

2023  
Ekim

# ZİRAAT & ORMAN, SU ÜRÜNLERİ

Alanında Akademik  
Çalışmalar

**EDİTÖRLER**

Prof. Dr. Banu DOĞANLAR

Prof. Dr. Şebnem ELLİALTIOĞLU

**gece**  
kitaplığı

**İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel**  
**Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı**  
**Editör • Prof. Dr. Banu DOĞANLAR**  
Prof. Dr. Şebnem ELLİALTIOĞLU

**Birinci Basım • Ekim 2023 / ANKARA**

**ISBN • 978-625-425-214-3**

© copyright  
Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan  
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

**Gece Kitaplığı**  
**Adres:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt  
**No:** 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)  
[gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)

**Baskı & Cilt**  
Bizim Buro  
**Sertifika No:** 42488

# Ziraat & Orman, Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar

Ekim 2023

Editör

Prof. Dr. Banu DOĞANLAR  
Prof. Dr. Şebnem ELLİALTIOĞLU



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

### AHŞAP KORUMADA KULLANILAN KİMYASALLARIN TEHLİKE VE RİSKLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Ayşin AŞKIN, Seçkin ÖZCAN*..... 1

## BÖLÜM 2

### SÜLÜK ÜRETİMİ VE KULLANIM ALANLARI

*Metehan AYDAĞ, Gökhan ARSLAN* ..... 15

## BÖLÜM 3

### AKUT FAZ PROTEİNLERİNİN BAKTERİYEL BALIK HASTALIKLARI YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI

*Azime KÜÇÜKGÜL, Altuğ KÜÇÜKGÜL* ..... 35

## BÖLÜM 4

### AGRİVOLTAİK TARIM SİSTEMLERİNDE GÜNEŞ PANELLERİ ALTINDA SEBZE VE MEYVE YETİŞTİRİCİLİĞİ

*Ersin GÜLSOY, Tuncay KAYA* ..... 51

## BÖLÜM 5

### CALENDULA OFFİCİNALİS, MYRTUS COMMUNİS, SATUREJA THYMBRA BİTKİLERİNİN ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİĞİ

*Ali BOZKAYA, Pınar ERECEVİT SÖNMEZ,*

*Azime KÜÇÜKGÜL*..... 67

## BÖLÜM 6

### AHŞAP ATIK VE AHŞABIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

*Ayşin AŞKIN, Rifat KURT, Erol İMREN* ..... 89

## BÖLÜM 7

### SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YENİLİKÇİ MALZEME ALTERNATİFİ OLARAK BAKTERİYEL SELÜLOZ

*Evren ERSOY KALYONCU* ..... 103

## BÖLÜM 8

### FONKSİYONEL GIDALAR ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME

*Tuğçe ÖZSAN KILIÇ, Ahmet Naci ONUS* ..... 125

## BÖLÜM 9

### BİYOPELET VE BİYOPELET STANDARTLARI

*Zehra YILDIZ* ..... 141

## BÖLÜM 10

### BİTKİLERDE SEKONDER METABOLİTLER VE ELİSİTÖRLERE GENEL BİR BAKIŞ

*Tuğçe ÖZSAN KILIÇ, Ahmet Naci ONUS* ..... 159



# BÖLÜM 1

## AHŞAP KORUMADA KULLANILAN KİMYASALLARIN TEHLİKE VE RİSKLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Ayşin AŞKIN<sup>1</sup>, Seçkin ÖZCAN<sup>2</sup>*

---

1 Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Çanakkale, B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı aysinaskin@comu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-8573-3518.

2 Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Çanakkale, A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı seckinozcan@comu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9719-8612.

## GİRİŞ

Ahşap ve orman ürünleri sanayi ağaçların birincil ürünlere dönüştürülmesi ve diğer sektörler tarafından kullanılan ürünlerin imalat faaliyetlerini içerir (Forest Products Report, 2020). Bu faaliyetler lif levha, yonga levha, kereste, kaplama, kontrplak parke endüstrisi gibi alt sektörler ve bunların hammadde olarak kullanıldığı mobilya, ahşap parke, doğrama, palet vb. gibi sanayi gruplarıdır (TOBB, 2012). Bahsi geçen bu sektörler işyeri tehlike sınıflandırmasında tehlikeli ve çok tehlikeli grupta yer almaktadır. Bitirme işlemlerinde kullanılan çeşitli kimyasallar, cilt ve solunum yolu hastalıklarına sebep olan ahşap tozu ve kullanılan makine ve ekipmanlar sektörde çalışanlar için bir çok tehlikelere yol açmaktadır. Bu nedenle de bu sektörde iş sağlığı ve güvenliği açısından özel güvenlik gereksinimlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Doğal bir malzeme olan ahşap iç mekân, dış mekân (yağışa maruz kalan veya kalmayan), yer teması, deniz ortamı vb. gibi ortam şartlarına bağlı olarak kullanım yerine göre bozulmasına neden olan birçok etmene maruz kalmaktadır. Ahşap açık havada kaldığında güneş, yağmur, toz vb. gibi şartlarına bağlı olarak yıpranabilir, nemli ortamda kaldığında boyutsal değişimlere uğrayabilir ve mantar, böcek vb. gibi organizmalar ahşaba zarar verir. Tüm bu etmenler ahşabın fiziksel, kimyasal özelliklerini etkilerken aynı zamanda da ahşabın ömrünün kısılmasına sebep olmaktadır. Bu durum ise ahşap malzeme için hem ekolojik hem de ekonomik anlamdaki kayıpları ortaya çıkarır (Blanchet ve Pepin, 2021).

Ahşabın zararlı tüm bu etkenlere karşı korunması gerektiği konusu çok eski tarihlerden bu yana mevcut olmuştur. Kullanımı 2000 yıl öncesine kadar uzanan; katran yağı, zeytinden elde edilen doğal yağ, sedir yağı gibi maddeler ahşabı korumak için biyosit olarak çeşitli ölçülerde kullanıldığı bilinmektedir. Devam eden yıllar süresince de farklı ortamlarda karşılaşılabilecek farklı bozulma risklerini önlemek amacıyla çok sayıda ahşap koruyucu ve koruma yöntemleri geliştirilmiştir (Jones ve Brischke, 2017). Ahşabın korunmasının sağlanması kullanım esnasında yaşam ömrünün veriminin artırılması açısından çok önemlidir. Ahşabın korunması ahşaba zarar verecek ve onu yok edecek her türlü etkenlere karşı korunmasıdır. Basit anlamda doğal dayanıklılığının kimyasallarla işlenerek artırılmasıdır. Kimyasal işleme ahşabın kullanılabilirliğinin iyileştirilmesi önemli bir uygulamadır. Hayatımızda çok önemli olan ahşabın ya da odun türevli malzemelerin dayanıklılığının artırılmasında birçok kimyasal madde kullanılmaktadır. Bu koruyucular ahşabı biyolojik bozulmadan korumak için yararlı olmakla birlikte çevresel toksisiteye yol açmaktadır (Dhiman ve Dutt, 2018).

Ahşap ve ahşap bazlı ürünlerin günlük kullanımda ya da dış mekan uygulamalarında kullanım ömrünü kısaltan tüm etmenlere karşı dayanıklı-



lığı artırmak için boyalar, vernikler, emprenye işlemleri, opak kaplamalar, bakır sülfat, çinko klorür, cıva klorür ve yağ bazlı bir koruyucu (kreozot) vb gibi çeşitli kimyasallar ve malzemeler kullanılmaktadır (Meena, 2022; Zigon ve ark., 2022). Ahşap koruyucu olarak kullanılan bu ürünler ahşabı tahrip eden böcekler, küf, mantar, çürüme gibi ahşabın bozunması sorunlarına karşı kullanılan ürünlerdir. Bu ürünler biyolojik bozunmalar için oldukça yararlıdır. Ancak bu kimyasallar bitkiler, hayvanlar, nematodlar, faydalı mikroplar, omurgasızlar vb. gibi birçok tür için zararlıdır. Kullanılan bu ürünler hem insan sağlığı açısından ciddi sağlık sorunlarına hem de çevre açısından önemli risklere yol açmaktadır. Aynı zamanda bu kimyasallar güvenlik açısından da yanıcı, parlayıcı gibi özellikler barındıkları için risk oluşturmaktadır (Dhiman ve Dutt, 2018; Epa, 2023).

Ahşabın korunması için kullanılan koruyucular yüzey uygulaması, emprenye, boucherie yöntemi olarak üç yöntemle uygulanır. Yüzey uygulaması, kısa süreli koruma için yapılır, emprenye işlemi uzun süreli korumak için uygulanır ve ahşabın hücreleri kimyasal madde ile doldurulur. Boucherie yönteminde ise ahşap özü ahşap koruyucu ile değiştirilerek gerçekleştirilir (Meena, 2022). Emprenye edici kimyasalların çoğu zehirli ve çevre için tehlikelidir. Bu kimyasallar biyolojik olarak parçalanamazlar ya da yavaş parçalanabilirler. Renklendirici maddeler haricindeki kimyasallar toksik etki gösterirler. Çevre için tehlikeli ve zararlıdır. Bu nedenle de emprenyeli ahşap işlenmesinde uygun önlemler ve kişisel korunma önlemlerinin de kullanılması gerekir (Salminen ve ark., 2014). Ahşap koruyucular ile ilgili ortaya çıkan riskler çoğunlukla uygulama sırasındaki kişisel maruziyet nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Kimyasalların işlenmesi, karıştırılması, püskürtme, daldırma işlemlerinde, yeni işlenmiş olan ahşabın tutulması, ekipmanların bakımı, temizliği, atıkların kaldırılması gibi işlemler sırasında maruz kalınmaktadır (URL-1, 2016). Ahşabın korunması için yapılan geleneksel ahşap koruyucular ve yöntemlerinde insan sağlığını, çevreyi olumsuz yönde etkileyen ve toksik olarak kabul edilen kimyasallar kullanılmaktadır (Khademibami ve Bobadilha, 2022). Bu bakımdan günümüzde yapılan çalışmalarda kimyasal yöntemlerle işlenen ahşapta, koruyucuların çıkarılmasına çalışılsa da çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlerin geliştirilmesine odaklanılmaktadır (Xing ve ark., 2020).

## 1. Kimyasal Madde

Kimyasal maddelerle çalışmalarda sağlık güvenlik önlemlerine göre kimyasal madde “doğal halde bulunan, üretilen, herhangi bir işlem sırasında kullanılan veya atıklar da dâhil olmak üzere ortaya çıkan, bizzat üretilmiş olup olmadığına ve piyasaya arz olunup olunmadığına bakılmaksızın her türlü element, bileşik veya karışımları ifade etmektedir. Bu yönetmeliğe göre bu maddelerin üretilmesi, işlenmesi, kullanılması, depolanması,

taşınması, atık ve artıkların arıtılması veya uzaklaştırılması işlemlerin ise bu maddelerin kullanıldığı işlemler olarak belirtilmektedir (Resmi gazete, 2013).

ILO' ya göre kimyasal maddenin olumsuz etki yapabilmesi için insan vücuduna girmesi ya da o kimyasal ile temas edilmesi gerekmektedir. Kimyasal maddelere nefes alma (soluma), cilt veya göz yoluyla (emilim) yeme, yutma (yutma) ya da hamile bir kadının plasentasından geçiş şeklinde maruz kalınabilir. İşyerlerinde kullanılan kimyasallar toz, duman, sis, buhar, gaz oluşturarak havaya yayılır ve soluma yoluyla vücuda alınabilirler. Bu kimyasallara hem işi fiilen yapan çalışanlar hem de fiilen o işi yapmasalar bile erişim mesafesinde bulunan çalışanlar maruz kalabilirler.

## **2. Ahşabın Korunmasında Kullanılan Kimyasallar, Tehlike ve Riskler**

Ahşap malzemeye uygulanan kimyasallar solunum, sindirim veya cilt ile temas yolu ile vücuda alınmaktadır. Soluma yoluyla vücuda alınması bunlardan en önemlisidir. Kullanılan boyalar, vernikler, yapıştırıcılar, boya sökücü malzemeler, su bazlı ahşap kuruyucular vb. gibi kimyasallar soluma yoluyla vücuda alınan kimyasallardandır. Ağaç işlemede kullanılan kimyasallar birçok sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle de çalışanların maruz kaldıkları sağlık risklerinin en aza indirilmesi için kullanılan her bir kimyasalın iyi tanımlanması, kontrol edilmesi gerekmektedir (Work safe Western Australia Commission, 2001).

Kullanılan kimyasallar ahşabın kesilmesi, planyalanması, zımparalanması, delinmesi gibi işlemler sırasında ya da uygulama, karıştırılma, depolama gibi işlemler sırasında tehlikeli olabilmektedir. Ahşap işlemede kullanılan kimyasallar genel olarak solventler- çözücüler, reçineler ve kaplamalar, koruyucular, tutkallar şeklinde sınıflandırılır (Work Safe Western Australia Commission, 2001).

Solventler (çözücüler) ahşaptaki kir veya yabancı maddeleri çıkarmak, temizlemek için kullanılmaktadır (tinerler, mineral terebentin, sıyırma boyası örn. metilen klorür ve metil etil keton veya MEK karışımları). Solventlerin buhar ve sislerinin sağlık üzerinde önemli tehlikeleri bulunmaktadır. Solventler narkotik etki gösterirler, yorgunluk, baş dönmesi ve sarhoşluğa neden olurlar. Yüksek konsantrasyonları rasyonel muhakemeyi etkileyebilir, bilinç kaybı ve ölüme yol açabilir (ILO, Solvents).

Ahşap ürünlerin bitirme işlemlerinde çalışan sağlığı için tehlikeli olan çeşitli yapıştırıcı ve kaplama maddeleri kullanılır. Bunlardan vernikler (nitroselüloz üst kaplamaları) ve dönüşüm vernikleri (asit katalizli kaplamalar) insanlar için toksik olan çözücülerini içermeleri nedeniyle tehlikelidir. Asit katalizli kaplamalar formaldehit içermektedir. Kullanılan bu kap-

lamalarda en yaygın kullanılan çözücüler olarak toluen, ksilenler, metil etil keton (MEK), metil izobütil keton (MIBK) ve metanol bulunmaktadır. Bu çözücüler gözde, burunda ve boğazda tahrişe neden olurlar. Bunun yanında, baş dönmesi, baş ağrısı, yorgunluk, mide bulantısı, kafa karışıklığına yol açma gibi kısa süreli etkileri, üreme sorunları, merkezi sinir sistemi bozuklukları ve akciğer, karaciğer ve böbreklerde hasar yol açma gibi uzun süreli etkileri bulunmaktadır (OSHA, Finishing/Chemicals).

Ahşap ürünleri bitirmek için kullanılan yapıştırıcıların çoğu aynı zamanda toksik kimyasallar içerir. En tehlikelileri solvent bazlı, epoksi reçine ve üre-formaldehit reçine yapıştırıcılardır. Kaplama maddelerinde kullanılan solventlerin çoğu yapıştırıcılarda da kullanılmaktadır (Cavallo ve ark., 2022). Bu yapıştırıcılardan epoksi reçinesinin mekanik ve yapışkan performans özellikleri iyidir. Kompozitlerin yapıştırılması, kaplamaları gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kishi ve ark., 2006). Ancak epoksi reçine yapıştırıcılar özellikle zehirlidir. Laboratuvar hayvanlarında kansere neden olduğu gösterilen metilen klorür, genellikle bu yapıştırıcıların temelini oluşturur. Epoksi reçinelerinin bazı bileşenleri de kansere neden olabilir. Epoksi reçine yapıştırıcılar ayrıca dermatite ve hassasiyet reaksiyonuna neden olabilir (Cavallo ve ark., 2022).

Sağlık açısından zararlı olan diğer etken ise yonga levha, kaplama, kontrplak ürünlerinde bulunan çeşitli yapıştırıcılarda kullanılan ve formaldehit ve neoprene tutkal kökenli sentetik tutkalarla yapılan yapay tutkallardır (Cavallo ve ark., 2022). Formaldehit kontrplak, sunta, MDF (orta yoğunlukta lif levha) OSB (yönlendirilmiş yonga levha) gibi ahşap esaslı panellerin imalatında kullanılan önemli bir kimyasaldır. Bu ahşap esaslı paneller dış mekân, iç mekân, mobilya, inşaat, dekorasyon ve ambalajlama gibi alanlarda geniş kullanıma sahiptir. Formaldehit üre, melamin, fenol ve resorsinol gibi monomerlerle reaksiyona gire, fenoplast ve aminoplast ısıyla sertleşen reçinelerin üretimi için çok önemli bir kimyasal hammaddedir (Carvalho ve ark., 2012). Esas olarak ahşap yapıştırıcılarından, kaplama malzemelerinden, mobilya boyalarından yayılan formaldehit, ahşap tozu ile birlikte ahşap işçileri için potansiyel bir kanserojen risk oluşturur (Cavallo ve ark., 2022). Yapıştırıcılardaki formaldehit bu partiküllere bağlanarak akciğerin en derin bölgelerine ulaşabilirler (Chung ve ark., 2000). Formaldehit cilt hastalıklarına, alerjik reaksiyonlara, sistemik zehirlenmelere, doğrudan temas ile kronik egzamaya, havadaki düşük konsantrasyonları gözler ve üst solunum yollarında tahrişe sebep olabilir. Konsantrasyon artarsa tehlike daha da artar. Gözler yanmaya ve sulanmaya, burun ve boğaz yanmaya başlar ve maruz kalan kişi nefes almada zorlanır ve şiddetli öksürük görülür. Daha ileri boyutta ise öldürücü olacaktır (Engür, 2001). Formaldehitin kanserojen özellikte olması, reçinelerde ve diğer endüstriyel ürünlerde bulunmasından dolayı son yıllarda büyük endişeye sebep ol-

muştur. Bu nedenle, formaldehit içermeyen ahşap yapıştırıcılar için yeni sertleştiricilere ve amino ve fenolik reçinelerin üretiminde formaldehit yerine kullanılan maddeler üzerinde çalışılmaktadır (Chrobak ve ark., 2022).

Koruyucu kimyasallar işlenmiş kereste, mantar ve böcek saldırılarına maruz kalma olasılığı yüksek yapılarda kullanılır. Koruyucular arasında CCA (bakır krom arsenik), kreozot, bor, bakır ve kalay bileşikleri kullanılır. Ahşabın korunmasında uygulanan emprenye edilmesi işlemi, ahşabın uzun süreli korunmasında faydalıdır. Buna en iyi örnek kreozot verilebilir. Kreozot kömür ve katran karışımından oluşur (Miranji ve ark., 2022). Karakteristik kokusu vardır ve siyah-kahverengi yağlı bir sıvı olup yanıcıdır. Yandığında zehirli dumanlar ortaya çıkarır. Kreozot suda yaşayan organizmalar için zehirlidir, çevre için tehlikelidir. Toprak kirliliğine ve yeraltı suyu kirliliğine özel dikkat gösterilmelidir (ILO, International Chemical Safety Cards (ICSCS)). Kreozot denizcilikte, demir yolu traverslerinde ahşabın korunmasında yaygın olarak kullanılır. Ancak kreozot cilt, göz ve solunum yolu tahrişine neden olabilir, cilt kanseri riskini artırabilir. Bu koruyucular deri yoluyla emilebilir (Kester, 2014; Meena, 2022; Worksafe Western Australia Commission, 2001).

Koruyuculardan CCA (bakır krom arsenik) ahşap koruma için dünya çapında kullanılan bir bileşiktir ve ahşabı böcekler ve mikrobiyal ajanların etkilerinin neden olduğu çürümeye karşı korunmasını sağlayan kimyasal bir koruyucudur. CCA, 1930'lerden beri keresteye basınç uygulamak için 1970'lerden bu yana ise konut ortamları için kullanılmıştır. ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) yönetmeliğine tabi olan tescilli bir kimyasal pestisitir. CCA 2004 yılından sonra yalnızca ticari, endüstriyel ve konut dışı kullanımlar için ahşabı işlemek üzere satılmasına izin verilmiştir (Ahmed, 2022). CCA ile işlenmiş kereste kullanım alanları zemin kaplamasında, çitlerde, piknik masalarında, telgraf direkleri, bağ kazıkları, oyun alanlarında vb. kullanılmaktadır. Ancak CCA'daki arsenik toksiktir ve oldukça tehlikelidir. Uzun vadede kansere neden olabilir. CCA ile işlenmiş ahşabın insanlar ve çevre açısından tehlike oluşturduğu ile ilgili çeşitli bilimsel kanıtlar bulunmaktadır (Lansbury ve Beder, 2005). Bunun yanında CCA'ya maruz kalmanın çocuklar arasında elden ağıza davranışı ile olduğu, CCA'nın ahşaptan toprağa sızması ile kirlenmiş toprak yoluyla da maruz kalılabildiği, CCA dan kaynaklanan akut ve kronik sağlık tehlikelerinin arsenik ve krom toksisitesinden kaynaklandığı açıklanmaktadır (Ahmed, 2022).

Kimyasallar yutma yoluyla vücuda alınabilir. Kirli eller yiyecekler, sigaralar, kirli giysi, kişisel hijyen eksikliği vb gibi etmenlerle kontamine olabilir. Tozlar solunma yoluyla yutulabilir. Aynı zamanda tozlar ter ile ıslatılma sebebiyle deri yoluyla da vücuda alınabilir (ILO, Kimyasal Sağlık Riskleri). Bu nedenle çalışanın zehirli bir malzemeye maruz kaldığı her-

hangi bir alanda yiyecek veya içecek tüketmesine izin verilmez (OSHA, Tehlike İletişim Standardı). Odun tozuna en yüksek mesleki maruziyet ahşap mobilya ve dolap imalatı, makine ile zımparalama vb. işlemlerde, kontrplak ve yonga levha fabrikalarının bitirme bölümlerinde ve öğütücüler, testerele ve planyalar gibi işlemler sırasında olmaktadır (IARC, 1995).

Ahşabın işlenmesi farklı boyuttaki ahşap tozu parçacıkları, toksik kimyasallar ve biyolojik ajanların emisyonları ile yakından ilişkilidir (Kasangana ve ark., 2018). Odun tozu Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı'na (IARC) göre insanlar için kanserojen olarak kabul edilmektedir (Grup 1). IARC'a göre, odun tozunun burun boşluğu (burun bölgesi) ve paranazal sinüsler (burun boşluğu içindeki ve etrafındaki boşluklar) ve nazofarenks (boğazın üst kısmı, burnun arkasında) kanserine neden olduğu belirtilmektedir. Bunun yanı sıra odun tozunun birçok etkisi bulunmaktadır. Dermatit yaygın olan etkisindedir ve ahşabın içindeki kimyasallar buna neden olabilir. Toksik etkiler ise ahşabın türüne göre değişmektedir ve sağlık üzerinde birçok olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bunlar dermatit ve akciğer kapasitesinde azalmaya neden olması, toksik etki, gözlerde, burunda ve boğazda tahriş, ve alerjik reaksiyonları içeren solunum sistemi etkileri ile ilişkilidir (meşe ağacı kayın-burun kanseri, tik ağacı toksik dermatit, vb.) (CCOHS, 2023). Kimyasal risk değerlendirmesi için geliştirilen birçok kontrol metodları bulunmaktadır. Çalışma Örgütü (ILO) tarafından geliştirilen ICCT (International Chemical Control Toolkit) ile İngiltere tarafından geliştirilmiş olan Uluslararası COSHH (Control of Substances Hazardous to Health Regulations) 'tir. COSHH' a göre işverenlerin, çalışanların zararlı maddelere maruz kalmasını önleme, bunun uygulanabilir olmadığı durumlarda ise kontrolünü sağlamasını gerekmektedir (COSHH, 2002).

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Ahşap yapısı gereği organik yapıdadır ve biyolojik şartlar, hava şartları gibi birçok etkene karşı hassas yapıdadır. Bu nedenle dayanıklılığını artırmak için çeşitli kimyasallar ile koruyucu işlemler uygulanmaktadır. Kullanılan bu kimyasalların hem çalışanlar hem de çevre açısından çok önemli tehlikeleri bulunmaktadır. Literatürde kimyasalların sağlık üzerindeki etkilerine yönelik birçok çalışma olduğu görülmektedir. Aalto ve ark., (2003) melamin-formaldehit reçinesi (MFR) ile ilgili olarak kontrplak endüstrisinde gerçekleştirdiği bir tanesi kontrplak endüstrisinde olmak üzere formaldehite temas alerjisi olmayan melamin formaldehit reçinesinden üç mesleki alerjik kontakt dermatit vakası tanımladıklarını; Tokar ve ark., (2020) formaldehite sürekli maruz kalınan çalışma ortamlarında çalışmanın periodontal dokular üzerinde olumsuz bir etkiye neden olduğunu belirtmişlerdir.

Pośniak ve ark., (2005) tarafından yapılan çalışmada mobilya yüzey elemanlarının cilalanması ve temizlenmesi işlemleri esnasında aseton, butan-2-on, etil, izobütül ve metoksipropil asetat, 4-metilpentan-2-on, toluen, etilbenzen ve ksilenin ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. İşyerlerinde bulunan bu kimyasalların özellikle mobilya elemanlarının cilalanması ve temizlenmesi işini gerçekleştiren çalışanların sağlığı açısından zararlı olduğunu belirtmişlerdir. Morais ve ark., (2021) CCA ile işlenmiş ahşap yapılarla yakın yüzey topraklarında arsenik, krom ve bakır seviyelerinin müsaade edilen seviyeyi geçebileceğini ve hem insan sağlığı hem de çevre sağlığı açısından endişelere yol açabileceğini belirtmektedir. Cocker ve ark., (2006) vakum basınçlı kereste empenyesi sırasında bakır krom arsenik (CCA) bazlı ahşap koruyuculara maruz kalan işçilerin, mesleki olarak maruz kalmayan kişilerden alınan idrar numunelerindekinden önemli ölçüde daha yüksek idrar inorganik arsenik ve krom seviyelerine sahip olduğu belirtmişlerdir. Dimich-Ward ve ark., (1996) kereste fabrikasında klorfenat ahşap koruyuculara maruz kalan erkek çalışanların çocuklarının özellikle konjenital katarakt olmak üzere, konjenital göz anomalileri geliştirme açısından yüksek risk altında olduğu ve bazı konjenital anomalilerin gelişmesiyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Sterling ve ark., (1982)'nin klorofenatlara ve bunların kirleticilerine maruz kalmayla ilgili yaptıkları çalışmada gruplar arasında dermatolojik, üst ve genel solunum ve nörolojik yapı ve işlevlerle ilgili ve semptomların yaygınlığı açısından farklılıklar olduğu, doğrudan kimyasal maruziyet ile ilgili olarak semptom şikayetlerinde önemli artış olduğu açıklanmaktadır.

Yan ve ark., (2012) mobilya işletmesinde boya, tiner, sertleştirici, bağlayıcı vb. gibi çeşitli kimyasalların bir çok proste kullanıldığını ve incelenen işletmelerde manuel boyama işlemlerinde toksik önleme için kontrol önlemlerinin yetersiz olduğunu belirtmektedirler. Baatjies ve ark., (2023) ahşap endüstrilerinde çalışmanın, artan solunum semptomları, rinit ve astım riski ile ilişkisi olduğunu açıklamaktadır. Haeberle (2018) tarafından mobilya üreticilerinde yapılan çalışmada sağırılık, kayın ve meşe ağacından nazal adenokarsinom, astım ve odun tozuna karşı ani tip aşırı duyarlılığa bağlı alerjik rinit en önemli meslek hastalıkları olduğu; tahta tozu, cila ve organik çözücülerin cilt üzerinde tahriş edici etkisi olduğu ve talaştaki sentetik ve doğal reçinelerin, diğer doğal bileşenler, yapıştırıcılardaki koruyucular ve yapıştırıcılardaki akrilatlar en sık görülen temas alerjenleri olduğu belirtilmektedir. Carton ve ark., (2002) odun tozunun sinonazal kanserlerin başlangıcının nedeni olmasındaki rolünün çok sayıda epidemiyolojik çalışma ile kanıtlandığını ifade ederek, sert ağaç tozlarına maruziyetin neden olduğu adenokarsinom riskinin özellikle yüksek olduğunu açıklamışlardır. Soćko (2021) odun tozuna mesleki maruziyet ile sinonazal epitel kanserinin (SNEC) oluşumu risklerini incelemişler ve çalışmada tüm SNEC vaka-

larında, mesleki olarak odun tozuna maruz kalma süresi ile göreceli kanser gelişme riski arasında bir ilişki olduğunu tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Pesch ve ark., (2008) tarafından ahşap işçileri arasında burun boşluğu ve paranazal sinüslerin (ADCN) adenokarsinomu için odun tozu ve kimyasal maruziyet riskini incelemişler ve  $3,5 \text{ mg/m}^3$ 'ün üzerinde solunabilir odun tozuna maruz kalma için yüksek bir ADCN riski bulmuşlar ve pigment lekeleri için ise çalışanlarda ADCN gelişimi ile tarihsel maruziyet arasında bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir.

Tüm bu etkiler sebebiyle küresel olarak ülkeler zararlı kimyasalların konsantrasyonları ile ilgili bir takım katı kurallar koymuşlardır. Örneğin Avrupa Birliği (AB) dışından ithal edilen CCA ile işlenmiş olan ahşap malzemeler kullanıcıların cilt ile temasını en aza indirmek için yalnızca profesyonel ve endüstriyel amaçlar için kullanılmasını belirtmiş, Birleşik Krallık ise 2006 yılında As (arsenik) ve Cr (krom) kontaminasyonu kontrol edebilmesi için CCA ahşap koruyucularının kullanımını yasaklamıştır (Miranji ve ark., 2022). Japonya'da, CCA ile işlenmiş ahşap malzeme 1963' yılından 1996'yılına kadar kullanılmış ve 2003 yılında Japon Endüstri Standartları (JIS) olarak ahşap koruyucuların üretimini durdurmuştur (Noda ve ark., 2018).

Ahşabın uzun süre dayanması denildiğinde ahşap koruyucu ile işlem görmesi düşünülmektedir. Ahşabın uzun yıllar korunması çürümeye karşı etkili olarak kullanılan toksisiteye bağlıdır. Örnek olarak bakır, arsenik, krom, boratlar, kreozotun çeşitli formülasyonları, çeşitli formülasyonlarda pentaklorofenol verilebilir. Bu kimyasalların bir çoğu insan ve çevre için oluşturduğu etkiler sebebiyle birçok ülkede yasaklanmış veya yalnızca sınırlı kullanımına izin verilmiştir (Rowell, 2020). Bunun yanı sıra zararlı kimyasalların yerine toksisite özellikle olmayan ya da daha düşük toksisiteye sahip alternatif koruyucular geliştirmek için önemli ciddi çabalar sarf edilmektedir (Khademibami ve Bobadilha, 2022). Ahşap üstün özellikleri sebebiyle her zaman tercih edilen malzeme olmaya devam etmektedir. Bunun yanında ahşabın önemli dezavantajları bulunmakta ve korunması içinde çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Kullanılan bu kimyasal maddeler çalışan sağlığı açısından çok ciddi tehlikeler oluşturabilmektedir. Ahşabın hizmet ömrünün uzatılması için çevrenin ve canlıların korunması amacıyla daha az toksik olan yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Aalto, K. K., Jolanki, R., Estlander, T. (2003). Formaldehyde-Negative Allergic Contact Dermatitis From Melamine-Formaldehyde Resin. *Contact Dermatitis*, 49: 194-196. <https://doi.org/10.1111/j.0105-1873.2003.0219.x>
- Ahmed, R.A. (2022). CCA-Treated Wood, *Reference Module In Biomedical Sciences*, Elsevier, ISBN: 9780128012383, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00375-4>.
- Blanchet P., Pepin S. (2021). Trends in Chemical Wood Surface Improvements and Modifications: A Review of the Last Five Years. *Coatings*. 11(12):1514. <https://doi.org/10.3390/coatings11121514>.
- Baatjies, R., Chamba P., Jeebhay, M.F. (2023). Wood Dust And Asthma. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*. 1;23(2):76-84. Doi: 10.1097/ACI.0000000000000882.
- Carton, M., Goldberg, M., Luce, D. (2002). Exposition Professionnelle Aux Pous-sières De Bois. Effets Sur La Santé Et Valeurs Limites D'exposition (Occupational Exposure To Wood Dust. Health Effects And Exposure Limit Values). *Rev Epidemiol Sante Publique*. Apr;50(2):159-78. French. PMID: 12011734.
- Cavallo, D., Fresegna, M.A., Ciervo, A., Ursini, L.C., Maiello, R., Frate, D.V., Ferrante, R., Mabilia, R., Pizzo, B., Grossi, B., Ciccioli, P., Lavicoli, S. (2022). New Formaldehyde-Free Adhesives For Wood Manufacturing: In Vitro Evaluation Of Potential Toxicity Of Fine Dust Collected During Wood Sawing Using A New Experimental Model To Simulate Occupational Inhalation Exposure, *Toxicology*, Volume:466, ISSN 0300-483X, <https://doi.org/10.1016/J.Tox.2021.153085>.
- Carvalho, L., Magalhães, F.D., Ferra, J.M. (2012). Formaldehyde Emissions From Wood-Based Panels: Testing Methods And Industrial Perspectives. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/104578>.
- Chung K.Y., Cuthbert, R.J., Revell, G.S., Wassel, S.G., Summers, N. (2000). A Study On Dust Emission, Particle Size Distribution And Formaldehyde Concentration During Machining Of Medium Density Fibreboard, *The Annals Of Occupational Hygiene*, Volume:44, Issue 6, Pages 455-466, ISSN 0003-4878, [https://doi.org/10.1016/S0003-4878\(00\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0003-4878(00)00005-3).
- Chrobak, J., Howska, J., Chrobok, A.(2022). Formaldehyde-Free Resins for the Wood-Based Panel Industry: Alternatives to Formaldehyde and Novel Hardeners. *Molecules*. Jul, 29;27(15): 4862. doi:10.3390/molecules27154862. PMID:35956815;PMCID: PMC9369507.
- CCOHS (2023). Canadian Centre Occupational Health and Safety, Wood Dust - Health Effects, [https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/wood\\_dust.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/wood_dust.html). 28.03.2023.



- COSHH (2002). Control of Substances Hazardous to Health Regulations. <https://www.hse.gov.uk/nanotechnology/coshh.htm>. 28.03.2023.
- Cocker, J., Morton, J.N., Warren, N., Wheeler, J.P., Garrod, A.N.I (2006). Biomonitoring For Chromium And Arsenic in Timber Treatment Plant Workers Exposed To CCA Wood Preservatives, *The Annals of Occupational Hygiene*, Volume:50, Issue 5, Pages 517–525, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mel009>.
- Dhiman, B., Dutt, B. (2018). Present Status and Future Strategies of Wood Preservation Industry. *Eco-tourism, Environmental Problems and Sustainable Development*, Discovery Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi (India), ISBN: 978-93-86841-57, Pages: 226-245.
- Dimich-Ward, H., Hertzman, C., Teschke, K., Hershler, R., Marion, S. A., Ostry, A., Kelly, S. (1996). Reproductive Effects Of Paternal Exposure To Chlorophenate Wood Preservatives In The Sawmill Industry. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 22(4), 267–273. <http://www.jstor.org/stable/40966550>.
- Engür, O. (2001). Orman Ürünleri Endüstrisinde Ergonomik Riskler ve Koruyucu Önlemler, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt 51, Sayı 1.
- Haeberle, M. In: John, S., Johansen, J., Rustemeyer, T., Elsner, P., Maibach, H. (eds) (2018). Furniture Manufacture. *Kanerva's Occupational Dermatology*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-40221-5\\_156-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40221-5_156-2).
- Jones D., Brischke, C.(2017). Performance of Bio-based Building Materials, *Woodhead Publishing*, Pages 187-247, ISBN 9780081009826, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100982-6.00004-5>.
- EPA, 2023. Overview of Wood Preservative Chemicals. EPA United States Environmental Protection Agency, 13 June 2023. <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/overview-wood-preservative-chemical>.
- Forest Products Report, (2020). Forest Products Industries' Economic Contributions: Connecticut Marc, <https://portal.ct.gov/-/media/DEEP/forestry/FPA-and-UM/Economic-Reports/CT-Forest-Products-Industry-Report.pdf>.
- IARC (1995). Wood Dust and Formaldehyde IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 62, ISBN-13 978-92-832-1262-1.
- ILO, Solvents, International Labour Organization. 30.11.204. <https://www.ilo.org/static/english/protection/safework/cis/products/safetytm/solvents.htm>.
- ILO, Introduction To Safety In The Use Of Chemicals <https://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/cis/products/safetytm/introduc.htm>.
- ILO, International Chemical Safety Cards (ICSCs). ICSC 0572 - CREOSOTE - ILO [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=en&p\\_card\\_id=0572&p\\_version=2](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0572&p_version=2).

