Morphology

Cocs: It is called round-shaped bacteria. In microbiology, such as Streptoco and Staphylococ coccus, it is a spherical-shaped bacteria. Many bacterial species have characteristic arrangements that are useful in identification.

(Bacilli (Basil/Bacillus): They are divided into 4 groups according to their physiological characteristics.

- ✓ Acid resistant
- ✓ Gram (+) spore formers
- ✓ Gram (+) non-spore forming
- ✓ Gram (-) bacilli

The Bacillaceae family of endospore-forming rod-shaped bacteria has two main subdivisions: anaerobic spore-forming bacteria of the genus *Clostridium*

and aerobic or facultatively anaerobic spore-forming bacteria of the genus *Bacillus*, often known as ASB (aerobic). The bacterial cells of *Bacillus* cultures are Gram-positive when young, but in some species become Gram-negative as they age (Turnbull, 1996). Most *Bacillus* species are saprophytes. They have unusual physiological characteristics that enable them to survive or thrive in harsh environments, from Arctic soils and freshwater to marine sediments. The genus includes thermophilic, psychrophilic, acidophilic, alkaliphilic, alkaliphilic, halotolerant, and halophilic representatives that can grow at temperatures, pH values, and salt concentrations where few other organisms can survive (Ulucay et al., 2022b)

Spirochetes

It is an element of the phylum bacteria. Spirochetes, which are diderm (double-membraned) gram-negative bacteria, belong to the long, helical (corkscrew-shaped or spiral-shaped) cells. Spirochetes are chemoheterotrophic, characterized by lengths between 3 and 500 μm and diameters from 0.09 to at least 3 μm in diameter. They are spiral-structured bacteria. For example; *Borrelia*, *Treponema*, *Leptospira*.

Forms of involution (degeneration)

Under the influence of unfavorable conditions (food, pH, osmotic pressure, oxygen depletion, change in surface tension, accumulation of metabolites, etc.) microorganisms undergo many changes in their original form, which are called involution forms. These changes are recognized as abnormal forms such as elongated, oval, branching, swelling, delayed division, etc. If optimal conditions are created in the cultures, the bacteria reach their previous normal form.

Macroscopic Morphology of Bacteria (Colony Morphology)

If a bacterium is grown in a suitable solid medium and under favourable conditions (temperature, time, humidity, oxygen, etc.), it forms a visible cluster (colony) in a short time (Ulucay et al., 2021). Bacterial species form colonies with their own specific colour, odour, size and shape. These types provide genetic control of the cell. Depending on the size, there are millions or billions of microorganisms in a colony. Some bacteria (*E. coli*, *P. vulgaris*, *B. subtilis*, etc.) form very large and visible colonies after 24 hours under favourable conditions, while some (*Brucellas*, corine bacteria, etc.) form colonies that reach the visible stage in 3-5 days. Mycobacteria belonging to human and mammalian animals, on the other hand, form colonies after 15-20 days. The size and shape of the colony is a characteristics of the

species under favorable conditions (composition of the medium, oxygen, temperature, etc.). These are;

- ✓ Flamentöz Bacteria
- ✓ Actinomyces
- ✓ Nocardia
- ✓ Streptomyces

According to Physiological Properties

There are distinctions according to the different physiological states of bacteria. For example, the Bacillaceae family is divided into aerobes (those that need oxygen to reproduce) and anaerobes (those that do not need oxygen) according to their oxygen requirements.

According to Antigenic Structure

They are classified according to their antigenic properties. Serological methods are used for this purpose. By detecting certain antigens formed by bacteria with serological methods, the structure similarity between bacteria is compared.

Numerical Classification

Many characters of bacteria such as morphological, cultural, and biochemical properties are analyzed and the results are transferred to the computer. The origins that are similar to these characteristics are classified. A score of +1 for similarity and -1 for dissimilarity is given and the similarity index is obtained at the end of the general sum of the similarity scores. As a result, bacteria are classified in the range of 100% to 0%.

Genetic Classification

It is found according to the number of G+C in bacterial DNA. The ratio of the sum of Guanine (G) + Cytosine (S) numbers to all DNA numbers is constant for each species. In this case, bacteria with similar or very similar G+C/DNA numbers are referred to as the same group. This ratio differs between different genera.

Nomenclature of Microorganisms

The nomenclature is based on the BINOMINAL system described by CARL von LINNE. Microbe names consist of two words:

For example: *Bacillus anthracis*, *Brucella abortus*, The genus name can be abbreviated. For example: *B. Anthracis*

Classification of Microorganism Groups

Domain / Prokaryote

A prokaryote is a microorganism without a distinct nucleus and other organelles because it has no internal membranes. Bacteria are among the most recognizable prokaryotic organisms. The absence of internal membranes in prokaryotes distinguishes them from others. In eukaryotes, the prokaryotic cell membrane is composed of phospholipids and forms the cell's primary osmotic barrier. The cytoplasm contains ribosomes, which carry out protein synthesis, and a double-stranded deoxyribonucleic acid (DNA) chromosome, which is usually circular. Many prokaryotes also contain additional circular DNA molecules called plasmids.

Phylum / Gracilicutes

It is a class in bacterial genesis. Traditionally, gram staining results are most commonly used as a classification tool. Consequently, until the advent of molecular genealogies, Kingdom Monera was divided into four phyla;

- ✓ Gracilicutes
- ✓ Firmacutes
- ✓ Mollicutes
- ✓ Mendosicutes

Order / Rickettsiales

The order Rickettsiales of Proteobacteria contains a large number of medically important bacteria, including pathogens responsible for Rocky Mountain spotted fever and typhus. Among them are emerging pathogens that cause similar diseases and share many bacterial characteristics. All organisms are small, Gram-negative coccobacilli or bacilli. Most are transmitted to mammals by an arthropod vector. They multiply by binary fission in eukaryotic cells, either in the cytoplasm or inside vesicles, and have a circular genome of only 1 to 1.6 Mb.

Family / Rickettsiaceae

Rickettsia is a gram-negatively stained, small, obligate intracellular parasites of the Rickettsiaceae family (Ogata et al., 2005). They reproduce in the cytoplasm of endothelial cells and smooth muscle cells of capillaries, arterioles, and small arterioles and cause necrotizing vasculitis. They are transmitted to humans by arthropods such as fleas, lice, ticks, and mites and cause typhus or spotted fever group diseases. They are characterized by

sudden onset of fever lasting for one or several weeks, headache, weakness, muscle pain, and in all cases a characteristic rash.