- Kasangana, K., Chadyiwa, M., Masekameni, D., Makonese, T. (2018). Exposure To Wood Dust And Health Effects: A Review Of Epidemiological Evidences From Developing Countries. *Conference: National Association for Clean Air At: Johannesburg*, South Africa.
- Khademibami, L., Bobadilha, G.S., (2022). Recent Developments Studies on Wood Protection Research in Academia: A Review. *Front. For. Glob. Change Forest Management*, 5:793177. doi: 10.3389/ffgc.2022.793177.
- Kester, J.E. (2014). *Creosote* (Coal Tar Creosote and Wood Creosote), Editor(s): Philip Wexler, *Encyclopedia of Toxicology* (Third Edition), Academic Press, Pages:1055-1060, ISBN 9780123864550.
- Kishi, H., Fujita, A., Miyazaki, H., Matsuda, S., Murakami, A. (2006). Synthesis Of Wood-Based Epoxy Resins and Their Mechanical and Adhesive Properties. *J. Appl. Polym. Sci.*, 102: 2285-2292. <https://doi.org/10.1002/app.24433>.
- Lansbury, N., Beder, S. (2005). Treated Timber, Toxic Time-Bomb: The Need For A Precautionary Approach To The Use Of Copper Chrome Arsenate (CCA) As A Timber Preservative. <https://ro.uow.edu.au/artspapers/41>.
- Morais, S., Fonseca HMAC, Oliveira SMR, Oliveira H, Gupta V.K, Sharma B, de Lourdes Pereira M. (2021). Environmental and Health Hazards of Chromated Copper Arsenate-Treated Wood: A Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 May 21;18(11):5518. doi: 10.3390/ijerph18115518. PMID: 34063914; PMCID: PMC8196618.
- Meena R.K. (2022). Hazardous Effect Of Chemical Wood Preservatives On Environmental Conditions, Ecological Biodiversity And Human Being And Its Alternatives Through Different Botanicals: A Review. *Environment and Ecology*, 40(3):1137-1143, July-September, ISSN: 0970-0420.
- Miranji, E., Kipkemboi, P., Kibet, J. (2022). A Review of Toxic Metals and Hazardous Organics in Wood Treatment Sites and Their Etiological Implications. *Journal of Chemical Reviews*, 4(1), 40-66. doi: 10.22034/jcr.2022.326656.1140.
- Noda J., Izumi K., Tamura Y., (2018). Investigation Of Chromated Copper Arsenate-Treated Waste Wood Used For Bedding Material In The Hokkaido Area. *Japanese Journal of Veterinary Research*, 66(1): 57-62.
- OSHA, Woodworking, Occupational Safety and Health Administration. <https://www.osha.gov/woodworking/hazards-solutions>, Erişim Tarihi: 21.06.2023.
- OSHA, OSHA's Hazard Communication Standard (HCS). [https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/19970515#:~:text=OSHA's%20Hazard%20Communication%20Standard%20\(HCS,chemicals%20used%20in%20the%20workplace](https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/19970515#:~:text=OSHA's%20Hazard%20Communication%20Standard%20(HCS,chemicals%20used%20in%20the%20workplace). Erişim Tarihi: 21.06.2023
- OSHA, Woodworking:Finishing/Chemicals-GeneralHazards/Solutions <https://www.osha.gov/etools/woodworking/finishing-chemicals/hazards-solutions> Erişim Tarihi: 21.06.2023

- Pesch, B., Pierl, C.B., Gebel, M. (2008). Occupational Risks For Adenocarcinoma Of The Nasal Cavity And Paranasal Sinuses In The German Wood Industry *Occupational and Environmental Medicine* 2008;65:191-196.
- Pośniak, M., Kowalska, J., Makhniashvili, I.(2005). Narazenie Na Szkodliwe Substancje Chemiczne W Przemysle Meblarskim (Exposure To Hazardous Chemical Substances In Furniture Industry). *Med Pr*: 56(6):461-5. Polish. PMID: 16613371.
- Resmi Gazete (2013). Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik, Sayı: 28733.
- Rowell R.M. (2020). Innovation In Wood Preservation. *Polymers*. 12(7):1511. <https://doi.org/10.3390/polym12071511>.
- Salminen, E., Valo R., Korhonen M., Jernlås, R., (2014). Wood preservation with chemicals. Best Available Techniques (BAT). ISBN 978-92-893-2828-9 ISBN 978-92-893-2829-6 (EPUB) [http://dx.doi.org/10.6027/TN2014-550.17\\_EWGWoodHandicrafts\\_2014\\_Sep](http://dx.doi.org/10.6027/TN2014-550.17_EWGWoodHandicrafts_2014_Sep) Agenda item 4.1.
- Sterling, T.D., Stoffman, L.D., Sterling, D.A., Maté, G. (1982). Health Effects of Chlorophenol Wood Preservatives on Sawmill Workers. *International Journal of Health Services*. 12(4):559-571. doi:10.2190/HMWR-8WKK-YQ1N-63XJ.
- Soćko R. A. (2021). Quantitative Risk Assessment Of Sinonasal Cancer As A Function Of Time In Workers Occupationally Exposed To Wood Dust. *Int J Occup Med Environ Health*. Aug 5;34(4):541-549. doi: 10.13075/ijom-1896.01673. Epub 2021, Mar19. PMID: 33749687.
- Tokar, O.M., Batig, V.M., Ostafiichuk, M.O., Ishkov, M.O., Sheremet, M.I. (2020). Investigation Of The Effect Of Formaldehyde On The Condition Of Periodontal Tissues Of Woodworking Industry Workers. *J Med Life*. Apr-Jun;13(2):225-228. Doi: 10.25122/Jml-2020-0016. PMID: 32742518; PMCID: PMC7378329.
- TOBB, 2012. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu, ISBN: 978-605-137-188-7 TOBB Yayın Sıra No: 2012/172.
- Work Safe Western Australia Commission, (2001). Safe Use Of Chemicals In The Wood Working Industry. December, ISBN 0-7307-6122-3. [https://www.commerce.wa.gov.au/sites/default/files/atoms/files/guide\\_chemicals\\_wood.pdf](https://www.commerce.wa.gov.au/sites/default/files/atoms/files/guide_chemicals_wood.pdf).
- Xing, D., Magdouli, S., Zhang, J., Koubaa, A. (2020). Microbial Remediation For The Removal Of Inorganic Contaminants From Treated Wood: Recent Trends And Challenges, *Chemosphere*, Volume: 258, ISSN 0045-6535 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127429>.
- Yan, Q., Tong, W., Ya, C., Yingjie L. (2012). Investigation and Pondering of Dust and Poison Hazards in 44 Small Wooden Furniture Enterprises, *Procedia Engineering*, Volume 43, Pages: 484-488, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.083>.

Őigon J., Kovač J., Petrič M. (2022). The İnfluence Of Mechanical, Physical And Chemical Pre-Treatment Processes Of Wood Surface On The Relationships Of Wood With A Waterborne Opaque Coating, *Progress in Organic Coatings*, Volume 162, 106574, ISSN 0300-9440, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106574>.

URL-1, 2016. WOOD PRESERVATION, Protecting Human Health Kentucky Pesticide Education Program, University of Kentucky Department of Entomology Program. <https://www.uky.edu/Ag/Entomology/PSEP/cat17health.html#:~:text=Commonly%20used%20wood%20preservatives%20are,term%2C%20or%20permanently%20damaging%20effects>. Erişim Tarihi: 26.07.2023.



## BÖLÜM 2

### SÜLÜK ÜRETİMİ VE KULLANIM ALANLARI<sup>1</sup>

*Metehan AYDAĞ<sup>2</sup>, Gökhan ARSLAN<sup>3</sup>*

---

<sup>1</sup> Bu çalışma Metehan AYDAĞ'IN Tezsiz Yüksek lisans bitirme ödevinden üretilmiştir.

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Erzurum, Türkiye, Orcid: 0009-0004-9069-0048

<sup>3</sup> Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Erzurum, Türkiye, Orcid: 0000-0002-8634-8598

## Giriş

Sülükler, sucul ortamlarda yaşayan ve kan emerek beslenen omurgasız hayvanlardır. Sülükler kan emerek beslenen halkalı solucan grubudur. İnsanlar tarafından binlerce yıldır kullanılan sülükler, tıbbi amaçlar için kullanılmaktadır. Sülük tedavisinin deneysel fizyolojinin kurucusu ayrıca Romanın ilk spor hekimi olarak kabul edilen Bergamalı Galen tarafından da uygulandığı kaynaklarda gözlemlenmektedir. Bu tedavi şekli, İbn-i Sina (Avicenna) tarafından MS 1020 yıllarında ‘ElKanun Fi’t-Tıbb’ adlı eserinde de bahsedilmiştir. (Öner Küçük, M, & Yaman, O. 2019). Eski Hint, Mısır, Yunan ve Arap Hekimleri de Sülükleri tedavi amaçlı birçok rahatsızlıkta kullanmışlardır. Bunlara bakacak olursak sinir sisteminde görülen sorunlarda, idrar ve üreme sisteminde gözlenen anormalliklerde hatta dişlerde görülen rahatsızlıklarda bile kullanılmıştır. Osmanlı imparatorluğunda ayrıca Fransızlarda sülüklerden büyük oranda yararlanmışlardır. Tıpta kullanılmak suretiyle 1830 yılında Paris’te bulunan hastanelerde beş milyon sülük kullanıldığı raporlanmıştır. (Sağlam, N. 2000) Türkiye’de HirudoMedicinalis bolca bulunmaktadır bu sebepten ötürü HirudoMedicinalis ticareti yapılabilen ve toplanarak yurt dışına ihraç edilebilmektedir. Bu sülük türünün modern tıpta fazlasıyla kullanılması sebebiyle nesli tükenme tehlikesine girmiştir ve CITES sözleşmesiyle koruma altına alınmıştır. Bu sözleşmeye imza koyan ülkeler H. medicinalis’in toplanması ve ihracatı konusunda kotalar koyulmasına karar vermişlerdir. Türkiye’nin 1996 yılında 10 ton olan H. medicinalis ihraç kotası, 1997 yılında 7 tona düşürülmüştür. Yine ülkemiz tatlı sularında H. medicinalis’in avlanma yasağı, 15 Nisan-15 Haziran tarihleri arasındayken (Anon., 1996b), bu yasak 1 Mart – 1 Temmuz olarak değiştirilip (Anon., 1997) 2 aydan 4 aya çıkarılmıştır.

Sülüklerin doğal yaşam alanları sulak alanlar, göller ve nehirlerdir. Ancak sülük ticareti için avlanmaları sonucu nesli tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu nedenle sülük ticareti kontrollü bir şekilde yapılmalıdır. Dünya genelinde sülüklerin ticareti ve kullanımı uluslararası düzeyde belirlenen kurallar ve sınırlamalar çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. CITES,(Tehlikedeki Yabani Hayvan ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme) sülüklerin ticaretini ve korunmasını düzenleyen uluslararası bir sözleşmedir. Türkiye’de de sülüklerin korunması ve ticareti, 1996 yılında imzalanan CITES sözleşmesi çerçevesinde kontrol altına alınmıştır. Türkiye’de sülük ticareti için belirlenen kotalar ve avlanma yasakları sülük neslinin korunması açısından son derece önemlidir.

Ancak son yıllarda sülük tedavisi yeniden popülerlik kazanmaya başlamıştır. Sülüklerin içerdikleri biyoaktif bileşenler sayesinde kan dolaşımını iyileştirici etkileri olduğu düşünülmektedir. Sülükler ayrıca plastik cerrahide doku nakli sonrası ödem ve şişkinliği azaltmak için kullanılmak-

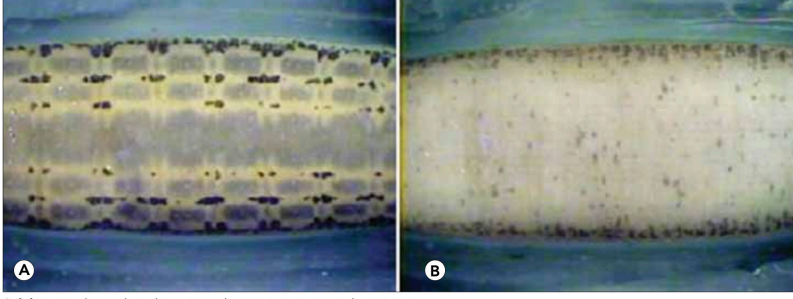
tadır. Bunun yanı sıra, sülüklerin cilt bakımı için de kullanıldığı bilinmektedir. Hirudin, bufrudin gibi antitrobimler, calin, saratin gibi antiplateletler, faktörxainhibitörleri, antibakteriyeller ve birçok biyoaktifpeptidlerin ayrıca proteinlerin bulunduğu sülük salgısı kanser, kardiyovasküler problemler, organizmada oluşan herhangi bir hastalığın başka bir yere sıçraması gibi insan hayatını olumsuz etkileyen durumlar için tedavi amaçlı kullanılabilir. (Abdualkader, A.M, Ghawi, A.M, Alaama, M, Awang, M, Merzouk, A.2013) Fakat sülük tedavisinin yan etkileri de göz ardı edilemez. Sülüklerin ısırması sırasında salgıladıkları antikoagülan maddeler nedeniyle kanama riski vardır. Ayrıca bazı insanlar sülük ısırması nedeniyle alerjik reaksiyonlar gösterebilirler. Bu nedenle sülük tedavisi uygulanmadan önce mutlaka uzman bir doktorla görüşülmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak sülüklerin tarih boyunca kullanımı ve modern tıpta yenisinden popüler hale gelmesi, doğal yaşam alanları ve nesillerinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Uzmanlar tarafından kontrollü bir şekilde kullanıldığında sülükler tıbbi amaçlar için etkili bir tedavi yöntemi olabilirler. Ancak sülüklerin doğal yaşam alanlarının korunması ve nesillerinin devamının sağlanması da aynı derecede önemlidir.

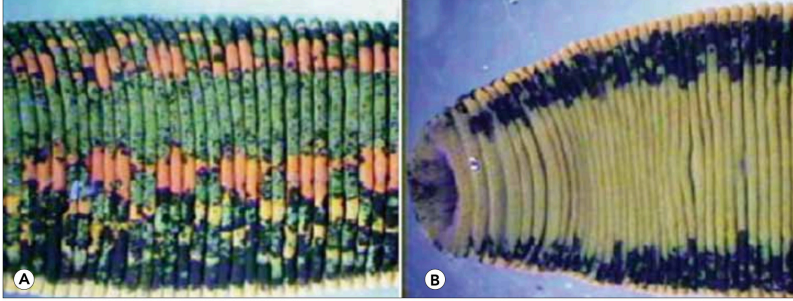
Tarih boyunca sülüklerin kullanımı hakkında birçok efsane ve yanlış bilgi ortaya çıkmıştır. Bu bitirme projesinde sülükler hakkında detaylı ve doğru bilgi verilmesi amaçlanmaktadır.

### **Sülüklerin Anatomisi**

Sülüklerin anatomisi dorso-ventral yassılaştırmış bir şekilde, 34 ila 37 segmentten oluşan da bir vücuda sahiptirler. Segmentler anterior ve posterior de çekmen biçiminde farklılaşmıştır. Anterior çekmen, genellikle posterior çekmenden daha küçüktür ve üç keskin çeneyi taşıyan ağız çevrelemiştir. Posterior çekmen, yüzeye tutunmaya ve hareket etmeye yardımcı olmaktadır. Ağızda her birinde yaklaşık 100 diş bulunan üç çenede toplamda ortalama 300 diş bulunmaktadır. Sülüklerde 9, 10 ve 11. segmentler kilitler bölge olup bir erkek bir de dişi üreme organı taşımaktadır. “Ankara Med J, 2018;(1):141-8, Tıbbi Sülük Tedavisi: Hirudoterapi, Hüseyin Ayha, SalihMollahaliloğlu s1”



Şekil 1. Hirudo medicinalis A: Dorsal görünüşü, B: Ventral görünüşü  
(Prof. Dr. Naim Sağlam'ın koleksiyonundan alınmıştır)

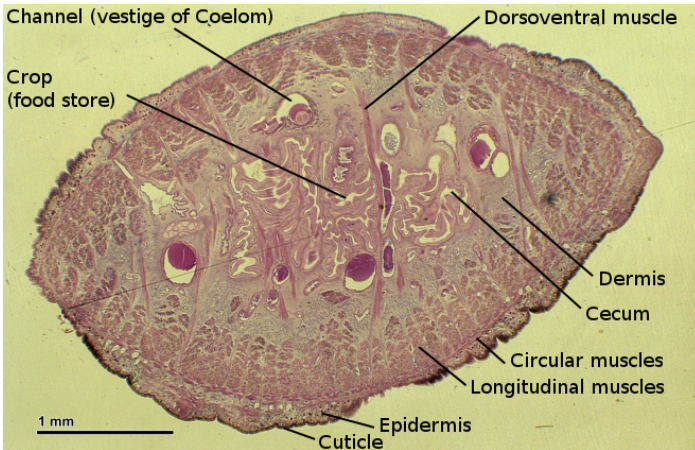


Şekil 2. Hirudo verbana A: Dorsal görünüşü, B: Ventral görünüşü  
(Prof. Dr. Naim Sağlam'ın koleksiyonundan alınmıştır)

Gödekmerdan, A., Arusan, S., Bayar, B., & Sağlam, N. (2011).

Her segmentte iki çift bağırsak, sinir, kanal, kas ve solunum organı bulunur. Sülüklerin vücudu iki bölümden oluşur: önden arka tarafa doğru hareket eden baş ve arkasında bulunan kuyruk. Baş, ağız, çene, diş ve beş adet göz içerir. Gözler, sülüklerin hareketini ve avlarını izlemek için kullanılır. Gözler sülüklerin hareketini ve avlarını izlemek için kullanılır.

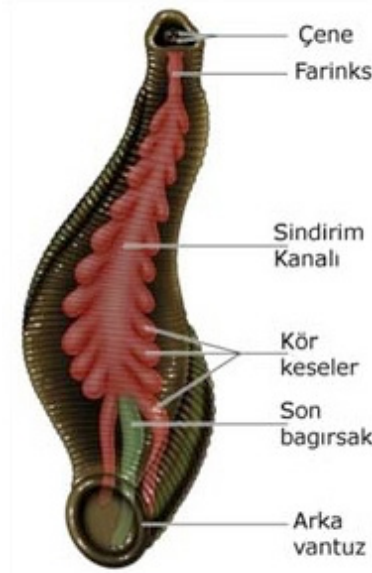
### Enine kesit yapılan bir sülük anatomisi



Ruppert, F. &. (2023, 03 06). Sülük. [tr.m.wikipedia.org](http://tr.m.wikipedia.org)

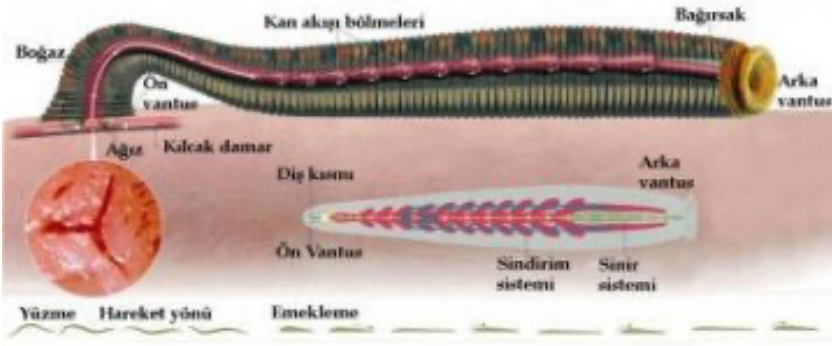


Dairesel, enine ve boyuna uzayan kaslar sayesinde sülük güçlü ve esnek bir form kazanmaktadır.



### Sülüklerin Beslenmesi

Sülükler, beslenmek için kan emerler. Bu, insanlarda ve hayvanlarda kan dolaşımına girerek kanın pıhtılaşmasını engelleyen antikoagülan bir madde salgırlar. Sülüklerin ağızında bulunan dişler, kan dolaşımına girerek kanı emerken ağrısız bir şekilde deriye nüfuz eder. Yumurtadan ilk çıkan yavru sülüklerin derhal beslenmeleri gerekiyorsa da, bu sülüklerin ilk yemlerinin 23°C'de 10-20 gün içinde verilmesi normaldir. İkinci besleme 1-1.5 ay sonra üçüncü besleme ise 1.5-2 ay sonra ve bundan sonra devam edecek olan beslemeler ise 2-3 aylık aralarla yapılması gerekir. (Sawyer, 1986). Laboratuvar koşullarında steril ortamda en güzel besin alma yöntemi yavru sülüklere ilk iki beslemede kurbağa kanı, sonraki beslemelerde ise memeli hayvanların kanının verilmesidir. Bu yöntemle sülüklerin minimum 4 besleme sonunda, takribi 8-10 ay sonra 3.0-6.5 gr ağırlığa ulaştıkları görülür. Sadece kurbağa kanı ile toplam 7-9 kez beslenen sülükler ancak 17-20 ayda 0.5-2.0 gr ağırlığa ulaşabilirler. Sıcak kanlı memeli hayvanların kanları sülüklerin gelişmesinde çok önemlidir. Tabii bütün sülükler kan emici değildir öyle ki bazı türleri adeta avlanır ve omurgasızları, salyangozları, böcek larvalarını yerler.



## Sülüklerin Üretimi

Sağlam (2000)'a göre sülük yetiştiriciliği üçe ayrılmaktadır.

Sülüklerin üretimi, kontrollü koşullarda gerçekleştirilir. Sülükler, steril ortamlarda yetiştirilir ve tıbbi kullanım için özel olarak seçilirler. Sülüklerin çiftleşmesi ve üreme döngüsü oldukça karmaşıktır ve üretim süreci titizlikle takip edilir.

Sülükler 0 °C ile 30 °C arasındaki sıcaklık değerleri arasında hayatta kalabilmektedirler . Fakat hızlı sıcaklık değişimleri bu canlıların yaşamlarını tehlikeye atabilmektedir .Bu canlılar atmosferik oksijeni vücut yüzeyinden alarak ya da suda çözünmüş şekilde alarak kullanabilmektedir. Bu bilgiler göz önüne alındığında gerekli aksiyonlar alındığı takdirde insan eliyle sülük yetiştiriciliği mümkün olmakta. Laboratuvar koşullarında üretilen sülükler farklı teknikler ve farklı ortamlarda üretilebilmektedir bunlar tamamen sülüğün cinsine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

## Küçük Kap-Kavanoz-Küçük Akvaryumda Üretim

*H. medisinialis* daha minimal yaşam alanlarında hayatını sürdürebilmektedir. Hindistan'da kullanılan *Hirudinaria* sülüğü de bu yolla yaşamını sürdürebilen bir sülük türüdür.

Bu yaşam alanlarının içerisine kil bırakılır ve bu sayede yumurtalarını rahatça bırakabilirler. Kokonlarından çıkan yavru sülükler, içerisinde temiz su bulunan başka bir kaba alınır (Moore, 1959)

## Toprak Havuzlarda Sülük Yetiştiriciliği

Toprak havuzlarda sülük yetiştiriciliği biraz zahmetli olsa da asidik sulardan uzak bir ortam yaratmaktadır bu da sülüklerin faunasını korumaya

olanak sağlamaktadır. Taşların altına çamur içine açılan yuvalar gözlenmektedir bu da sülüklerin organik kirleticilerin olduğu bölgelerden **verim** aldığını göstermektedir ayrıca sülüklerin üremesinden en fazla verim alınan ilkbahar ve sonbahar ayları göz önüne alındığında toprak havuzda yapılan yetiştiriciliğin verimliliği düşebilmektedir. Toprak havuzda su yetiştiriciliği yapılırken sülüklerin beslenebilmesi için havuz içerisine balık ve kurbağa bırakılır. Sülüklerin beslenebilmeleri için diğer memelilerden de yararlanılabilmektedir. Toprak havuzlarda yapılan yetiştiriciliklerde sülüğün dış etmenlerden korunabilmesi için havuzun üzerine bir çadır veya naylon yardımıyla muhafaza yapılabilir. (Halton, 1989; Sawyer, 1986)

### Laboratuvar Ortamında Sülük Yetiştiriciliği

Genellikle büyük akvaryum ve tanklarda üretimi yapılır bu sülüklerin daha önce hiçbir deneyde kullanılmamış olmasına özen gösterilmelidir. Sülüklerin beslenebilmesi için kana ihtiyaç vardır bu kan kesimhanelerle anlaşılabilir temin edilebilmektedir. Sülüklerin sağlıklı bir şekilde büyüebilmesi için anne sülüklerden ayrılıp farklı bir alana aktarılması gerekmektedir. Ayrılan yavruların 24-28 °C sıcaklık aralığında ortalama 28 günde, 18-20°C sıcaklıkta ise ortalama 35-45 günde yumurtlamaktadır. Yumurtlama sonrası süreçte aç olan sülüklerin farklı bir alana transferi tok olan sülüklere karşı oluşabilecek olası bir saldırıyı da engellemektedir. Kokondan ilk defa çıkan yavrular ortalama 24 mg ağırlığında ve 1,7 cm boyunda olurlar. Bir kokon içerisinde bulunan yumurta sayısı bu yumurtadan çıkacak olan yavru sülüklerin boyunu ve ağırlığını etkilemektedir. Bu durum 1 kokon + 3 yumurta = 60 mg 3,5 cm yavru sülük, 1 kokon + 33 yumurta = 20mg 1cm yavru sülük şeklinde özetlenebilir. Yavrular doğru sıcaklık değerleri sağlandığı takdirde çok uzun süre aç kalabilir ve yaşamlarını sürdürebilirler. Yaklaşık olarak 93.günün ardından yavaş yavaş yaşamları son bulur. Yavru sülüklerin aç bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmesi için tespit edilen sıcaklık değeri 22-25°C arasındadır.

Sülüklerin sağlıklı ve verimli büyümeleri için sistematik bir yol takip edilmesi gerekmektedir aksi halde sülüklerden alınan verim düşebilmektedir. Sülüklere verilen besinlerin miktarı ve neyle besleneceği oldukça mühim bir konudur. Yumurtadan çıkan yavru sülüğün hemen beslenmesi gerekiyorsa bu yavru sülüğün ilk yemini 23°C'de 10-20 gün içerisinde verilmesi beklenir. Daha sonrasında yapılacak olan ikinci beslenme yaklaşık 1,5 ay içerisinde ve ardından yapılacak olan üçüncü beslenme ise yaklaşık olarak 2 ay içerisinde yapılmalıdır. Bu süreci 1,5-2 aylık beslenme aralıklarıyla tamamladıktan sonraki beslenmeler 2-3 aylık beslenme aralıklarıyla yapılabilir. Yavru sülüklerin büyüme sürecini pozitif yönde etkileyen en önemli besin kaynakları arasında kurbağalar gelmektedir. Yavru sülükler kurbağalarla beslendikten sonraki aylar büyük memelilerin kanlarıyla bes-

lenebilirler. Bu sayede sülükler boy ve kilo bakımından büyük bir ivme-  
lenme katedebilmektedir.



(TV, L. C. 2023, 03 04)

*Kurbağa üzerine yapışarak beslenen iki sülük*

### **Sülüklerin Tıbbi Kullanımı**

Sülüklerin tıbbi kullanımı, binlerce yıl öncesine dayanır. Antik Mısır'da, Yunanistan'da ve Roma İmparatorluğu'nda sülüklerin tedavi amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. Sülüklerin tıbbi kullanımı Ortaçağ'da da devam etmiştir ve modern tıpta da hala kullanılmaktadır. Sülükler birçok tedavi yönteminde kullanılmakla beraber ülkemizde ihracatı yapılır bir gelir kaynağı da olmuştur.

Galen insan vücudunun dört tane sıvı içerdiğini bunların da kan, balgam, sarı ve siyah safra olduğunu söylemektedir. Bu sıvıların dengesi değiştiği takdirde insan vücudunda hastalık yaptığını söyleyen Galen, sülüklerin vücutta bulunan fazla kanı emerek dengeyi sağladığını ve oluşabilecek komplikasyonlara karşı da neler yapılması gerektiği hakkında bilgi verdiği bilinmektedir.6.yüzyılda yaşadığı bilinen en meşhur antik hekimlerden biri olan Trallesli Alexander işitme kaybı görülen hastalara sülük kullanımını tavsiye etmiştir (Öner Küçük, M, & Yaman, O.2019)

Sülükler, tıbbi amaçlarla kullanılmadan önce sterilize edilirler. Sülüklerin tıbbi kullanımı özellikle cilt hastalıkları, varis, romatizma, migren, hipertansiyon ve diğer hastalıkların tedavisinde etkilidir. Sülüklerin salgıladığı antikoagülan madde özellikle ameliyat sonrası kan akışının yeniden başlamasını sağlamak için kullanılır. Sülüklerin insan vücuduna tutunabilmeleri için deri yüzeyinde krem, parfüm gibi sülüğün tutunmasını engel-

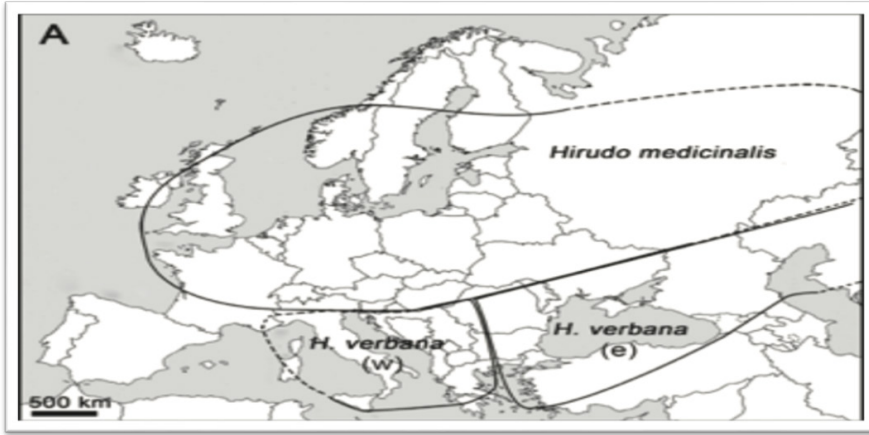
leyecek ürünler kullanılmamalı şayet kullanıldıysa o bölge sterilize edip temizlenmelidir.

Ayhan, H. & Mollahaliloğlu(2018)'na göre sülüklerin tıptaki yeri ve kullanım amaçları geleneksel tıpta eski çağlardan beri savaş ve yara tedavisi gibi alanlarda kullanılsa da günümüze baktığımızda kopan uzuvların yerine dikilmesi ve salgıladığı biyoaktif maddelerin kullanılmasıyla ön plana çıkmaktadır Sülüklerin insan vücuduna yerleştirilmesi esnasında ufak da olsa bir ağrı hissedilebilir fakat sülük tutunduğu esnadan sonra anesteziik salgılar deriye temas ederek bu acı hissedilmez şayet sülükler istenilen bölgeye tutunmuyorsa o bölgeyi nemli bir bezle temizleyerek sülüğün tutunmasını tekrar denemek gerekir çünkü parfüm, nemlendirici, krem, kolonya, lokal ilaçlar gibi kimyasallar sülüğün vücuda tutunmasını engelleyecektir. Temizlenecek bölgeyi sıcak süngerle temizlemek de o bölgedeki kan akışını hızlandırarak sülüğün daha konforlu bir emme gerçekleştirilmesine fayda sağlayacaktır. Sülük vücuda temas ettirilirken steril eldivenler kullanarak ellerimizle bu işlemi yapabildiğimiz gibi yine steril penset, spanç, cam tüp, altı kesilmiş şırınga, cam vantuzu yardımıyla sülükler istenilen bölgeye yerleştirilebilir. Sülük tutunduğu bölgeden ortalama 45 dk. boyunca kan emer, sülük tutunduğu bölgeyi bırakmıyorsa sülüğe zor kullanarak tuz dökerek tutunduğu bölgeden ayırmaya çalışmak enfeksiyon komplikasyonlarına yol açabilir. Böyle bir durumda uygulanması gereken en doğru yöntem sülüğün ağız kısmına zerdeçal tozu dökmek veya alkol damlatmak olacaktır. Sülük emmeyi bıraktıktan sonraki 4 saat ile 2 gün arasında ısırık attığı bölgelerde kanama devam edebilir kanamanın daha az olması için su tüketiminin azaltılmasında fayda vardır. Çünkü bilindiği üzere su tüketimi lenf akışını hızlandırır ve dolayısıyla kanama da artabilir. Kullanılan sülükler asla başka hasta üzerinde kullanılamaz. Sülük kullanıldıktan sonra çeşitli kimyasallara atılarak yok edilmelidir. Sülükler tutundukları bölge de az da olsa bir travmaya sebep olarak cilt altındaki kılcal damarlara hasar verebilir bu da kişide ekimoz gözükmeye sebep olabilir.

Sülükler birçok bilimsel çalışmada kullanılmış özellikle de cerrahi alanda olumlu sonuçlar elde ederek hastaların iyileşmesinde büyük rol oynamıştır deri onarımı veya kopan uzuvların yerine dikilmesi hususunda yapılan birçok bilimsel çalışmada olumlu sonuçlar elde edilmiştir yapılan bir çalışmada 13 flep 7 parmak replantasyonu olmak üzere 20 vakanın %65 inde başarılı sonuçlar elde edilmiştir bu da gösteriyor ki sülük uygulamaları yalnızca alternatif tıp da değil cerrahi tıp alanında da kullanılmaktadır. (Gülay 2019).

Gülay (2019) 'a göre sülüklerin salgıladığı biyoaktif maddeler insan vücudunda birçok olumlu etkiye sahiptir öyle ki birçok hastalıkta önleyici veya iyileştirici olarak kullanılabilir. İnsan beynine yeteri kadar kan

gitmediği takdirde beyin oksijen alamaz ve beslenemez buna bağlı olarak felç geçirebilmektedir. Bu tür durumları önlemek için sülük kullanımı son derece etkili olacaktır. Sülük içerisinde adeta bir aşı barındırırçasına ağrıyan bölgenin uyuşturulmasında, kan akışının az olduğu bölgede ki kan akışını hızlandırmada ve antibiyotik olarak kullanılabilir. Sülükler kullanılırken vücudunda büzülme veya kıvrılma gibi fiziksel bozulmalar olmamasına, kasılma refleksinin gözle görülebilir düzeyde olmasına, sülüklerin bulunduğu suya elimizi soktuğumuzda deriyi yakalama ve emme işlevini hızlıca gerçekleştirebilmesine ve kolumuzu sudan çıkarıp salladığımız zaman sülüğün tutunma işlevine devam ettiğine şahit oluyorsak bu sülüğün sağlıklı olduğu anlamına gelmektedir. Sülükler tatlı su yatakları, sığ bataklıklar sulama hendekleri, nemli ve topraklı pirinç tarlaları gibi yaşam alanlarını sevse de medikal sülükler özel yaşam alanlarında yetiştirilmelidir. Tıbbi olarak 400 e yakın sülük türü keşfedilmiştir yalnız bunlardan şu üçü sıklıkla kullanılmaktadır: HirudoVerbana, Hirudo Medicinalis, Hirudo Orientalis ( Bilecen HM. Bilecen H.2022)



*Bazı Tıbbi Sülüklerin Coğrafi Dağılımı*  
(Öner Küçük, M, & Yaman, O.2019)

Sıvı maddenin doğrudan damar yoluna verilmesiyle yapılan ilaç tedavisinde ilacında damar dışına çıkarak yayılması sebebiyle çevre dokulara hasar verilen durumlarda sülük tedavisi uygulanarak hasar gören bölgenin daha hızlı iyileştiği gözlemlenmiştir. Bu durumun sebep olabileceği yüzeysel cilt, uzuv, organ kayıplarının erken dönemde önlenmesinde sülük tedavisinin faydası olduğu görülmektedir. Öyle ki konuyla alakalı yapılan sıçan testlerinde sülüğün ekstrasvazyon yaralanması bulunan bölgeye tutturulması sonucu o bölgenin daha hızlı iyileştiği fakat sülük yerleştirilmeyen bölgedeki iyileşmenin daha yavaş olduğu gözlemlenmiştir.(Eroğlu, L, Orak, İ, & Şimşek, T.2004).



**Şekil 3:** 10 gün sonra sülük uygulanan sol taraf ile sülük uygulanmayan taraf arasında anlamlı nekroz farkı.

*(Eroğlu, L, Orak, İ, & Şimşek, T.2004).*

10 gün sonra sülük uygulanan sol taraf ve sülük uygulanmayan taraf arasındaki nekroz farkı

### **Sülük Türleri**

#### **Hirudinidae**

Türkiye'nin birçok bölgesinde yer alan bu alt sınıf Yeşilirmak, Kızılırmak, Büyük Menderes, Çubuk Barajı, Emir Gölü, Bafa, Beyşehir Gölü gibi yerlerde görülmektedir. Büyük yapıda ve ortalama 10-15 cm civarındadır zeytin yeşili ile kahverengi arasında bir renk skalası gözlenebilir. Sırt tarafında meme ucuna benzer çıkıntılar vardır ve karın kısmına doğru bakıldığında ise birden fazla koyu lekelerle donanmış bir yapısı olduğu görülmektedir.

#### **Erpobdellidae**

Bu tür Gölcük Gölü, İzmir Gümüldür Deresi ve Bakırçay da görülebilmektedir Hirudinidae ya göre daha küçük bir yapısı olan bu türün ortalama boyları 3 ila 7 cm arasında değişmektedir. Ön vantuzları küçüktür ve renk olarak ise açık yeşil ile koyu kırmızı renk skalasını izlemektedir. Özbek, M. (2007).

#### **Acanthobdellida**

İlkel bir sülük türü olmasıyla bilinmektedir cinsel organ gözenekleri bir halka ile ayrılmıştır kırk kancalı chitinous kıllar ile konakçısına bağlanmaktadır. Zeytin yeşili bir renge sahip olmakla beraber ortalama 19-23 mm uzunluğa sahiptir.

## **Gnathobdellida**

Üç çift çenesi olan bu sülük türü karada ve suda yaşayabilmektedir. Bir adet yutak bölümü bulunmaktadır. Bu sülük türünün bir yerden tutunarak yer değiştirebildiği çekmenleri kaşık biçimindedir. Kanları al renkte olan bu türün erkeklerinde penis ve artiyum dişilerinde ise vajina bulunmaktadır.

## **Sülük Kullanımının İnsan Vücuduna Yan Etkileri**

Sülük vücutta tutunduğu yeri bıraktıktan sonra Y şeklinde bir ısırık izi bırakır. Hastalığın önlenmesine yönelik çalışmaları kabul etmeyen, kan naklini kabul etmeyen hastalarda sülük tedavisi yapılması sakıncalı olabilmektedir. Sülük tedavisinden sonra bölgesel lenf bezlerinde şişmeler, bölgesel kaşıntı, kan pıhtılaşmasında gecikme gibi yan etkileri görülebilmektedir. Sülükler suda yaşayan canlılar olduğu için *Aeromonas* bakterisine maruz kalmaktadır ve bu bakteri türü sülükten insan vücuduna geçebilmektedir. Erken postoperatif döneme enfeksiyonu önlemek amacıyla antibiyotik kullanımıyla alakalı genel bir görüş birliği bulunmaktadır. (Gülây,2019).

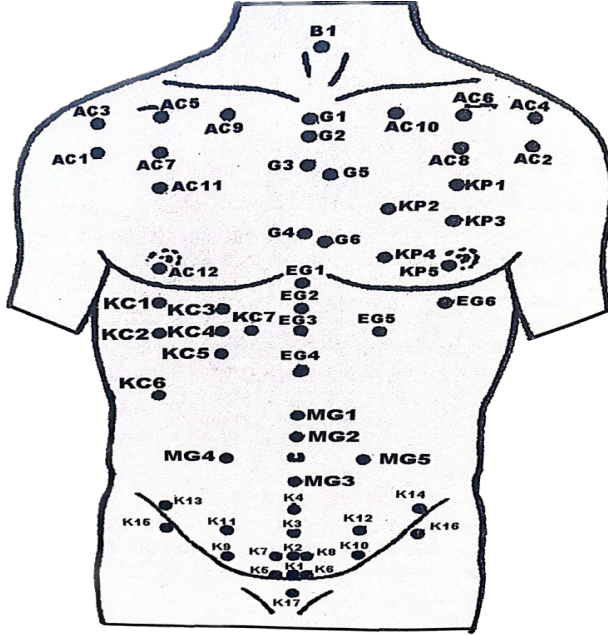
Sülüklerin herhangi hasta üzerinde kullanılması sonucu imha edilmemesi ve başka bir hasta üzerinde kullanılması sonucu kan yolu ile bulaşan hepatit A, hepatit B, hepatit C ve bunların yanı sıra HIV/ AIDS gibi birtakım hastalıkları aktarması olası bir durumdur.

## **Sülük Tedavisi Hangi Durumlarda, Kimlerde ve Vücudun Hangi Bölümlerinde Kullanılmamalı?**

- Anemisi “Kansızlık” olan hastalarda kullanılmamalı
- Lösemi”Kan Kanseri” hastalarında kullanılmamalı
- Akut Enfeksiyonlarda kullanılmamalı
- Psikolojik sağlığı yetersiz olan bireylerde kullanılmamalı
- PLT değeri çok düşük olan bireylerde kullanılmamalı
- Kanda ki glikoz seviyesinin yüksek olduğu durumlarda kullanılmamalı
- Cerrahi operasyon öncesi durumlarda kullanılmamalı
- Kan sulandırıcı ilaç kullanan bireylerde kullanılmamalı
- Avuç içi ve ayak altı gibi keratinize bölgelerde kullanılmamalı
- Sternocleidomastoid kasının ve mandibulanın hemen altında önemli damarlar geçtiğinden bu bölgelerde de sülük kullanımı sakıncalı olabilmektedir

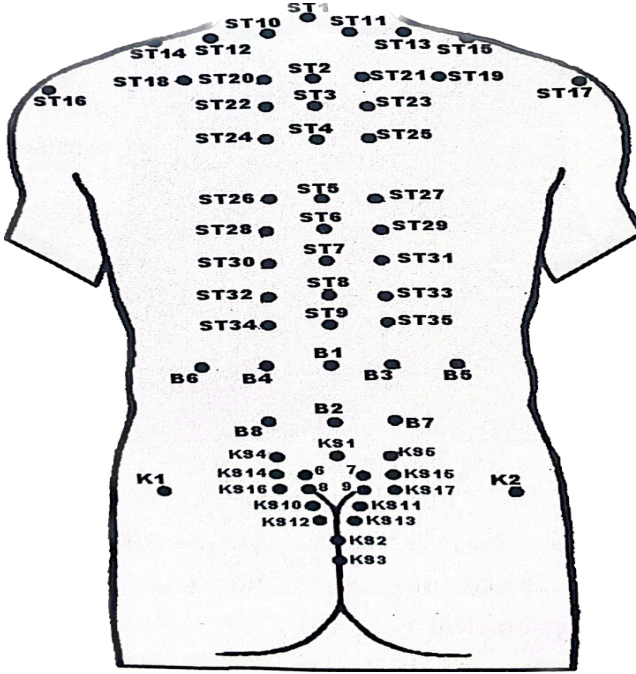


- Koltuk altına sülük kullanımı yapılmamalı



*Posterior Bölge*





Vücutun anterior bölgesinde yer alan noktalarda Kp 2,3 ve Kp 4,5 yine ön bölge de yer alan G 2,4 – EG 1 dorsal bölgede ise ST 3,4 - ST 22,24 şeklinde belirlenen bölgelere sülük tutturulduğu takdirde göğüs anjini tedavisinde etkili sonuçlar elde edilebilir.

Vücutun anterior bölgesinde AC 1,2,3,4 – AC 5,6,7,8 – G 1,2 Vücutun posteriorunda ST 2, ST 18,19,20,21,23,24 şeklinde belirlenen bölgelere sülük tutturulduğunda bronşiyal astım tedavisinde etkili sonuçlar elde edilebilmektedir.

Vücutun anteriorunda MG 4,5 EG 3,4,5 posteriorunda ST 8,9,32,33,43,35 şeklinde belirlenen noktalara sülük tutturulduğu takdirde akut ve kronik gastrit rahatsızlığında etkili sonuçlar elde edilebilir. Bu bölgelere uygulama yaparken 2 ila 3 adet sülük yeterli olabilmektedir ve her uygulamada belirlenen iki nokta üzerinde çalışma yapılmalıdır.

Vücutun anteriorunda göbekten dışı doğru MG 4, Orta çizgi bölgesinde MG 2 ,EG 4 ve göbekten üç dört parmak aşağıda bulunan MG 3 bölgeleri vücutun posteriorunda ise ST 2,7,8 ve KS 2,3 karaciğer bölgesinde sağ kaburganın altında KC4,5,6 şeklinde belirlenen noktalara sülük tutturulması durumunda kronik kabızlığın giderilmesinde etkili sonuçlar elde edilebilmektedir.

## Sülüklerin Çevresel Etkisi

Sülüklerin doğal ortamları olan sucul ekosistemler, son yıllarda insan faaliyetleri nedeniyle tehlikeye girmiştir. Sülüklerin avlanması bu türlerin neslinin tükenmesine neden olmuştur. Ayrıca su kirliliği ve habitat kaybı gibi faktörler de sülükler ve diğer sucul hayvanların yaşam alanlarını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle sülüklerin korunması ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması önemlidir.

## Sülüklerin Kullanımıyla İlgili Yasal Düzenlemeler

Sülüklerin kullanımı, birçok ülkede yasal düzenlemelere tabidir. Bazı ülkelerde sülüklerin kullanımı tamamen yasaklanmışken diğer ülkelerde sadece tıbbi amaçlarla kullanılmasına izin verilir. Sülüklerin toplanması, avlanması ve ticareti de birçok ülkede yasal düzenlemelere tabidir. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından 27.10.2014 tarihinde 29158 sayılı Resmi Gazete’de “Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği” yayımlanarak sülük uygulamasına standart getirilmiştir. ABD İlaç ve Gıda Dairesi (Food and Drug Authority of USA-FDA) sülüklerin Amerika’da tıp alanında kullanılmasına ve aynı zamanda genel amaçlarla da kullanılmasına 2004 yılında müsaade ettiği bilinmektedir. Sülükler Türkiye’de popülasyonunu korumayı başarmışlardır lakin tıp alanında yoğun bir şekilde kullanılmasından dolayı nesilleri tükenme tehlikesiyle karşılaşmıştır. Tabii bundan dolayı bir tedbir alınması gerekirdi bu yüzden Nesli Tehlikede Olan Yabani Hayvan ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: CITES*)’ye bağlı olarak sülüklerin toplanmasına ve ihraç edilmesine yönelik bir sınırlama getirilmiştir. 2009 yılında Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından da ülkemizde bulunan sülüklerin farklı ülkelere satılarak ticaretinin yapılmasına bir sınırlama getirilmiştir. 2009 yılında getirilen sınırlamayla beraber Türkiye’de bulunan 6000 kg sülüğün yalnızca %22.50’lik bir kısmı farklı ülkelere satılmış ve ihracatı yapılmıştır. Ülkemizde 1996 yılında *Hirudo Medicinalis* cinsi tıbbi sülüğün diğer ülkelere satış kotası 10 ton iken bir yıl sonrasında bu satış kotası 7 tona indirilmiştir. Bu tıbbi sülükler için avlanma yasağı çıkartılmıştır. 15 Nisan ve 15 Haziran ayı aralığında olan 2 aylık yasaklama 1 Mart ve 1 Temmuz ayları aralığında düzenlenerek sülüklerin avlanma yasağı dört aya çıkartılmıştır. Tabii her ne kadar sülüklerin ihracatına kota getirilse de zirai mücadeleler de kullanılan yok edici, önleyici, uzaklaştırıcı maddeler içeren ilaçların kullanımı da sülüklerin yaşam alanını olumsuz yönde etkileyerek popülasyonlarının büyük ölçüde tehlikeye girmesine sebep olmaktadır. (Gödekmerdan, A, Arusan, S, Bayar, B, & Sağlam, N. 2011)

### Türkiye'nin yıllara göre tıbbi sülük ihracat gerçekleşme miktarları

Yıl	Gerçekleşen İhracat Miktarı (Kg)
2003	5430
2004	4811
2005	5014
2006	4021
2007	3090
2008	2303.5
2009	1350
2010	1601

(Gödekmerdan, A., Arusan, S., Bayar, B., & Sağlam, N. 2011).

#### Sonuç

Su ürünleri denilince akla ilk gelen isimlerden olmasa da aslında sülükler araştırılıp incelendiği zaman insanlar üzerine olan muazzam etkileriyle adeta bilime ışık tutar nitelikte olduğunu görüyoruz. Bu da bizlere gösteriyor ki su ürünleri insanlık tarihi için yadsınamaz bir yere sahiptir.

Sülükler, tarih boyunca insanlar tarafından kullanılan ve tıbbi amaçlar için etkili bir tedavi yöntemi olarak kabul edilen ilginç ve bir o kadar da önemli canlılardır. Tarihin tozlu raflarına baktığımız zaman dahi sülüklerin kullanımı ve yetiştirilmesiyle alakalı birçok bilgi görebiliyoruz. Bu yöntem, tarihte herhangi bir ilaç veya cerrahi müdahale yapılmadan önce kullanılmıştır. Günümüzde ise modern tıp alanında sülüklerin kullanımı artık sınırlıdır ve genellikle alternatif tıp uygulamalarında kullanılmaktadır.

Sülüklerin tedavi edici özellikleri, tıp dünyasında uzun süredir bilinmektedir. Sülüklerin tükürüklerinde bulunan antikoagülan, kan pıhtılaşmasını önleyen bir madde olarak bilinmektedir. Bu özellikleri sayesinde sülükler, çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır.

Sülük tedavisi, özellikle deri hastalıkları, varis, hipertansiyon, migren, romatizma, eklem ağrıları ve tromboz gibi sağlık sorunlarının tedavisinde etkilidir. Yapılan çalışmalarla gözlemlendiği üzere birçok tedavide kullanılan sülüklerin olumlu sonuçlar doğurduğu görülmekte öyle ki varis tedavilerinde, ekstremitasyon tedavisinde, bronşiyal astım tedavisinde, deri altında bulunan iltihaplanmalarda kullanıldığını görebiliriz Sülüklerin tedavi edici özelliğini kullanırken elbette belli başlı etmenlere dikkat etmek gerekir ve sülük tedavisini vücudun her yerine uygulamamak gerekir şayet bilinçsizce kullanılan sülüklerden istenilen verim elde edilemeyebilir.

Sülükleri korumak adına öncelikli olarak sülüklerin yaşam alanını korumamız gerekir ardından yapılan sülük toplayıcılığının devlet eliyle sürdürülmesi sülüklerin neslini koruma adına en önemli adımlardandır.

Sülükler su ürünleri arasında gerek ithalat ve ihracat bakımından gerek alternatif tıp da kullanımı bakımından önemli bir yer kaplamaktadır. Sülüklerin ihracatı da ülkemiz tarafından yapılmaktadır. Sülüklerle alakalı yasal düzenlemeler getirilerek nesillerinin yok olma tehlikesine karşı belli başlı tedbirler alınmıştır. Faydaları gereği adeta bir ilaç yahut aşı görevi gören sülükler birçok insanda olumlu sonuçlar doğurmuştur fakat yanlış sülük kullanımı ve yanlış kişilere sülük kullanımı durumu tam tersine çevirerek olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Örnek verecek olursak HIV taşıyan bir insan da kullanılan sülük başka bir bireyde kullanılırsa virüsü diğer bireye taşımış oluruz veya anemi hastası bir bireyde sülük kullanımı yine olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bundan dolayı sülükler beslenirken de kullanılırken de eğitim almış kişilerce bu süreç yönetilmelidir. Sülüklerin anatomisi, beslenmesi, tıbbi kullanımı ve çevresel etkisi gibi konuları içeren bu bitirme projesi, sülükler hakkında doğru ve detaylı bilgi sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca sülüklerin korunması ve sürdürülebilir kullanımının önemi de vurgulanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abdualkader, A. M, Ghawi, A. M, Alaama, M, Awang, M, &Merzouk, A. (2013). Leechtherapeutic applications. *Indian journal of pharmaceutical sciences*, 75(2), 127.
- Ayhan, H. &Mollahaliloğlu, S. (2018). Tıbbi Sülük Tedavisi: Hirudoterapi . Ankara MedicalJournal, 18 (1) , 141-148 . DOI: 10.17098/amj.409057
- Bilecen HM. Bilecen H.(2022) Sülük Tedavi Atlası. İstanbul; Kitapyurdu Doğrudan Yayıncılık s;11-18
- Eroğlu, L., Orak, İ., & Şimşek, T. (2004). Ekstravazasyon yaralanmasının tedavisinde tıbbi sülük kullanımı: Ön çalışma. *Türk Plastik RekonstrüktifVe Estetik Cerrahi Dergisi*, 12(3), 208-211.
- Gödekmerdan, A., Arusan, S., Bayar, B., & Sağlam, N. (2011). Tıbbi sülükler ve hirudoterapi. *TürkiyeParazitolojisi*, 35(4), 234-239.
- Gülay, T. R. A. K. Hirudoterapi ve Cerrahide Kullanımı. *Journal of Biotechnologyand Strategic HealthResearch*, 3, 47-54. [https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Sülük#CITEREFRuppertFoxBarnes2004](http://www.dogaltibbisuluk.com/tibbi-suluk-uretimi/suluklerin-anatomisi/sFiddler, D. (2017). Leeches (Hirudinea): A Natural History. CRC Press. adresinden alındı.</a></p><p>Macagno, E. R. (2010). Leechbiologyandbehaviour. <i>CanadianJournal of Zoology</i>, 88(5), 635-654.</p><p>Öner Küçük, M, & Yaman, O. (2019). Tıbbi sülük terapisi (Hirudoterapi). <i>Journal of Biotechnology and Strategic Health Research</i>, 3, 29-46.</p><p>Özbek, M. (2007). Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki Bazı Göllerin Hirudinea (Annelida) Faunası. <i>Ege Journal of FisheriesandAquaticSciences</i>, 24(1), 83-88.</p><p>Özgür D. (2015) Sülük Tedavisi Ruhsal Ve Fiziksel Hastalıklarda Geleneksel Tedavi, İstanbul: Mercan Kitap, s:77-118.</p><p>Ruppert, F. &. (2023, 03 06). <i>Sülük</i>. tr.m.wikipedia.org: <a href=) adresinden alındı.
- Siddall, M. E., Trontelj, P., &Utevsky, S. Y. (2007). Namingspecies in theface of changingtaxonomy: thecase of thenominatesubspecies of theme-dicinalleech (HirudomedicinalisLinnaeus, 1758). *ZoologicaScripta*, 36(2), 131-138.
- TV, L. C. (2023, 03 04). *How Frog Hunting And Eating Leech And Earthworm For Survival*. www.youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=ShrTv31EBas> adresinden alındı.
- Whitlock, R. (2017). Leeches in modern medicine. *ClinicalInfectiousDiseases*, 64(6), 776-777.
- Sağlam, N. (2000). Sülük biyolojisi ve yetiştirme teknikleri. *Ticari Balık Türlerinin Biyolojisi ve Yetiştirme Teknikleri Hizmet İçi Eğitim Semineri*, 1(5), 51-56.
- Yılmaz, U. D. (2023, 02 05). *Sülükler Hakkında Bilmek İstedığınız Herşey*. www.

tibbisuluk.com: <http://www.tibbisuluk.com/sulukler-hakkinda2.html> adresinden alındı.







## BÖLÜM 3

### AKUT FAZ PROTEİNLERİNİN BAKTERİYEL BALIK HASTALIKLARI YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI

*Azime KÜÇÜKGÜL<sup>1</sup>, Altuğ KÜÇÜKGÜL<sup>2</sup>*

---

1 Prof. Dr., Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Aktuluk/Tunceli,  
E-mail: akucukgul@munzur.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0515-6667>

2 Doç. Dr., Mustafa Kemal Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Serinyol/Hatay,  
E-mail: altugkucukgul@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4387-6814>

## 1. GİRİŞ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de büyüyen sektörlerden olan su ürünleri yetiştiriciliği, uzman personellerin bulundurulması, bilinçsiz her türlü uygulamadan kaçınılması, hastalıklarla mücadelede rutin tüm kontroller ve buna bağlı önlemlerin alınması, kaliteli yem kullanılması gibi çeşitli faktörlerin başarılı bir şekilde yönetilmesiyle öncül sektörlerden birisi olma yönünde ilerleme kaydetmektedir (Baba, 2017).

Yetiştiricilik faaliyetlerinin yıldan yıla artması umut verici olmaktadır. Ancak, hastalık ve hastalıkla ilgili sorunlar özellikle üründen maksimum fayda sağlama amacıyla olan yetiştiricilik işletmeleri için gelişmeyi sınırlayıcı bir faktör olarak karşımıza çıkmakta ve ciddi kayıplara sebep olmaktadır.

Yetiştiricilik koşulları altındaki balıklar çevrelerindeki her türlü olumsuzluktan etkilenmekte ve bağışıklık sistemi zayıflamaktadır. Özellikle konakçı-patojen-çevre arasındaki ilişkinin bozulması, fırsatçı patojenlerin uygun portantrelere aracılığıyla istilası sonucu hastalık ortaya çıkmaktadır (Noga, 2010). Bu hastalık tablosu özellikle enfeksiyöz (mikroorganizmalardan ileri gelen) kökenli ise ölümcül tehlikelere sebebiyet verebilmektedir. Bunlar arasında olan bakteri kökenli hastalıklar yetiştiricilik sistemlerinde en sık görülen etkenlerin başında gelmektedir. Bakeriyel patojenlerin yalnız canlı dışında da uzun süre canlılığını koruyabilmesi akuatik çevre açısından büyük bir risk oluşturmakta, stres koşullarının etkisine bağlı olarak diğer balık türlerini de kolayca etkileyebilmektedir.

Balıklarda gelişen enfeksiyöz hastalıklarda ortaya çıkan reaksiyonlardan birisi de inflamasyon (yangı)'dır. Canlıda inflamasyon ve doku hasarı görüldüğünde yanıt olarak değişen plazma proteinleri akut faz proteinleri (AFP) ya da akut faz reaktantları olarak bilinmektedir (Eckersall ve Conner, 1988; Baumann ve Gaudie, 1990; Whicher ve Westacott, 1992). Akut faz yanıt ise infeksiyon, travma, doku hasarı gibi tehditlere karşı, acil olarak oluşturulan inflamatuvar tepkimeler olarak tanımlanmaktadır. Bu tepkimeler doku hasarının oluşmasından kısa bir süre sonra ortaya çıkan spesifik olmayan bir reaksiyondur. Akut faz tepkimesinin amacı, patojen organizmaları izole edip, baskılamak, yayılımlarını engellemek, doku hasarını en aza indirmek ve tamir olayına katkıda bulunmaktır. Akut yangıya organizmanın yanıtı olarak salgılanan en önemli yapılar; sitokinler, akut faz proteinleri ve lökositlerdir. Bu sitokinler, enfeksiyöz hastalıklara ve yangıya karşı primer yanıtı yönetir ve sistemik reaksiyonları geniş bir aralıkta stimüle eder. Karaciğerde bu sitokinler, akut faz proteini (AFP) olarak bilinen glikoproteinlerin üretimini ve plazma salınımını stimüle ederler (Guyton ve Hall, 1996; Kahyaoglu, 2011; Kushner, 1982). Çeşitli biyokimyasal, fizyolojik, davranışsal ve beslenme durumu ile ilgili deği-

şikliklerde miktarlarında artma eğilimi olanlar pozitif, azalma eğiliminde olanlar ise negatif AFP olarak adlandırılmaktadır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar; plazma veya serumdaki AFP konsantrasyon seviyelerinin, hastalığın prognozunda ve tespitinde önemli diaagnostik bilgiler sağladığını göstermiştir (Caipang ve ark., 2010; Küçükgül ve Cengizler, 2013; Li ve ark., 2022). Hayvanlarda, özellikle balıklarda CRP, SAA, transferin, haptoglobulin, seruloplazmin ve fibrinojen önemli AFP'leridir. Bu proteinlerin serum veya plazma konsantrasyonları travma, çeşitli enfeksiyon ve yangısal durumlarda doku hasarını takiben arttığı belirtilmiştir (Eckersall, 2000; Martinez-Subiela ve ark., 2003).

Literatür değerlendirmeleri göstermişti ki bakteriyel etkenlerin hastalık mekanizması, hastalığa maruz durumunda tedavi yöntemleri, bakteri direnç oluşum mekanizmaları vb. durumlar üzerinde ciddiyetle durulmuş (Küçükgül ve Küçükgül, 2017; Munro, 1982; Scholz, 1999; Schmidt ve ark., 2000) ancak bakteriyel bir hastalık durumunda, özellikle hastalığın erken teşhisinde etkin rol oynayan akut faz proteinlerinin önemini kapsayan çalışmalara daha az yer verilmiştir (Küçükgül ve Cengizler, 2012; Pincus ve Abraham, 2001). Bu nedenle bu derlemede balıkları olumsuz etkileyen ve ürün kalitesini düşüren bakteriyel hastalık durumlarında hızlı teşhis ve prognoz açısından önemli olan akut faz proteinlerinin önemi üzerinde durulmuştur.

## 2. BAKTERİYEL BALIK HASTALIKLARI

Balık yetiştiriciliğinde karşılaşılan ve ürün kalitesini düşüren, maliyeti arttıran ve hatta çoğu kez toplu balık ölümlerine neden olan balık hastalıklarına hem doğal ortam hem de yetiştiricilik sırasında rastlanabilir. Birçok hastalık etmeni doğal ortamlarda sürekli olarak bulunur, ancak yoğunlukları nadiren tehlikeli boyutlara ulaşır ve dolayısıyla problem yaratmazlar. Yetiştiricilikte amaç ticari bir başarı elde etmek olduğu için balıklar doğal ortamlardakinden daha yüksek yoğunlukta stoklanmakta dolayısıyla hastalıkların gelişmesi ve yayılması daha kolay olmaktadır (Scholz, 1999).

Yetiştiricilik sistemlerinde balıkların içinde yaşadıkları akuatik ortam genellikle sınırlı olan besleyici, fiziksel, kimyasal, biyotik ve abiyotik optimal yaşam koşullarının olumsuz yönde değişmesi, bunların kısa süre içinde düzelmemesi ve devam etmesi, özellikle birçok enfeksiyöz hastalığın ortaya çıkmasına yardımcı olmaktadır (Arda ve ark., 2005).

Patojenitesi güçlü herhangi bir mikroorganizmanın (bakteri, mantar, parazit, virüs) vücuda girmesi, yerleşmesi, çoğalarak yayılması ile enfeksiyon oluşmaktadır. Enfeksiyon sonunda canlıda klinik semptomların ortaya çıkmasıyla birlikte ise enfeksiyöz hastalık görülmektedir. Özellikle yetiştiricilik sistemlerinde böyle bir tablonun meydana gelmesi tehlikeli

sonuçlara zemin hazırlamaktadır. Bu mikroorganizmalardan biri olan fungal hastalıklar sekonder seyreden enfeksiyonlar olup primer etkenlerden ileri gelen hastalık olgularında önemli rol oynamaktadır. Doğal koşullar altında çok zarar vermeyen balık parazitleri ise yetiştiricilikte popülasyon yoğunluğuna bağlı olarak önemli hastalıklara ve ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Balık yetiştiriciliğinde etkeni bakteri, mantar ve parazit olan hastalıkların sağaltımı ve kontrolü tedavi olanakları ile mümkündür. Fakat viral ajanlar yetiştiricilik sistemleri için tehlike oluşturan enfeksiyöz etken olup yüksek mortaliteler ile ciddi kayıplara neden olabilmektedir. Ayrıca tedavi olanakları pek mümkün değildir.

Bakteriyel kaynaklı enfeksiyöz etkenler ise yetiştiricilik ünitelerinde en sık rastlanan hastalık etkeni olarak bilinmektedir (Küçükgül, A.G. ve Cengizler, 2012; Küçükgül ve Küçükgül, 2017; Munro, 1982; Schmidt ve ark., 2000). Ayrıca canlı dışında da uzun süre canlı kalabilmeleri akuatik çevre açısından büyük bir risk oluşturmaktadır (Pridgeon ve Klesius, 2011). Patojeniteleri güçlü olanlar ise ciddi tehlike sinyali vermektedir. Ayrıca, bir bakteriye maruz kalmış balık yüksek oranlarda portör olarak kalıp su sıcaklığının artmasıyla sağlıklı bireylere de etkeni bulaştırabilmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde *Aeromonas septisemi* (Timur ve ark., 2003), *Edwardsielloz* (Keskin ve ark., 2004), *Columnaris* (Cunningham ve ark., 2012; Klesius ve ark., 2010), *Streptokokkozis* (Küçükgül ve Cengizler, 2012) ve *vibriozis* (Tanrıkuş, 2007) dahil olmak üzere balık türlerinde çeşitli bakteriyel enfeksiyonlar bildirilmiş bu patojenlerden birkaçının, su ürünleri üretimindeki küresel ekonomik kayıpların çoğundan büyük ölçüde sorumlu olduğu raporlanmıştır. Kültür balıklarında ve tatlı sularda *Aeromonas* türleri (*Aeromonas salmonicida* vb.) bakteriyel kanamaya neden olması yönüyle birçok balık türünde oldukça yaygın bakteriyel patojen türleri arasındadır (Ramesh ve ark., 2018; Menanteau-Ledoubleve ark., 2016). *Yersinia ruckeri* ise birçok ülkede teşhis edilmiş konakçı içinde de dışında da yaşayabilen, önemli ekonomik kayıplara sebep olabilen güçlü bir patojen olarak bilinmektedir (Acuña ve ark., 2021; Karataş ve ark., 2004; Küçükgül ve Küçükgül, 2017; Küçükgül, A.G. ve ark., 2013; Küçükgül ve ark., 2013). Balıklardaki streptokok enfeksiyonlar ise, önemli ölümlere neden olması ile su ürünleri yetiştiriciliği için önemli ekonomik kayıplara neden olduğu bildirilmiştir (Küçükgül ve Cengizler, 2012; Nikolaisen ve ark., 2021).

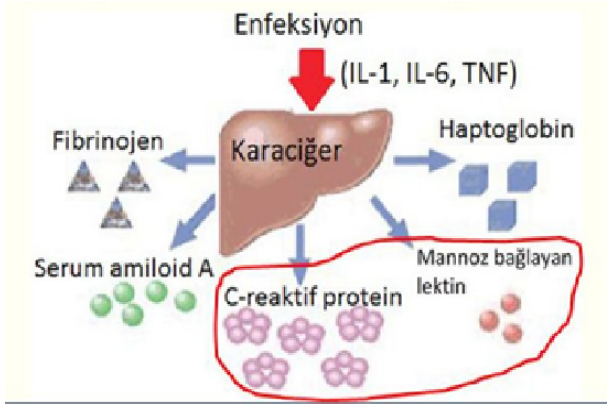
### 3. AKUT FAZ PROTEİNLERİ

Enfeksiyöz hastalıklarla ortaya çıkan en önemli olaylardan birisi enflemasyondur. Enflemasyon, karmaşık, yüksek oranda düzenlenmiş bir süreçtir. Bazıları süreci başlatan, çoğaltan veya sürdüren, bazıları doku hasarını modüle ederek hafifleten ve bazıları iyileşmesine neden olan birçok

hücre tipini ve molekülü içerir (Gabay ve Kushner, 2001). İnflamasyonun akut yâda kronik olması fark etmeksizin yada herhangi bir enfeksiyon oluştuğunda savunmanın ilk engelini (normal mikroflora, deri, mukoz gibi konağın fiziksel bariyerler, sitokin ve kompleman gibi immünolojik faktörler) aşan etkenler ikinci bir engel ile karşılaşır ki bunlar bağışıklık sisteminin savunma elamanlarını kapsayan nötrofil, makrofaj-monosit, hücresel ve humoral immünite, opsonizasyon ve ayrıca akut faz yanıtıdır (Arslan ve Fert, 2013).

Enflamasyon durumunda akut faz proteinleri (AFP) adı verilen maddeler karaciğerden salgılanan bir dizi kimyasal olup enfeksiyonun konağın lehine sonlanmasına yardımcı olmaktadır. Bunlar pozitif AFP (kompleman faktörleri, serum amiloid A ve P komponentleri, C-reaktif protein-CRP, ferritin vb.) olarak bilinmektedir (Resim 1). Transferrin, retinol, albumin gibi reaktif proteinler ise negatif etkiye sahip olup enflamasyonu sonlandırma, kısıtlama görevi üstlenmektedirler (Çakır, 2013). Herhangi bir AFP'nin salgılanması durumunda plazma konsantrasyonunda yaklaşık %25'lik bir değişiklik gösterdiği bildirilmiştir ki konsantrasyonlarındaki bu değişiklikler, büyük ölçüde dolaşımdaki enflamasyonla ilişkili sitokine yanıt olarak hepatositlerin sentezindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır (Morley ve Kushner, 1982). O'Reilly ve Eckersall (2014), AFP seviyelerindeki artışları sınıflandırmış ve 10-1000 kat artışın majör, 4-10 kat orta düzeyde, 2-3 kat artış ise hafif artışlar olduğunu bildirmişlerdir.

Akut faz yanıtı (AFY) ise birçok hücre tipi ve birbiri ile bağlantılı proteinler yoluyla başlatılan ve devam ettirilen kontrollü bir yanıt olup plazma kaynaklı sinyaller ile indüklenmektedir. Bu sinyaller interlökin-1 (IL-1), interlökin-6 (IL-6), timör nekroz faktörü-alfa (TNF- $\alpha$ ), interlökin 1-beta (IL-1 $\beta$ ) gibi proinflamatuvar sitokinleri içermektedir (Yoshioka ve ark., 2002). Bakteriyel (daha az sıklıkta viral) enfeksiyon, travma, cerrahi prosedürler, yanıklar, doku enfarktüsü, çeşitli immünolojik ve kristal aracılı inflamatuvar bozukluklar, ilerlemiş maligniteler, ağır egzersizler, doğum ve sıcak çarpması gibi birçok farklı uyaran akut faz yanıtını indükleyebilir (Gabay ve Kushner, 2001). Bu tür uyaranlara yanıt olarak sentez hızları artan proteinler, doku hasarının onarımında, enfeksiyonla mücadelede ve uyarıdan önce sağlıklı (homeostatik) durumun geri kazanılmasında yer alan birkaç proteini kapsamakta olup (Hatherill ve ark., 1999) spesifik bağışıklık oluşuncaya dek zararlı uyaranlara karşı koruyucu rol üstlenmektedir (Ceciliani ve ark., 2012; Suffredini ve ark., 1999).



**Resim 1.** Enflamasyon sonucunda ortaya çıkan bazı akut faz yanıtı (Saunders, 2003)

### 3.1. C-Reaktif Protein (CRP)

C reaktif protein beş nonkovalent alt ünitelerden oluşan 115 kDa molekül ağırlığına sahip bir proteindir. *Pneumococcus pneumoniae*'nin C-polisakkaritini bağlama kabiliyetinden dolayı bu adı almıştır (Petersen ve ark., 2004). Enflamatuvar yanıtın bir veya daha fazla aşamasını etkileme potansiyeline sahip olanlardan biri olan CRP, doğuştan gelen bağışıklık sisteminin bir bileşeni olup, fosfokolini bağlama yeteneği sayesinde enfeksiyöz ajanların yanı sıra hasarlı hücrelerin temizlenmesinde önemli bir rol oynadığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte CRP seviyeleri doğrudan hepatik üretimi yansıtmakta ve diğer kan bileşenlerinden veya katabolizmadaki değişiklikten etkilenmemektedir (Bayne ve Gerwick, 2001). Enflamasyonik bir oluşumda kompleman aktive edilmekte ve fagositik hücrelere bağlanabilmektedir. Böylece, humoral ve hücreli bağışıklık ile etkileşime girerek hedeflenen hücrelerin veya enfeksiyöz organizmaların yok edilmesinde rol üstlendiği düşünülmektedir (Gabay ve Kushner, 2001). Aynı zamanda sitokinlerin monositler ve makrofajlar tarafından indüklenmesi, kemotaksi inhibisyonu ve nötrofil fonksiyonlarının modülasyonu gibi görevleri bulunmaktadır (Murata ve ark., 2004).

CRP konsantrasyonlarındaki ciddi artışların %80-85'i bakteriyel enfeksiyonla ilişkilidir (Morley and Kushner, 1982). On dokuz saat yarı ömrü olan CRP'nin konsantrasyonu 4-6 saat sonra yükselmeye başlamakta ve 24-48 saat içinde bazal değerinin 100-1000 katına kadar çıkmaktadır (Batırel ve ark., 2003). Laboratuvarında CRP'nin kolay ve rutin olarak ölçümü mümkün olup uluslararası bir standardı mevcuttur.

### 3.2. Serum amiloid A (SAA)

Molekül ağırlığı 180-kDa olan SAA lipoproteinlerle kompleks formda bulunmaktadır. Akut faz yanıtın duyarlı belirteçlerinden olan SAA makrofajlardan salınan IL-1 molekülü ile benzer SAA uyarıcı faktöre yanıt olarak karaciğer tarafından sentezlenmektedir (Schultz ve Arnold, 1990). SAA'nın işlevi tam olarak belirgin olmasa da, fagositik hücrelerin ve lenfositlerin adezyonunu ve kemotaksisini indüklediği ve düşük yoğunluklu lipoprotein oksidasyonunu artırarak aterosklerotik koroner arterlerde görülen enflamasyona katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (Malle and De Beer, 1996). Pozitif AFP'lerinden biri olan SAA, operasyonlardan sonra, bakteriyel ve viral enfeksiyonlarda vb. ilk birkaç saat içinde (6-8 saat) normal değerlerinin 1000 katına dek arttığı bildirilmiştir (Bozukluhan, 2008; Küçükgül ve Cengizler, 2013; Horadagoda ve ark., 1994; Heegard ve ark., 2000; Uhlar, 1999). SAA değerindeki yükselme bakteriyel ve viral enfeksiyonların varlığının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Enfeksiyon gerilediğinde değerleri normale dönmektedir (Küçükgül ve Cengizler, 2013; Nakayama ve ark., 1993).

### 3.3. Haptoglobin (Hp)

Haptoglobin (Hp), moleküler ağırlığı yaklaşık 125 kDa olan ve hemoglobinin peroksit aktivitesinin stabilitesini düşük pH'a yükseltme yeteneğine sahip bir  $\alpha_2$ -globülinidir. Hp'nin en önemli görevi demir kaybını önlemektir. Bu nedenle kandaki serbest hemoglobin ile stabil kompleksler oluşturmaktadır (Ceron ve ark., 2005). Memelilerde, plazmanın, serbest Hb'ye yüksek afinite ile bağlandıktan sonra serbest Hb'nin oksidatif aktivitesini inhibe eden haptoglobin (Hp) olarak bilinen bir protein içerdiği bildirilmiştir.

### 3.4. Transferrin (Tf)

Transferrin tüm memelilerde demir bağlayan protein (70-80 kDa) olarak bilinmekte ve karaciğer tarafından sentezlenmektedir. Yüksek afiniteli bir demir bağlama özelliğine sahip olan Tf serum demirinin hızlı bir şekilde tükenmesiyle hipoferrinik bir tepki üretebilir. Bilindiği üzere serum demiri birçok patojenik ve patojenik olmayan bakterinin büyümesi için gereklidir (Dietrich ve ark., 2010).

### 3.5. Seruloplazmin

Seruloplazmin (ferroksidaz enzimi) plazmada %90'dan fazla bakır taşıyan ayrıca demir homeostazında önemli rol oynayan antioksidan özelliklere bir AFP'dir (Liu ve ark., 2011). Yapılan çalışmalar göstermiştir ki karaciğerde hepatik hücreler tarafından sentezlenip bakır bağlayıcı bir protein

olarak bilinmektedir Bununla birlikte, bakırın %90'dan fazlası seruloplazmin plazmasında bulunduğundan, ana işlevi, bakır metabolizmasının işle-yişinden ziyade oksidasyon yoluyla demir akışını modülatördür (Hellman ve Gitlin, 2002).

#### 4. BAKTERİYEL BALIK HASTALIKLARINDA AKUT FAZ PROTEİNLERİNİN ÖNEMİ

Enfeksiyöz hastalıklar salgın karakterde olmaları yönüyle önem arz etmekte ve konak organizma ile enfeksiyon arasındaki etkileşim ve sonuçların iyi bilinmesi gerekmektedir. Özellikle balık gibi su içinde yaşayan canlılar sudaki herhangi bir olumsuz durumdan kolay etkilenmekte ve dolayısıyla enfeksiyöz hastalıklara zemin hazırlamaktadır. Özellikle intensif balık yetiştiriciliği patojenik mikroorganizmaların transferi ve yayılması ile birçok hastalığa zemin hazırlaması ciddi ekonomik kayıplar oluşturabilmektedir. Yapılan çalışmalar gösteriyor ki bakteriyel hastalıklar yetiştiricilik sistemlerinde en sık karşılaşılan etkenler olup bu hastalıkların erken teşhisi ve tedavi edilebilmeleri ayrıca yayılmalarının önlenmesi açısından önem arz etmektedir.