Species / Coxiella Burnetii

Coxiella burnetii is a gram negative, pleomorphic, necessary intracellular microorganism. Although it was previously known as Rickettsiaceae family, it was determined to be in the Coxiellaceae family with genetic applications

Morphology of Bacteria

Microscopic Morphology;

Depending on their shape, bacteria are divided into several types. Round-shaped bacteria are cocci, rod-shaped bacteria are bacilli and spiral-shaped bacteria are spirochetes. But if we make a general definition, we can make a ranking as follows.

- ✓ Cocci (from kokkos, meaning berry) are spherical or oval cells.
- ✓ Basil (from bacillus, meaning rod) are rod-shaped cells.
- ✓ Vibrios are comma-shaped curved rods and are named after their structure. They are characterized by vibratory motility.
- ✓ Spirilla are rigid spiral forms
- ✓ Spirochetes (from speira, meaning fold, and chaite, meaning hair) are flexible and helical forms.
- ✓ Actinomycetes are branching filamentous bacteria; when seen in tissue, they bear an imaginary resemblance to the radiating rays of the sun (from actis meaning ray, and mykes meaning fungus).
- ✓ Mycoplasmas have a cell wall-deficient and therefore stable morphology. They have the shape of round or oval bodies and interlacing filaments.
- ✓ Cocs, The term cocci is derived from the Greek word kokkos, meaning fruit or seed. Cocci include archaeons or bacteria, usually round, oval, or spherical in shape.
- ✓ Cocci bacteria species Cocci can grow in chains, clusters, or pairs. Depending on the arrangement of cocci cells, they can be further subdivided.
- ✓ Streptococcus - cocci arranged in chains. *Streptococcus mutans*
- ✓ Diplococci - cocci arranged in pairs. *Neisseria gonorrhoeae*
- ✓ Monocoque - single coke

- ✓ Staphylococci - clusters of cocci. *Staphylococcus aureus*
- ✓ Tetrads - smells in groups of four. *Pediococcus*
- ✓ Sarcina - cocci in groups of eight. *Sarcina ventriculi*

Streptococci and diplococci are mostly formed because the daughter cells do not separate after cell division. In Sarcinae, cell division is organized in cubic pockets alternating between three vertical planes.

Gram-positive coccus bacteria

Like any other gram-positive bacteria, they also become positive for Gram staining (they retain the violet stain). Bacterial cell walls have thick layers of peptidoglycan. Gram-positive cocci most commonly cause infections in the intestine, vagina, nasopharynx, and in mouth.

- ✓ **Staphylococci** - Gram-positive cocci organized in grape-like clusters. They do not form spores, are immobile, and are about 1 μm in diameter.
- ✓ **Micrococci** - Gram-positive cocci that appear in irregular clusters. They are tetrads and differ from staphylococci in their oxidative attack on sugars.
- ✓ **Streptococci** - Another group of gram-positive cocci that appear in chains. They are usually part of the normal human flora. Some of them are important human pathogens causing pyogenic infections. Their growth in the cellular environment is enhanced by the addition of glucose, serum, or blood.

Some Gram-positive cocci samples; *Parvimonas*, *Peptonifilus*

There are also some cocci with a thin layer of peptidoglycan (gram-negative cocci). They do not retain the violet stain during Gram staining and instead take up the counterstain such as safranin and appear red in colour. Some gram-negative cocci samples: *Anaeroglobius*, *Asidaminokok*, *Veillonella*, *Megasfera*

Bacillus

Bacilli (genus *Bacillus*) are rod-shaped, gram-positive, aerobic, or (under certain conditions) anaerobic bacteria, commonly found in soil and water. The term bacillus has been generally applied to all cylindrical or rod-like bacteria. The largest known *Bacillus* species, *Bacillus megaterium*, is about 1.5 μm (micrometer; 1 $\mu\text{m} = 10^{-6}$ m) in diameter and 4 μm long. *Bacillus* often occurs in chains. In 1877, the German botanist Ferdinand Cohn provided

an authorized person with different forms of hay bacillus (*Bacillus subtilis*): the heat-resistant forms, which can be killed by exposure to heat, are called “spores”. It is known that these dormant forms can be converted into a vegetative or actively growing state (Cavalier-Smith, 2002). It is now known that all *Bacillus* species can form spores under unfavorable environmental conditions. These endospores can remain viable for a long time. Endospores are resistant to heat, chemicals, and sunlight and are widely distributed in nature in the soil they invade.

Sporikets

Spirochete, (order Spirochaetales), also spelled spirochaete, are a group of spiral-shaped bacteria, some of which are serious pathogens for humans and cause diseases such as syphilis, yaws, Lyme disease, and relapsing fever. Examples of spirochete genera include *Spirochaeta*, *Treponema*, *Borrelia*, and *Leptospira*. Spirochetes are gram-negative, motile, spiral bacteria from 3 to 500 μm (1 μm = 0.001 mm) long. Spirochetes are unique in that they have endocellular flagella (axial fibrils or axial filaments), of which there are between 2 and more than 100 per organism, depending on the species. Each axial fibril is attached to an opposite end and wrapped around the cell body surrounded by an envelope. Spirochetes are characteristically found in a liquid medium (e.g., mud and water, blood, and lymph).

Spirillum

Spirillum, a genus of spiral-shaped bacteria from the family Spirillaceae, causes a type of rat bite fever in humans. The spirillum is microbiologically characterized as a gram-negative, motile spiral cell with whip-like flagella at each end. The spiral of the largest spirillums is 5 to 8 μm (micrometers; 1 μm = 10^{-6} meters) in diameter and 60 μm long.

Vibrio

Their bodies are rigid, with a single curved, comma-shaped body structure. Vibrios harbour a wide variety of genomes as revealed by different genomic techniques including amplified fragment length polymorphism, multilocus sequence typing, repetitive extragenic palindromic PCR, ribotyping, and whole genome sequencing. The 74 species of this group are distributed in four different families such as *Enterovibrionaceae*, *Photobacteriaceae*, *Salinivibrionaceae* and *Vibrionaceae*. Comparative genome analyses, mutations, chromosomal rearrangements, loss of genes through decay or deletion, and gene gains through duplication or horizontal transfer, are probably important drivers in the evolution and speciation of vibrios.