Balıklar basit yapıları ve poikilotherm canlılar oldukları için kazanılmış immünitenin (tek tip bir antikor, yavaş lenfosit proliferasyonu vb.) gelişimi de daha yavaştır. Bu nedenle enfeksiyonlarla mücadele de balıklar için doğuştan gelen immünite (özellikle humoral savunma) plazmadaki moleküllerin biçim ve işlevindeki çeşitlilik açısından birincil öneme sahiptir (Alexander ve Ingram, 1992; Ellis, 2001). Bu savunmada moleküllerin birçoğu birkaç gün yâda daha kısa süreli değişim gösterir, bazı proteinler artış yönünde olurken (pozitif akut faz proteinleri), bazıları düşüş eğilimi gösterir (negatif akut faz proteinleri). Pozitif olanların muhtemelen doku hasarını onarma, potansiyel patojenleri kontrol altına alıp yok etme ve bireyin homeostazisinin yeniden kazanma çabalarının sonucu olarak artma eğilimi gösterdikleri bildirilmiştir (Steel ve Whitehead, 1994).

Akut faz proteinleri, memelilerde olduğu gibi balıklarda da enfeksiyöz etkenlerin (bakteri vb.) önlenmesi, hasarlı dokunun onarılması gibi savunma durumlarında yer alan karaciğer tarafından çeşitli sitokinlerin etkisiyle sentezlenip dolaşıma salınan plazma konsantrasyonları %25 veya daha fazla değişen proteinler olarak bilinmekte (Kushner and Mackiewicz, 1993) spesifik olmamakla beraber inflamasyon belirteci olarak genel sağlık durumunun izlenmesinde ve prognozun değerlendirilmesinde önem arz etmektedir.

Balıklarda CRP benzeri bileşenler, non-spesifik savunma mekanizmasında yer almakta ve bakteriyel herhangi bir enfeksiyon neticesinde kandaki seviyelerini hızlı bir şekilde arttırmaktadır (Kodama ve ark., 1999; Gisladottir ve ark., 2009; Winkelhake ve ark., 1982). Hepatositlerdeki uya-



rıya bağlı olarak stresin uyarımının ilk saatlerinde (6-10 saat) kanda yeni sentezlenen CRP görülmekte iki gün içerisinde ise pik değerlere ulaşmaktadır. Bu nedenle memelilerde olduğu gibi balıklarda da inflamasyonun duyarlı ve spesifik bir indikatörü olarak özellikle akut hastalıklarda tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra akut enflamasyon veya enfeksiyon sırasında balıklarda konsantrasyonu 100 kattan fazla artan SAA'nın iki formu teşhis edilmiş patojen aktiviteyi nötralize ederek, doku hasarını azaltarak ve konakçının normal fizyolojik durumunu koruyarak akut enfeksiyona karşı koymada ve enflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde doğuştan gelen bağışıklıkta önemli bir role sahip olduğu bildirilmiştir (Fujiki ve ark., 2000; Wei ve ark., 2013). Bir diğer AFP'lerinden olan transferin (Tf) balıklarda pozitif olabildiği gibi negatifte olabilir. Levrek balıkları üzerinde yapılan bir çalışmada, enfekte edilen balıklarda karaciğerde Tf'nin azaldığı ancak beyinde konak savunmasında rol oynadığı düşünüldüğü için arttığı bildirilmiştir (Neves ve ark., 2009). Caipang ve ark. (2010) ise *Aeromonas salmonicida* ve *Vibrio anguillarum* ile enfekte ettikleri balıklarda 3 saat sonra Tf seviyelerinin önemli derecede arttığını ancak 24 saat sonra enfeksiyon öncesi seviyelere tekrar gerilediğini rapor etmişlerdir. Balıklarda, seruloplazmin molekülü ile ilgili çalışmalar, memelilerde bildirilen kapsamlı çalışmalara kıyasla çok sınırlıdır. Seruloplazmin geni, buz balıklarında karakterize edilmiştir ve artan seruloplazmin ekspresyon seviyelerinin, hemogloblin eksikliği olan balıklarda demir (demirli demir, Fe<sup>2+</sup>) birikimini önlemek için düzenleyici bir mekanizma görevi gördüğü gözlemlenmiştir (Scudiero ve ark., 2007).

Balıklar ile ilgili akut faz çalışmalarında stresin çeşitliliği, süresi, uygulanma şekli vb. birçok faktörün akut faz yanıtını etkilediğini göstermektedir (Küçükgül, 2008; Küçükgül ve Cengizler, 200; Pincus ve Abraham, 2001). Nil tilapiaları üzerinde yapılan bir çalışmada, *Streptococcus agalactiae* ve *A. hydrophila* ile enfekte edilen nil tilapiası RNA ekstraksiyonu ve cDNA sentezini izleyen moleküler çalışmada, bir CRP protein homoloğu (On-CRP) geni tanımlandı. Bu gen %30 ile memeli, %50 den fazla diğer balık türleriyle benzer olarak bulundu. Ayrıca, on-CRP'nin rekombinant proteininin monositlerin/makrofajların fagositik aktivitesini geliştirdiği ve kalsiyuma bağlı bir şekilde bakteriyel bir aglütinasyon aktivitesine sahip olduğu gösterildi. *İn vivo* ve *in vitro* deneyleri gösterdi ki CRP enflamasyonu desteklemekte ve kompleman yolunu aktive edebilmektedir. Bununla birlikte, CRP ile birkaç bağışıklık yolu arasında doğrudan bir ilişki doğrulanmasa da mevcut verilerin CRP'nin balıkları bakteriyel enfeksiyona karşı nasıl koruduğuna dair mekanizmayı daha fazla araştırmak için teorik bir temel oluşturduğu bu çalışmayla raporlandı (Li ve ark., 2022). Küçükgül ve Cengizler (2013) tarafından yapılan çalışmada, *S. iniae* ile enfekte edilen balıkların enfeksiyonun 7, 14 ve 21. günlerinde kaudal venadan alına

kan örnekleri incelenmiş; C-reaktif protein (CRP), fibrinojen (Fb), serum amiloid A (SAA) ve transferrin (Tf) değerlerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ölçülen akut faz proteinlerinden yalnızca fibrinojen seviyelerinde düşüşler saptanmıştır. Bayne ve Gerwick (2001) ise, memeliler, kemikli balıklar ve kıkırdaklı balıklarda tanımlanan AFP'leri; CRP, serum amiloid P ve komplement sistemin çeşitli komponentleri olarak bildirmiştir. Bununla birlikte, kemikli balıklarda diğer akut faz proteinlerinin transferin ve trombin olduğu rapor etmiştir. Bunlardan yalnızca CRP'nin akut faz protein miktarlarında artışa neden olduğunu göstermişlerdir. Bu araştırmacıların sonuçları, memelilerde olduğu gibi balıklarda da AFP'nin primer kaynağının hepatositler olduğu yönündedir.

## 5. SONUÇ

Birçok bakteriyel patojenler fırsatçı olup çevrede veya bazı balıklarda asemptomatik taşıyıcılar olarak bulunmakta ve dolayısıyla yetiştiricilik işletmeleri için büyük tehlike oluşturmaktadır. Özellikle stresli koşullar, patojenik bakterilerin yayılmasını hızlandırmakta ve büyük hastalık salgınlarına neden olabilmektedir.

İnfeksiyöz ve non-infeksiyöz hastalıklarda doku hasarı yâda akut stresin göstergesi olarak kullanılan AFP'leri karaciğer tarafından sentezlenen çeşitli interlekin (IL-1, IL-6 vb.) ve sitokinlerin (TNF- $\alpha$  vb.) etkisiyle kan dolaşımına salınan proteinler olup yapılan çalışmalarda da rutin izlenen parametreler olarak bildirilmiştir. Ayrıca birçok merkezde pratik ve düşük maliyet içermesi bakımından da tercih edilmektedir. AFP'leri proteolitik enzimlerin etkisizleştirilmesi, enfeksiyöz ajanların dağılımının önlenmesi, hasarlı dokunun restorasyonu gibi savunma ile ilgili durumlarda ayrıca, bakteriyel ve viral enfeksiyonlarda erken tanı ve prognozun izlenmesi açısından önem arz etmektedir. AFP'lerinin seviyelerinde ki değişimler enfeksiyon ve yaralanma sırasında inflamasyonun varlığını ve yoğunluğunu yansıtır. Bu durum memelilerde olduğu gibi balıklarda da aynı etkiyi göstermekte yalnız düzeylerindeki değişimler (artma-azalma eğilimi) daha az olmaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde sık rastlanan bakteriyel balık hastalıklarında akut faz proteinlerinin önemi ile ilgili çalışmaların sayısı azdır. Bu nedenle balıklarda farklı akut faz proteinlerinin tanısal önemine ilişkin daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir ve viral, bakteriyel ve parazitik hastalıklar durumunda APP seviyelerini ayırt etmek için daha fazla çaba gerekmektedir.

## Kaynaklar

- Acuña, L.G., Barros M.J., Montt F., Peñaloza D., Núñez P., Valdés I., Gil F., Fuentes J.A., Calderón I.L. (2021). Participation of Two SRNA RyhB Homologs from the Fish Pathogen *Yersinia ruckeri* in Bacterial Physiology. *Microbiol. Res.*, 242:126629.
- Alexander, J.B., Ingram, G.A. (1992). Noncellular nonspecific defense mechanisms of fish. *Annual Review of Fish Disease* 2: 249–279.
- Arda, M., Seçer, S., Sarıeyüpoğlu, M. (2002). Balık Hastalıkları, Medisan, Ankara, pp. 51- 57.
- Arslan, M., Fert, A. (2013). Normal konakta ateş ve nedeni bilinmeyen ateşli hastaya klinik yaklaşım, 14-18s. Kurt, H., Gündeş, S., Geyik, M.F. (Eds.) *Enfeksiyon Hastalıkları*. Nobel Tıp Kitapevi, İstanbul
- Baba, E., (2017). Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Bitkisel İmmunostimulant Kullanımı. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3): 249-256.
- Batirel, A., Gencer, S., Özer, S., Salepci, T. (1982). Predictive values of serum amyloid-A and CRP for infection in febrile neutropenic cancer patients. *Journal of Microbiology and Infectious Diseases*. 2014; 4 (4): 128-135.
- Baumann, H., Gauldie, J., (1990). Regulation of acute phase plasma protein genes by hepatocyte stimulating factors and other mediators of inflammation. *Mol Biol Med*, 7: 147-159.
- Bayne, C.J., Gerwick, L., (2001). The acute phase response and innate immunity of fish. *Dev. Comp. Immunol*, 25: 725-743.
- Bozukluhan, K., Merhan, O., Ogun, M., Kurt, B., Cihan, M., Erkilic, E. E., Gokce, G., Aydin, U., & Ozcan, A. (2018). Investigation of haptoglobin, serum amyloid A, and some biochemical parameters in calves with omphalitis. *Veterinary World*, 11(8): 1055–105.
- Caipang, C. M. A., Lazado, C. C., Brinchmann, M. F., and Kiron, V. (2010). Infection-induced changes in expression of antibacterial and cytokine genes in the gill epithelial cells of Atlantic cod, *Gadus morhua* during incubation with bacterial pathogens. *Comp Biochem Physiol B*, 156(4): 319-325.
- Ceciliani, F., Ceron, J.J., Eckersall, P.D., (2012). Acute phase proteins in ruminants. *Journal of Proteomics*, 75: 4207-4231.
- Suffredini, A.F., Fantuzzi, G., Badolato, R., (1999). New insights into the biology of the acute phase response. *Journal of Clinical Immunology*, 19: 203-214.
- Ceron, J.J., Eckersall, P.D., Martınez-Subiela, S. (2005). Acute phase proteins in dogs and cats: current knowledge and future perspectives. *Vet Clin Pathol.*, 34: 85-99.
- Cunningham, F.L., Jack, S.W., Hardin, D. and Wills, R.W. (2012). Pond-Level risk factors associated with columnaris disease on Mississippi commercial catfish farms. *Aquatic Animal Health*, 24:178- 184.

- Çakır, N. (2013). Enfeksiyon hastalıklarında temel yaklaşımlar, 132-136s. Kurt, H., Gündeş, S., Geyik, M.F. (Eds.) Enfeksiyon Hastalıkları. Nobel Tıp Kitapevi, İstanbul
- Dietrich, M. A., Zmijewski, D., Karol, H., Hejmej, A., Bilinska, B., Jurecka, P., (2010). Isolation and characterization of transferrin from common carp (*Cyprinus carpio* L) seminal plasma. *Fish Shellfish Immunol*, 29(1): 66-74.
- Eckersall, P.D., (2000). Recent advances and future prospects for the use of acute phase proteins as markers of disease in animals. *Rev. Med. Vet Toulouse*. 151(7):577-584.
- Eckersall, P.D., Conner, J.G., 1988. Bovine and canine acute phase proteins. *Vet Res Comm*, 12:169-178.
- Eckersall, P.D. et al. 2018. Acute phase proteins in serum and milk from dairy cows with clinical mastitis. *Veterinary Record*, 148(2):35-41.
- Ellis, A.E. (2001). Innate host defence mechanism of fish against viruses and bacteria. *Developmental and Comparative Immunology* 25: 827-839.
- Fujiki, K. Shin, D-H. Nakao, M. Yano, T. (2000). Molecular cloning and expression analysis of carp (*Cyprinus carpio*) interleukin-1 $\beta$ , high affinity immunoglobulin E Fc receptor subunit and serum amyloid A. *Fish Shellfish Immunology*. 10: 229-42.
- Gabay, C., Kushner, I., (1999). Acute-phase proteins and other systemic responses to inflammation. *New England Journal of Medicine*, 340:448-54.
- Gisladottir, B., Gudmundsdottir, S., Brown, L., Jonsson, Z. O., and Magnadottir, B. (2009). Isolation of two C-reactive protein homologues from cod (*Gadus morhua* L.) serum. *Fish Shellfish Immunol*, 26(2): 210-219.
- Guyton, A.C., Hall, J.E. (1996). Text book of medical physiology. Guyton & Hall, W.B. Saunders Company, USA. 440.
- Heegaard, P. M. H., Godson, D. L., Toussaint, M. J. M., Tjørnehøj, K., Larsen, L. E., Viuff, B., & Rønsholt, L. (2000). The acute phase response of haptoglobin and serum amyloid A (SAA) in cattle undergoing experimental infection with bovine respiratory syncytial virus. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 77(1-2): 151-159.
- Hellman, N.E., Gitlin, J.D. (2002). Ceruloplasmin metabolism and function. *Annu Rev Nutr*, 22:439-58.
- Horadagoda, A., Eckersall, P.D., Hodgson, J.C., (1994). Immediate responses in serum TNF $\alpha$  and acute phase protein concentrations to infection with *Pasteurella haemolytica* A1 in calves. *Research in Veterinary Science*, 57:129-132.
- Kahyaoglu, A., (2011). Deneysel Diyabet Oluşturulan Ratlarda Bazı Akut Faz Proteinleri ve İz Elementler Arasındaki İlişkiler. Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Karatas, S., Candan, A. and Demircan, D. (2004). Enteric red mouth disease in cultured Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on the Black Seacoast of Tur-

key. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgch, 56(3): 226-231.

- Klesius, P.H., Pridgeon, J.W. and Aksoy, M. (2010). Chemotactic factors of Flavobacterium columnare to skin mucus of healthy channel catfish (*Ictalurus punctatus*). FEMS Microbiol Lett, 310:145-151.
- Kodama, H., Arimitsu, H., Mukamoto, M., Sugimoto, C., (1999). Enhancement of phagocytic and chemokinetic activities of rainbow trout head kidney cells by C-reactive protein. American Journal of Veterinary Research. 60: 240-244.
- Kushner, I., (1982): The phenomem of the acute phase response. Annal. NY. Acad. Sci., 389:39-48
- Keskin, O., Secer, S.U., Izgur, M., Turkyilmaz, S. and Mkakosya, R.S. (2004). Edwardsiella ictaluri infection in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 28 (4): 649-653.
- Kushner, I., Mackiewicz, A., (1993). The acute-phase response: an overview. In: Acute Phase Proteins Molecular Biology, Biochemistry and Clinical Applications 3 19 . CRC Press, Boca Raton, FL.
- Küçükgül, A.G., Cengizler, İ. (2012). Determination of acute phase proteins after experimental Streptococcus iniae infection in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 36: 380-387.
- Küçükgül, A., Küçükgül, A. (2017). Apoptotic effects of artificial feed supplemented with *Thymus vulgaris* on *Oncorhynchus mykiss* against *Yersinia ruckeri*. Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 46(06): 1170-1174.
- Küçükgül A.G., Kucukgul, A., Danabas, D., Ural, M., Seker, E., Aslan, A., Serdar, O. (2013). Therapeutic effects of thyme *Thymus vulgaris* Linneaus and fennel *Foeniculum vulgare* Miller essential oils in infected rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum. Digest Journal of Nanomaterials and Biosturctures, 8(3): 1069-1078.
- Küçükgül, A., Küçükgül, A., Gönenci, R., Özsoy, S.Y., Kutlu, B., Işgör, M.M. (2019). Investigation of the anti-apoptotic activity of ozone therapy in rainbow trout macrophages infected with *Yersinia ruckeri*. Aquaculture International, 27(3): 771-783.
- Li, Q., Jiang, B., Zhang, Z., Huang, Y., Xu, Z., Chen, X., Cai, J., Huang, Y., Jian, J. (2022). CRP Involved in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) against Bacterial Infection. Biology, 11(8): 1149
- Liu, H., Peatman, E., Wang, W., Abernathy, J., Liu, S., Kucuktas, H., Terhune, J., Xu, De-H., Klesius, P. and Liu, Z. (2011). Molecular responses of ceruloplasmin to Edwardsiella ictaluri infection and iron overload in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Fish and shellfish immunology, 30(3): 992-997
- Malle, E., De Beer, F.C. (1996). Human serum amyloid A (SAA) protein: a prominent acute-phase reactant for clinical practice. Eur J Clin Invest.,

26(6):427-35.

- Martínez-Subiela, S., Caldin, M., Parra, MD., Ottolini, N., Bertolini, G., Bernal, L.J., García-Martínez, J.D., Cerón, J.J., (2011). Canine C-reactive protein measurements in cerebrospinal fluid by a timeresolved immunofluorimetric assay. *J. Vet. Diagn. Invest.* 23:63-67
- Menanteau-Ledouble S., Kumar G., Saleh M., El-Matbouli M., (2016). *Aeromonas salmonicida*: Updates on an Old Acquaintance. *Dis. Aquat. Org.*, 120:49–68.
- Morley, J.J., Kushner, I. Serum c-reactive protein levels in disease. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 389 (1): 406-418.
- Munro, A.L.S. (1982). The pathogenesis of bacterial diseases of fish. In: Roberts RJ (ed) *Microbial disease of fish.* Academic Press, London, pp. 131-150.
- Murata, H., Shimada, N., Yoshioka, M., (2004). Current research on acute phase proteins in veterinary diagnosis: An overview. *Veterinary Journal*, 168:28-40.
- Nakayama, M., Suzuki, K., Toda, M., Okuba, S., Hara, Y., Shimamura, T. (1993). Inhibition of the infectivity of influenza virus by tea polyphenols. *Antivir. Res.*, 21: 289–299.
- Neves, J. V., Wilson, J. M., and Rodrigues, P. N. (2009). Transferrin and ferritin response to bacterial infection: the role of the liver and brain in fish. *Dev Comp Immunol*, 33(7): 848-857.
- Nikolaisen, N.K., Lindegaard, M., Lyhs, U., Strube, M.L., Hansen, M.S., Struve, T., Chriél, M., Jensen, L.B., Pedersen, K., (2021). First Finding of *Streptococcus phocae* Infections in Mink (*Neovisonvison*) *Res. Vet. Sci.*, 139:145–151.
- Noga, E.J. (2010). *Fish Disease: Diagnosis and Treatment, Second Edition.* Wiley-Blackwell: Ames, IA. pp. 13-48, 143-147, 375-420.
- O'Reilly, E.L., Eckersall, P.D. (2014). Acute phase proteins: a review of their function, behaviour and measurement in chickens. *Worlds Poult. Sci. J.*, 70: 27–44.
- Petersen, H.H.; Nielsen, J.P., Heegaard, P. M. (2004). Application of acute phase protein measurements in veterinary clinical chemistry. *Veterinary Research*, 35(2): 163-187.
- Pincus, M.R., Abraham, N.Z., 2001. *Interpreting laboratory results, Henry JB: Clinical, Laboratorial Diagnosis and Management by Laboratory Methods.* Saunders Co., Philadelphia, 92-107s.
- Pridgeon, J.W., Klesius, P.H. (2011). Molecular identification and virulence of three *Aeromonas hydrophila* isolates cultured from infected channel catfish during a disease outbreak in west Alabama (USA) in 2009. *Dis Aquat Org.*, 94: 249–253.
- Ramesh, D., Souissi, S. (2018). Antibiotic Resistance and Virulence Traits of

- Bacterial Pathogens from Infected Freshwater Fish, Labeorohita. *Microb. Pathog.* 116:113–119.
- Schmidt, A.S., Bruun, M.S., Dalsgaard, I., Pedersone, K., Larsen, J.L., (2000). Occurrence of antimicrobial resistance in fishpathogenic and environmental bacteria associated with four Danish rainbow trout farms. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:4908-4915
- Schultz, D.R., Arnold, P.I. (1990). Properties of four acute phase proteins: C-reactive protein, serum amyloid A protein, alpha 1-acid glycoprotein, and fibrinogen. *Semin Arthritis Rheum.*, 20(3):129–147
- Scholz, T. (1999). Life cycles of species of *Proteocephalus* Weinland, 1858 (Cestoda: Proteocephalidae), parasites of freshwater fishes in the Palearctic region: a review. *J Helminthol*, 72: 1-19
- Scudiero, R., Trinchella, F., Riggio, M., Parisi, E. (2007). Structure and expression of genes involved in transport and storage of iron in red-blooded and hemoglobinless antarctic notothenioids. *Gene*, 397:1-11.
- Steel, D.M. & Whitehead, A.S. (1994). The major acute phase reactants: C-reactive protein, serum amyloid P component and serum amyloid A protein. *Immunology Today*, 15 (2): 81–88.
- Tanrikul, T.T. (2007). Vibriosis as an epizootic disease of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) in Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 1737-1737
- Timur, G., Korun, J. and Güvener, R.P. (2003). *Lepistes* (*Poecilia reticulata*) üretim ünitesindeki anaç ve yavru balıklarda ağır mortalite ile seyreden aeromonad septisemisi üzerine bir çalışma. *Istanbul University Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 15: 1-11.
- Uhlar, C.M., Whitehead, A.S. (1999). Serum amyloid A, the major vertebrateacute-phase reactant. *Eur J Biochem*, 265:501-23.
- Yoshioka, M.; Watanabe, A.; Shimada, N.; Murata, H.; Yokomizo, Y.; Nakajima, Y. (2002). Regulation of haptoglobin secretion by recombinant bovine cytokines in primary cultured bovine hepatocytes. *Domestic Animal Endocrinology*, 23: 425-433.
- Wei, J., Guo, M., Ji, H., Qin, Q. (2013). Molecular cloning, characterization of one key molecule of teleost innate immunity from orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*): serum amyloid A. *Fish Shellfish Immunol*, 34: 296-304.
- Winkelhake, J.L. Chang, R.J. (1982). Acute phase (C-reactive)protein-like macromolecules from rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Development and Comparative Immunology*. 6: 481-489.
- Whicher, J.T., Westacott, C.I., (1992). The acute phase response. In: Whicher JT, Evans SW (eds) *Biochemistry of Inflammation*. Kluwer Academic, London, 243-271s.







# BÖLÜM 4

## AGRİVOLTAİK TARIM SİSTEMLERİNDE GÜNEŞ PANELLERİ ALTINDA SEBZE VE MEYVE YETİŞTİRİCİLİĞİ

*Ersin GÜLSOY<sup>1</sup>, Tuncay KAYA<sup>2</sup>*

---

1 Doç. Dr., Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,  
ersin.gulsoy@igdir.edu.tr. ORCID ID: 0000-0002-4217-0695

2 Dr. Öğr. Üyesi, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,  
tuncay.kaya@igdir.edu.tr. ORCID ID: 0000-0002-9126-4567

## GİRİŞ

Agrivoltaik veya güneş enerjisi çiftçiliği olarak da bilinen agrivoltaik çiftçilik, ürün yetiştirmeyi güneş enerjisi üretimi ile birleştiren yenilikçi bir tarım sistemidir. Diğer bir deyişle arazilerin hem güneş enerjisi üretimi hem de tarım için eş zamanlı olarak kullanılmasıdır (Anonim 2023a; Parkinson ve Hunt, 2020). Bu sistemde tarım ve güneş enerjisi üretimine rakip olarak değil, birbirlerinin tamamlayıcısı olarak bakılır. Bu sistem güneş enerjisinden yararlanmak için tarım arazilerine fotovoltaik (PV) paneller kurma ve aynı zamanda paneller altında ürün yetiştirilmesi esasına dayanır (Coşgun, 2021). Tarım ve yenilenebilir enerjinin bu entegrasyonunun çok sayıda faydası bulunmakta ve sürdürülebilir bir tarım uygulaması olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu sistemin diğer faydaları arasında sürdürülebilir enerji ve azaltılmış karbon ayak izi yer alır (Agostini ve ark., 2021; Anonim, 2023g; Matulić ve ark.,2023).



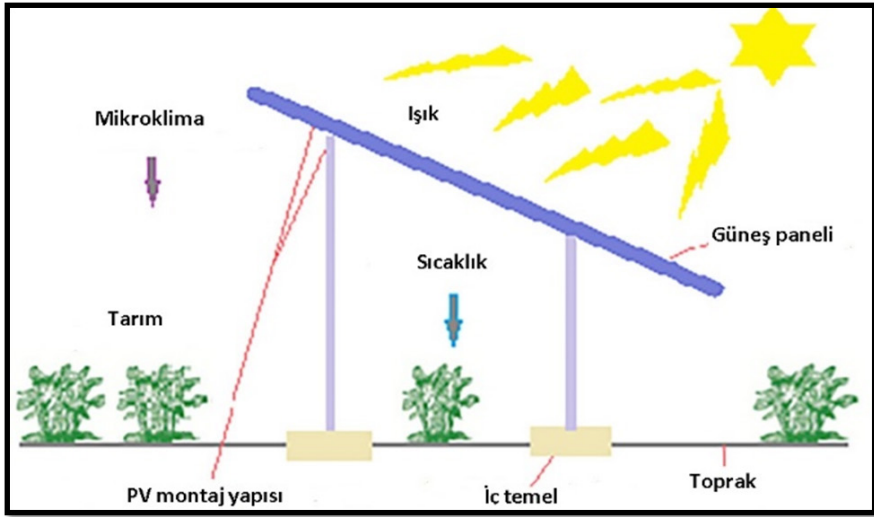
**Şekil 1.** Agrivoltaik sistem (Anonim 2023b)

Güneş panelleri altında ürün (veya doğal otlar ve çalılar) yetiştirilirken simbiyotik bir “soğutma” ilişkisi oluşur. Birlikte, her biri diğerini serin tutmaya yardımcı olur (Matulić ve ark.,2023). Bütün bitkiler büyümeleri için güneş ışığına ihtiyaç duysalar da özellikle lahana gibi serin iklim bitkilerinde aşırı güneş ışığı strese neden olabilir (Park ve ark. 2013).

Agrivoltaik kavramı, gıda güvenliği ve yenilenebilir enerji üretimi ikili sorununu ele alan bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Agrivoltaik sis-

temler hem tarım hem de güneş enerjisi üretimi için aynı araziyi kullanarak sınırlı kaynakların kullanımını optimize eder ve arazi verimliliğini en üst düzeye çıkarır (Amaducci ve ark., 2018). Geleneksel güneş çiftlikleri, tarım arazileriyle rekabet edebilecek ve gıda üretimi için zorluklar oluşturabilecek geniş araziler gerektirir. Agrivoltaik sistemler daha verimli ve sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Dinesh ve Pearce, 2016).

Agrivoltaik sistemlerde kullanılan fotovoltaik (PV) paneller, güneş ışığının ekilen ürünlere ya da dikilen çalı-yarı çalı formunda bitkilere ulaşmasını sağlamak için tipik olarak yükseltilir. Paneller, buharlaşmayı azaltmaya ve bitki büyümesi için daha uygun mikro iklim koşullarını korumaya yardımcı olabilecek gölge sağlar. Ayrıca, paneller ürünleri dolu fırtınası ve yoğun yağış gibi aşırı hava olaylarından koruyarak ürün hasarını en aza indirebilir. Azalan güneş ışığı yoğunluğu aynı zamanda su stresinin hafifletilmesine ve aşırı buharlaşmanın önlenmesine yardımcı olur, bu da su kullanım verimliliğinin artmasına yol açar (Weselek ve ark., 2019; Omer ve ark., 2022).



Şekil 2. Agrivoltaik sistem şeması (Giri ve Mohanty, 2022).

Agrivoltaik sistemlerin çeşitli çevresel avantajları bulunmaktadır. Bunlardan biri, temiz ve yenilenebilir enerji üreterek fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve sera gazı emisyonlarını azaltmasıdır. Güneş panellerinin tarım alanlarına entegrasyonu da arazi dönüştürme ihtiyacını azaltır ve biyoçeşitliliği koruyarak habitat kaybını önler (Matulić ve ark.,2023). Ayrıca, panellerin gölgeleme etkisi, toprak erozyonu ve besin sızıntısı riskini azaltabilir, uzun vadede toprak sağlığını ve verimliliğini iyileştirir (Wydra ve ark, 2023).

Ekonomik olarak, agrivoltaik tarım çiftçiler için çifte gelir imkânı sunmaktadır. Çiftçiler hem ürün satışından hem de güneş panelleri tarafından üretilen elektriğin satışından gelir elde edebilirler. Gelir kaynaklarının bu şekilde çeşitlendirilmesi, çiftçiler ve kırsal topluluklar için mali istikrarı artırır. Ayrıca, güneş panellerinin kurulumu, bakımı ve işletilmesi vasıflı işgücü gerektirdiğinden, agrivoltaik sistemler yerel istihdam yaratılmasına katkıda bulunabilir Dinesh ve Pearce (2016).

Agrivoltaik tarımın pek çok faydası bulunmasıyla birlikte bazı zorlukları da bulunmaktadır. Sistemlerin tasarımı ve kurulumu, panellerin yerleşimini ve ürün seçimini optimize etmek için dikkatli bir planlama gerektirir (Amaducci ve ark., 2018). Ürün seçimi, gölgeye dayanıklı bitkilerin azaltılmış ışık koşullarıyla uyumlu olmasını sağlamak için çok önemlidir. Bununla birlikte, yeterli hava akışına izin vermek ve ürünlere bulaşabilecek hastalıkları önlemek için paneller arasındaki mesafeyi yönetmek de çok önemlidir (Sarr ve ark., 2023).

Agrivoltaik sistemler üzerinde yapılan araştırmalar ve teknolojik gelişmeler sürekli olarak geliştirilmektedir. Bilim insanları hem enerji üretimini hem de ürün verimini en üst düzeye çıkarmak için çeşitli ürün türlerini ve panel konfigürasyonlarını araştırmaktadır. Ayrıca, enerji depolama teknolojilerindeki gelişmeler, yoğun dönemlerde üretilen fazla güneş enerjisinin depolanmasına yardımcı olabilir ve düşük güneş ışığı dönemlerinde sabit bir güç kaynağı sağlayabilir (Elamri ve ark. 2018; Sarr ve ark., 2023).

Agrivoltaik tarım, sürdürülebilir tarıma ve yenilenebilir enerji üretimine yönelik umut verici bir tarım sistemidir. Gıda güvenliği, iklim değişikliği ve enerji transferinin zorluklarını ele almak için benzersiz bir yaklaşım sunar. Agrivoltaik sistemler, güneş enerjisi üretimini ve tarımsal uygulamaları entegre ederek çiftçiler, çevre ve bir bütün olarak toplum için bir kazan-kazan çözümü ortaya koyar (Abidin ve ark., 2022).

## AGRİVOLTAİK SİSTEMLERİN AVANTAJLARI

Agrivoltaik sistemler, aynı alanı hem güneş enerjisi üretimi hem de tarımsal amaçlar için kullanarak arazinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu yaklaşım, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde arazi kıtlığı sorununun ele alınmasına yardımcı olur. Bu sistemlerde güneş panellerinin gölgeleme etkisi, sıcaklık dalgalanmalarını ve aşırı buharlaşmayı azaltan bir mikro iklim yaratılmasına yardımcı olabilir (Nonhebel, 2005). Bu, mahsul verimini artırabilir, bitkileri aşırı hava koşullarından koruyabilir ve su gereksinimlerini azaltabilir. Agrivoltaik sistemlerde yetiştiricilik yapan çiftçiler hem tarım ürünleri hem de güneş enerjisi satarak ek gelir elde edebilirler (Anonim 2023h). Gelir kaynaklarının bu şekilde çeşitlendirilmesi, çiftçiler için ekonomik istikrar ve dayanıklılık sağlayabilir. Ayrıca

agrivoltaik sistemler temiz, yenilenebilir enerji üretimine katkıda bulunarak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır (Matulić ve ark.,2023). Güneş panellerinin tarımsal faaliyetlerle entegrasyonu, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eder ve iklim değişikliğinin hafifletilmesine yardımcı olur. Bu sistemde yetiştirilen bitkiler için gölgeli bir ortam oluşturularak, topraktan su buharlaşmasını azaltabilir, bu da sulamada daha verimli su kullanımına yol açar (Omer ve ark., 2022). Bu su tasarrufu özelliği, özellikle kurak ve su sıkıntısı çeken bölgelerde faydalıdır. (Dupraz ve ark 2011; Valle ve ark. 2017; Elamri ve ark. 2018).

### **AGRİVOLTAİK SİSTEMLERİN DEZAVANTAJLARI**

Bununla birlikte agrivoltaik sistemlerin uygulanması, güneş panelleri ve ilgili altyapının kurulumu için önemli bir ilk yatırım gerektirir. Sistemi kurmanın maliyeti, özellikle mali kaynakları sınırlı olan bazı çiftçiler için bir engel olabilir. Güneş panellerinin tarımsal faaliyetlerle aynı yere yerleştirilmesi, arazi kullanımı konusunda anlaşmazlıklara yol açabilir. Bazı çiftçiler, özellikle tarım için sınırlı arazileri varsa, arazilerinin bir kısmını güneş panelleri için ayırma konusunda isteksiz olabilirler (Anonim 2023e). Güneş panellerinin varlığı, büyük makinelerin kullanımı veya mahsulleri döndürme yeteneği gibi belirli tarım uygulamalarını kısıtlayabilir. Çiftçilerin, çiftçilik tekniklerini, seçeneklerini sınırlayabilen güneş panellerinin varlığına uyum sağlayacak şekilde uyarlamaları gerekebilir. Agrivoltaik sistemler, optimum enerji üretimini sağlamak için güneş panellerinin izlenmesi ve temizlenmesi de dahil olmak üzere sürekli bakım ve işletim gerektirir. Bu bakım zaman alıcı olabilir ve ek emek ve uzmanlık gerektirebilir (Kumpanalaisatit ve ark., 2022). Agrivoltaik sistemlerde güneş panellerinin gölgeleme etkisi, ışık gereksinimlerine bağlı olarak belirli mahsul-lerin büyümesini ve gelişmesini etkileyebilir. Mahsul büyümesi üzerindeki olumsuz etkileri önlemek için kısmi gölge koşullarıyla uyumlu mahsullerin dikkatli bir şekilde seçilmesi gereklidir (Sarr ve ark., 2023).

Agrivoltaik sistemlerin avantajlarının ve dezavantajlarının konum, iklim, yetiştirilen ürünler ve mevcut kaynaklar gibi belirli şartlara bağlı olarak değişebileceği göz ardı edilmemelidir. Maliyet etkinliği hükümet politikaları ve teknolojik gelişmeler de agrivoltaik projelerin uygulanabilirliği ve başarısında önemli bir rol oynamaktadır (Neuphabe Bhandari ve ark., 2021).

### **AGROVOLTAİK SİSTEMDE PANELLER ALTINDA SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİ**

Güneş panelleri altında sebze yetiştirmek, tarım veya güneş tarımı olarak bilinen bir uygulamadır. Bu sistemde, güneş panellerinin altındaki alanların tarım amaçlı olarak kullanılması öngörülmüştür. Güneş panelleri

önemli bir arazi alanı gerektirir ve sebze yetiştirmek için altlarındaki alanı kullanarak çiftçilerin arazi kullanımını optimize edebilir ve verimliliği en üst düzeye çıkarabilir. Bu uygulama çiftçilerin bir yandan yenilenebilir enerji üretmesine, diğer yandan da gıda üretimine ve mevcut kaynaklardan verimli şekilde yararlanmasına olanak sağlar (Coşgun, 2023).

Güneş panelleri, altında yetiştirilen sebzeleri gölgeler. Bu sayede aşırı sıcaklıkların ve su buharlaşmasının azaltılmasına yardımcı olduğundan, özellikle sıcak iklimlerde veya yaz mevsiminde avantaj sağlar (Omer ve ark., 2022). Bununla birlikte, kısmen gölgeli koşullarda gelişebilen sebze çeşitlerini dikkatlice seçmek ve gölgelemenin büyüme ve gelişme üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmak önemlidir.