Bacteria always reproduce in the same cell form under favorable conditions. But sometimes they can be found in different shapes. If bacteria are produced in the presence of substances that inhibit cell wall synthesis (penicillin, chemicals, etc.), there are some differences in their shapes. These are;

L- Form

- ✓ They are capable of normal reproduction but have no cell walls.
- ✓ They are found in shapes such as oval, star, ring, and disc under a microscope.
- ✓ Bacteria are found in different shapes with many environmental effects in the environment where they grow. pH change, oxygen reduction, surface tension, and osmotic pressure changes, and reduction of food in the environment. Bacteria in these environments have irregular shapes (filament, branching, angular form).

Colony Morphology of Bacteria

Bacteria grow in colonies on solid media. A colony is defined as a visible mass of microorganisms all originating from a single mother cell, so a colony forms a genetically similar colony of bacteria. The culture medium plays an important role in the demonstration of bacterial colony characters and the actual morphology of the bacteria. Media consisting of simple components and without any inhibitory substances are suitable for characterizing the colony characters of a bacterium (nutrient agar). Bacterial colonies differ in shape, size (measured in diameter), odour, colour (pigmented), texture and degree of adhesion to the medium (pitting and crusting). Different bacteria show different colony morphologies, such as rhombic (e.g. *Pseudomonas* spp.), large mucoid colonies (e.g. *Klebsiella* spp.), colonies with wavy edges (e.g. *Bacillus anthracis*), fusing colonies (e.g. *Proteus*); colonies can be mucoid (M colonies), smooth (S colonies) and dry (R colonies). An M colony looks water-like, shimmering, and mingled together (individual or separated colony). S colonies are recognizable by their moist structure and are indicative of freshly isolated bacterial strains. R colonies are rough, dry, granulated, and mutant bacterial strains lacking most surface proteins, including capsules and lipopolysaccharides. R colonies are usually formed by bacteria that are avirulent. The ability of bacteria to vary in both smooth-to-rough (SR) shapes and rough-to-smooth (RS) colonies has also been observed. Rough colonies that form on blood agar and reveal spore-forming gram-positive bacilli (aerobic spore-bearing bacilli) on Gram stain are often overlooked as laboratory contaminants.

Colony Shape

It includes the shape, height, and boundary of the bacterial colony. The form of the bacterial colony: Form refers to the shape of the colony. These four forms represent the most common colony shapes you are likely to encounter. These are circular, irregular, filamentous, and rhizoid. The height of the bacterial colony: Gives information about how high the colony rises on the agar. This describes the “side view” of a colony. The six most common elevations of bacterial colonies and the prevalence theme of bacterial colonies are given (Figure 1)

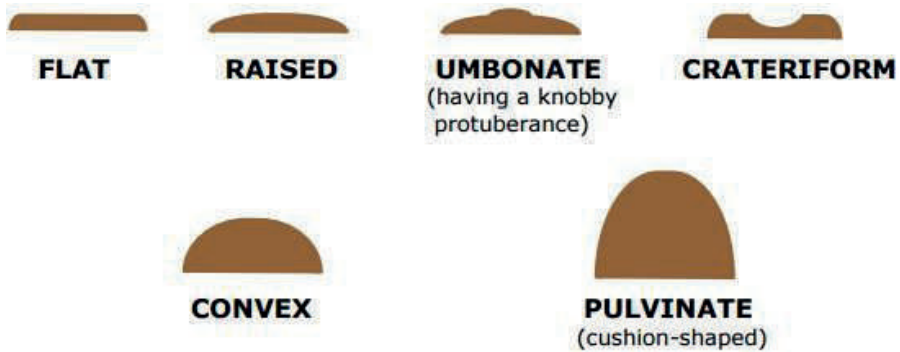


Figure 1. Bacterial Colony Types

Size of the Bacterial Colony

The size of the colony is a useful feature for identification. The diameter of a representative colony can be measured in millimeters or described in relative terms such as pinpoint, small, medium, and large. Point and other types of bacterial colonies are shown in Figure 2.

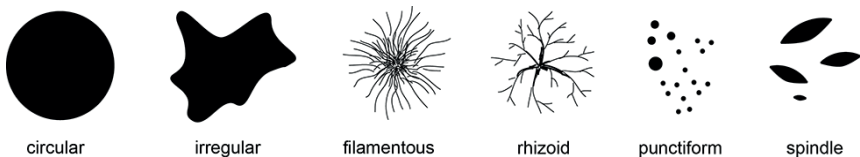


Figure 2. Schematic of Point Bacterial Colonies

Tiny colonies are also called pinpoints. Colonies larger than about 5 mm are likely to be mobile organisms. Pinpoint colonies differ from circular colonies by their very small size.

Colony Morphology

When bacteria are grown in suitable solid nutrient media and under suitable conditions, they come together and form visible clusters called colonies. Bacterial species form colonies with their own colour, smell, size, and structure. These characters are under the genetic control of the cell. The formation time of colonies in solid nutrient media varies according to the bacterial species. For example, *E. coli* can grow in 24 hours, Brucellae in 2-3 days, Mycobacteria in 15-20 days. The size of colonies also varies according to bacterial species.

Colony Forms Observed in Bacteria

S (Smooth) Colony

It is a colony formed by bacteria newly isolated from disease cases. It has a smooth, shiny and homogenous appearance.

R(Rough) Colony

Colonies formed by bacteria that are old or passaged many times. They are granular with rough edges and top. Bacteria forming R-type colonies lose their pathogenicity and are easily phagocytised. Their antigenic ability weakens.

M (Mucoid) Colony

It is seen in bacteria forming capsules or mucoid secretions. When these colonies are touched with a swab, they elongate like threads.

L-Colony

Bacteria can transform into various forms as part of their natural life cycle. One of these stages is L-Colony. L-form bacteria, also known as cell wall-deficient bacteria, are a stage of bacteria that are very small and lack cell walls. Despite being the subject of numerous studies over the last 100 years and implicated in various diseases, L-forms continue to be largely misunderstood by the medical research community. According to Marshall Pathogenesis, L-forms are part of the metagenomic microbiota responsible for chronic diseases (Proal et al., 2011). Their tops and sides are irregular. The size of microorganisms is measured in micrometers (μm , 10^{-6}) in eukaryotic organisms and bacteria in the international metric system. In bacteria, some phages, and viruses, the length of the double-stranded genomic DNA is defined in base pairs (ba, base pair, bp) and in single-stranded genomic phages and viruses in bases.