Güneş panellerinin sağladığı gölge, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşulları değiştiren bir mikro iklim oluşturur. Bu mikro iklim, büyüme mevsimini uzatarak ve açık alan koşullarında gelişemeyebilecek ürünlerin yetiştirilmesini sağlayarak aşırı sıcak veya dona karşı koruma sağlar (Ama-ducci ve ark., 2018). Tarımı güneş panelleriyle entegre etmek, çiftçilerin yenilenebilir enerji üretmesine ve potansiyel olarak elektrik tüketimlerini dengelemesine veya fazla enerjeyi şebekeye geri satmasına olanak tanır. Bu ikili kullanım yaklaşımı, ek bir gelir kaynağı sağlar ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunur (Nonhebel, 2005).



**Şekil 3.** Agrivoltaik güneş panelleri altında ıspanak yetiştiriciliği (Singh ve ark. 2020).

Agrivoltaik tarıma uygun sebzelerin seçimi, ışık gereksinimleri, gölge toleransları, boy ve büyüme alışkanlıkları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Agrivoltaik tarım sistemine marul, ıspanak, lahana ve pazı gibi yaprakları yenen sebze türleri uygundur. Bu türler nispeten düşük yüksekliğe sahiptirler ve kısmi gölgeyi tolere edebilirler, bu da onları güneş panelleri tarafından üretilen gölge ile uyumlu hale getirir. Yine Fesleğen, kişniş, nane ve maydanoz gibi sebze türleri değişen ışık koşullarına tolerans gösterebildikleri için agrivoltaik sistemlerde gelişebilir. Turp, havuç gibi kök ve yumrusu yenen sebzeler hızlı büyüyen kök sebzelerdir. Bu türler nispeten kısa bir büyüme periyoduna sahip, kısmi gölgeyi tolere edebilir ve agrivoltaik sistemler için uygundur (Anonim, 2023i).



**Şekil 4.** Agrivoltaik güneş panelleri altında lahana yetiştiriciliği (Anonim 2023f)

Güneş panelleri altında sebze yetiştiriminin ekonomik uygulanabilirliği, güneş paneli kurulum maliyeti, mahsul verimi, pazar talebi ve enerji fiyatları dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Uygulamanın çiftçinin özel koşulları ve hedefleriyle uyumlu olup olmadığını belirlemek için finansal yönleri ve potansiyel yatırım getirisini değerlendirmek esastır (Weselek ve ark., 2019).

Agrivoltaik tarım her geçen gün gelişmekte olan bir alandır ve güneş panelleri altında sebze yetiştirmeye ilgili faydaları, zorlukları ve en iyi uygulamaları değerlendirmek için araştırmalar devam etmektedir. Bu sistem sürdürülebilir tarım ve yenilenebilir enerji üretimine yenilikçi bir yaklaşım sunarak kaynak verimliliğini ve çevre yönetimini teşvik eder (Sarr, 2023).

## AGROVOLTAİK SİSTEMDE PANELLER ALTINDA MEYVE YETİŞTİRİCİLİĞİ

Agrivoltaik meyve yetiştiriciliği olarak da bilinen agrivoltaik altında meyve yetiştiriciliği, meyvelerin fotovoltaik (PV) paneller altında yetiştirildiği agrivoltaik sistemlerin özel bir uygulamasıdır. Bu yaklaşım, meyve üretimi için çeşitli avantajlar ve fırsatlar sunarak, onu çiftçiler için çekici bir seçenek haline getirmektedir (Weselek ve ark., 2019; Jiang ve ark. 2022)

Agrivoltaik paneller altında meyve yetiştirmenin en önemli faydalarından biri, PV panellerin sağladığı gölgelemedir. Paneller tarafından oluşturulan kısmi gölge, meyveler için özellikle zararlı olabilecek güneş yanığı ve sıcaklık stresi gibi yoğun güneş ışığının olumsuz etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olur. Agrivoltaikler, güneş ışığının yoğunluğunu azaltarak meyve ağaçları ve asmalar için daha elverişli bir mikro iklim oluşturarak meyvelerin zarar görmesini önler ve genel olarak meyve kalitesini artırır (Toil ve ark. 2021).



Şekil 5. Agrivoltaik sistemler altında armut yetiştiriciliği (Anonim 2023c)

Ayrıca, PV panellerin gölgeleme etkisi, meyve yetiştirme alanında daha kontrollü sıcaklık ve nem seviyelerine katkıda bulunur. Bu, sıcaklık dalgalanmalarına karşı hassas olan veya optimum büyüme ve meyve ge-



lişimi için özel iklim koşullarına ihtiyaç duyan meyve türleri için özellikle avantajlı olabilir. Agrivoltaikler, sıcaklığı dengeleyerek ve buharlaşma yoluyla meydana gelen nem kaybını azaltarak, daha istikrarlı yetiştirme koşullarının korunmasına ve meyve kalitesinin arttırılmasına yardımcı olur (Sarr, 2023; Matulić ve ark.,2023).



*Şekil 6. Yarı şeffaf paneller altında çilek yetiştiriciliği (Anonim 2023d).*

Gölgeleme avantajlarına ek olarak, agrivoltaikler meyveleri olumsuz hava koşullarından da korur. PV paneller, meyvelerde fiziksel hasara neden olabilecek veya bitkilerin büyümesini engelleyebilecek dolu, şiddetli yağış veya kuvvetli rüzgârlardan koruyan fiziksel bir bariyer görevi görür. Bu koruma, ürün kaybı riskini azaltır ve aşırı hava olaylarına eğilimli alanlarda meyve üretiminin genel direncini artırır (Anonim, 2023i)

Agrivoltaik sistemler, meyve yetiştiriciliği için su yönetimi avantajları da sunar. Panellerin sağladığı gölge, topraktan su buharlaşmasını azaltmaya yardımcı olur, böylece su kaynaklarını korur ve su kullanım verimliliğini artırır. Bu, özellikle su kıtlığıyla karşı karşıya olan veya meyve yetiştiriciliği için sulamanın gerekli olduğu bölgelerde çok fayda sağlar. Bununla birlikte, agrivoltaik sistemlerdeki azaltılmış ışık yoğunluğu, daha iyi su emilimi ve daha düşük terleme oranları sağlayarak meyvelerin su stresinin hafifletilmesine yardımcı olur (Elamri, 2018; Sarr, 2023).



Şekil 7. Güneş panelleri altında elma ağaçları (Anonim 2023e)

Ürün çeşitlendirmesi, agrivoltaik altında meyve yetiştiriciliğinin bir başka avantajıdır. Meyve türlerini agrivoltaik sistemlere entegre etmek, çiftçilere gelir akışlarını çeşitlendirme fırsatı sunar. Üreticiler hem meyve satışından hem de PV paneller tarafından üretilen güneş enerjisinin satışından gelir elde edebilir. Bu ekonomik çeşitlendirme, üreticilerin finansal istikrarını ve karlılığını artırabilir (Chae ve ark., 2022).

Ancak, agrivoltaik altında meyve yetiştirirken akılda tutulması gereken bazı hususlar vardır. Meyve türleri için yeterli ışık girişine izin vermek üzere paneller arasında yeterli boşluk sağlamak için uygun planlama ve tasarım çok önemlidir. Kısmi gölge koşullarına uygun meyve çeşitlerinin seçimi optimum büyüme ve verim için önemlidir. Ayrıca, meyve üretimi üzerindeki herhangi bir olumsuz etkiyi önlemek için zararlıların, hastalıkların ve yabancı otların düzenli olarak izlenmesi ve yönetimi şarttır (Amaucci ve ark., 2018; Sarr, 2023; Matulić ve ark., 2023).

Genel olarak, agrivoltaik paneller altında meyve yetiştiriciliği, sürdürülebilir enerji üretimini meyve yetiştiriciliği ile birleştirmek için umut verici bir fırsat sunmaktadır. Agrivoltaik meyve tarımı, gölgeleme, hava koşullarına karşı koruma, su yönetimi ve ürün çeşitlendirmenin faydalarından yararlanarak, daha sürdürülebilir ve dayanıklı bir tarım sistemine katkıda bulunurken altında yetiştirilen meyve türlerinin verimliliğini, kalitesini ve karlılığını artırmak için benzersiz faydalar sağlar (Giri ve Mohanty, 2022).

## YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Hassanien ve Ming (2017) çatı alanının %20'sini kaplayan fotovoltaik paneller altında yetiştiren marulların büyümesi üzerinde gölgelemenin etkisini araştırdıkları bir çalışmada agrivoltaik sistemin, marul bitkilerinin büyümesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını bununla birlikte, güneş ışınımını ve iç hava sıcaklıklarını azaltabileceği ve ayrıca çevresel kontrol sistemleri için elektrik enerjisi üretebileceğini belirtilmiştir.

Al-agele ve ark. (2021) Agrivoltaik panellerle kurulmuş bir tarlada panellerin 0.8 metre yüksekliğindeki düşük bölgesinde, 2.2 metre yükseklikte yüksek bölgesinde ve kontrol grubu olarak iki panel arasındaki güneş alan bölgede iki farklı sulama uygulaması (tam ve eksik) yaparak domates bitkisinin verimini inceledikleri bir çalışmada toplam verim en yüksek kontrol grubunun düzenli sulanan alanında kaydedilmiş (88.42 kg/sıra ve 68.13 kg/sıra), gölgeleme arttıkça tam sulanan alanlarda verim azalmıştır (53.59 kg/sıra, 32.76 kg).

Blando ve ark. (2018) yarı saydam ve saydam olmayan (%32 ve %100 oranında ) PV modüller altında yetiştirilen çilek, böğürtlen ve kırmızı ahududu meyvelerinde gölgelendirme uygulamasının bu türlerin meyvelerinin antioksidan aktivite, toplam antosiyanin, sitrik ve fumarik asit içeklerini arttırdığını, bununla birlikte şeker içeriği üzerinde olumsuz bir etkisi gösterdiğini rapor etmiştir.

Jiang ve ark. (2022) farklı PV gölge seviyelerinin kivi meyve büyümesi, verim ve su üretkenliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Sonuçlar, T1, T2 ve T3 seviyesindeki farklı gölgeleme uygulamalarının güneş radyasyonunu sırasıyla  $43.8 \pm 0.6$ ,  $50.5 \pm 0.6$  ve  $55.0 \pm 0.5$  oranında azalttığı, buna karşılık hava sıcaklığının tek tip olduğu ve bağıl nemin artan PV gölgelendirmesiyle arttığını göstermiştir. Gölgeleme uygulamaları yaprak alan indeksi ve yaprak ışığı verimini artırırken, yaprak transpirasyon oranı, fotosentetik oran ve su kullanımı verimliliği artan gölgelendirmeyle azalmıştır.

Ahn ve ark. (2022) Güneş panelleri altında yetiştirilen üzümler ile açıkta yetiştirilen üzümlerin büyüme özellikleri ve bazı meyve özelliklerini kıyasladıkları bir çalışmada sürgün uzunluğu, meyve ağırlığı, salkım ağırlığı, toplam ŞÇKM miktarı ve asitlik bakımından her iki yetiştiricilik arasında bir fark gözlemlenmiş, bununla birlikte paneller altında yetiştirilen üzüm omcalarının da hasat 7-10 gün arasında gecikmiştir.

Juillion ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada 2019-2022 yılları arasında 10 yaşındaki Golden Delicious elma çeşidinde fotovoltaik panel altında gün boyunca %4 ile % 8 arasında değişen gölge altında büyü-tülen ağaçların su ihtiyaçları ile morfo-fizyolojik özelliklerinin incelendiği

bir çalışmada gölgelemenin daha az stresli bir ortam sağlayarak ağaçların su ihtiyacını azalttığını, ağaçların spesifik yaprak alanını arttırdığını ve gölgede yetiştirilen meyvelerde daha yüksek su içeriği nedeniyle meyve boyutu üzerinde düşük etkisinin olduğunu göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- Abidin, M. A. Z., Mahyuddin, M. N., & Zainuri, M. A. A. M. (2022, February). Agrivoltaic Systems: An Innovative Approach to Combine Agricultural Production and Solar Photovoltaic System. In Proceedings of the 11th International Conference on Robotics, Vision, Signal Processing and Power Applications: Enhancing Research and Innovation through the Fourth Industrial Revolution (pp. 779-785). Singapore: Springer Singapore.
- Agostini, A., Colauzzi, M., & Amaducci, S. (2021). Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281, 116102.
- Ahn, S. Y., Lee, D. B., Lee, H. I., Le Myint, Z., Min, S. Y., Kim, B. M., ... & Yun, H. K. (2022). Grapevine Growth and Berry Development under the Agrivoltaic Solar Panels in the Vineyards. *Journal of Bio-Environment Control*, 31(4), 356-365.
- AL-agele, H. A., Proctor, K., Murthy, G., & Higgins, C. (2021). A case study of tomato (*Solanum lycopersicon* var. legend) production and water productivity in agrivoltaic systems. *Sustainability*, 13(5), 2850.
- Amaducci, S., Yin, X., & Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied energy*, 220, 545-561.
- Anonim, 2023a [https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northeast/topic/agrivoltaics-coming-soon-farm-near-you#:~:text=Agrivoltaics% 20is% 20the% 20 use%20of,in%20and% 20around% 20solar%20panels](https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northeast/topic/agrivoltaics-coming-soon-farm-near-you#:~:text=Agrivoltaics%20is%20the%20use%20of,in%20and%20around%20solar%20panels).
- Anonim 2023b <https://nsci.ca/2019/12/05/agrivoltaics-what-is-it-and-how-does-it-work/>
- Anonim 2023c <https://www.pv-magazine.com/2020/10/02/agrivoltaics-for-pear-orchards/>
- Anonim 2023 d <https://www.freshplaza.com/europe/article/9529161/agrivoltaics-is-an-asset-for-fruit-growers-in-times-of-drought/>
- Anonim 2023e <https://biooekonomie.de/en/news/apple-trees-under-solar-panels>
- Anonim, 2023f. <https://www.ecowatch.com/agrivoltaics.html>
- Anonim, 2023g. [https:// knowhow.distrelec.com/ energy-and-power/how-agrivoltaic-farming-promotes-renewable-agriculture/](https://knowhow.distrelec.com/energy-and-power/how-agrivoltaic-farming-promotes-renewable-agriculture/)
- Anonim 2023h. <https://ornatesolar.com/blog/understanding-agrivoltaics-where-agriculture-meets-solar-power>
- Anonim 2023i. <https://www.agvolts.com/post/the-best-plants-for-agrivoltaics>
- Anonim, 2023i) <https://www.pv-magazine.com/2021/09/14/agrivoltaics-to-protect-crops-from-heavy-rainfall/>
- Blando, F., Gerardi, C., Renna, M., Castellano, S., & Serio, F. (2018) Characterisation of bioactive compounds in berries from plants grown under innovative photovoltaic greenhouses. *J Berry Res* 8:55–69

- Chae, S. H., Kim, H. J., Moon, H. W., Kim, Y. H., & Ku, K. M. (2022). Agrivoltaic systems enhance farmers' profits through broccoli visual quality and electricity production without dramatic changes in yield, antioxidant capacity, and glucosinolates. *Agronomy*, 12(6), 1415.
- Coşgun, A. E. (2021). The potential of Agrivoltaic systems in TURKEY. *Energy Reports*, 7, 105-111.
- Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). "The potential of agrivoltaic systems" (PDF). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54: 299–308. doi:10.1016/j.rser.2015.10.024. S2CID 109953748
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable energy*, 36(10), 2725-2732.
- Elamri, Y., Cheviron, B., Mange, A., Dejean, C., Liron, F., & Belaud, G. (2018). Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), 1285-1298.
- Giri, N. C., & Mohanty, R. C. (2022). Agrivoltaic system: Experimental analysis for enhancing land productivity and revenue of farmers. *Energy for Sustainable Development*, 70, 54-61.
- Hassanien RHE, Ming L (2017) Influences of greenhouse-integrated semi-transparent photovoltaics on microclimate and lettuce growth. *Int J Agric Biol Eng* 10:11–22.
- Jiang, S., Tang, D., Zhao, L., Liang, C., Cui, N., Gong, D., ... & Peng, Y. (2022). Effects of different photovoltaic shading levels on kiwifruit growth, yield and water productivity under "agrivoltaic" system in Southwest China. *Agricultural Water Management*, 269, 107675.
- Juillion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., & Vercambre, G. (2022). Shading apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. *Scientia Horticulturae*, 306, 111434.
- Kumpanalaisatit, M., Setthapun, W., Sintuya, H., Pattiya, A., & Jansri, S. N. (2022). Current status of agrivoltaic systems and their benefits to energy, food, environment, economy, and society. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 952-963.
- Matulić, D., Andabaka, Ž., Radman, S., Fruk, G., Leto, J., Rošin, J., ... & Karoglan, M. (2023). Agrivoltaics and Aquavoltaics: Potential of Solar Energy Use in Agriculture and Freshwater Aquaculture in Croatia. *Agriculture*, 13(7), 1447.
- Neupane Bhandari, S., Schlüter, S., Kuckshinrichs, W., Schlör, H., Adamou, R., & Bhandari, R. (2021). Economic feasibility of agrivoltaic systems in food-energy nexus context: Modelling and a case study in Niger. *Agronomy*, 11(10), 1906.

- Nonhebel, S. (2005) Renewable energy and food supply: will there be enough land? *Renew Sust Energy Rev* 9:191–201
- Omer, A. A. A., Liu, W., Li, M., Zheng, J., Zhang, F., Zhang, X., ... & Ingenhoff, J. (2022). Water evaporation reduction by the agrivoltaic systems development. *Solar Energy*, 247, 13-23.
- Park, H. J., Jung, W. Y., Lee, S. S., Song, J. H., Kwon, S. Y., Kim, H., ... & Cho, H. S. (2013). Use of heat stress responsive gene expression levels for early selection of heat tolerant cabbage (*Brassica oleracea* L.). *International journal of molecular sciences*, 14(6), 11871-11894.
- Parkinson, S., & Hunt, J. (2020) Economic potential for rainfed agrivoltaics in groundwater-stressed regions. *Environ Sci Technol Lett* 7:525–531
- Sarr, A., Soro, Y. M., Tossa, A. K., & Diop, L. (2023). Agrivoltaic, a Synergistic Co-Location of Agricultural and Energy Production in Perpetual Mutation: A Comprehensive Review. *Processes*, 11(3), 948.
- Singh, A. K., Poonia, S., Santra, P., & Jain, D. (2020). Ensuring energy and food security through solar energy utilization. *Contemporary Environmental Issues and Challenges in Era of Climate Change*, 199-218
- Touil, S., Richa, A., Fizir, M., & Bingwa, B. (2021). Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production: A mini review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20(2), 281-296.
- Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., ... & Christophe, A. (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied energy*, 206, 1495-1507.
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-20.
- Wydra, K., Vollmer, V., Busch, C., & Prichta, S. (2023). Agrivoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature.







## BÖLÜM 5

### CALENDULA OFFİCİNALİS,MYRTUS COMMUNİS, SATUREJA THYMBRA BİTKİLERİNİN ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİĞİ<sup>1</sup>

*Ali BOZKAYA<sup>2</sup>, Pınar ERECEVİT SÖNMEZ<sup>3</sup>,  
Azime KÜÇÜKGÜL<sup>4</sup>*

1 Tez Adı: Murt, kekik ve aynısefa bitki esansiyel yağlarının antibakteriyel etkinliği Yazar:ALİ BOZKAYA

Danışman: Prof. Dr. Azime KÜÇÜKGÜL ; DR. ÖĞR. ÜYESİ Pınar ERECEVİT SÖNMEZ

Yer Bilgisi: Munzur Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Su Ürünleri Ana Bilim Dalı / Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bilim Dalı

Konu:Su Ürünleri = Aquatic Products

2 Yüksek Lisans Öğr.,Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Tunceli, Türkiye, <https://orcid.org/0009-0003-6293-6912>

3 Dr. Öğr. Üyesi, Munzur Üniversitesi, Pertek Sakine Genç MYO, Gıda İşleme Bölümü, Tunceli, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-2389-0694>

4 Prof. Dr.,Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Tunceli, Türkiye,<https://orcid.org/0000-0002-0515-6667>

## 1. GİRİŞ

İnfeksiyöz(bakteri, virüs, parazit, mantar) kaynaklı hastalıklar tüm dünyada ve tüm canlılarda olduğu gibi yetiştiricilik ünitelerinde en sık görülen nedenler olup sağlığa yönelik ciddi tehdit oluştururlar. Viral enfeksiyonlar taşıyıcı olma kapasitesi asemptomatik durumda dahi bulaşıcı özellikte olması yönüyle en tehlikeli etkenler arasındadır. Bakteri etkenli hastalıklar ise birçok stres durumunda tehlike oluşturup ciddi enfeksiyonlara neden olabilmekte ve yüksek mortaliteler gösterebilmektedir (Kum ve ark., 2004)

Hastalık olgularının ortadan kaldırılması her sektör için önemli bir durumdur. Bu nedenle uzun yıllardır tedavide antibiyotik uygulamaları kurtarıcı rol üstlenmiştir. Antibiyotikler, patojenleri öldüren veya büyümesini engelleyen bir grup organik veya kimyasal bileşik olarak bilinmektedir (Lulijwa ve ark., 2020). En sık kullanılan antibiyotikler ise enrofloksasin, oksitetrasiklin, amoksisilin ve sülfadiazin olarak kayıtlara geçmiştir (Rico ve ark., 2014). Ancak son yıllarda antibakteriyel direnç oluşumu tedavisel ve çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir (Okmen ve ark., 2012). Özellikle bakteriyel hastalıkların sağaltımında dirençli mikroorganizmalar gelişmiş birçok ülke için (Kanada, Norveç, ABD gibi) kullanımı sınırlandırılmış ve zamanla azalması sağlanmıştır.

Dünyada son zamanlarda tıbbi veya aromatik bitki ve ürünlerine olan ilgi gün be gün artmaktadır. Terapötik olarak faydalanılan aynı zamanda ilaçların hammaddesi olarak kullanılan bu bitkiler su ürünleri sektörüne dâhil bilim insanları ve yetiştiriciler tarafından antibiyotiklere alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye iklim özellikleri, toprak yapısı ile birçok bitkinin yetişmesine olanak sağlamakta özellikle aromatik bitki çeşitliliği ile dış ticarete önemli payı olan ülkeler arasındadır. Özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerden üretilmiş ekstraktlar, uçucu yağlar, sabit yağlar, bitki öz suları anti-bakteriyel, anti-viral, anti-mikrobiyal, anti-paraziter, anti-alerjik vb. etkiler sağlamaktadır. Bu bağlamda tıbbi özelliği ile dikkat çeken Asteraceae (Papatyagiller) familyası dünyada 1700 cins ve 25000 türle çiçekli bitkilerin en büyük familyası olarak bilinmektedir (Barroso, 1986). Bu familyaya dâhil *Calendula L.* cinsine ait *Calendula officinalis L.* (Aynısafa) özellikle antiseptik özelliği ile çok eski yıllardan bu güne kullanılmış ve etkinliği birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Kurtuluş, 2015). Bir diğer değerli bitki olan *Myrtus communis L.* ise Türkiye’de genellikle Mersin adıyla bilinmekte olup Akdeniz sahillerinde murt, adi mersin olarak anılmaktadır (Aydın ve Özcan, 2007). Meyvesi ve yaprakları aromatik özellik taşımakta ve bol miktarda tanen içermekte, ayrıca dezenfektan ve antiseptik olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır (Baytop, 1999). Ekonomik öneme sahip

uçucu yağların en önemli kaynaklarından biri olarak kabul edilen Lamiaceae familyasından *Satureja* cinsine ait *Saturejathymbra* L. (Halilibrahim zahteri); antibakteriyel, analjezik, anti-fungal, anti-oksidan, anti-diyabet, anti-HIV, anti-enflamatuar, anti-proliferatif, anti-viral, , anti-koagülan vb. birçok aktiviteye sahiptir (Kirkan ve ark., 2019; Babajafari, 2015).

Bu çalışmada, güçlü antimikrobiyal aktivite gösteren *C.officinalis* L., *M. communis* L., *S. thymbra* L. bitkilerinin enfeksiyöz hastalıklara öncülük eden bazı patojenler üzerindeki etkileri literatür çalışmaları ile değerlendirilmiştir.

## 2. İNFEKSİYÖZ ETKENLER

Hastalıkların canlıda oluşabilmesi birçok iç ve dış etkene bağlıdır. Organlardaki dejeratif bölge ve tümörler, metabolik endokrin bozuklukları iç etkenler olarak bilinmekte; bakteri, parazit, virüs, mantar gibi hastalık yapıcı etkenler ile fiziksel-kimyasal çarpma-vurma, zehirlenme, diyet yetersizlikleri gibi hazırlayıcı faktörler dış etkenler olarak rol oynamaktadır. İnsan ve hayvanlarda patojenik karaktere sahip etkenler enfeksiyonlara yol açmaktadır (Balta, 2016).

Enfeksiyon hastalıkları canlılık var olduğundan beri ciddi tehdit oluşturmuş yüksek oranlarda morbidite ve mortalitelere neden olmuştur. Mikroorganizmanın canlı vücuduna girmesiyle meydana gelen enflamatuar reaksiyon sonucu görülen klinik tablo enfeksiyon hastalığı olarak bilinmektedir. Enfeksiyon etkeni, virülensi, dozu, konak duyarlılığı vb. birçok faktör enfeksiyonun oluşumunda önemlidir. Enfeksiyonlar vücutta belli organlarını tutabileceği gibi yaygın olara dagelişebilirler. Enfeksiyonların çoğunluğu akut olarak gelişir ve bazı enfeksiyonların klinik seyri ve tedavi süreci uzundur.

İnsanlarda olduğu gibi insanların beslenmesinde ve sağlığının korunmasında gerekli olan balıklarda da hastalık yapıcı birçok unsur bulunmakta özellikle çevre-konak-parazit üçlü dengesinin bozulduğu durumlarda hastalıklar ortaya çıkmaktadır.

Balıkleri kıymetli bir besin maddesi olup insan tüketimi için son derece önemli bir protein kaynağıdır. Bu nedenle su ürünleri, ülke için önemli sektörlerden birisi olmalıdır. Bu bağlamda ülkemizde su ürünleri yetiştiriciliği ortalama olarak yıl bazında %8 artışla gün be gün büyüme göstermektedir (TUİK, 2015).

Tüm bu gelişmelerde süreci olumsuz etkileyen hastalık problemleri sektör için kısıtlayıcı bir rol oynamaktadır. Balığın içerisinde yaşadığı sucul ortamındaki kirlilik, populasyon yoğunluğu, uygun olmayan su kalite parametreleri gibi her türlü faktör hastalık yapıcı özellikte olup işletmede

balık ölümleri, balık büyüme performansında gerilemeler, kar-zarar dengesinin bozulması ile ekonomik kayıpların ortaya çıkmasında etkili olmaktadır (Arda ve ark., 2005).

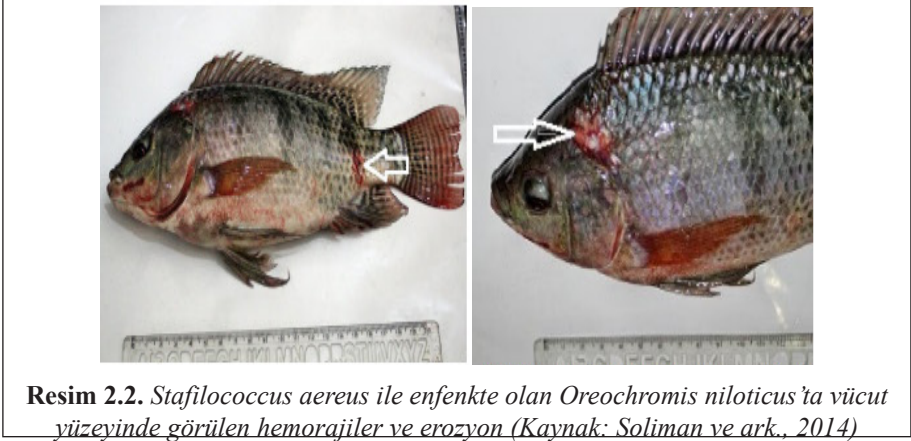
Balıklarda viral enfeksiyonlardan sonra en sık rastlanan bakteriyel hastalıklardır. Patojenik karakterleri araştırılan bu etkenlerin virulans yetenekleri, balığın cinsi, yaşı, beslenme durumu ve çevre şartlarına bağlı olarak değişik tarzda hastalık tabloları sergileyebilmektedirler (Evelyn, 1996).

## 2.1. Staphylococcus aureus

Enfeksiyöz hastalıklara öncülük eden, doğada çok yaygın olarak bulunan Micrococcaceae familyasına ait olan bakteriler insan ve hayvanlar için patojen olabilmektedir. Özellikle *Staphylococcus aureus* gram pozitif ve fakültatif anaerobik olup yumuşak deri enfeksiyonlarına sebep olabilmekte toksine bağlı olarak ise daha derin enfeksiyonlar oluşturabilmektedir (Gümral, 2009) (Resim 2.1). Bu enfeksiyöz ajan balıklarda daha nadir hastalığa sebep olup, spontan ve kronik seyir izlemektedir. Daha çok alabalıkları etkilese de diğer türlerde de hastalıklara sebep olabilmektedir (Arda ve ark., 2005). En belirgin semptom deri yüzeyinde bulunan lezyon, iç organlarda büyüme (özellikle dalakta) ve yangısal reaksiyonlardır (Resim 2.2.).



**Resim 2.1.** *Staphylococcus aureus* ile enfekte insanda deri ve yumuşak doku enfeksiyonları (Kaynak: Tong ve ark., 2015)



**Resim 2.2.** *Stafilococcus aereus* ile enfekte olan *Oreochromis niloticus*'ta vücut yüzeyinde görülen hemorajiler ve erozyon (Kaynak: Soliman ve ark., 2014)

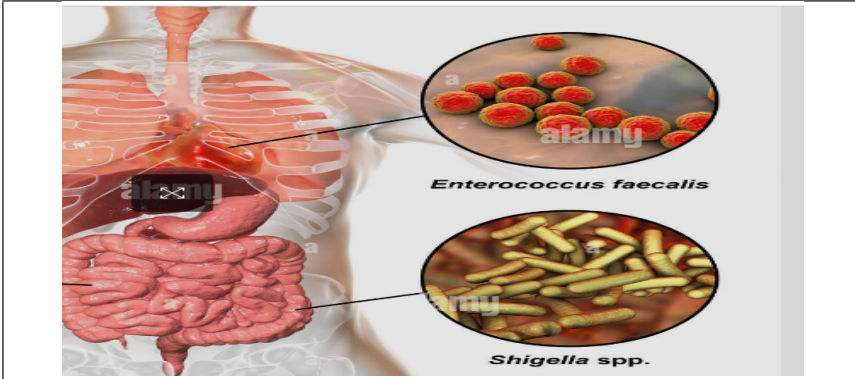
## 2.2. Enterococcus faecalis

Birçok hayvanda ve insanda bulunabilen Enterokokların konak dağılımı geniştir. Ayrıca yüzey ve lağım suları, toprak, akarsu gibi birçok cansız yerlerden de izole edilmiştir (Pinto ve ark., 1999).

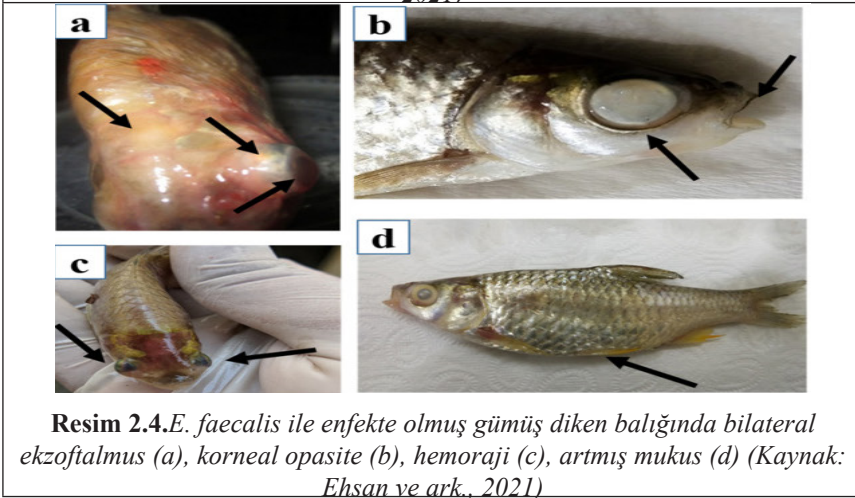
Uzun yıllar Streptococcus cinsi içinde kabul edilen Enterokoklar, kimyasal ve fiziksel ajanlara dirençli olmaları ile Enterococcus cinsine dâhil edilmiş, *E. faecalis* ve *E. faecium* türleri önemli patojenler olarak bildirilmiştir. Düşük virulanslı mikroorganizmalar olan Enterokoklar özellikle hastane kaynaklı enfeksiyonlara neden olmaktadır. Enterokoklar antibiyotik dirençliliği en yüksek olan mikroorganizmalardan birisidir. Bu nedenle tedavileri için kullanılan birçok antibiyotik (ampisilin, sefalosporin, vankomisin vb.) etkisiz kalabilmekte ve oluşan enfeksiyonlarda ciddi olup ölüm oranları saptanabilmektedir (Malathum ve Murray, 1999).

Tedavilerinde geniş spektrumlu antibiyotiklerin aşırı kullanıldığı durumlarda immün zorluklu hastalarda sıkıntı oluşturan bu etkenler üriner sistem, yara enfeksiyonları, bakteriyemi gibi tablolar oluşturabilmektedir (Resim 2.3) (Başustaoglu ve Aydoğan, 2002). Balıklarda da antibakteriyel direnç mekanizması geliştirmesi ile enterokokkal enfeksiyonlar son yıllarda tehlike oluşturmakta özellikle tek taraflı ekzoftalmus ve ciddi hemorajiler gibi hastalık tablolarına neden olmaktadır (Resim 2.4.) (Ehsan ve ark., 2021).

Enterobacteriaceae familyası içinde yer alan *Klepsiella pneumoniae* ise gram negatif bir basildir. Fırsatçı bir patojen olarak ortaya çıkan bu etken bakteriyemi, çeşitli organlarda abse oluşumu gibi enfeksiyonlara sebep olabilmektedir (Töreci, 2002)



**Resim 2.3.** *E. faecalis* enfeksiyonu ile kalpteki endokardit (Kaynak: URL-1, 2021)



**Resim 2.4.** *E. faecalis* ile enfekte olmuş gümüş diken balığında bilateral ekzoftalmus (a), korneal opasite (b), hemoraji (c), artmış mukus (d) (Kaynak: Ehsan ve ark., 2021)

### 2.3. *Pseudomonas aeruginosa*

*Pseudomonas* cinsi, klinik ve çevresel açılarından dikkate alınması gereken pek çok tür içeren, büyük ve kompleks bir gram negatif bakteri grubudur (Holt, 1994). *P. aeruginosa* nemli ortamlarda kolay üreyebilmekte özellikle kanser, kemik iliği gibi hastalarda ciddi sorunlar yaratabilmektedir (Şener, 2009) (Resim 2.5). Balıkların vücut yüzeyinde normal olarak bulunabilen *Pseudomonas* türleri apatojenik olabildiği gibi patojen özellik gösteren türleride bulunmaktadır. Özellikle *P. anguilliseptica*, *P. chlororaphis*, *P. fluorescens*, *P. aeruginosa* vb. türler spontan enfeksiyonlara yol açabilmektedir (Algammal ve ark., 2020) Birçok balık türünü etkileyebilmekte hemorajik septisemi ile seyretmektedir (Resim 2.6). Olumsuz çevresel faktörler hastalığın çıkış ve yayılışında etkili olup hazırlayıcı faktörlerdendir.



**Resim 2.5.***P. aeruginosa ile enfekte olmuş insanda hemoraji ve doku lezyonu (Kaynak: Morand ve Morand, 2017)*



**Resim 2.6.***P. aeruginosa ile enfekte gökkuşuğu alabalığında görülen hemorajiler (Algammal ve ark., 2020)*

### 3. ANTİBAKTERİYEL BİTKİLER

Enfeksiyon hastalıkları insanlık tarihi kadar eski olup, etkeni olan mikroorganizmalar üzerinde uzun yıllardır çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle antibiyotiklerin keşfi ile insan sağlığı geliştirilmiş daha sonraki zamanlarda ise hayvanlar tedavi edilmiştir (Goldman, 2004). Ancak geniş spektrumlu antibiyotiklerin zamanla dirençli suşlarının ortaya çıkması etkinliğini azaltmış, bunun yanında bilinçsiz kullanımıyla da kalıntı oluşturması vb. nedenlerle de yarardan çok zarara sebep olmuştur. Dolayısıyla tüm dünyada antibiyotiklere dirençli enfeksiyon etkenleri ortaya çıkmaya başlamıştır (Udwadia ve ark., 2012). Bu durum karşısında konu uzmanları tarafından çözüm arayışına gidilmiş ve yeni alternatifler geliştirilmeye başlanmıştır.

En umut verici olan ise fitokimyasallar olup özellikle bitkilerden elde edilen yağlı aromatik sıvılar uçucu yağlar olarak tanımlanmakta ve güçlü antibakteriyel aktivite göstermektedir (Guenther ve ark., 1948; Küçükgül A.G. ve ark., 2014). Bu nedenle doğal kaynakların belirlenmesi ve antibiyotiklerle ilişkisinin araştırılması gelecekteki çalışmalara yön vermesi açısından oldukça önemlidir.

Dünyada son zamanlarda tıbbi ve aromatik bitkiler ve ürünlerine olan ilgi gün be gün artmaktadır. Terapötik olarak faydalanılan aynı zamanda ilaçların hammaddesi olarak kullanılan bitkiler tıbbi bitki; kendine has aroma ihtiva eden bitkiler ise aromatik bitki olarak anılmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin kendilerine has aroma, tat ve koku özelliği göstermeleri nedeniyle bu iki terim çoğu zaman birlikte kullanılmaktadır (Volkan, 2014).