KAYNAKÇA

- Amara, A.A., El-Baky, N.A. 2023. Fungi as a Source of Edible Proteins and Animal Feed. *Journal of Fungi*, **9**(1), 73.
- Aran, N. 1993. Gıda Endüstrisinde Sanitasyon ve Hijyen. İçinde M. Pala (Editör). *Gıda Sanayinde Mikrobiyoloji ve Uygulamaları*, 200-216.
- Blanton, L.S., Walker, D.H. 2016. The Rickettsiaceae, Anaplasmataceae, and Coxiellaceae. *Manual of Molecular and Clinical Laboratory Immunology*, 461-472.
- Brown, N., Bhella, D. 2016. Are viruses alive. *Microbiology Today*, **43**(2), 58-61.
- Cavalier-Smith, T. 2002. Origins of the machinery of recombination and sex. *Heredity*, **88**(2), 125-141.
- Clarholm, M., Bonkowski, M., Griffiths, B., Van Elsas, J.D., Jansson, J.K., Trevors, J.T. 2007. Protozoa and other protista in soil. *Modern Soil Microbiology*. Marcel Dekker, Amsterdam, 147-175.
- Fung, D.Y.C. 1987. *Types of microorganisms*. Academic Press, Inc.
- Hifumi, T., Yamamoto, A., Ato, M., Sawabe, K., Morokuma, K., Morine, N., Kondo, Y., Noda, E., Sakai, A., Takahashi, J. 2017. Clinical serum therapy: benefits, cautions, and potential applications. *The Keio Journal of Medicine*, **66**(4), 57-64.
- Houbraken, J., Frisvad, J.C., Samson, R.A. 2011. Fleming's penicillin producing strain is not *Penicillium chrysogenum* but *P. rubens*. *IMA fungus*, **2**, 87-95.
- Hurst, C.J. 2021. Discovering the Symbiotic Nature of Microbial Life: Summarizing Milestone Publications from 1866 Through 1947. *Microbes: The Foundation Stone of the Biosphere*, 213-241.
- Jankovská, V., Komárek, J. 2000. Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in palaeoecology. *Folia Geobotanica*, **35**, 59-82.
- Kukovinets, O.S., Abdullin, M.I., Zainullin, R.A., Kunakova, R.V. 2008. *Chemical and physical methods for protecting biopolymers against pests*. Nova Publishers.
- Ogata, H., Renesto, P., Audic, S., Robert, C., Blanc, G., Fournier, P.-E., Parinello, H., Claverie, J.-M., Raoult, D. 2005. The genome sequence of *Rickettsia felis* identifies the first putative conjugative plasmid in an obligate intracellular parasite. *PLoS biology*, **3**(8), e248.
- Oztas Gulmus, E., Gormez, A. 2020. Identification and characterization of novel thermophilic bacteria from hot springs, Erzurum, Turkey. *Current Microbiology*, **77**(6), 979-987.
- Patel, A.K., Agrawal, R., Dong, C.-D., Chen, C.-W., Singhania, R.R., Pandey, A. 2023. Filamentous fungal morphology in industrial aspects. in: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier, pp. 197-217.

- Proal, A.D., Albert, P.J., Marshall, T.G. 2011. Autoimmune disease and the human metagenome. *Metagenomics of the human body*, 231-275.
- Probert, H.M., Gibson, G.R. 2002. Bacterial biofilms in the human gastrointestinal tract. *Current issues in intestinal microbiology*, **3**(2), 23-27.
- Reinikovaite, V., Zukauskas, S., Zalneravicius, R., Ratautaite, V., Ramanavicius, S., Bucinskas, V., Vilkiene, M., Ramanavicius, A., Samukaite-Bubniene, U. 2023. Assessment of *Rhizobium anhuiense* bacteria as a potential biocatalyst for microbial biofuel cell design. *Biosensors*, **13**(1), 66.
- Sapp, J. 2005. The prokaryote-eukaryote dichotomy: meanings and mythology. *Microbiology and molecular biology reviews*, **69**(2), 292-305.
- Satora, P., Pater, A. 2023. The Influence of Different Non-Conventional Yeasts on the Odour-Active Compounds of Produced Beers. *Applied Sciences*, **13**(5), 2872.
- Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., Mehta, P.K. 2017. Microbial metabolites in nutrition, healthcare and agriculture. *3 Biotech*, **7**, 1-14.
- Taylor, D.R., Ingvarsson, P.K. 2003. Common features of segregation distortion in plants and animals. *Genetica*, **117**, 27-35.
- Turnbull, P.C.B. 1996. *Bacillus: Barron's medical microbiology. University of Texas Medical Branch.*
- Ulucay, O., Altunkulah, E., Alkaşi, Ü. Past to Present, Epidemiology of SARS-CoV-2 Infection and Ways of Treatment: A Review. *Kafkas Journal of Medical Sciences*, **12**(3), 281-291.
- 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. 2022a. For biotechnological applications: Purification and characterization of recombinant and nanoconjugated xylanase enzyme from thermophilic *Bacillus subtilis*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **44**, 102478.
- Ulucay, O., Gormez, A., Ozic, C. 2022b. Identification, characterization and hydrolase producing performance of thermophilic bacteria: geothermal hot springs in the Eastern and Southeastern Anatolia Regions of Turkey. *Antonie van Leeuwenhoek*, 1-18.
- Winslow, C.E., Broadhurst, J., Buchanan, R.E., Krumwiede Jr, C., Rogers, L.A., Smith, G.H. 1917. The families and genera of the bacteria preliminary report of the Committee of the Society of American Bacteriologists on characterization and classification of bacterial types. *Journal of bacteriology*, **2**(5), 505-566.
- Xu, Y., Wang, J., Liu, Q., Zhang, Q., Wu, J., Zhou, M., Nie, Y., Wu, X.-L. 2023. pH and Nitrate Drive Bacterial Diversity in Oil Reservoirs at a Localized Geographic Scale. *Microorganisms*, **11**(1), 151.

Zinserling, V. 2022. Neurotuberculosis and Neurosyphilis (in Collaboration with YR Zyuzya). in: *Infectious Lesions of the Central Nervous System*, Springer, pp. 179-224.