Dünyada yıl bazında ortalama 100 milyar dolarlık tıbbi ve aromatik bitki ticareti yapılmaktadır (Acıbuca ve Budak, 2018) ve gelecekte de bu bitkilere ve ürünlere olan talebin artacağı beklenmektedir. Türkiye de ise tıbbi, gıda ve kozmetik gibi kullanım amaçları göz önünde bulundurulduğunda ekonomik öneme sahip yaklaşık 500 türün ticaretinin yapıldığı bildirilmiştir. Bu türlerin birçoğu doğadan toplanarak ve kültürü yapılarak temin edilmektedir (Temel ve ark. 2018).

Türkiye iklim koşulları, toprak yapısı vb. özellikleri ile çok çeşitli ve yaygın bitki kültürüne sahip olup birçok familyaya ait geniş bir tür ve cins dağılımı göstermektedir (Urhan ve ark.,2016). Birçok aromatik bitki ve baharat, insan sağlığı üzerindeki çok yönlü yararlı etkileriyle tanınmaktadır. Özellikle tıbbi bitkilerin kök, kök-sap, yumru, gövde veya odunsu yapı, kabuk, yaprak, çiçek, meyve veya tohumlarından elde edilen etken maddelerin kullanım amacına göre değerlendirildiği bilinmektedir(Altınterim ve Aksu, 2019a, b; Küçükgül A.G. ve ark., 2014).

### 3.1. *Calendula officinalis* L. (Aynısafa)

Son zamanlarda, önemli sayıda çalışma, uçucu yağların ve aromatik bitkilerin antibakteriyel aktivitesine odaklanmıştır(Küçükgül A.G. ve ark., 2013a, b). Bu bağlamda çiçekli bitkilerin en büyük familyası olarak dikkat çeken Asteraceae (Papatyagiller) familyası önemli bir süs bitkisi ayrıca tıbbi bitki olma yönüyle de değerlidir (Adedeji ve ark., 2008). Bu familyaya dâhil *Calendula* cinsi ise Akdeniz havzasının tek ve/veya çok yıllık bitkilerini kapsamakta olup Türkiye’de *C. arvensis* L. (Portakal nergisi), *C.suffruticosa*Vahl. (Öküzgözü) ve *C.officinalis* L. (Aynısafa) olmak üzere üç türü bulunmaktadır (Nordenstam, 2007).

*C.officinalis* aynısafa, aynısafa, tıbbi nergis, altıncık gibi isimlerle anılmaktadır (Treben, 1980; Güner ve ark., 2012). Anavatanı Akdeniz ülkeleri olarak binmekle beraber özellikle Avrupa, Batı Aysa ve Amerika’dır (Kurtuluş, 2015). Çok uzun yıllardan bu yana (Antik Mısır ve Antik Yunan) tıbbi amaçlı kullanılmış olan bu bitki günümüzde de çeşitli rahatsızlıklarda (baş ağrısı, karaciğer tıkanıkları, açık yaralar, sarılık vb.) deva olarak kullanılmaktadır (Treben, 1980).

*C. officinalis*’in boy uzunluğu genelde kısa olup 20-40 cm kadar olan



tek yıllık köklü bir bitkidir (Resim 3.1). Gövdesi otsu ve mızrak şeklinde açık yeşil yapraklara sahip olan aynısefa bitkisinin çiçeklenme zamanı sonbaharın sonlarıdır. Çiçekler iki halkalı olup iç halka tüp şeklinde, sarı-turuncu renk göstermektedir (Kurtuluş, 2015). Çiçeklerin taç yaprakları drog olarak kullanılmaktadır. İklim istekleri yönünden ise soğuğa dayanıklı olup ışık alan ve güneşli ortamları ve kumlu-killi toprakları seven bir bitki olması ile Türkiye'nin bazı bölgelerinde yetişmektedir(Kurtuluş, 2015).



**Resim 3.1.** Aynısefa bitkisi –*Calendulaofficinalis* (URL-2, 2021)

Kullanım alanları arasında başta süs bitkisi, daha sonra ise, gıda renklendiricisi, boya malzemesi (özellikle saç ve kumaş) olarak öne çıkmaktadır. İlaç endüstrisinde çiçeklerinden elde edilen parlak turuncu karotenoit pigment ile boyar madde olarak kullanım payı olan aynısefa tıbbi olarak önemli bir bitkidir (Başer, 2009).

*C. officinalis* farmakolojik özellikleri değerlendirildiğinde XIII. yüzyıldan bu yana kullanıldığı bilinmektedir. Antiseptik özelliği ile savaşlarda dahi açık yaraların tedavisinde uygulanmıştır. Günümüzde ise kullanım alanları epey yaygın olup anti-inflamatuvar, anti-bakteriyel, anti-mikrobiyal, anti-paraziter, anti-viral, anti-kanser ve anti-alerjik vb. etkileri birçok araştırmacı tarafından *in vivo* ve *in vitro* olarak deneysel amaçlı çalışılmış ve etkin olduğu bildirilmiştir (Kurtuluş, 2015). Yapılan bir çalışmada *C. officinalis* ile elde edilen bitki çayının kolit, duodenal ülser ve gastroduodenit semptomlarını iyileştirebileceği bildirilmiştir (Chakurski ve ark., 1981). Efstratiou ve ark. (2012) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise *C. officinalis* yapraklarının metanol ve etanol ekstraktlarının klinik patojenlere (*P. aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *E. coli*, *S. aureus*, *K. aerogenes*, *E. faecalis* ve *Klebsiella* ve *Staphylococcus sp.*, *Candida albicans* ve *C. parapsilosis*'e karşı iyi bir inhibisyon gösterdiğini ifade etmişlerdir. Chakraborty (2008), bakterilere karşı etanol, kloroform, su ve petroleterekstraktlarının *C. officinalis*'in en düşük Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MIC) değerlerini araştırdığı bir çalışmada, *C. officinalis* yaprak ekstraktlarının hem gram

pozitif hem de gram negatif organizmalara karşı önemli ölçüde etkin olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmayı benzer birçok çalışma literatürde mevcuttur (Rigane ve ark., 2013).

*C. officinalis*'in yüksek antimikrobiyal etkileri, antimikrobiyal kimyasal bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda aynısefa bitkisinin etkinliğinin saptanmasında öncelikli olarak uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesi önemlidir. Gazim ve ark. (2007), *C. officinalis* uçucu yağında %22,53  $\delta$ -kadinen, %20,40  $\alpha$ -kadinol, %12,87 epi- $\alpha$ -murolol saptamışlardır. Garcia-Risco ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, *C. officinalis* uçucu yağlarında ana bileşikler  $\alpha$ -cadinene (%23.36),  $\beta$ -cadinene (%21.23) ve  $\alpha$ -cadinol (17.96) olarak bildirilmiştir. Gaz kromatografisi-kütle spektrofotometrisi (GC-MS) tekniği kullanarak elde ettikleri *C. officinalis*'e ait uçucu yağın bileşenlerinin değerlendirildiği bir diğer çalışmada, araştırmacılar çiçek kısmından ana bileşenler olarak  $\tau$ -muurolol (%9.1),  $\tau$ -cadinol (%4.0), trikozan (%4.1),  $\gamma$ -himachalen (%4.2) ve  $\alpha$ -pinen (%3.8); yaprak kısmından ise  $\delta$ -cadinene (%11,8),  $\tau$ -muurolol (%8,5),  $\gamma$ -himachalen (%5,3),  $\tau$  cadinol (%4,5) ve fitol (%4,5) test etmişlerdir (Ak ve ark., 2021). Yapılan çalışmalar göstermiştir ki antimikrobiyal etkinlik sağlayan ana bileşenler  $\alpha$ -kadinol ve  $\delta$ -kadinendir (Chalchat ve ark., 1991).

### 3.2. *Myrtus communis* L.(Murt)

Tıbbi ve aromatik özellikte değerli bitkilerden biri olan *Myrtus communis* L. Akdeniz bölgesine endemik bir şifalı bitki olup uçucu yağ bakımından oldukça zengindir. Halk arasında mersin, murt, hambeles adlarıyla tanınmaktadır (Oğur, 1994; Aydın ve Özcan, 2007). Murt (Mersin) bitkisinin yaprakları hoş kokulu olup parfüm ve kozmetik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Clark, 1996). Bitkinin kendisi ise nahoş ve acı tadından dolayı tütsü olarak tercih edilmektedir (Gortzi ve ark. 2008).

Myrtaceae (Mersingiller) familyasından gelen *M. communis*, yaklaşık 145 cins ve 5500'den fazla türe sahiptir (Snow ve ark., 2011). Her daim yapraklı, genelde kısa boylu ender 1-3m civarında, yaprakları küçük ve derin çatlaklı kabuğu olan çalı yâda küçük ağaç olarak anılan bir bitkidir (Oğur, 1994; Satyavati, 1987). Türkiye'nin tüm kıyı bölgelerinde küme formunda olabilen murt bitkisi, meyveleri oldukça küçük (bezelye büyüklüğüne) ve sert tohum ihtiva etmektedir (Resim 3.2) (Satyavati, 1987).



**Resim 3.2.** *Myrtuscommunis* L. (URL-3, 2021)

Farmakolojik olarak değerlendirildiğinde mersin tıbbi yolla sıklıkla infüzyon ve kaynatma olarak; halk ekimliğinde ise hipoglisemi, öksürük, mide krampları, iştahsızlık, kabızlık tedavisinde oral kullanım ile tüketilmektedir (Serce ve ark. 2010). Meyvesi antiemetik, antiinflamatuvar, antidiabetik, analjezik özelliklere sahip olup (Trease ve Evans, 2006; Gortzi ve ark. 2008) kaynatılarak yâda harici uygulanarak antiseptik olarak da tercih edilmekte ayrıca ishal ve dizanteri dâhil olmak üzere birçok bulaşıcı hastalık türünün tedavisinde kullanılmaktadır. Çiçekleri ise genel olarak salatalarda kullanılmaktadır. Yaprakları zengin tanen içeriği ile antiseptik ve dezenfektan olarak tercih edilmekteyken; kök kısmı antibakteriyel etkiler göstermektedir (Trease ve Evans, 2006).

*M. communis* uçucu yağının kimyasal kompozisyonu birçok yazar tarafından çalışılmış ve içeriğinde yer alan bileşenler hekzanol, tricyclene,  $\alpha$ -thujene,  $\beta$ - pinen, sabinen,  $\alpha$ -pinene, mirisen,  $\alpha$ -terpin, p-cymene, limonen, 1,8-sineol, linalool E-oxide, terpinolene, linalool, terpinene-4-ol, borneol, p-cymene-8-ol,  $\alpha$ - terpineol, myrtenol, nerol, cis-carveol, geraniol, linalylacetate, bornylacetate, eugenol, myrtenylacetate,  $\alpha$ -terpinil asetat, methylögenol,  $\beta$ -karyofillen,  $\alpha$ -humulen, karyofillen oksit, kamfen, y-terpinen, cislinalool oksit, trans-linalool oksit ve tridekan olarak bildirilmiştir (Messouadve ark., 2012; Kafkas ve ark., 2012). Ayrıca bu bileşenler terpenler, terpenoidler, fenilpropanoidler olmak üzere daha sonra ise hidrokarbonlar ve oksijenli bileşiklerde dâhil edilerek 5 grup altında birleştirilmiştir (Shibamoto et al. 2010). Özellikle *M. communis*'in yaprak, çiçek, meyve vb. bölümlerinin hidrodistilasyonile damıtımı sonucu elde edilen uçucu yağlar terpen ve terpen alkolleri bakımından oldukça zengindir (Giacomo, 1983).

Mersin uçucu yağ bileşenlerinde antibakteriyel etkinlikten majör bileşenlerin sorumlu olduğu birçok çalışma ile ortaya konmuştur. Bu konu-

ya odaklanan çalışmalardan biri Randrianarivelo ve ark. (2009) ait olup araştırmacılar bu çalışmayla mersin uçucu yağ bileşenlerinde baskın olarak 1,8-sineole, linalol ve  $\alpha$ -terpineol gibi oksijenli terpenlerin güçlü antibakteriyel etki olduğunu bildirmişlerdir. Diğer çalışmalarda ise *M. communis* meyve içeriğinde yer alan fenolik bileşenler ve flavanoidlerin antioksidan kapasiteye (Hayder ve ark., 2004), tohum ve kök kısmındaki palmitik, linolenik, linoleik, oleik asitin ise antibakteriyel kapasiteye sahip olduğu raporlanmıştır. Çoğu terpenoidin antimikrobiyal aktivitesi fonksiyonel gruplarıyla bağlantılı olup ve fenolikterpenoidlerin hidroksil grubunun ve delokalize elektronların varlığının antimikrobiyal aktivite için önemli olduğu gösterilmiştir.

*M. communis*'in antimikrobiyel etkinliğinin baz alındığı çalışmalarda ise Mansouri ve ark. (2001) bazı gram negatif (*Proteus vulgaris*, *P. aeruginosa*, *E. coli*) ve pozitif bakteriler (*S. pneumoniae*, *L. monocytogenes*, *S. pyogenes*, *S. aureus*, *S. agalactiae* ve *Micrococcus luteus*) üzerinde metanolekstresini kullanmışlar gram (+) bakterilerin tamamında negatif olanlardan ise *C. jejuni* hariç hepsinde etkinliğin pozitif olduğu bildirilmiştir. MİK değerlerin ise *S. aureus* ve *M. luteus* için 0.025 mg/ml ve *E. coli* ve *P. aeruginosa* için 0.1 mg/ml ile en yüksek aktivite seviyesini gösterdiği raporlanmıştır. Bir diğer araştırmada, *M. communis* uçucu yağının *S. aureus*, *C. albicans* ve *E. coli*'ye karşı güçlü bir antibakteriyel etki gösterdiği rapor edilmiştir (Yadegarinia ve ark., 2006).

### 3.3. *Satureja thymbra* L. (Halilibrahim zahteri)

Birçok çalışmaya konu olan tıbbi ve aromatik bitki adı altında anılan özellikle tedavi edici özelliğiyle dikkat çeken bir diğer önemli familya olan Ballıbabagiller olarak bilinen Lamiaceae familyası zengin içeriği ile üzerinde en fazla çalışılan 250 civarında cins ile 7000'i aşkın tür ile öncül konumdadır. Ülkemizde ise 565 tür ve 735 taksona sahip olduğu bilinmekte daha çok Anadolu, Akdeniz havzası ve Güneybatı Asya Bölgeleri'nde bulunmaktadır (Alan ve Ocak, 2009). Bu familya üyeleri odunsu çalı yada alt çalı tarzında tek veya çok yıllık bitkilerdir (Perez-Gonzales ve ark., 2019). Dünyada en fazla kullanım alanına sahip ve ticareti yapılan Lamiaceae familyası, değerli uçucu yağları ile farmakoloji, eczacılık, parfümeri vb. birçok alanda ayrıca baharat ve gıda katkı maddesi olarakta değerlendirilmektedir (Alan ve Ocak, 2009; Çinbilgel ve Kurt, 2019).

Lamiaceae familyası içerisinde yer alan *Satureja* cinsine ait türler başta Akdeniz ülkeleri olmak üzere Avrupa, Libya, Fas, Türkiye, İran gibi birçok ülkede yayılım göstermektedir (Dirmenci ve ark., 2019). Ülkemizde bu cinse ait 5 türün endemik olduğu bilinmekte ve 16 takson ile temsil edilmektedir. Sivri yada taş kekik olarak halk arasında bilinen bu taksonlar önemli miktarlarda karvakrol ve timol içermektedir ki bu etken madde-

ler tıbbi ve aromatik özelliklerinin temel yapısı olarak kabul edilmektedir (Dirmenci ve ark., 2019; Paşa ve ark., 2019).

Satureja cinsine ait türler farklı şekillerde değerlendirilmeleri ile birçok alanda kullanım sahası bulmuştur. Özellikle *S. thymbra*, *S. cuneifolia*, *S. wiedemanniana*, *S. spicigera*, *S. hortensis* ve *S. cilicica* gibi türlerin yapraklarının kurutulması ile baharat ile baharat ve bitkisel çay olarak kullanılmaları ile ticari öneme sahiptir (Babajafari ve ark., 2015). Bunun yanında, uçucu yağ elderleri ile antibakteriyel (Azaz ve ark., 2002) ve antioksidan (Serrano ve ark., 2011) olarak kullanımları yaygındır.

Halilibrahim zahteri olarak bilinen *S. thymbra* L. dik, çok dallı, aromatik bir çalı olup çiçekleri leylak yada mor renkli olup 30-50 cm yüksekliğindedir. Orman kıyısı, çimenlik alanlarda yetişmektedir. Güneşi seven bu bitki toprağın sıcak olduğu bölgeleri tercih etmektedir. (Resim3.3) (Mouterde, 1983).



**Resim 3.3.** *Satureja thymbra* - Halilibrahim zahteri (URL-4, 2021).

Tıbbi önemi için uzun yıllardır kullanılan *S. thymbra* mide bulantısı, hazımsızlık, kramplar, kas ağrıları, ishal ve enfeksiyon hastalıkları gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde gaz giderici, antiromatizmal, antispazmodik ve antibakteriyel etkileri nedeniyle baharat olarak ve geleneksel tıpta bitki çayı olarak kullanılır (Dirmenci ve ark., 2019). Akdeniz bölgesindeki farklı coğrafi kökenlerden (Yunanistan, Girit, vb.) *S. thymbra*'nın uçucu yağ (EO'lar) bileşimine ilişkin birkaç rapor, bu türün aynı zamanda karvakrol veya timol veya her ikisinin karışımı açısından zengin olduğunu belirtmektedir (Paşa ve ark., 2019)

*S. thymbra* uçucu yağının ana bileşenlerinin araştırıldığı bir çalışmada majör bileşenler olarak  $\gamma$ -terpinen (%34,06), karvakrol (%23,07) ve timol (%18,82) bildirilmiştir (El Beyrouthy ve ark., 2013). Bir diğer çalışma-

da *S. tymbra* 'dan temin edilen uçucu yağda ana bileşen olarak karvakrol (%48.5) raporlanmış ancak timol bileşeni gözlenmemiştir (Glamoclija ve ark., 2006). Görmez (2012) yaptığı çalışmasında Türkiye'nin Ege ve Akdeniz bölgelerinden topladığı üç kekik türü (*Thymbra spicata*, *Origanum onites*, *S. tymbra*) üzerinde antimikrobiyal etkilerini incelemiş ve karvakrol bileşenininin fazla *S. tymbra* %52,38 olarak bildirmiştir.

Biyoaktif moleküllerindeki çeşitlilik ile antioksidan (Formisano ve ark., 2014), antimikrobiyal (Waller ve ark., 2017) vb. birçok etki gösteren Lamiaceae familyası üyeleri üzerinde farmakolojik birçok çalışma yapılmış özellikle Saturejaceae ailesine ait türler üzerinde durulmuştur. Boruğa ve ark. (2014) bu türler üzerinde antimikrobiyal bir çalışma yapmış ve güçlü antimikrobiyal özelliklerin gelecekte farmasötik ve gıda endüstrisindeki uygulamalarla yeni bir doğal antiseptik kaynağı olarak temsil edebileceği bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada, 3 farklı kekik türünden 7 uçucu yağın *in vitro* antimikrobiyal etkinliğinin ön taraması 10 patojene karşı incelenmiş ve farklı oranlarda antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir (Maria ve ark., 2008). Iturriaga ve ark. (2012), çeşitli doğal ekstraktların *P. fluorescens* ve *A. hydrophila/caviae*'ye karşı antimikrobiyal aktivitesini test etmiş ve *P. fluorescens*'in en dirençli suş olduğunu bildirmiştir. Fas'tan Lamiaceae familyasının aromatik bir üyesi olan çiçekli kekikten (*T. vulgaris*) elde edilen uçucu yağ yağın Pantoasp, *Escherichia coli* gibi gram negatif bakterilere karşı yüksek antibakteriyel özelliğe sahip olduğu, *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis* gibi gram pozitif patojenik bakterilerin büyümelerine karşı düşük bir antibakteriyel özelliğe sahip olduğu yapılan bir araştırmada ortaya çıkmıştır (Imelouane ve ark., 2009).

#### 4.SONUÇ

Yapılan çalışmalarda söz konusu bitkilere ait özellikle uçucu yağların antimikrobiyal aktivitesi kimyasal bileşimindeki küçük bileşenlerin sinerjistik etkisi ile oluşmaktadır (Mourey ve Canillac, 2002). Uçucu yağ bileşikleri arasındaki etkileşim kayıtsız, ilave, antagonistik veya sinerjistik olmak üzere dört olası türde etki üretebilir. Ana bileşenler olarak cin-namaldehit, sitral, öjenol, karvakrol veya timol gibi aldehitler veya fenoller içeren uçucu yağların en yüksek antibakteriyel aktiviteyi gösterdiği, ardından terpenalkol içeren uçucu yağların geldiği bildirilmiştir (Cavanagh ve Wilkinson, 2005).

Aynısıfa, murt, halilibrahim kekik bitkilerinin güçlü antibakteriyel etkiler gösterdiği çalışmalarla desteklenmiştir. Ayrıca, bitkisel kaynaklı ürünlerin kalıntı sorununun olmayışı ve mikrobisid ve mikrobiyostatik etki göstermeleri dirençli bakterilerin sebep olduğu hastalıkları iyileştirme niteliği taşıdığını kanıtlar niteliktedir.

## **TEŞEKKÜR**

Bu derleme, Munzur Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde hazırlanan “Murt, Kekik ve Aynısefa Bitki Esansiyel Yağlarının Antibakteriyel Etkinliği” başlıklı Yüksek Lisans Tezinden hazırlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Acıbuca, V., Budak, D. B. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin yeri ve önemi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(1), 37-44.
- Adedeji, O., Jewoola, O.A.(2008). Importance of Leaf Epidermal Characters in the Asteraceae Family. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 36, 7-16.
- Alan, S., Ocak, A.(2009). Türkiye Calamintha Miller (Lamiaceae) Cinsi Üzerine Taksonomik ve Morfolojik Bir Çalışma. *Biological Diversity and Conservation*, ISSN 1308-8084, 2(2), 125-143.
- Algammal, A. M., Mabrok, M., Sivaramasamy, E., Youssef, F. M., Atwa, M. H., El-Kholy, A. W., Hozzein, W. N.(2020). Emerging MDR-Pseudomonas aeruginosa in fish commonly harbor oprL and toxA virulence genes and blaTEM, blaCTX-M, and tetA antibiotic-resistance genes. *Scientific reports*, 10(1), 1-12.
- Altınterim, B., Aksu, Ö. 2019a. Masere sarımsak (*Allium sativum* Limne) ve Tunceli sarımsağı (*Allium tuncelianum* Kollman) yağlarının yoğun stoklanmış gökkuşağı alabalıklarının (*Oncorhynchus mykiss* W.) bazı kan parametrelerine ve NBT (Nitroblue Tetrazolium) seviyelerine etkileri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2): 716-723.
- Altınterim, B., Aksu, Ö. 2019b. Effect of macerated tomato (*lycopersicon esculentum*) and carrot (*daucus carota*) oils on hematological parameters of rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) at high stocking density. *Int. J. Pure Appl. Sci.*, 5(2):85-90. Arda, M., Seçer, S., Sarıeyüpoğlu, M., 2005. Balık Hastalıkları, II. Baskı, Medisan Yayın Serisi 61, Ankara
- Aydın, C., Özcan, M.M.(2007). Determination of nutritional and physical properties of myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits growing wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 79, 453-458.
- Azaz, D., Demirci, F., Satol, F., Kürkçüoğlu, F. and Başer K. H. C.,(2002). Antimicrobial activity of some Satureja essential oils,*Zeitschrift fur Naturforschung*, 57, 817-821.
- Babajafari, S., Nikaein, F., Mazloomi, S. M., Zibaenejad, M. J., Zargaran, A.(2015). A review of the benefits of Satureja species on metabolic syndrome and their possible mechanisms of action. *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*, 20(3), 212-223.
- Balta, F.(2016). Phenotypic, serotypic and genetic characterization and antimicrobial susceptibility determination of *Vibrio anguillarum*, isolated from cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) in the southeast Black Sea, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(10), 4393-4400.
- Barroso, G. M. (1986). *Sistemática de Angiospermas doBrasil*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.



- Başustaoğlu, A., Aydoğan, H., 2002. Enterokoklar. (Ed.) “Uzun Ö.” *İnfeksiyon Hastalıkları Serisi. Bilimsel Tıp Yayınevi. Ankara*, 5(2), 45-60.
- Baytop, T.(1999). Türkiye’de bitkiler ile tedavi geçmişte ve bugün. Nobel Tıp Kitapevleri Ltd. Şti., 2. Baskı. İstanbul, 480 s.
- Chakraborty, G. S.(2008). Antimicrobial Activity of the Leaf Extracts of *Calendula officinalis* (Linn.). *Journal of Herbal Medicine and Toxicology*, 2 (2), 65-66.
- Chalchat J.C., Garry R.Ph., Michet. A.(1991). Chemical composition of essential oil of *Calendula officinalis* L. (*Pot Marigold*). *Flav. Frag.J.*, 6, 189-192.
- Clark, A. M., 1996. Natural Products as a Resource for New Drugs. *Pharma. Res.* 13: 1133–1144.
- Çinbilgel, İ., Kurt, Y.(2019). A research on species diversity and ethno botanical utilization of lamiaceae family in Southern Turkey. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 90-107.
- Dirmenci, T., Yıldız, B., Öztekin, M. (2019). A new record for the flora of Turkey: *Satureja metastasiantha* Rech.f. (Lamiaceae). *Bağbahçe Bilim Dergisi*, 6, 54-58.
- Efstratiou, E., Hussain, A.I., Nigam, P.S., Moore, J. E., Ayub, M. A., Rao, J. R.(2012). Antimicrobial activity of *Calendula officinalis* petal extracts against fungi, as well as Gram-negative and Gram-positive clinical pathogens. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 18 (3), 173-176.
- Ehsan, R., Alam, M., Akter, T., Paul, S. I., Foyzal, M. J., Gupta, D. R., Rahman, M. M.(2021). *Enterococcus faecalis* involved in streptococcosis like infection in silver barb (*Barbonymus gonionotus*). *Aquaculture Reports*, 21, 100868.
- El Beyrouthy, M., Arnold, N., Delelis, A., Dupont, F.(2008). Plants used as remedies antirheumatic and antineuralgic in the traditional medicine of Lebanon. *Journal of Ethnopharmacology*, 120(3), 315-334.
- Evelyn, T.P.T.(1996). Infection and disease, The Fish Immune System: Organism, Pathogen, and Environment, Iwama, G. and Nakanishi, T. (eds.). Academic Press. USA., ss. 339-366.
- Formisano, C., Oliviero, F., Rigano, D., Saab, A. M. and Senatore, F. (2014). Chemical composition of essential oils and in vitro antioxidant properties of extracts and essential oils of *Calamintha organifolia* and *Micromeria myrtifolia*, two Lamiaceae from the Lebanon flora. *Industrial Crops and Products*, 62, 405-411.
- Gazim, Z. C., Ferreira, G. A., Rezende, C. M., Nakamura, C. V., Dias Filho, B. P., Cortez, D.A.G.(2007). Identificação dos constituintes químicos da fração volátil da *Calendula officinalis* produzida no Paraná. *Horticultura Brasileira*, 25, 118-121.
- Giacomo, M.(1983). Gas chromatographic-mass spectrometric investigation of the volatile components of myrtle berries (*Myrtus communis* L.), *J Chro-*

*matogr*;26(4), 304-311.

- Glamoclija, J., Sokovic, M., Vukojevic, J., Milenkovic, I., & Van Griensven, L.J.L.D.(2006). Chemical composition and antifungal activities of essential oils of *Satureja thymbra* L. and *Salvia pomifera* ssp. *calycina* (Sm.) Hayek. *Journal of Essential Oil Research: JEOR*, 18(1), 115.
- Goldman, E.(2004). Antibiotic abuse in animal agriculture: Exacerbating drug resistance in human pathogens. *Human Ecol Risk Assess*, 10,121-134.
- Gortzi, O., S. Lalas, I. Chinou, J. Tsaknis.(2008). Reevaluation of Bioactivity and Antioxidant Activity of *Myrtus communis* Extract before and after Encapsulation in Liposomes. *European Food Research and Technology*, 226, 583–590.
- Görmez, Ö.(2012). *Saproleğnia Türlerine Karşı Bazı Tıbbi Bitkilerin Esansiyel Yağlarının Antifungal Aktivites*. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta Türkiye
- Guenther, E., Althausen, D.(1948). The essential oils. New York: Van Nostrand, 81 ss.
- Gümrall, R. 2009. *Staphylococcus, Micrococcus ve diğer katalaz pozitif koklar*, s: 390-411. Başustaoglu A (Çeviri ed.), *Klinik Mikrobiyoloji* (Murray PR, et al. *Manual of Clinical Microbiology*). Atlas Kitapçılık, Ankara.
- Güner, A., Rosmarinus, L.(2012). In: Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M and Babaç MT. *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Dizisi. 2012; ss. 574.
- Kafkas, E., Güney, M., Sadighazadi, S., Yıldırım, H., Kefayati, S.(2012). Volatile compounds of selected white and black myrtle (*Myrtus communis* L.) types from mediterranean region of turkey”, *Journal of Medicinal Plants Research*, 6 (49), 5881-5885.
- Kirkan, B., Sarikurkcu, C., Amarowicz, R.(2019). Composition, and antioxidant and enzyme-inhibition activities, of essential oils from *Satureja thymbra* and *Thymbra spicata* var. *spicata*. *Flavour and fragrance journal*, 34(6), 436-442.
- Kum, C., Gökbulut, C., Akar, F., Kırkan, S., Sekkin, S. (2004). Gökkusağı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) *enterococcus seriolicida* izolasyonu ve etkili antibakteriyal sağaltım seçeneğinin belirlenmesi. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 75(3), 47-53.
- Kurtuluş, B.(2015). Tıbbi bir bitki olan *Calendula officinalis* L.“ nin İn Vitro koşullarda klonal çoğaltımı üzerine araştırmalar. *Dumlupınar Üniversitesi: Yayınlanmamış yüksek lisans tezi*.
- Hayder, N., Abdelwahed, A., Kilani, S., Ben Ammar, R., Mahmoud, A., Ghedira, K., Chekir-Ghedira, L.(2004). Anti-genotoxic and free-radical scavenging activities of extracts from (Tunisian) *Myrtus communis*. *Mutation Research*, 564, 89–95.

- Holt J.G.(1994). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (9th edn), Williams and Wilkins, Baltimore, MA
- Imelouane, B., Amhamdi, H., Wathelet, J.P., M. Ankit, M., Khedid, K., Elbachiri, A.(2009). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of Thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(2), 205-208.
- Iturriaga, L., Olabarrieta, I., de Marañón, I. M.(2012). Antimicrobial assays of natural extracts and their inhibitory effect against *Listeria innocua* and fish spoilage bacteria, after incorporation into biopolymer edible films. *International journal of food microbiology*, 158(1), 58-64.
- Küçükgül, A.G., Erecevit, P., Yüce, E., Arslan, A., Bağcı, E., Kırbağ, S. Antimicrobial Activity of the Methanol Extracts and Essential Oil with the Composition of Endemic *Origanum acutidens* (Lamiaceae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2: 353-358.
- Küçükgül A.G., Danabas, D., Ural, M., Şeker, E., Arslan, A., Serdar, O. Effect of mixed use of thyme and fennel oils on biochemical properties and electrolytes in rainbow trout as a response to *Yersinia ruckeri* infection. *Acta Vet. Brno*, 82: 297-302.
- Küçükgül A.G., Küçükgül, A., Danabas, D., Ural, M., Şeker, E., Arslan, A., Serdar, O. Therapeutic effects of thyme (*Thymus vulgaris* Linneaus) and fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) essential oils in infected rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (walbaum). *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 8(3):1069-1078.
- Lulijwa, R., Rupia, E. J., Alfaro, A. C.(2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 640-663
- Malathum, K., Murray, B.E. (1999). Vancomycin-resistant enterococci: recent advances in genetics, epidemiology and therapeutic options. *Drug Resist Updates*, 2, 224-243.
- Mansouri, S., Foroumadi, A., Ghaneie, T., Najar, A. G.(2001). Antibacterial activity of the crude extracts and fractionated constituents of *Myrtus communis*. *Pharmaceutical biology*, 39(5), 399-401.
- Messaoud, C., Laabidi, A., Boussaid, M.(2012). *Myrtus communis* L. infusions: the effect of infusion time on phytochemical composition, antioxidant, and antimicrobial activities. *Journal of food science*, 77(9), C941-C947.
- Morand, A., Morand, J.J. (2017). *Pseudomonas aeruginosa* en dermatologie. In *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie* (Vol. 144, No. 11, ss. 666-675. Elsevier Masson.
- Mouterde, P.(1983). *Nouvelle flore du Liban et de la Syrie*. Liban.
- Nordenstam, B.(2007). Tribe Senecioneae Cass. İçide (Ed.) Kubitzki, J., *The Families and Genera of Vascular Plants*. Vol. 8. Flowering Plants. Eudicots,

- Asterales. (Eds.) Kadereit, J., Jeffrey, C. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Oğur, R.(1994). Mersin bitkisi (Myrtus Communis L.) hakkında bir inceleme. G.A.T.A. Tıp Fakültesi, *Ankara, Çevre Dergisi*, 10, 21-25
- Okmen, G., Uğur, A., Sarac, N., Arslan, T.(2012). In vivo and in vitro antibacterial activities of some essential oils of lamiaceae species on *Aeromonas salmonicida* isolates from cultured rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(15).
- Paşa, C., Kılıç, T., Selvi, S. ve Özer Sağır, Z., 2019, *Saturejacuneifolia* Ten. (Lamiaceae) türünün farklı kurutma yöntemleri uygulanarak uçucu yağ oranlarının ve uçucu yağ bileşenlerinin tespit edilmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (4), 2330-2335.
- Pinto, B., Pierotti, R., Canale, G., Reali, D. (1999). Characterization of faecal streptococci as indicators of faecal pollution and distribution in the environment. *Lett Appl Microbiol*, 29, 258–263.
- Randrianarivelo, R., Sarter, S., Odoux, E., Brat, P., Lebrun, M., Romestand, B., Danthu, P.(2009). Composition and antimicrobial activity of essential oils of *Cinnamosma fragrans*. *Food Chemistry*, 114(2), 680-684.
- Rico, A., Oliveira, R., McDonough, S., Matser, A., Khatikarn, J., Satapornvanit, K., ... Van den Brink, P. J.(2014). Use, fate and ecological risks of antibiotics applied in tilapia cage farming in Thailand. *Environmental Pollution*, 191, 8-16.
- Rigane, G., Boukhris, M., Bouaaziz, M., Sayadi, S., Salem, R. B. (2013). Analytical evaluation of two monovarietal virgin olive oils cultivated in the south of Tunisia: Jemri-Bouchouka and Chemlali-Tataouin cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(5), 1242-1248.
- Satyavati, G. V., Raina, M. K., Sharma, M.(1987). *Medicinal plants of India* (Vol. 2). Indian Council of Medical Research.
- Serce, S., Ercisli, S., Sengul, M., Gunduz, K., Orhan, E. (2010). Antioxidant activities and fatty acid composition of wild grown myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits. *Pharmacognosy magazine*, 6(21), 9.
- Serrano, C., Matos, O., Teixeira, B., Ramos, C., Neng, N., Nogueira, J., Nunes, M. L. and Marques, A.(2011). Antioxidant and antimicrobial activity of *Saturejamontana* L. extracts, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 1554-1560
- Shibamoto, K., Mochizuki, M., Kusuhara, M.(2010). Aroma therapy in anti-aging medicine. *Anti-Aging Medicine*, 7(6), 55-59.
- Snow, N., McFadden, J., Evans Evans, T. M., Salywon Salywon, A. M., Wojciechowski, M. F., Wilson, P. G.(2011). Morphological and molecular evidence of polyphyly in *Rhodomyrtus* (Myrtaceae: Myrteae). *Systematic Botany*, 36(2), 390-404.

- Soliman, M.K., Ellakany, H.F., Gaafar, A.Y., Elbially, A.K., Zaki, M.S. Younes, A.M. (2014). Epidemiology and antimicrobial activity of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolated from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during an outbreak in Egypt. *Life Sci J*, 11(10), 1245-1252
- Şener B.(2009). *Pseudomonas*. İçinde: Klinik Mikrobiyoloji, Başustaoglu A, Kubar A, Yıldırım ŞT, Tanyüksel M, (Çeviri editörleri). Manuel of Clinical Microbiology, Murray PR, Baron EJ, Jorgensen JH, Landry ML, Pfaller MA. 9. Baskı, Ankara, Atlas Kitapçılık, 2009:734-748.
- Temel, M., Tınmaz A, B., Öztürk, M., Gündüz, O.(2018). Dünyada ve Türkiye’de tıbbi-aromatik bitkilerin üretimi ve ticareti.*KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 21(Özel Sayı),198-214.
- Treben, M.(1980). *Gesundheit aus der Apotheke Gottes: Ratschläge und Erfahrungen mit Heilkräutern*.
- Trease, W., Evans D. (2006). *Pharmacognosy*, 15th Edn, W.B. Saunders Comp Ltd., Toronto, p. 477
- Tong, S. Y., Davis, J. S., Eichenberger, E., Holland, T. L., Fowler Jr, V.G.(2015). *Staphylococcus aureus* infections: epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clinical microbiology reviews*, 28(3), 603-661.
- Töreci, K.(2002). *Klebsiella türleri*. In: Topçu AW, Söyletir G, Doğanay M., (eds). *Enfeksiyon hastalıkları ve mikrobiyolojisi*. 2. baskı. İstanbul: Nobel tıp kitapçevleri; 2002. 1575-608.
- TÜİK(2015). *Türkiye İstatistik Kurumu* <http://www.tuik.gov.tr> Tarım / Su Ürünleri İstatistikleri / İstatistiksel Tablolar ve Dinamik Sorgulama 2015
- Udwadia, Z.F., Amale, R.A., Ajbani, K.K., Rodrigues, C. (2012). Totally drug resistant tuberculosis in India. *Clin Infect Dis*, 2012, 54, 579-581
- Urhan, Y., Ege, M. A., Öztürk, B., Elgin Cebe, G.(2016). *Türkiye gıda bitkileri veritabanı*.
- URL-1 [https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/insan-patojenik-mikroplar-solunum-ve-enterik-patojenler\\_gm1059133562-283085716](https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/insan-patojenik-mikroplar-solunum-ve-enterik-patojenler_gm1059133562-283085716) (Erişim Tarihi: 10.04.2023)
- URL-2 <https://www.haberturk.com/aynisefa-nedir-aynisefanin-faydalari-nelerdir-hbrt-2819449>(Erişim Tarihi: 05.04.2023)
- URL-3 <http://yabanicicekler.com/flower/myrtus-communis> 538(Erişim Tarihi: 05.03.2023)
- URL-4. <https://turkiyebitkileri.com/en/photo-gallery/lamiaceae-ball%C4%B1-bagiller/saturejakayakeki%C4%9Fi/satureja-thymbra/18234-silifke-merisin.html>(Erişim Tarihi: 01.02.2023)
- Volkan, G.(2014). Rize Yöresine Ait Tıbbi ve Aromatik Bitkilere Genel Bir Bakış. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 4(4), 97-107.

- Yadegarinia, D., Gachkar, L., Rezaei, M. B., Taghizadeh, M., Astaneh, S. A., Rasooli, I.(2006). Biochemical activities of Iranian *Mentha piperita* L. and *Myrtus communis* L. essential oils. *Phytochemistry*, 67(12), 1249-1255.
- Waller,S.B., Cleff,M. B.,Serra, E.F., Silva, A. L., Gomes, A. dos R., de Mello, J. R. B., de Faria, R. O. and Meireles, M. C. A.(2017). PlantsfromLamiaceae family as source of antifungal molecules in humane and veterinary medicine, *Microbial Pathogenesis*, 104, 232-237.



## BÖLÜM 6

### AHŞAP ATIK VE AHŞABIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

*Ayşin AŞKIN<sup>1</sup>, Rıfat KURT<sup>2</sup>, Erol İMREN<sup>3</sup>*

---

1 Mobilya ve Dekorasyon Programı, Biga Meslek Yüksekokulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

2 Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye

3 Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye

Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

## 1. Giriş

Günümüzde sürdürülebilirlik, çevre koruması ve kaynak verimliliği konularının giderek önem kazanmasıyla birlikte atık yönetimi ve geri dönüşüm faaliyetlerine olan ilgi daha da artmıştır. Ahşap malzemeler doğal, yenilenebilir bir kaynak olmaları ve birçok farklı sektörde kullanılmaları nedeniyle özel bir ilgi alanı oluştururlar. Ahşabın geri dönüşümü hem atık hacmini azaltmak hem de yeni ürünlerin üretimi için kaynak sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır (Argyropoulos, 2001; Rowell ve Rowell, 2005).

Ahşabın yaşayan ağaçlardan farklı olarak fotosentez yapma yeteneği olmamasına rağmen, yenilenebilir bir endüstri ve enerji kaynağı olma işlevinin yanı sıra, yaşamı boyunca fotosentez yoluyla sabitlenmiş olan sabit karbonu depolama işlevi de vardır. Bu, ahşabın uzun süreli kullanımının sabit karbonun depolanmasını sürdürdüğü anlamına gelir (Obata, 2006).

Ahşap malzemesinin üretimi ve ömrünü tamamlaması sırasındaki çevresel etkileri genellikle inorganik veya fosil hammaddelerden üretilen muadil malzemelere göre çok daha düşüktür. Ayrıca, tarımsal kaynakların aksine ahşap, gıda ile rekabet etmez. 21. yüzyılın başından itibaren ve geleneksel kullanımlara ek olarak yeni uygulamalar (enerji üretimi, yapı malzemeleri, kimyasallar vb.) için ahşabın tüketimi giderek artmaktadır. Yapılan bir araştırmada, 2030 yılına kadar Avrupa'daki talebi karşılamak için ahşap üretiminin yetersiz kalabileceği öngörülmektedir (Höglmeier vd., 2014). Ahşap tüketimindeki artışa, ömrünü tamamlamış ağaç bazlı ürünlerin oluşturduğu atık ahşap miktarındaki artış eşlik etmektedir. Bu büyük birikimin geri dönüştürülmesi, yeni malzemelerin üretimi için bol ve ucuz bir hammadde kaynağı oluşturabilir (Lykidis ve Grigoriou, 2008; Besserer vd., 2021).

Tarihsel olarak ahşap atıklar için ana ömür sonu seçeneği, nispeten yüksek kalorifik değeri nedeniyle yakma olmuştur. Bununla birlikte, ahşap atıklar, potansiyel olarak doğrudan tekrar kullanımdan (doğal malzeme özelliklerinin kullanımı), daha düşük kalite standartlarına sahip uygulamalar için bir dizi geri dönüşüm seçeneğine eşit derecede uygun olabilir (Reichel vd., 2016).

Ahşap atıkları için en belirgin geri dönüşüm seçeneği yonga levhadır. Ahşap kalite standartlarına bağlı olarak, ek geri dönüşüm seçenekleri ise talaş, pelet, atıktan üretilmiş yakıt, kompostlama, malç olarak kullanım (bahçivanlık, yüzey kaplama ve toprağı iyileştirici malç), hayvan yatağı (yüksek ve standart kalite) ve kağıt ürünlerine hamur haline getirme şeklinde sıralanabilir (Faraca vd., 2019). Düşük kaliteli ahşap atığından kaynaklanan teknik engeller nedeniyle bu seçeneklerin geliştirilmesi biraz sınırlı olsa da giderek artan bir şekilde odaklanılan uygulamalar içerisinde,



diğer ahşap bazlı paneller (yönlendirilmiş yonga levha ve orta yoğunluklu lif levha, vb.), ahşap kompozitler (ahşap-çimento, ahşap-plastik kompozitler vb.) ve biyobazlı kimyasalların geri dönüştürülmesi sayılabilir. (Czarnecki vd., 2005; Winder ve Bobar, 2016).

Atık odun geri dönüşümü öncelikle depolanması ile başlamakta ve ardından atık imha organizasyonu vasıtasıyla biriktirilmesi ve geri kazanım tesisine götürülmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Tesiste atık ahşap sınıflandırılır ve eğer uygun ise geri dönüşüm veya restorasyon süreci için taşınmak üzere işlenmektedir. Geri dönüştürülmeyen ahşaplar ise herhangi bir fayda sağlamayan çöp sahasına dönüşecektir. Her yıl dünyada 16 milyon ton atık odun üretimi olmaktadır ve yaklaşık %15'i geri dönüştürülmektedir. Bu doğrultuda çevre, ekonomi ve sağlık açısından faydaları elde edebilmek için ahşabın geri dönüştürülmesinin öneminin fark edilmesi büyük önem arz etmektedir (Pierucci, 2022).

Bu çalışmada ilk olarak atık ve ahşap atık kavramlarına yer verilmiş daha sonra ahşabın geri dönüşüm süreci, avantajları ve kullanım alanları üzerinde durulmuştur.

## 2. Atık ve Ahşap Atık

Sözlük anlamı istenmeyen veya kullanılamaz malzemeler olan atık ilk kullanımının sonrasında atılan, kusurlu, değersiz işe yaramayan bir madde olarak açıklanmaktadır. Atık, üretici ya da fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişilerce çevreye atılmış, bırakılmış ya da atılması zorunlu herhangi bir madde ya da materyal olarak açıklanmaktadır. Atık haline gelmiş bir ürün bir buluş ile yan ürün (ekonomik değeri düşük ortak ürün) ya da kaynak olarak kullanılabilir (URL-1, 2023). 2872 sayılı Çevre Kanunu'na göre ise herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler olarak açıklanmaktadır (Çevre Kanunu, 1983). Atıklar toksik, kanserojen, patlayıcı, tahriş edici vb. tehlikeli özellikte olabilmekte ve hem çevre hem de insan sağlığı için önemli riskler oluşturmaktadır (Saltabaş vd., 2012).

Atıklar fiziksel, kimyasal üretim ya da tüketim özelliklerine göre sınıflandırılır. Türleri ve genel şekilleri açısından katı, sıvı, gaz ve ambalaj atıkları olarak gruplandırılır. Bu türlerden ilki olan katı atık (endüstriye katı atıklar, tıbbi katı atıklar, tehlikeli katı atıklar, tarımsal katı atıklar, inşaat katı atıkları, biyolojik bozunur ve bozunmaz katı atıklar vb. gibi) miktar bakımından ortaya çıkan atıklar içerisinde büyük bir paya sahiptir. Bu atıkların çevre ve insan sağlığı bakımından düzenli şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir (Bilgili, 2020; Gündüzalp ve Güven, 2016; Karasu, 2013). Sıvı atıklara evsel temizlik suları, hastane kaynaklı sular, kanalizasyon suları örnek olarak verilebilir. Gaz atıklar ise; nükleer enerji santralleri, yakma tesisleri, sanayi tesis bacaları, enerji amaçlı fosil yakıtların kullanımı,

çöp depolama ve kompostlaştırma alanları gibi atıklardan oluşurlar (Gündüzalp ve Güven, 2016; Karasu, 2013). Ortaya çıkan tüm bu atıklar çevre ve insan sağlığına etkisine göre tehlikeli atıklar ve tehlikesiz atıklar olarak iki gruba ayrılır. Oluşan atıklarda dikkat edilmesi gereken en önemli husus hiçbir atığın tedbir alınmadan doğrudan doğruya atılmaması hususudur. Bu kapsamda da atık yönetimi konusu önem arz etmektedir. Atık yönetimi atıkların toplanması, taşınması, geri kazanılma, bertaraf edilmesi, izlenme ve kontrol edilmesi gibi süreçleri içine alarak yönetilmesini içerir. Bu konu 1983 yılında çıkarılan Çevre Kanunu'nda belirtilmiştir (URL-2, 2023).

## 2.1 Ahşap Atıklar

Ahşap geçmişten günümüze kadar kullanılan en eski malzemedir. Ahşabın diğer malzemelerden üstün olmasını sağlayan birçok özelliği bulunmaktadır. Ahşap doğal bir malzemedir, sağlıklıdır, çevre dostudur, doğada çözünebilir, kolay işlenebilir, kolay şekil verilir, çivi-vida tutma direnci yüksektir, yoğunluğunun düşük olmasına karşın mukavemeti yüksektir, dayanıklıdır, sesi iyi iletir, işleme özellikleri kolaydır (Usta, 2016). Üstün fiziksel, kimyasal ve yapısal özellikleri, yenilenebilir, sürdürülebilir bir malzeme olması, doğayla uyumlu, geri dönüşümlü, uzun ömürlü olması gibi önemli özellikleri ahşabın birçok yerde kullanılan önemli bir kaynak olmasını sağlamaktadır (Bozkurt, 2011; Doğu, 2016).

Kullanım alanındaki artış ile orantılı hammadde talebi de sürekli olarak artmakta ve artan hammadde talebi dünya orman alanlarının yok olmasına neden olmaktadır. Burada önemle dikkat edilmesi gereken husus, ahşabın yeniden yetiştirilebilir özelliği olsa da bu sürecin uzun olması ve dünya orman varlığının her geçen gün azalmasıdır (Ceyhan, 2019). Ahşap geniş kullanım alanına sahip olan bir malzemedir. Piyasadaki odun kökenli ürünlerin miktar ve çeşidindeki artış (yongalevha, MDF, kontrplak, OSB vs., mobilya, inşaat, duvar, tavan ve zeminlerde, pencere, kapı, merdiven, dış mekanlarda vb.) kullanım sonrasındaki bertaraf etme sorununu da beraberinde getirmektedir. Ahşap endüstrisi odun atığının fazla miktarda ortaya çıktığı bir sektördür (Özby vd., 2016).

Ahşap atıklar yonga levha, MDF, kontrplak, OSB gibi kompozit levha parçalarından, koltuk sandalye, dolap, masa, vs gibi mobilya atıklarından, kullanılmış palet atıkları gibi her türlü odun esaslı malzemelerdir (Ceyhan, 2019).

Ahşabın kendisi doğal malzeme olmasına karşın atık ahşapta birçok katkı maddesi ve kirletici maddeler bulunmaktadır. Bu maddeler içerisinde vernik, boya, yapıştırıcılar, ahşap işlemede kullanılan ürünler veya ağır metaller, plastik, cam vb. gibi kirleticiler yer almaktadır (Besserer vd., 2021). Hizmet ömrünü tamamlamış odun ve odun kökenli malzemeler atık olarak

ortaya çıkmakta ve daha sonra bunların nasıl ve nerelerde kullanılacağı ya da nasıl bertaraf edileceği konusu önem arz etmektedir (Demirkır ve Çolak, 2006). Odun atıklarının uygunsuz bir biçimde imha edilmesi çevresel, karasal ve su ekosistemleri üzerinde önemli etkiler ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca odun atıklarının yakılması atmosfere sera gazı salınmasına sebep olduğu için çeşitli sağlık sorunlarına da yol açmaktadır (Maier, 2023).

Ormanların sürdürülebilirliğinin sağlanmasında ahşap atıkların yeniden değerlendirilmesi önemli bir aşamadır. Ahşap atıklarının geri dönüşüm sonucunda çeşitli alanlarda yeniden kullanılabilir (Salgın vd., 2021). Yapı malzemeleri/bileşenlerinin geri kazanım işlemleri ve kullanım alanları sınıflandırılması geri dönüşüm işlemi ve geri dönüştürülmüş ürün olmak üzere iki şekilde açıklanmaktadır.

**Geri dönüşüm işlemi:** Doğrudan kullanma, temizleme işlemi/kesme işlemi/yeniden boyutlandırma işlemi, yüksek su buharı altında şekil verme işlemi, rendelenerek lif, talaş ve yonga haline getirme işlemi ve yakma.

**Geri dönüştürülmüş ürün:** Yeniden kullanılacak ahşap, mobilya ve mutfak elemanları olarak, enerji kaynağı olarak, ahşap kökenli malzemeler olarak yalıtım levhası, hafif yalıtım ve dolgu malzemesi ve kâğıt (İpekçi vd., 2017).

### **2.1.1 Ahşap Atık Kaynakları**

Ahşap atık kaynakları kentsel katı atıklar, inşaat-yıkım atıkları ve diğer atık kaynakları olarak 3 kategoriye ayrılır (Robert ve McKeever, 2004).

#### **2.1.1.1 Kentsel katı atıklar**

Kentsel katı atık (KKA), konut, ticari, kurumsal ve endüstriyel kaynaklardan kaynaklanan atıklardır. Dayanıklı ve dayanıksız malları, kapları ve ambalajları, yemek artıklarını, bahçe kırpıntılarını, fırtına molozlarını ve çeşitli inorganik atıkları içerir. KKA'ya çok çeşitli ürünler dahildir. KKA'nın iki bileşeni olan "ahşap" ve "bahçe kırpıntıları" masif ahşap içerir. "Ahşap" bileşeni, ahşap mobilyalar ve dolaplar, paletler ve kaplar, hurda kereste ve ahşap paneller ve üretim tesislerinden gelen ahşap gibi öğeleri içerir.

#### **2.1.1.2 İnşaat ve Yıkım Atıkları**

İnşaat ve yıkım atıkları genellikle tek bir atık türü olarak düşünülür, çünkü her ikisi de genellikle düzenli depolama alanlarına birlikte atılır. Ancak inşaat ve yıkım atıkları farklı faaliyet türlerinden kaynaklandıkları, farklı özelliklere sahip oldukları, ayrıştırma, geri kazanım ve geri dönüştürülebilirlik kolaylıkları bakımından farklılık gösterdikleri için aslında aynı kategoride değildirler. İnşaat atıkları, konut ve konut dışı yapıların inşası, onarımı

ve yeniden modellenmesinden kaynaklanmaktadır. Şantiyede kolayca ayrılabilen, oldukça temiz, çağdaş yapı malzemelerinden oluşur. Yıkım atıkları, binalar veya diğer yapılar yıkıldığında ortaya çıkar. Yıkım atıkları genellikle boyalar, bağlantı elemanları, yapıştırıcılar, duvar kaplama malzemeleri, yalıtım malzemeleri ve çeşitli kirlenmiş inşaat malzemeleri karışımı içerir. Bu malzemelerden bazıları artık kullanılmıyor olabilir ya da tehlikeli olarak kabul ediliyor olabilir, bu da geri kazanımı daha zor hale getirir. Yıkım atıklarının yerinde ayrıştırılması zaman alıcı ve maliyetlidir.

### 2.1.1.3 Diğer atık kaynakları

Diğer atık ahşap kaynakları, demiryolu bağlarından, telefon ve elektrik direklerinden, iskele ve rıhtım kerestelerinden, ağaç kesme ve silvikültürel işlemlerden elde edilen işlenmemiş ahşapları, kamu yol kenarlarında budanan dalları, kimyasal olarak işlenmiş ahşapları ve KKA dışında kalan endüstriyel atık odunları içerir. Bu malzemenin bir kısmı yeniden kullanılır, yakılır veya tehlikeli atık depolama alanlarında atılır, ancak çoğu sahada kalır. Kimyasal işlemler ve toplama maliyetleri, bu malzemenin çoğunun geri kazanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu diğer kaynaklardan elde edilen odun miktarları (kütük ve silvikültürel kalıntılar hariç), kentsel katı atıklara ile inşaat ve yıkım atıklarına kıyasla oldukça küçüktür.

### 2.1.2 Ahşap Atıklarının Sınıflandırılması

Türkiye'deki atık düzenlemelerinin temeli, 29314 sayılı Atık Yönetimi Yönetmeliği'dir. Yönetmeliğin 4 numaralı eki AB sınıflandırmasına uyumlu hale getiren Avrupa Atık Listesi'ni içermektedir. Buna göre ahşap atıklar aşağıdaki sınıflardan oluşmaktadır (ÇYGM, 2012).

A: Doğal halinde olan ya da mekanik işleme tabi tutulmuş atık ahşap kategorileri:

- Ormancılık, örneğin ağaç yetiştiriciliği, orman bakımından kaynaklanan ağaç, böceklenmiş ve hastalanmış ağaç
- Ağaç kesmeden kaynaklanan ve kereste üretimi için yapılan ilk ağaç bakımı özellikle bıçkı tezgahından kaynaklanan ağaç kabukları
- Tehlikeli maddeler içermeyen talaş, yonga, kıymık, ahşap, parçacık ve kaplamalar
- Kağıt üretimi işlemlerinden kaynaklanan atık ağaç kalıntıları
- Tahta paletler örneğin endüstriyel paletler, ambalaj malzemesinin bir parçası olan paletler
- Ahşap nakliye sandıkları ya da bölmeleri
- Meyve, sebze, bitki ve benzeri ürünlerin ambalajlanması için kul-

### lanılan ağaç sandıklar

- İşlem görmemiş kablo makaraları
- İnşaatlardan gelen işlem görmemiş atık ağaçlar
- İşlem görmemiş ağaçtan yapılmış mobilyalar

B: Boyanmış, astarlanmış, tutkalla birleştirilmiş ya da ahşap koruyucularla işlem görmemiş atık ağaç kategorileri:

- Mekanik işlem ve odun üretiminden kaynaklanan talaş, yonga, kıymık, ahşap, parçacık ve kaplamalar (ağaç koruyucuları ve halojen maddeler hariç)

- Ahşap palet ve kompozit palet
- Ahşap nakliye sandıkları ya da bölmeleri
- Ahşap malzeme, inşaatlarda kullanılan kalıp ve işlem görmüş ahşap (ağaç koruyucu ve halojen organik maddeler hariç)

- İç dekorasyonun imhasından kaynaklanan taban panelleri ve kaplılar, kapılar, tavan ve duvar panelleri

- İnşaat ve enkazlardan gelen ahşap
- Tahta malzemedен yapılmış mobilyalar
- Hacimli malzemedен gelen atık odun (karışık ürünler)

C: Poliklorlu bifenil (PCB), içeren atık ağaç dahil koruyucu ve halojen organik maddelerle işlem görmüş atık ağaç kategorileri:

- Mekanik işlem ve odun üretiminden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren talaş, yonga, kıymık, ahşap, parçacık ve kaplamalar

- Mühimmat taşıma sandıkları
- İşlem görmüş kablo makaraları
- PCB içeren maddelerle işlem görmüş yalıtım panelleri ve gürültüden koruma panelleri

- Statik bölümlerden gelen inşaat tahtaları
- Çatılama tahtaları, kalıp ve yarı kereste
- Pencereleler, dış kapılar ve çerçeveler
- Dış mekânlarda kullanılan emprenye inşaat ahşapları
- Tehlikeli maddelerle kontamine olmuş inşaat ve enkazlardan gelen diğer ağaçlar

- Tren yollarında rayların arasında döşenen ahşap traversler

- Direkler ve pylonlar
- Ticari bahçecilik, tarım ve peyzaj mimarisinde kullanılan yapı tahlaları
- Endüstriyel sahalardan, örneğin endüstriyel zeminlerden, çalışma tezgâhları, soğutma kulelerinden gelen atık ağaçlar
- Hidrolik mühendislikten kaynaklanan atık ağaç
- Sökülmüş gemi, taşıma araçları ve yük vagonlarından gelen ağaç
- Kaza yangınlarından hasarlanan atık ağaçlar
- İnşaat ve enkaz malzemelerinin ayrıştırılmasından gibi mekanik atık işleminde kaynaklanan atık ağaç fraksiyonları
- Atık ağaç ayrıştırma işleminden kaynaklanan ince fraksiyon
- Emprenye bahçe mobilyaları, özel bahçecilikte kullanılan yapı ağaçları

Odun atıkları sınıflandırılmasında ahşabın kirlilik düzeyine göre de sınıflandırma yapılabilir. Bu sınıflandırma; A sınıfı, karışık kalite ve düşük seviye olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. A Sınıfı ahşap parçalarında boya veya diğer koruyucu katmanların hiç olmadığı ya da çok az kirlenici maddelerin olduğu sınıftır. Karışık kalite kirlilik seviyesinin arttığı ve ahşabın atık yüzeylerinde az miktarda beton veya çivinin bulunduğu sınıftır. Düşük seviye ise çok kirli odun parçaları bu grupta yer aldığı sınıflandırmadır (Maier, 2023).

### 3. Ahşabın Geri Dönüşüm Süreci

Geri dönüşüm denildiğinde genellikle cam şişeler, plastik kaplar veya alüminyum kutular ya da kağıt vb. akla gelmekte ve tüketim sonrası atık malzemelerin öneminden söz edilmektedir. Katı odun atıkları uzun yıllar (örneğin kereste fabrikası artıkları vb. gibi odun atıkları) yakılmış ve geri dönüşümü yeterince ilgi görmemiştir. Günümüzde bu atıkların birçoğu kompozit ürünlerde yani yeni ürünlerin üretilmesinde kullanılmaktadır (Falk, 1997). Tüketici sonrası odun atıkları dahil atıkların kullanılmasının hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli ilişkisi vardır. Depolan, kullanım dışı olan, kontrolsüzce yakılan atıkların ortadan kaldırılmasında çevre ve yaşam açısından önemlidir ve ek tedbirler alınmasını gerektirir. Bunun yanında bu atıklar odun hammaddesinin birincil kaynağının alternatifliği açısından önem arz etmektedir (Ratajczak vd., 2018).

Ahşap geri dönüşüm süreci genellikle üç aşamadan oluşur: toplama, ayrıştırma ve yeniden işleme (Besserer vd. 2021).

1. Toplama: Ahşap atıkların doğru şekilde toplanması ilk aşamadır.

Bu aşamada, evlerden, işyerlerinden, inşaat sitelerinden ve diğer kaynaklardan alınan ahşap malzemelerin ayrı ayrı bir şekilde toplanması gereklidir. Toplanan bu ahşap atıkların teslim alınan kaynağa göre ayrışması geri dönüşüm sürecinde karmaşıklığa ve daha sonraki dönüşüm süreçlerinde olası yanlışlıkların minimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Örneğin, paletler, mobilyalar, inşaat kalıpları gibi büyük ahşap parçaları, küçük ahşap parçaları veya ahşap talaş gibi diğer atıklardan ayrılmalıdır.

2. Ayrıştırma: Toplanan ahşap atıklar, işlenmeye uygun hale getirmek için ayrıştırma işlemine tabi tutulur. Bu aşamada, boya, vernik veya tutkal gibi maddelerin çıkarılması için temizleme işlemi yapılabilir. Bazı ahşap parçalarının üzerinde yer alan metal parçalar ve benzeri donatılardan da ayrıca temizlenmesi gereklidir. Dolayısıyla ahşap malzemenin kullanılacağı amaç ve gereksinimlere göre sınıflandırma yapılır. Örneğin, inşaat ve yıkım projelerinden elde edilen ahşap artıkları, işlenmediği ve boyanmadığı sürece bahçe atığı olarak değerlendirilebilir ve geri dönüştürülebilir. Geri dönüşüm sürecinden geçecek olan ahşap malzeme, kompozit malzeme üretiminde kullanılacaksa farklı bir işleme tabi tutulmaktadır.

3. Yeniden İşleme: Ayrıştırılan ahşap malzemeler, farklı üretim süreçleriyle yeniden işlenir. Ahşap geri dönüşümü için kullanılan yaygın yöntemler arasında kırma, öğütme veya presleme yer almaktadır. Bu işlemler sonucunda elde edilen ahşap malzeme, yeni ürünlerin üretimi için kullanılabilir. Ayrıca, ahşap kerestelerin de geri dönüşümü çok kolay olduğundan pek çok kullanım alanı mevcuttur. Geri dönüştürülmüş ahşap, mobilya, zemin kaplaması, yapı malzemeleri, bahçe mobilyaları ve enerji üretimi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ev, mobilya ve diğer her türlü projeyi inşa etmek için kullanılabilirler. Talaşlar ve diğer işlenmemiş ahşaplar yakıt kaynağı olarak tercih edilmektedir. Toprağın üstüne malç olarak serpilerek bitkileri korumak ve yabancı otların istilasını önlemekte de kullanılmaktadır.

Ahşabın geri dönüşümünde, başarılı ahşap atık yönetimi uygulamaları ve stratejileri ile, çevresel etkileri azaltmak, maliyetlerden tasarruf etmek ve yeni fırsatlar sağlamak gibi birçok avantaj beraberinde gelir:

1. Kaynak Tasarrufu ve Atık Azaltma: Ahşap geri dönüşümü, yeni ahşap üretimi için gerekli olan ağaç kesimini azaltarak orman kaynaklarının korunmasına yardımcı olur. Bu, ormansal ekosistemlerin korunmasına ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine katkıda bulunur (Magin, 2001). Ahşap atıklarının geri dönüşümü, çöplüklerde biriken hacimli atık miktarını azaltmaktadır. Aynı zamanda daha az çöpün çöplüklere gitmesini önleyerek çevresel etkinin azaltılmasına da yardımcı olur. Bu da atık depolama alanlarının verimli bir şekilde kullanılmasına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olur (Sormunen ve Kärki 2019).

2. Enerji Tasarrufu: Ahşabın geri dönüştürülmesi, işlenmemiş ahşaba ve enerji yoğun üretim süreçlerine olan ihtiyacı azaltarak enerji tasarrufu sağlar. Geri dönüştürülen ahşap malzemeler, enerji üretimi için biyokütle enerjisi olarak kullanılabilir. Böylece fosil yakıt tüketimi ve karbon salınımı en az seviyeye indirgenir (Sommerhuber vd., 2017).

3. Ekonomik Faydalar: Ahşap atıklarının geri dönüşümü, geri dönüştürülmüş ürünlere yönelik gelişen müşteri talebine ayak uyduran fırsatlar sağlamaktadır. Endüstriyel odun atıkları, kereste deposu atıkları, sanayi odunu vb. atıklar yeni ürünlerin üretimi için kaynak sağlayarak ekonomik faydalar sunar. Geri dönüştürülen ahşap malzemeler, daha düşük maliyetle satın alınabilmekte ve kullanılabilir (Heräjärvi vd. 2020). Bununla birlikte ahşap geri dönüşüm tesisleri malç, biyokütle yakıtı ve ahşap bazlı paneller gibi geri dönüştürülmüş ahşap ürünlerini tüketicilere, endüstrilere ve belediyelere satarak gelir elde edebilir. Ayrıca ahşap geri dönüşüm operasyonları toplama, ayırma, işleme ve dağıtım için işgücü gerektirir. Bu da toplama ve taşıma, imalat ve perakende dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde iş yaratılmasına yol açarak yerel ve bölgesel istihdam fırsatlarına katkıda bulunur.

#### 4. Sonuç

Ağaçlardan elde edilen odun sürdürülebilir kabul edilse de talebin karşılanması için gerekli olan fidanların dikilmesi, büyümesi ve yenilenmesi zaman almaktadır. Bu nedenle de geri dönüştürülen maddelerin kullanımı, işlenmesi, işlenmemiş malzemelerin kullanımından daha ucuzdur (Sauro, 2022). Ahşabın geri dönüşümü kaynak verimliliği açısından büyük bir fırsattır. Ahşap atıklarının toplanması, ayrıştırılması ve yeniden işlenmesi süreci, atık miktarını azaltır, kaynakları korur, enerji tasarrufu sağlar ve ekonomik faydalar sunar. Bu sayede hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adım atılmış olur.

Geri dönüştürülen ahşap atıklar, işlenmemiş ham maddelerin yerini alabileceği gibi ağaç kesme, nakliye, yakma ve depolama gibi masrafları azaltabilir. Ahşap atıklarının geri dönüştürülmesi, işlenmemiş ham maddelerin kullanıldığı zamana kıyasla üretim süreçlerinde kullanılan malzeme, su ve enerjinin azaltılması yoluyla çevresel yükleri azaltabilir. Bu nedenle, fosil yakıtların tükenmesi, petrol fiyatlarının rekor seviyelere yükselmesi, iklim değişikliğine bağlı doğal afetlerin artması ve karbonun sorgulanması ile karakterize edilen mevcut kritik durum göz önüne alındığında, geri dönüşüm yöntemlerinin gerekli olacağı kaçınılmazdır.



## Kaynaklar

1. Argyropoulos, D. S. (2001). *Wood and Cellulosic Chemistry*. Revised and Expanded Edited by David N.-S. Hon (Clemson University) and Nubuo Shiraishi (Kyoto University). Marcel Dekker: New York and Basel. 2001. 914 pp. ISBN 0-8247-0024-4.
2. Besserer, A., Troilo, S., Girods, P., Rogaume, Y., & Brosse, N. (2021). Cascading recycling of wood waste: A review. *Polymers*, 13(11), 1752.
3. Bilgili, M. Y. (2020). Katı Atık Yönetiminde Kullanılan Bazı Kavramlar ve Açıklamaları . *Avrasya Terim Dergisi*, 8 (2), 88-97. DOI: 10.31451/ejatd.773288
4. Bozkurt, Ö. (2011). Geleneksel Tekirdağ Evlerinde Kullanılmış Meşe Ahşabının Mekanik Özellikleri ve Kimyasalla Koruma Uygulamalarının Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*. 14(2), 115-119.
5. Ceyhan, G. (2019). Evsel ve Endüstriyel Ahşap Atıklarından Üretilen Yonga Levhanın Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93 s.
6. Czarnecki, R., Dziurka, D., Mirski, R. (2005). The use of recycled boards as the substitute for particles in the centre layer of particleboards. In: *Proceedings for COST E31 Conference, Bordeaux*, p. 304.
7. Çevre Kanunu, (1983). 2872 Kanun numarası, sayı:18132. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2872.pdf>
8. ÇYGM, (2012). Türkiye’de sanayiden kaynaklanan tehlikeli atıkların yönetiminin iyileştirilmesi, Tehlikeli Atıkların Sınıflandırılması Kılavuzu, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Cilt 3, 90 s.
9. Demirkır, C., Çolak S. (2006). Odun Kökenli Atıkların Levha Endüstrisinde Yeniden Kullanım İmkanları. *Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 41-50.
10. Doğu, D. A. (2016). Ahşabı Tanımak, Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi. Sayı: 16, 59-71.
11. Falk, B. (1997). Wood Recycling: Opportunities For The Woodwaste Resource *Forest Products Journal*; Madison Vol. 47, Iss. 6, (Jun): 17-22.
12. Faraca, G., Boldrin, A., & Astrup, T. (2019). Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling. *Waste Management*, 87, 135-147.
13. Gündüzalp, A. A., Güven S. (2016). Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği, Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar e-dergi.
14. Heräjärvi, H., Kunttu, J., Hurmekoski, E. & Hujala, T. (2020). Outlook for modified wood use and regulations in circular economy. *Holzforschung*, 74(4), 334-343. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0053>.

15. Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., Richter, K. (2014). Utilization of Recovered Wood in Cascades versus Utilization of Primary Wood—A Comparison with Life Cycle Assessment Using System Expansion. *Int. J. Life Cycle Assess.* 19, 1755–1766.
16. İpekçi, A. C., Coşgun, N., Tıkansak Karadayı, T. (2017). İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemli. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(2), 43-50 .
17. Karasu, A. (2013). Çevresel Atıklar ve Nedenleri, Çevresel Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Yenilenebilir Enerji Olanaklarının Araştırılması. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D. Yüksek Lisans Tezi. Bilecik.
18. Lykidis, C., Grigoriou, A. (2008). Hydrothermal Recycling of Waste and Performance of the Recycled Wooden Particleboards. *Waste Manag.* 28: 57–63.
19. Magin, G. (2001). An introduction to wood waste in the UK. *Fauna & Flora International*, Cambridge, UK, 40.
20. Maier, D. (2023). A Review of the Environmental Benefits of Using Wood Waste and Magnesium Oxide Cement as a Composite Building Material. *Materials*. 16(5):1944. <https://doi.org/10.3390/ma16051944>.
21. Obata, Y., Takeuchi, K., Soma, N., & Kanayama, K. (2006). Recycling of wood waste as sustainable industrial resources—Design of energy saving wood-based board for floor heating systems. *Energy*, 31(13), 2341-2349.
22. Özbay, G., Özçifçi A., Kökten, E.S. (2016) Farklı Türde Vernikler İçeren Odun Atıklarının Piroliz Özellikleri, *Türk Tarım ve Orman Dergisi: Cilt. 40: No.5, Madde 6*.
23. Pierucci, S. (2022): Importance of Recycling and Waste Wood Management, *Advances in Recycling & Waste Management*, Volume 7:3, ISSN: 2475-7675.
24. Ratajczak, E., Szostak, A., Bidzińska, G., Herbec, M. (2018). Potential resources of post-consumer wood waste in Poland. *J Mater Cycles Waste Manag* 20, 402–413 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0593-5>.
25. Reichel, A., De Schoenmakere, M., Gillabel, J., Martin, J., Hoogeveen, Y. (2016). Circular Economy in Europe Developing the Knowledge Base. <http://doi.org/10.2800/51444>.
26. Robert, H. F., & McKeever, D. B. (2004). Recovering wood for reuse and recycling: a United States perspective. In *Management of Recovered Wood Recycling, Bioenergy and Other Options*, Thessaloniki, European COST E31 Conference (pp. 29-40).
27. Rowell, R.M., & Rowell, R.M. (Eds.). (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203492437>.

28. Salgın, B., İpekçi, A.C., Coşgun, N., Tıkansak Karadayı, T. (2021). Enerji ve Ham Madde Korunumu Açısından Yapısal Atıkların Yeniden Kullanımına/Geri Dönüşümüne Yönelik Bir Değerlendirme . *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6 (2) , 526-537. DOI: 10.30785/mbud.927981.
29. Saltabaş, F., Tombul, B., Yazgan, M. Z., Yüksel, F. (2012). Tehlikeli Atık Yönetimi ve Bertaraf Teknolojileri. *Tehlikeli Atık Yönetimi Eğitimi*. [https://www.istac.istanbul/contents/184/tehlikeli-atik-yonetimi-egitimi-fatih-saltabas-\\_130985202664979184.pdf](https://www.istac.istanbul/contents/184/tehlikeli-atik-yonetimi-egitimi-fatih-saltabas-_130985202664979184.pdf).
30. Sauro, P. (2022). Importance of Recycling and Waste Wood Management. *Advances Recycling Waste Management* 7: 216, ISSN: 2475-7675
31. Sommerhuber, P. F., Wenker, J. L., Rüter, S., & Krause, A. (2017). Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying an environmental sound end-of-life option. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 235-248.
32. Sormunen, P., & Kärki, T. (2019). Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing. *Journal of building engineering*, 24, 100742.
33. URL-1, (2023). Waste, <https://en.wikipedia.org/wiki/Waste>. Erişim Tarihi: 29.05.2023.
34. URL-2, (2023). Atıklar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/atiklar-20180222082452.pdf>. Erişim Tarihi: 29.05.2023.
35. Usta, İ. (2016). Depictions On Wood: Acceptation and internalization of wood, Which is an intercultural interaction tool, as a valuable object (wood is valuable). *Mugla Journal Of Science And Technology*, 2(2), 139-144.
36. Winder, G.M., Bobar, A. (2016). Responses to stimulate substitution and cascade use of wood within a wood use system: Experience from Bavaria, Germany. *Appl. Geogr.*, 1–10 <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.003>.





# BÖLÜM 7

## SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YENİLİKÇİ MALZEME ALTERNATİFİ OLARAK BAKTERİYEL SELÜLOZ

*Evren ERSOY KALYONCU<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Arsin Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Mobilya ve Dekorasyon Programı, Trabzon, Türkiye, [eersoy@ktu.edu.tr](mailto:eersoy@ktu.edu.tr) ORCID ID: 0000-0002-4538-7187

## 1. GİRİŞ

Petrol esaslı plastik malzemelerinin yaygın kullanımı dünya çapında önemli beyaz kirlilik sorununa (Arena vd., 2011) ve insan sağlığına zarar veren kimyasalların salınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle birçok ülke ve yerel yönetim, bu sorunları ele alarak, plastik malzemelerin yerine çevre dostu, yenilenebilir ve bozunabilir malzemelerin kullanımına yönelik kanunlar ve politikalar geliştirmiştir.