Fen Bilimlerinde Bilimsel Süreç Becerileri ve Yaratıcı Düşünme

Nilay Korkmaz¹

Özet

Bilimin doğasında öğrenilen bilgilerin içeriği; öğrencilere bilgiyi bilimsel, mantıksal, felsefi ve sosyal bir bağlamda nasıl kullanacaklarını öğretmek çok önemlidir. Dersin amaçlarına göre, geleneksel derslerde eğitimciler öğrencilerine günlük yaşamlarında ihtiyaç duyacakları materyali nasıl özümseyecekleri, kavrayacakları, kullanacakları, analiz edecekleri, sentezleyecekleri ve değerlendirecekleri konusunda yönlendirirler. Öğrencilerden materyali açıklamaları ve uygun olduğunda onu anladıktan ve bilgi topladıktan sonra uygulamaları istenmektedir. Yani, öğrenciler otonom çalışmalarda daha az aktiftirler. Sentez ve değerlendirme için zaman kısıtlamaları, analiz için bir zorluk teşkil eder. Tipik bir sınıfta, öğrencilere yeni bilimsel kavramlar alıştırmalarla pekiştirilmeden önce sistematik olarak öğretilir. Araştırma yollarını ve metodolojilerini sağlayan temel yetenekler, öğrencinin bilime aktif katılımı, bilimsel süreç becerileri, kişinin kendi öğrenmesi için sorumluluk duygusunu geliştirmesi, öğrenmenin kalıcılığını artırması ve araştırma teknikleri sağlaması olarak kategorize edilebilir. Bilimsel çalışmalarda yaratıcılık sıklıkla bilimde kullanılan yöntemleri tamamlar. Sorunları göstermek ve teorileri formüle etmek ve bunları test etmek için deneyler geliştirmek için, bilimsel yöntemin yaratıcılığı ve bilgisi özellikle yararlıdır. Bilimsel süreç becerisi eğitiminin görevi bir köprü kurmaktır. Diğer bir deyişle, öğrenciler bilimsel yöntem bilgilerini hem günlük yaşamlarında hem de diğer derslerde uygulayabilmelidirler. Yaratıcı bireyler, farklı alanlar arasında bağlantı kurarak bilgi ve metodolojilerini genişletebilir.

1. GİRİŞ

Yaratıcılık, var olan problemlere farklı bir bakış açısıyla bakabilmek ve bu problemleri çözebilme yeteneği olarak tanımlanabilmektedir. Yaratıcılıkta alışılmış çözümlerden kaçınmak ve kalıplaşmış fikirlerin dışında bir düşünce

1 Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-6436-6699, nkorkmaz@bandirma.edu.tr

yapısı geliştirebilmek ön plandadır. Yaratıcı düşünme süreci, yeni zorluklarla karşılaşmayı ve orijinal, yeni, probleme uygun çözümler üretmeyi kapsar.

Yaratıcılık, çağdaş dünyada artan bir öneme sahiptir ve dünya çapında son eğitim reformlarında artan bir ilgi görmüştür. Aslında kişiler yaratıcı düşünme yetisi ile doğar. Ancak bu yeteneği, yaşam parçası haline getirip bir beceriye dönüştürmek uygun koşulların sağlanması ile mümkün olmaktadır. Bu uygun koşullar kişinin maruz kaldığı problemler sonucu ortaya çıkmaktadır.

Sternberg ve Lubart (1999), yaratıcılık kavramını “yaratıcılık, hem yeni yani orijinal, beklenmedik hem de uygun yani, yararlı, görev kısıtlamalarına göre uyarlanabilir iş üretme yeteneğidir.” şeklinde tanımlamışlardır. Bilişsel yaklaşımdan önde gelen bilim insanları, iraksak düşünmeyi yaratıcı düşünmenin özü olarak görmektedirler (Guildford, 1950; Torrance, 1974). Eğitim alanında ise, yaratıcılığın yetenekler, beceriler, motivasyon, tutumlar ve diğer faktörlerin bir kombinasyonu olduğuna inanılmaktadır (Ripple, 1999).

1.1. Fen Bilimlerinde Yaratıcı Düşünme

Fen bilimlerinin doğasında öğrenilen bilgilerin içeriğinin; bilimsel, mantıksal, felsefi ve sosyal bağlamda bilgilerle nasıl çalışılacağını öğretmek önemlidir. Geleneksel derslerde, öğretmenler dersin amacına bağlı olarak, öğrencileri öğrenmeleri veya yaşam etkinlikleri sırasında ihtiyaç duydukları bilgileri hatırlama, anlama, kullanma, analiz etme, sentezleme, değerlendirme sırasına göre yönlendirir. Öğrenciler bilgiyi anlayarak bilgi toplarlar, ardından bilgiyi açıklamaları ve mümkün olduğunda uygulamaları istenir. Yani, öğrenciler bağımsız çalışmaya daha az dahil olurlar. Analiz, sentez ve değerlendirme için zaman kısıtlaması sorunu ile karşı karşıyadır. Geleneksel eğitimde fen bilimlerinde yeni konular sistematik olarak öğrencilere öğretilir ve daha sonra alıştırmalar verilerek pekiştirilir.

Geleneksel eğitimin aksine fen eğitiminde yaratıcılık, Hu ve Adey’de (2002) tanımlandığı gibi bilimsel yaratıcılığı veya McCormack ve Yager’de (1989) tanımlandığı gibi bazı genel yaratıcı düşünme öğelerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Yaratıcılık, ne kadar yeni fikrin geliştirildiği, ne kadar olasılık, seçenek ve seçimin üretildiğidir.

Özellikle fen bilimlerinde yaratıcı bir öğrenmenin gerçekleşebilmesi için temelde dört süreçten bahsetmek mümkündür. Bu dört süreç yaratıcı olmanın tek yolu değildir; ancak bunlar yaratıcı düşünme örüntülerini anlamak için kullanılması uygun kategorileri temsil etmektedirler. Bu özelliklerden her biri ayrı olarak ya da bir kombinasyon içinde var olabilir.

a. Akıcılık: Akıcı düşünme, sayısız fikirler ya da sonuçlar üretmek için kolaylıktır. Akıcı düşünürler sayısız oranda düşünce üretirler.

b. Esneklik: Farklı bakış açıları geliştirme kapasitesi, esnek düşünme olarak bilinir. Esnek düşünürler, tek bir soruna birkaç çözüm bulmaya çalışırken bir tür zihinsel akrobasi yaparlar. Esnek düşünenler düzene karşı çıkabilir.

c. Özgünlük: Yeni, ayırt edici veya son derece kişisel fikirler veya yanıtlar bulma kapasitesi özgün düşünme olarak bilinir. Özgün düşünürler ve onların yanıtları ya da çözüm önerileri kendilerine özgüdür.

d. Düzenleme: Fikirleri geliştirme, inşa etme ve süsleme kapasitesine sahip olmak, düzenleyici düşünme olarak bilinir. Ayrıntılar düzenleyici düşünürler için büyüleyicidir. Düzenleyici düşünürler sıklıkla sofistike ve karmaşık şeyleri tercih ederler.

Bilim adamları, birçok senaryoda kullanmak üzere bilgileri alma ve bu bilgileri başka bağlamlara aktarma yeteneğine sahiptir. Fen öğretimi için de temelde bu dört sürecin uygulanabilirliği son derece önemlidir. Öğrenci bilgiyi kendi keşfetme çabasına girdiğinde bilimsel sürecin basamaklarını kullanarak, yaratıcı düşünme yeteneğini ön plana çıkaracaktır.

1.2. Bilimsel Süreç Becerileri

Bilimsel süreç becerileri, fen bilimlerinde öğrencilerin öğrenmeye aktif katılması, kendi öğrenmeleri için sorumluluk duygusu oluşturmaları, öğrenmenin kalıcılığını artırma ve araştırma metodolojileri verme becerisi ayrıca araştırma yol ve yöntemlerini kazandıran temel beceriler olarak tanımlanabilmektedir (Çepni vd., 1996).

Lind (1998), bilimsel süreç becerilerini, bilgi üretirken, zorlukları analiz ederken ve sonuçları tasarlarlarken kullandığımız bilişsel yetenekler olarak tanımlamıştır. Bilim adamları bu yetenekleri çalışmalarında kullanırlar. Öğrencilere bu önemli becerileri öğretmek ders çalışmaya ve çevrelerinin farkında olmaya devam edebiliriz. Bu yetenekler, bilimsel araştırma ve düşüncenin temeli olarak hizmet eder.

Tablo 1'de belirtildiği gibi, bilimsel süreç becerilerinin üç ana grubu vardır. Bunlar; temel süreçler, nedensel süreçler ve deneysel süreçlerdir.

Tablo 1: Bilimsel süreç becerileri ve kısa tanımları

<p>1. Temel süreçler</p> <p>a. Gözlem yapma: Bu hedef, ortamı gözlemlemek için kişinin duyu organlarını kullanmasını içerir.</p> <p>b. Ölçme: Bir cismin veya maddenin niteliklerinin birim sistemler cinsinden sayısal olarak ifade edilmesidir.</p> <p>c. Sınıflama: Bu hedef, düşünceleri ve olayları ortak noktalarına göre kategorilere ayırmayı içerir.</p> <p>d. Verileri kaydetme: Gözlem ve test bulgularının gruplandırılarak kaydedilmesi olarak tanımlanır.</p> <p>e. Sayı ve uzay ilişkileri kurma: Nesne ve olayın şekli, zaman, hız, mesafe vb. tanımlayıcı ve tamamlayıcı özelliklerinin tanımlanıp test edilmesidir.</p>
<p>Nedensel süreçler</p> <p>a. Önceden kestirme: Bir deneye başlamadan önce tahmin etmek, incelenecek konu hakkında bir sonuç çıkarmaktır.</p> <p>b. Değişkenleri belirleme: Araştırılan durumu ve olayı etkileyen unsurların bulunmasını işlemidir.</p> <p>c. Verileri yorumlama: Toplanarak gruplanmış veya tablolaştırılmış veriler hakkında yorum yapma becerisidir.</p> <p>d. Sonuç çıkarma: Bir olay veya durum hakkında bir yargıya varma sürecidir.</p>
<p>3. Deneysel süreçler</p> <p>a. Hipotez kurma: İlk gözlem ve teste dayalı olarak araştırılan olay veya durum hakkında geçici bir genelleme oluşturmaktır.</p> <p>b. Verileri kullanma ve model oluşturma: Bu hedef, fikirleri oluşturmak için verileri kullanmayı ve ardından bu fikirleri matematiksel ifadelere ve tasarımlara dönüştürmeyi içerir.</p> <p>c. Deney yapma: Hipotezleri test etmek için bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri nasıl etkilediklerini görebilecek deney tasarlamaktır.</p> <p>d. Değişkenleri değiştirme ve kontrol etme: Bu hedef, bir olayı veya durumu etkileyen değişkenlerden birini değiştirirken diğer değişkenleri sonuçlar üzerinde ne gibi bir etkiye sahip olduğunu görmek için sabit tutmayı içerir.</p> <p>e. Karar verme: Bilimsel süreç becerilerini kullanarak bir sonuca varmak veya yargıda bulunmak, karar verme olarak bilinir.</p>

Öğrencilerin hızla gelişen toplumlarda sorunları aşmak ve çözmek için bilimsel süreci öğrenmeleri gerekmektedir. Bilimsel süreç becerilerine sahip olanlar, hem iyi bilim insanları hem de çevrelerindeki teknolojik gelişmeleri sorgulayan iyi vatandaşlar olacaklardır.

Bilimsel süreç becerileri, bilim insanların bilgi oluşturmak, sorunları düşünmek ve sonuçlar üretmek için kullandıkları düşünce süreçleridir. Bilim insanları bu yetenekleri çalışmalarını sırasında kullanırlar. Öğrencilerin bu önemli becerileri geliştirerek kendi dünyalarını anlamalarına ve öğrenmelerine yardımcı olmak fen eğitiminin temelini oluşturmaktadır.

2. BİLİMSEL SÜREÇ BECERİLERİ VE YARATICILIK

Yaratıcılık alanı, yaratıcılığın alana özgüllüğü ve genelliği üzerine süregelen bir tartışmadır (Baer ve Kaufman, 2005). Bu durum, bilimden öğrenilen yaratıcılığın diğer alanlara aktarılması konusunda birtakım sorunları da beraberinde getirmektedir. Öte yandan, bilimsel süreç becerileri göz önüne alındığında öğrencilerin yaratıcılığını geliştirmenin “öğrenenler için bilim” müfredatına uygunluğu tartışmalıdır. Bilimde yaratıcılık eğitiminin, öğretim hedeflerinin ve öğretim stratejilerinin ne olması gerektiğine dair hala kesin çizgilerle belirlenmiş sınırlar yoktur. Ki bilim kesin sınırlar içerisinde gerçekleştirilemeyecek boyuttadır. Bu nedenlerden dolayı, yaratıcı öğrenmeyi fen eğitimine entegre etmek için çok yönlü bir bakış açısının kabul edilmesi, tek yönlü olandan daha kolay ve anlaşılırdır.

Kind and Kind'in (2007) bir incelemesinde, fen eğitiminde yaratıcılığı tanımlamada farklı bakış açıları ve fen eğitimcileri tarafından sorgulamaya dayalı fen öğretimi, deneysel yöntemler, imgeleme ve hayal gücü dahil olmak üzere farklı yaklaşımlar olduğunu belirtmişlerdir. Fen eğitiminde, öğrenci merkezli yaklaşımlar söz konusu olduğunda yaratıcılık ve bilimsel süreç ayrı düşünülemez. Cheng (2006), Fizik eğitiminde yaratıcılığı teşvik etmek için fen bilimlerinin keşfi, anlaşılması, sunumu, uygulanması ve bütünleştirilmesi dahil olmak üzere çok sayıda yaklaşım önermektedir. Yaratıcılığı normal derslere aşılacak için, mevcut bilim müfredatının yaklaşımlarını dikkate almak gerekmektedir. Uzun süredir fen içeriğine dayalı ve bilimsel sürecin aktif olarak kullanıldığı yaklaşım ön plandadır (Swatton, 1990). Son yıllara gelindiğinde, fen öğretiminde öğrencilere bilimin süreçlerini öğretmek için yaratıcılığın önemini belirten yaklaşımlar artmıştır (Mansour, 2009). Bu durum fen öğretimine paralel olarak, yaratıcılığı fen derslerine entegre etmek için şu yaklaşımı ön plana çıkarmaktadır: Yaratıcı düşünceyi bilimsel süreç becerileri aracılığıyla geliştirmek.

Bilimsel süreç becerilerinde baktığımızda sorgulama, fen eğitiminde yaratıcılığı teşvik etmenin en temel ve yaygın olarak kullanılan yolu olarak kabul edilir (Johnson, 2000; Kind ve Kind, 2007; Meador, 2003). Craft (2001), öğrencileri açık uçlu keşif ve bilimsel sorgulama sürecine dahil etmenin yeni kavramlar oluşturmaya ve yaratıcı düşünme becerileri ve tutumları geliştirmeye yardımcı olabileceğini söylemiştir. Tüm sorgulama süreçleri boyunca öğrenciler önceki bilgi ile yeni deneyimler arasındaki bağlantıları kurar ve aynı zamanda bilimsel araştırma ve yaratıcılığı geliştirmenin bir prosedürünü uygular (Starko, 2010; Watson ve Konicek, 1990).

Fen bilimlerine dayalı yaklaşımda, gözlem, deney ve analogilerin kullanımını içeren yaratıcı yazma, fen eğitiminde yaratıcılığı geliştirmede başka bir faydalı stratejidir (Drenkow, 1992). Günlük analogiler, bireyi yeni fikirlere yönlendirir ve kişisel analogiler (öğrencilerden bir şey olmalarının istendiği) hayal gücünü geliştirmeye yardımcı olur (Girod, Rau ve Schepige, 2003). Belirli durumlarda bu tür bir hayal kurma süreci öğrencilerin bilimi daha iyi anlamalarına ve yeni bakış açılarına sahip olmalarına yol açmaktadır. Bunun ışığında, yaratıcı yazma yani bilimsel süreç becerileri ile düşünüldüğünde raporlaştırma, öğrencilerin hayal gücünü, yaratıcı düşüncesini ve ayrıca fen kavramlarını anlamalarını geliştirmek için etkili bir strateji olarak kabul edilebilmektedir.

3. SONUÇ

Öğrencilerin ilköğretimdeki temel deneyimleri, bilimsel süreç becerilerini geliştirmeleri için çok önemlidir. Bu nedenle ders kitaplarından alıştırmalar yapılırken bilimsel süreç becerileri bir bütün olarak ele alınmalı ve üzerinde durulmalıdır. Öğrenci sorumluluğu, öğrenciler öğretmen gözetimi olmadan kendi deneylerini yapabilecek duruma gelene kadar kademeli olarak artırılmalıdır. Bilimsel yöntem bilgisinin ancak uygulama ve zamanla elde edilebileceği vurgulanmalıdır. Etkinlikleri yürütürken fen eğitimcilerinin asıl amacı öğrencilere bu becerileri kazandırmak ve geliştirmelerine yardımcı olmak olmalıdır. Bilimsel yöntemin öğrenilmesinin, dikkatli bir şekilde organize edildiğinde gerçekleştirilebileceğine inanılmaktadır (Durmaz ve Mutlu, 2012).

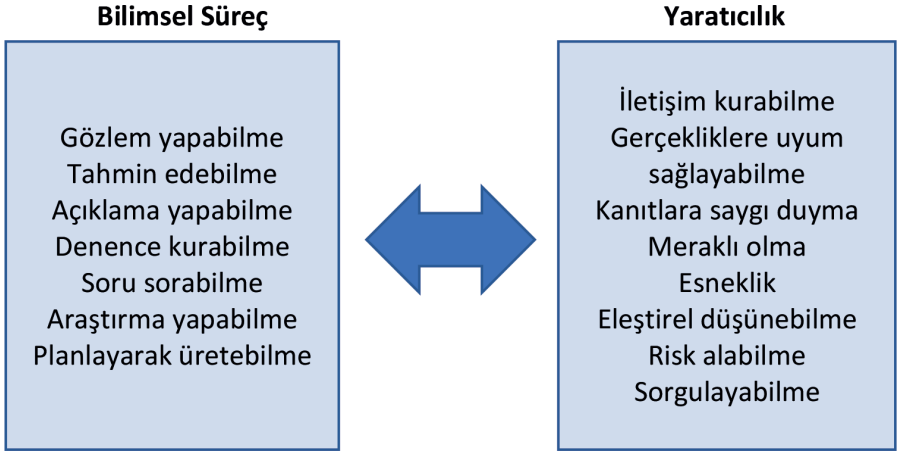
Genel olarak, yaratıcı düşünme eleştirel düşünme ve problem çözle ile ilişkilidir. Yaratıcılığın üç boyutunu sentezleme, eklemleme ve hayal gücü olarak düşündüğümüzde bilimsel süreç becerileri ile ilişkisini aşağıdaki gibi açıklayabiliriz (Sternberg, 2009).

a. Sentezleme: Eski ve yeni bilgiyi oluşturmayı veya mevcut olanı genişletmeyi içerir. Yeni olanın yardımıyla bilgi sağlamak için alışılmadık

ilişkiler kurmak ve özgün çözümler üreterek ve düşüncüyü hayal gücü kullanımıyla somutlaştırmaktır.

b. Ekleme: Yeni bilgilerle daha önce edinilmiş bilgiler arasında bağlantı kurulmasını sağlar. Bu süreçte yeni bilgiler daha fazla anlam kazanırken kodlamayı da daha basit ve belirleyici hale getiriyor.

c. Hayal gücü: Bu boyut, gerçek ve hayal gücü arasında bir ilişki kurmaktan oluşmaktadır. Hayal gücünün yardımıyla esnek düşünce yolları sunan güvenilir düşünceler, fikir üretme sürecinde farklı içgörülerle geri dönmektedir.



Şekil 1. Bilimsel Süreç ve Yaratıcılık İlişkisi

Şekil 3, bilimsel süreç basamakları ile yaratıcı düşünme arasındaki çift yönlü iletişimi göstermektedir. Bu yaklaşımlara dayalı olarak eğitim organizasyonunda bilgi ile çalışma yetkinliğinin en önemli yönleri:

1. Öğrencilerin uyum yeteneği geliştirmek.
2. Bilgi aramayı ve keşfetmeyi öğretmek.
3. Sürekli yeni bilgi öğrenmeye maruz bırakmak.
4. Öğrencilerin temel bilgi tabanını oluşturmak.
5. Bilgi yeterliliğinin geliştirilmesinde eğitimi koordine etmek.

Bilimi içeren araştırmalarda, yaratıcılık genellikle bilimsel prosedürlerde tamamlayıcı bir rol oynamaktadır. Sorunları ve fikirleri ortaya koymak ve bunları test etmek için çalışmalar tasarlamak için yaratıcılık ve bilimsel süreç becerileri özellikle yararlıdır. Köprü kurmak, bilimsel süreç beceri

eğitiminin işidir. Diğer bir deyişle, öğrenciler bilimsel yöntem bilgilerini günlük yaşamlarının yanı sıra diğer derslerde de kullanabilmelidirler. Büyük yaratıcılığa sahip insanlar, bir alandan diğerine köprü kurarak bilgi ve yöntemlerini geliştirebilirler. Yaratıcı ve bilimsel süreçlerdeki adımlar birbirini tamamlar. Bu beceriler geliştirilmedikçe, öğrencilerin anlayarak bilimsel kavramlar geliştirmeleri mümkün değildir. Bu nedenle bilim ve teknolojideki hızlı gelişmelerden öğrencilerin yararlanması toplumun geleceği açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Baer, J., & Kaufman, J. C. (2005). Bridging generality and specificity: The amusement park theoretical (APT) model of creativity. *Roeper review*, 27(3), 158-163.
- Cheng, M. H. (2006). Junior secondary science teachers' understanding and practice of alternative assessment in Hong Kong: Implications for teacher professional development. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 6, 227-243.
- Craft, A. (2001). An analysis of research and literature on creativity in education. *Qualifications and Curriculum Authority*, 51(2), 1-37.
- Çepni, S., Ayas, A., Johnson, D. ve Turgut, M. F. (1996). Fizik Öğretimi. Ankara: Milli Eğitim Geliştirme Projesi Hizmet Öncesi Öğretmen Eğitimi Deneme Basımı.
- Drenkow, J. (1992). Creative writing in a life science classroom. *Science Scope*, 15(4), 18-20.
- Durmaz, H., & Mutlu, S. (2012). 7. sınıf öğrencilerinin bilimsel süreç becerilerini geliştirmeye yönelik bir çalışma örneği. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 6(1), 124-150.
- Girod, M., Rau, C., & Schepige, A. (2003). Appreciating the beauty of science ideas: Teaching for aesthetic understanding. *Science education*, 87(4), 574-587.
- Guilford, J.G. (1959). Traits of Creativity. In Anderson, H.H. (Ed.), *Creativity and its Cultivation*. London: Harper. pp. 142-161.
- Hu, W., & Adey, P. (2002). A scientific creativity test for secondary school students. *International Journal of Science Education*, 24(4), 389-403.
- Johnson, K. E. (2000). *Teacher Education. Case Studies in TESOL Practice Series*. Teachers of English to Speakers of Other Languages, Inc., 700 South Washington Street, Suite 200, Alexandria, VA 22314.
- Kind, P. M., & Kind, V. (2007). Creativity in science education: Perspectives and challenges for developing school science.
- Lind, K. K. (1998). *Science in Early Childhood: Developing and Acquiring Fundamental Concepts and Skills*.
- Mansour, N. (2009). Science teachers' beliefs and practices: Issues, implications and research agenda. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(1), 25-48.
- McCormack, A. J., & Yager, R. E. (1989). A New Taxonomy of Science Education. *Science Teacher*, 56(2), 47-48.
- Meador, K. S. (2003). Thinking creatively about science suggestions for primary teachers. *Gifted child today*, 26(1), 25-29.
- Ripple, R. E. (1999). Teaching creativity. *Encyclopedia of creativity*, 2, 629-638.

- Starko, A. J. (2010). *Creativity in the classroom: Schools of curious delight*. Routledge.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. *Handbook of creativity*, 1(3-15).
- Sternberg, R. J. (2009). WICS: a model of positive educational leadership comprising wisdom, intelligence, and creativity synthesized.
- Swatton, P. (1990). Process and Content in the National Science Curriculum. *School science review*, 72(259), 19-28.
- Torrance, E. P. (1974). Differences are not deficits. *Teachers College Record*, 75(4), 1-14.
- Watson, B. & Konicsek, R. (1990) 'Teaching for Conceptual Change: Confronting Children's Experience', *Phi Delta Kappan* 72(May): 680-5.

Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar

Editör: Dr. Adile Akpınar