Çevre dostu bir malzeme olarak kullanılabilen selüloz, çeşitli ticari uygulamaların ana kaynağıdır ve birçok alanda yıllardır mühendislik malzemesi olarak kullanılmaktadır. Selüloz esaslı malzemelerin daha gelişmiş ve yaygın bir şekilde kullanılması, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada büyük bir öneme sahiptir. Çok fonksiyonlu selüloz esaslı ürünler çevresel sürdürülebilirlik, hafiflik, biyoaktif özellikler ve esneklik gibi avantajları nedeniyle endüstriler arasında büyük bir ilgi görmektedir. Bu tür ürünlerin daha fazla geliştirilmesi ve kullanılması, hem çevresel hem de teknolojik açıdan önemli bir adım olabilir. Dolayısıyla, endüstri ve tüketiciler arasında selüloz esaslı ürünlerin kullanımının teşvik edilmesi ve geliştirilmesi önemlidir ve bu alanda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Dünya genelinde en bol bulunan, yenilenebilir ve yaygın olarak kullanılan doğal organik bileşenlerden biri olan selüloz odun, pamuk, keten, kenendir ve diğer birçok bitkilerin hücre duvarlarında bulunan, hücresel temel yapı bileşenlerinden biridir (Ye vd., 2019).  $\beta$ -1,4-glikozidik bağlarıyla bir araya gelen D-glukopiranoz şeker birimlerinin homojen, lineer yapıdaki bir polimerdir (Kumar vd., 2009; Sánchez 2009; Bertero vd., 2012; Iqbal vd., 2013). Saf selüloz, birçok endüstriyel uygulama için gereklidir. Doğada çözünebilir bir malzeme olması, geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir olması, doğada kolayca parçalanabilir olması, genellikle daha düşük enerji tüketimi gerektirmesi, dolayısıyla karbon ayak izini azaltabilmesi selülozun bazı avantajlı özellikleridir. Ancak artan nüfus ile selüloz kullanımındaki ihtiyaç da artmış, verimsiz kullanılması sonucu selüloz toplumun ihtiyacını karşılayamayacak hale gelmiştir (Öz ve Kalender, 2017).

Selülozun teknolojik kullanım potansiyeli oldukça büyük olmasına rağmen doğal kaynaklardan saf selüloz elde etmenin bazı zorlukları vardır ve kimyasal işlem gerektirir. Selülozun, hemiselüloz ve lignin ile birlikte bulunması nedeniyle bitkilerden saf selüloz elde etme yönteminde oldukça fazla enerjiye ve kimyasala ihtiyaç duyulmaktadır (Yılmaz, 2007). Endüstriyel veya laboratuvar uygulamalarında selülozu saf hale getirmek için kraft, soda, organosolv, enzimatik vb. bazı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bu işlemler sırasında selülozun yapısında bazı değişiklikler olabilmekte, bu da selülozun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu nedenle, işlem koşulları ve yöntemler selülozun uygulama

gereksinimlerine uygun olacak şekilde dikkatlice ayarlanmalıdır.

Ayrıca selüloz üretimi için hammadde teminindeki sınırlı imkanlar, ormanların tahribatı, özellikle kağıt, tekstil, ilaç, gıda ve biyoteknoloji gibi birçok endüstriyel alanlardaki uygulamalar için gerekli olan saf selüloz üretimi sırasında uygulanan lignin ve hemiselülozun kimyasal ayrıştırma ve sonrası saflaştırma işlemlerinin maliyetli oluşu (Saxena ve Brown, 1997), tüketilen büyük miktarda enerji, üretim sonrasında ortaya çıkan kimyasal atıkların yönetiminin çevresel açıdan önemli oluşu vb. üretim ile ilgili bazı zorluklar, endüstri ve araştırma çevrelerinde sürekli olarak ele alınmaktadır. Saf selüloz üretimi sırasında selülozun yapısında oluşabilecek değişiklikler, üretilen selülozun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu nedenle, elde edilen selülozun kullanım gereksinimlerine uygun olması için işlem koşulları ve yöntemleri dikkatlice ayarlanmalıdır.

Tüm bu nedenlerden dolayı günümüzde araştırmacılar, sürdürülebilir ve çevre dostu malzeme alternatifleri arayan endüstriler için alternatif selüloz kaynakları ve alternatif selüloz üretim yöntemlerine odaklanmışlardır.

Bilim ve teknolojinin hızlı gelişimi sayesinde biyoteknoloji de gelişmiş ve giderek daha fazla uygulama alanı bulmuştur. Biyoteknolojinin hızla ilerlemesi sonucu son yıllarda bitkiler olmadan da selüloz üretebilme üzerine çalışmalar yapılmış ve selüloz ürettiği bilinen bakteriler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Böylece yapılan çalışmalar ile selüloz üretiminde ikinci yöntem olarak bakterilerin biyosentez yolu ile selüloz üretme yeteneği kullanılarak sürdürülebilir ve çevre dostu selüloz üretim yöntemlerinin geliştirmesi amaçlanmıştır.

## 2. BAKTERİYEL SELÜLOZ

### 2.1 Kökeni ve Yapısı

İnsanlar, çok eski tarihlerden beri geleneksel gıda işleme yöntemleri ile besinlerin (ekmek, peynir, şarap, bira, turşu) fermantasyonu sürecinde mikroorganizmaları kullanmışlardır. Ancak, mikroorganizmaların bu işlemlerdeki rolleri daha sonra bilimsel olarak anlaşılmıştır.

Doğada selüloz üreten mikroorganizmalar algler, mantarlar ve bakterilerden olarak sıralanmaktadır (Karaalp, 2007). Bakteriler tarafından üretilen alternatif selüloza “bakteriyel selüloz” adı verilmektedir (Bielecki vd., 2005). Bakteriyel selüloz, belirli bakteri türleri tarafından fermantasyon süreçleri sırasında üretilen bir polimerdir. Wang vd. (2019) yaptıkları çalışmada, farklı bakteri türleri tarafından üretilen polimerlerin farklı morfolojiye, farklı yapıya ve hatta farklı özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir (Betlej vd., 2021). Bu türlerden en çok tercih edilenin *Acetobacter*

türü olduğu belirtilmiştir (Çoban ve Bıyık, 2008).

Selüloz sentezleme yeteneğine sahip mikroorganizmalar arasında en çok belirtilen *Gluconacetobacter xylinum* (*A. xylinum*), *Komagataeibacter hansenii* (*A. hansenii*) ve *Komagataeibacter pasteurianus* (*A. pasteurianus*)'dur (Toyosaki vd., 1995). *A. xylinum*'dan selüloz üretimine ilişkin ilk rapor 1886'da Brown tarafından yayınlanmış (Brown 1886; Skočaj, 2019) olup, sirke fermantasyonu sırasında, sıvı yüzeyinde oluşan jelatinimsi yapıdan izole edilen *A. xylinum*'un, uygun bir besi ortamında üretildiğinde, yüksek miktarda jelatinimsi bir yapı sentezlediğini belirtilmiştir (Brown, 1886; Bielecki vd., 2005; Çoban ve Bıyık 2008). Önceleri bu bakteri, asetik asit üretimindeki başlıca kullanım nedeniyle "sirke bitkisi" olarak adlandırılmıştır. Bakteriyel selüloz üretimi, Hestrin ve arkadaşlarının glikoz ve oksijen varlığında *A. xylinum*'u kullanarak yürüttüğü çalışmaları ile 20. yüzyılın ikinci yarısında daha fazla araştırma ilgisi uyandırmıştır (Hestrin vd. 1947; Hestrin ve Schramm, 1954; Poddar ve Dikshit, 2021). Doğada meyvelerde, meyve suyunda ve sirkede bulunan *A. xylinum*, aerobik, gram-negatif asetik asit bakterisidir (Karaalp, 2007). Wang vd. (2019), bakteriyel selüloz sentezinde *A. xylinum*'un en yüksek verimliliğinin ve en etkili sonuçların elde edildiği, en üretken bakteri olarak karakterize edildiğini belirtmiştir. Birçok akademik çalışmada *A. xylinum*'un bakteriyel selüloz üretiminde birincil bakteri olduğunu belirtilmiştir (Hesseltine, 1965; Jankovic ve Stojanovic 1994; Liu vd., 1996; Mayser vd., 1995; Sievers vd., 1995; Greenwalt vd., 2000). Bakteriyel selülozun özellikle laboratuvar üretiminde ve akademik araştırmalarda *A. xylinum* bakterisi kullanılmaktadır.

Bakteriyel selüloz da bitkisel selüloz gibi  $\beta$ -1,4-glikozidik bağlarla birbirine bağlı glikoz moleküllerinin uzun zincirler halinde bir araya gelmesiyle oluşan polimerlerdir. Her ikisi de aynı kimyasal yapıya sahip olsalar da (Gallegos vd., 2016), elde edildikleri kaynakların farklılığından (Ye vd., 2019) dolayı fiziksel özelliklerinde ve moleküler yapılarında bazı farklılıklar bulunmaktadır (Fillat vd., 2018; Klemm vd., 2001).

Bakteriler biyosentez sırasında ortamdaki çeşitli karbon kaynaklarını kullanarak dış membranda bulunan gözenekler yardımıyla hücre dışına taşınarak doğrusal tek zincir şeklinde oluşan selüloz molekülleri birbirleriyle demetler halinde birleşerek bazı yapıları oluştururlar. Bu yapılardan en küçüğü elementel fibril olup elementel fibriller kristalleşerek mikrofibrillere, mikrofibriller bir araya gelerek fibrilleri ve fibriller de selüloz lamellerini oluşturmaktadır. Bakteriyel selüloz benzersiz şerit şeklindeki fibrillerden oluşur. Bu süreçler dizisi statik kültür ortamındaki hava ve sıvı ara yüzünde kalın, jelatinimsi bir membran oluşumuna yol açmaktadır (Brown vd., 1976; Benziman vd., 1980; White ve Brown, 1981; Bureau ve Brown, 1987; Poddar ve Dikshit, 2021). 1940'lı yıllarda yapılan elektron mikros-



kobik gözlemleri ile şerit şeklindeki fibrillerin bükümlü yapısı ortaya çıkarılmıştır (Mühlethaler, 1949; Yoshinaga vd., 1997).

Fibriller yaklaşık 10-100 nm çapındadır (Yamanaka vd., 1989; Xiang vd., 2017a) ve her biri, transmisyon gibi yüksek çözünürlüklü mikroskoplar kullanılarak gözlenebilen çok sayıda mikrofibrilden oluşmaktadır. Lif boyutları bakımından bitkisel selüloz lifi ile kıyaslandığında, bakteriyel selüloz lifinin bitkisel selüloz lifinin 1/10'ü ile 1/1000'ü kadar olup ultra ince lif ve ultra ince ağ yapısına sahip olduğu belirtilmiştir. (Yoshinaga vd., 1997).

Bakteriyel selülozun oldukça saf ve metabolik olarak inert şekilde hücre dışına salınması (Ross vd., 1991; Geyer vd., 1994; Erçalışkan, 2017), bitkilerin hücre duvarlarında bulunan dolayısıyla bitkilerin büyümesi ve yapısal desteği için önemli bir temel yapı taşı olan bitkisel selülozdan bu anlamda fark göstermektedir. Bitkisel selüloz hem yüksek oranda kristal hem de az düzeyde amorf veya parakristal bölgeler içerirken (Hon, 1994) bakteriyel selüloz moleküler düzeyde daha homojen bir yapıya sahip olduğu için daha yüksek kristalen bölgeye sahiptir (Qiu ve Netravali, 2014a)

## 2.2. Üretimi

Fermentasyon yöntemiyle bakteriyel selüloz üretimi, bir mikroorganizma kültürünün uygun besi ortamında büyümesi ve selüloz üretimi süreçlerini içermektedir. Bakteriyel selüloz üretiminde karıştırmalı yöntem ile kıyaslandığında daha yüksek selüloz veriminin elde edildiği (Chawla vd., 2009), statik yöntem tercih edilmektedir (Krystynowicz vd., 2002). Statik koşullarda bakteriyel selüloz sıvı besi ortamının üst yüzeyinde oluşmaktadır ve bu yöntem ile üretilen bakteriyel selüloz lifleri morfolojik özellikleri bakımından değerlendirildiğinde, fibrillerinin daha uzun ve birbirlerine paralel olacak şekilde daha düzgün olduğu gözlenmiştir (Jonas ve Farah, 1998; Erçalışkan 2017). Ayrıca besi ortamının bakteriyel selüloz üretim hızı ile ilişkili olduğu, besi ortamının yüzey alanının artırılması ile üretim hızının da arttığı tespit edilmiştir (Chawla, vd., 2009). Bu nedenle statik yöntem ile bakteriyel selüloz üretiminde geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır (Güzel ve Akpınar, 2018).

Bakteriyel selüloz üretimi için uygun bir besi ortamı hazırlanırken, bakterilerin gereksinimlerini karşılamak ve en verimli, en kaliteli bakteriyel selüloz üretimini yapmak için bileşenlerin ve koşulların dikkatli bir şekilde ayarlanması önemlidir. Bir besi ortamı su, karbon kaynağı, azot kaynağı, mineral tuzlar ve diğer besin maddelerinden oluşmaktadır. Karbon ve azot kaynakları üretim için önemlidir. Karbon kaynağı, bakterilerin enerji ve bakteriyel selüloz üretimini etkileyen besi ortamındaki en önemli faktördür (Akoğlu vd., 2010; Masaoka vd., 1993).Yapılan bir çalışmada bakteriyel selüloz üretiminde en iyi karbon kaynağının sırasıyla früktoz,

maltoz, sakkaroz ve glikoz olduğu belirlenmiştir (Çakmakçı vd., 2008).

Nitrojen, mikroorganizmaların büyümesi ve çoğalması için temel bir besin ögesidir. Maya ekstratı gibi nitrojen kaynakları, bakteriyel selüloz gibi mikrobiyal ürünlerin temel bileşenleri sentezlemesi ve verimli bir şekilde üretilmesi için besi ortamlarında kullanılması gereklidir.

Yapılan çalışmalara göre besi ortamındaki karbon kaynağının yüksek oranda, nitrojen kaynağının ise düşük oranda tutulması (Ramana vd., 2000) ve karbon kaynağı olarak glikoz, nitrojen kaynağı olarak maya ekstraktının kullanılması ile bakteriler tarafından en yüksek verimde selüloz üretildiği belirlenmiştir (Poyrazoğlu Çoban ve Bıyık , 2007; Akoğlu vd., 2010). Besi ortamının pH seviyesi, bakterilerin büyümesi ve selüloz üretimi için önemlidir ve genellikle hafif asidik (pH 4-6) olarak tutulmalıdır (Ramana vd., 2000).

Bakteriyel selülozun özelliklerini olumlu yönde etkileyebilecek olan çeşitli fenolik bileşikler isteğe bağlı olarak besi ortamına eklenebilir. Ayrıca fermantasyon işlemi sırasında besi ortamının sıcaklığı, bakterilerin en fazla büyümelerine ve bakteriyel selülozun üretimi sıcaklığına uygun olacak şekilde kontrol edilmelidir.

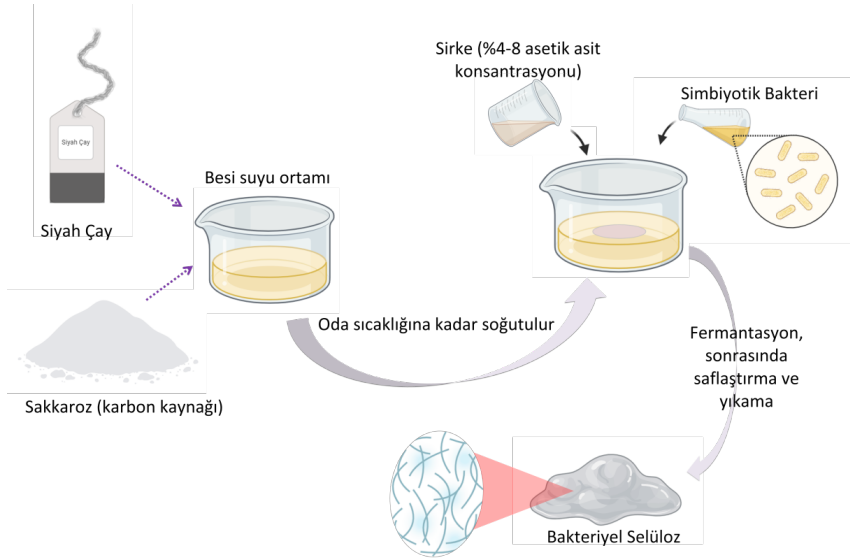
Bakteriyel selüloz üretimi için geleneksel, pahalı veya saf kimyasal bileşenlerin yerine ucuz, yeniden kullanılabilir endüstriyel atıkların veya alternatif kaynakların kullanılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu tür çalışmalar, hem çevresel sürdürülebilirliği hem de maliyet etkinliği artırmayı amaçlar (Revin vd., 2018; Ramana vd., 2000; Güzel ve Akpınar, 2018).

Çeşitli gıda işleme atıkları (Carreira vd., 2011), hidrolize hemiselüloz (Uraki, 2002), pancar ve şeker kamışı melası (Bae ve Shoda, 2005), bazı meyve atıkları (Güzel ve Akpınar, 2019; Hungund, 2013), pirinç kabuğu (Goelzer vd., 2009), buğday sapı (Chen vd., 2012), pamuk atıkları (Hong vd., 2012), akçağaç şurubu (Zeng vd. 2011), kahve kabuğu (Usha ve Appiah, 2011), zeytin öğütme kalıntısı (Gomes vd., 2013), atık bira mayası (Lin vd., 2014), hurma şurubu (Mohammadkazem, 2015), çeşitli ağaç ekstraktları (Kızıldaş ve Kızıldaş, 2015) ve beyaz kabak suyu, melas, peynir altı suyu gibi bazı ucuz endüstriyel atıkları bakteriyel selüloz üretiminde pahalı besi suyu bileşiklerinin yerine kullanılmıştır (Naritomi vd., 1998; Battad-Bernardo vd., 2004; Bae ve Shoda, 2005; Akoğlu, 2010; Güzel ve Akpınar, 2019).

Bu alternatif besi ortamı karbon kaynakları, selüloz üretimi için geleneksel olarak kullanılan daha pahalı veya saf bileşenlerin yerine geçebilir ve üretim maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca, endüstriyel atıkların kullanılması, bu atıkların çevresel etkilerini azaltabilir ve sürdürülebilir bir üretim sürecini destekleyebilir.

Bakteriyel selüloz bazı Asya ülkelerinde Nata de Cocco olarak bilinen yerel bir gıdada (Shi vd., 2014) ve sağlığa faydaları ile bilinen Kombucha çayı, Mançurya çayı gibi bazı fermente içeceklerin üretimi sırasında oluşmaktadır (Ng vd. 2004, Güzel ve Akpınar, 2018).

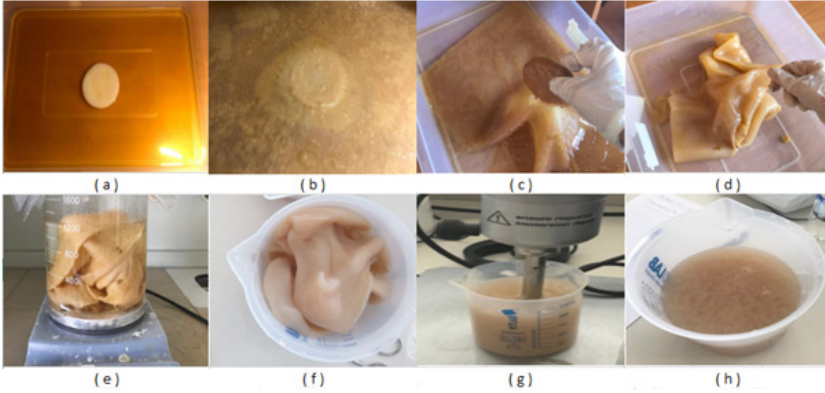
Bakteriyel selüloz, yaygın olarak kombucha olarak bilinen, bakteri ve mayadan oluşan simbiyotik bir konsorsiyumun (SCOBY) kullanıldığı kolay ve ucuz bir kültür yöntemi ile üretilebilmektedir (Dima vd., 2017; Kamiński vd., 2020). Kombucha, şekerli siyah çayın fermantasyonu sonucu oluşan bir içecektir. Fermantasyon işleminin başlatılması ve sürdürülmesinde SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast - Bakteri ve Maya Simbiyotik Kültürü) kullanılır (Dufresne ve Farnworth 2000; Teoh vd. 2004; Malbaša vd. 2011; Goh vd. 2012; Kalyoncu ve Peşman, 2020) Mayaların ve asetik asit bakterilerinin (genellikle *Acetobacter* cinsi bakteriler) şekeri alkole ve asetik asite dönüştürmesi sonucunda oluşur. Fermantasyon işlemi sonunda besi ortamının yüzeyinde bakteriyel selüloz oluşumu gözlenir (Domskiene vd., 2019). Şekil 1’de SCOBY ile kombucha çayı üretimi sırasında sentezlenen bakteriyel selüloz için üretim süreçlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Bakteriyel selüloz üretim sürecinin şematik gösterimi

Kalyoncu ve Peşman 2020 ve 2022 yıllarında yaptıkları çalışmalarında kullanmak üzere ticari tedarikçilerden elde edilen simbiyotik bakteri ve maya kültürü (SCOBY) ile bakteriyel selüloz üretimi yapmışlardır. İlk olarak besi

yeri hazırlığı için yayvan ve geniş bir kap içerisinde 1000 ml kaynamış su, 200 gr sakkaroz ve 4 gr siyah çay kullanılmıştır. 25 °C'ye kadar soğutulan besi ortamına %4-8 oranında asetik asit içerikli elma sirkesi ve bakteriyel selülozun üretimini katalize eden SCOBBY'nin eklenmesi ile fermantasyon işlemi başlatılmıştır. Fermantasyon sürecinin (15 gün) sonunda yüzeyde yaklaşık 1 cm kalınlığında jel şeklinde bakteriyel selüloz biyokütlesi elde edilmiştir. Üretilen bakteriyel selülozu bakterilerden temizlemek için etil alkol ile 40 dak boyunca kaynatılma işlemi yapılmış, sonrasında selülozun saflaştırılması için 0,1 M NaOH çözeltisi ile iki kere 20'şer dakika kaynatılmış, son olarak pH 7'ye ulaşıncaya kadar destile su ile yıkanmıştır. Üretilen bakteriyel selüloz homojenizatör ile mekanik parçalanarak disperse edilmiştir. Bakteriyel selülozun çeşitli uygulamalarda kullanılması için tamamen disperse edilmesi gerekmektedir (Gao vd., 2011). Bu sayede bitkisel selüloz lifi ve bakteriyel selüloz lifi arasındaki hidrojen bağı oluşumunu sağlayan molekül zinciri üzerindeki hidroksil gruplarının açığa çıkması sağlanmaktadır (Yuan vd., 2016). Şekil 2'de Kombucha çayının fermentasyonu sırasında elde edilen bakteriyel selüloz ve kağıt uygulamalarında kullanılmadan önce bakteriyel selüloza uygulanan işlemler görsellerle verilmiştir.



**Şekil 2.** *Kombucha çayının fermentasyonu ile bakteriyel selüloz üretimi ve üretilen bakteriyel selülozun saflaştırma işlemleri (a: Besi ortamının hazırlanması, b: Fermantasyon işlemi ile bakteriyel selüloz oluşumu, c: 15 günlük fermentasyon işleminin sonu, d: Bakteriyel selüloz biyokütlesinin elde edilişi, e: Bakteriyel selülozun bakterilerden temizlenme işlemi, f: Safsızlıklarından arındırılmış bakteriyel selüloz, g: Homojenizatör ile dispersiyon işlemi, h: Disperse edilmiş bakteriyel selüloz)*

### 2.3. Avantajlı Özellikleri

Bakteriyel selülozu bitkisel selülozdan ayıran, bazı özel uygulamalarda bitkisel selüloza göre tercih edilmesini sağlayan bazı önemli avantajlı

ve mükemmel özelliklere sahiptir.

Bakteriyel selüloz, bitkisel selüloza göre daha düzenli bir yapıya sahiptir (Delmer, 1999). Kimyasal olarak saf, neredeyse %100'e yakın selüloz içeriği olduğu, hemiselüloz veya lignin içermediği rapor edilmiştir. (Bieleck vd., 2004; Zhang vd., 2011; Qiu ve Netravali, 2014a). Özellikle tıp, gıda gibi belirli uygulamalar için önemli olan yerlerde daha saf bir ürün elde etmeye yardımcı olur. Kristalizasyon derecesi oldukça yüksektir (Yamanaka ve Sugiyama, 2000; Keshk, 2014; Revin vd., 2018; Lin vd., 2014). Bitkisel selülozdan 100 kat daha ince ve gözenekli yapıda mikrofibrillere (Chawla vd., 2009; Gayathry ve Gopaldaswamy, 2014; Güzel ve Akpınar, 2018) ve yüksek su tutma kapasitesi ve hidrofilik özelliğe sahiptir (Bieleck vd., 2004; Saibuatong ve Phisalaphong, 2010; Zhang vd., 2011). Bu özellikler malzemenin bazı özel kullanım alanlarında avantaj sağlayabilir. Gözenekli yapısı ve hidrofilik özellikleri nedeniyle sıvı absorplama kapasitesine oldukça yüksektir (Araújo vd., 2018; Johnson ve Neogi, 1989). Suda çözünmez. Bu özelliği suya dayanıklı veya nem kontrolü gerektiren uygulamalarda tercih edilebileceği bir özelliktir. Ultra ince, gözenekli, matris şeklindeki geniş ağısı yapısı (Reiniati vd., 2017; Araújo vd. 2018; Dahman, 2009; Maria vd., 2010) nedeniyle bitkisel selüloza göre yaklaşık 200 kat daha büyük olan yüzey alanına sahiptir (Reiniati vd., 2017; Bielecki vd., 2005). Liflerin elastikiyeti yüksektir (Watanabe vd., 1998; Yamanaka ve Sugiyama, 2000). Bakteriyel selüloz nanoliflerinin Young modülü oldukça yüksektir ve birçok yüksek mukavemetli sentetik liflerle benzer bir düzeyde mekanik dayanıklılığa sahiptir (Guhado vd., 2005; Hsieh vd., 2008). Yüksek Young modülü değeri, bakteriyel selüloz nanoliflerinin birçok endüstriyel uygulama için ilgi çekici hale getirmektedir. Yüksek elastik ve ağısı yapısı nedeniyle yüksek gerilime direncine sahiptir (Reiniati, 2017). Yüksek biyouyumluluk özelliğine sahip olması ayrıca biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle çeşitli çevresel uygulamalar için yeşil malzemelerden biri olabilir (Lestari vd., 2014; Qiu ve Netravali, 2014b). Polimerizasyon derecesi yüksektir (Dahman, 2009) ve yüksek mekanik özelliklere sahiptir (Qiu ve Netravali, 2014a). Bakteriyel selülozun, bitkisel selüloza göre daha yüksek mekanik dayanıklılığa sahip olması, bazı uygulamalarda daha sağlam ve dayanıklı malzemelerin üretilmesine olanak tanımaktadır.

Tüm bu özellikler, bakteriyel selülozu bitkisel kaynaklı selüloz alternatifini olarak cazip hale getirmekte ve bazı özel uygulamalarda bitkisel selüloza göre tercih edilmesini sağlayabilir. Özellikle tıbbi, tekstil, gıda, kağıt ve diğer teknoloji alanlarında çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Ancak, her iki türün de kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır ve kullanılacakları yerler, uygulamalar ve koşullar göz önünde bulundurulmalıdır.

## 2.4. Kullanım Alanları

Bakteriyel selüloz çok çeşitli uygulamalarda kullanılan çok yönlü bir malzemedir.

Üretimimin ekonomik olması, üretimi sırasında istenen özellikleri taşıyacak şekilde değişime uğratılmasının mümkün olması ve üretim sonrasında yapılacak kimyasal uygulamalara elverişli olması bakteriyel selülozun çok farklı alanlarda kullanımını mümkün hale getirmektedir. Plastik cerrahide yanık tedavisinde kullanım potansiyeli çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Gümüş nanoparçacıkları içeren bakteriyel selülozun antibakteriyel özellikleri nedeniyle yaraların tedavisinde etkili olduğu belirlenmiştir. Kozmetikte ise kremlerde, toniklerde, tırnak cilalarında emilimi kolaylaştırması nedeniyle, tekstil ürünlerinde absorban olarak ve suni deri üretiminde ve özellikle gıda sanayinde düşük kalorili katkı maddesi, kıvam arttırıcı olarak kullanılabilir (Akoğlu vd., 2010). Yapay deri ve kan damarı gibi medikal uygulamalarda, lifler ve diğer malzemeler için bağlayıcı madde, hoparlör diyaframı, kozmetik, yüksek kaliteli kağıt, gıda, tekstil, kompozit membran vb. gibi birçok farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ( Backdahl vd., 2006; Liebner vd., 2012; Bodin vd., 2007; Tang vd., 2010; Stoica-Guzun vd., 2007; Haimer vd., 2010; Czaja vd., 2006; Czaja vd., 2007; Portal vd., 2009).

### 2.4.1. Bakteriyel Selülozun Kağıt Uygulamalarında Kullanımı

Selüloz ve selüloz esaslı ürünlerin geliştirilerek mevcut özelliklerinin iyileştirilmesi veya ürünlere yeni özellikler kazandırılması son yıllarda büyük bir ilgi ile karşılanmakta olup, sürdürülebilirlik, ekonomi ve çevre dostu endüstriyel uygulamalar açısından büyük öneme sahiptir.

Bu amaçlar doğrultusunda biyoteknolojinin kağıt üretiminde kullanılması önemli bir fayda olarak görülmektedir (Basta ve El-Saied, 2009). Biyoteknoloji uygulamalarının bir parçası olarak bakteriyel selüloz kağıt endüstrisinde yenilikçi bir malzeme olarak kullanımına yönelik bir çok akademik çalışmalar bulunmaktadır.

Yuan vd. (2016) yaptıkları çalışmada PFI değirmeninde 30000 devirde lifleri disperse edilen bakteriyel selülozun katkı maddesi olarak kullanıldığı kağıtların fiziksel özelliklerini etkili bir şekilde iyileştirdiğini belirtmiştir. Bakteriyel selülozun mekanik parçalanması sonucu lif yüzeylerinde lifler arasında mükemmel bağ yapabilmeyi sağlayan serbest hidroksil grupları oluşmaktadır (Yoshinaga vd. 1997). Homojen olarak disperse edilen bakteriyel selüloz liflerinin, bitkisel lifler ile birbirlerine köprüleme, yüzey kaplama, birleşme, boşlukları doldurma yöntemleri ile bağlanarak kompakt bir bağ oluşturması ile sağlanmıştır (Yuan vd., 2016). Böylece bakteriyel selülozun katkı maddesi olarak kullanılabilmesi mümkün olmakta (Yoshi-

naga vd., 1997) ve üretilen kağıtların mukavemet ve dayanıklılık özellikleri arttırabilmektedir.

Kalyoncu ve Peşman (2020) yaptıkları çalışmada, atık ofis kağıdının yeniden üretim süreci sırasında yıkanarak uzaklaşması beklenen dolgu maddesinin, üretim sırasında ilave edilen bakteriyel selülozun ağısı yapısı ve bakteriyel selülozun atık kağıt lifleri ile oluşturduğu lif matrisi ile tutunduğunu belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak bakteriyel selüloz takviyeli kağıtların, uygulanan termal yaşlandırma işlemi sonrasında tutundurulmuş dolgu maddesinin etkisiyle parlaklık değerlerinin değişmediği, parlaklık stabilitesinin sağlandığı görülmüştür (Kalyoncu ve Peşman, 2020).

Suyu iyi bir şekilde absorplama yeteneğine sahip olan bakteriyel selülozun kağıt üretiminde kullanılması ile kağıdın suya karşı direnç özelliği artırılabilir. Özellikle su ile temas durumlarında kağıdın dayanıklılığını artırabilen bir özelliğe sahip olan bakteriyel selülozun bu amaçla kullanımı tercih edilebilir. Yapılan başka bir çalışmada, atık gazete kağıdının bakteriyel selüloz takviyesi ile geri dönüşümü sonucunda kağıdın su için yüksek bariyer özelliği elde ettiği gözlenmiştir (Kalyoncu ve Peşman, 2020).

Odunsu olmayan liflerden üretilen kağıtların veya geri dönüştürülmüş atık kağıtların orijinal odunsu liflerden yapılanlara kıyasla genellikle daha düşük fiziksel özelliklere sahip olması (Kose vd., 2016; Laftah ve Rahman 2016), yüksek kalitede veya baskı kağıdı olarak kullanımını kısıtlanmaktadır. Bu nedenle, üreticiler tarafından etkili takviye edici maddelere ihtiyaç duyulmaktadır (Xiang vd., 2017a). Bakteriyel selülozun kağıt üretiminde katkı maddesi olarak kullanılması ile kağıdın sağlamlık özellikleri geliştirilebilmekte ve dayanıklılığı arttırılabilmektedir. Bu durum özellikle direnci yüksek kağıt ürünleri gereken endüstriler için önemli olabilmektedir. Xiang vd. (2017b) yaptıkları çalışmada, bakteriyel selülozun farklı kalitelerdeki (yüksek, orta ve düşük) kağıtlara takviyesi sonucunda, düşük kalitedeki kağıtlarda tutunumunun, orta ve yüksek kalitedeki kağıtlardaki tutunumdan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek ve orta kalitedeki kağıtların kopma direncinin artan bakteriyel selüloz oranına bağlı olarak ilk etapta arttığı, sonrasında azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmaların ışığında üstün özellikleri göz önünde bulundurulduğunda bakteriyel selüloz; yüksek saflıkta selüloz içerdiği için yüksek kaliteli kağıt üretiminde, çok iyi mekanik özelliklere sahip olduğundan kağıtların direnç özelliklerinin iyileştirilmesinde ve birinci kalitede kağıt üretiminde, suya dirençli özel kağıtların üretiminde, atık kağıtların geri dönüşüm süreçlerinin iyileştirilmesinde potansiyel yenilikçi bir malzeme olarak kullanılabilirliği söylenmektedir.

Günümüzde artan nüfusa bağlı olarak giderek artan ambalaj tüketimi sonucu ortaya çıkan atık miktarının çevresel kaygı yaratmasından dolayı

biyolojik olarak parçalanabilen ve ucuz alternatif ambalaj malzemelerine olan ilgi giderek artmıştır (Choi vd., 2022). Bakteriyel selüloz havadaki tozu, mikroorganizmaları ve mantarları filtreleyen gözenekli, ince ve ağsı yapıya sahip olması gibi üstün özellikleri nedeniyle gıdaların saklanması ve kullanım sürelerinin uzatılması amacıyla gıda ambalaj malzemesi olarak uygun bir alternatif olabilmekte (Amorim vd., 2022), gıda kaplama ve ambalajında antibakteriyel filmler şeklinde kullanılabilir (Weber vd., 2002; Nguyen vd., 2008; Akoğlu vd., 2010). Kimyasal olarak dayanıklı olması, gıdaların kimyasal bozulmasını önlemek veya dış etkenlere karşı korunmasını sağlayabilmesi nedeniyle bakteriyel selülozun özellikle gıda ambalajlarında kullanılan kağıtlara yüzey kaplama olarak veya katkı maddesi olarak entegre edilmesi düşünülebilmektedir.

Bakteriyel selüloz sahip olduğu tüm bu özelliklerinden dolayı kağıt ve kağıt esaslı malzemeler için muhtemel bir takviye edici madde olarak değerlendirilebilmektedir (Gao vd. 2010; Shibazaki vd. 1994; Surma-S'lu-sarska vd. 2008; Tabarsa vd. 2017; Yamanaka vd. 1989; Xiang vd. 2017a, Xiang vd. 2017b).

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde doğal kaynakların hızla tükenmesi, sürdürülebilirlik ve çevresel koruma açısından büyük bir endişe kaynağı olmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir alternatif malzemeler üzerine yapılan araştırmalar büyük önem taşır.

Bakteriyel selüloz, gelecekte daha sürdürülebilir ve çevre dostu malzemelerin üretilmesine büyük bir katkı sağlayabilecek özelliktedir. Bilinen klasik yöntemler ile üretilen selüloza alternatif bir seçenek sunmaktadır. Bu şekilde daha az kimyasal kullanımı ve biyobozunur özelliği sayesinde olumsuz çevresel etkileri azaltabilecek potansiyelde olmaktadır. Sahip olduğu özellikler ile birçok endüstriler ve uygulamalar için yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu nedenle bu malzemenin araştırılması ve geliştirilmesi, gelecekte daha yeşil ve çevre dostu malzemelerin üretilmesine katkıda bulunabilecektir.

Bakteriyel selülozun endüstriyel ölçekte üretim sürecine yönelik büyük ölçekli fermantasyon ekipmanları ve ileri düzey proses kontrol sistemleri gerekebilir. Bununla beraber geniş ölçekli uygulamalarda üretiminde kullanılan karbon kaynaklarının yüksek maliyetinin karbonhidrat bakımından zengin çeşitli tarımsal, endüstriyel, evsel gıda atıklarının ve yan ürünlerinin karbon kaynağı olarak kullanımı ile düşürülebileceği düşünülmektedir. Çeşitli endüstrilerde ve uygulamalarda bakteriyel selüloz kullanımı ve tüketiminin artması sağlık ve çevre bilincinin artması için önemli bir rol oynayabilir. Ayrıca, yapılan çalışmaların incelenmesi, bak-



teriyel selülozun kağıt ürünlerinin özellikleri üzerinde çeşitli etkileri olduğunu göstermektedir. Bu etkiler, kağıt ürünlerinin kullanılacağı koşullara göre değişiklik göstermektedir. Özellikle fiziksel ve mekanik özellikler açısından bakteriyel selülozun uygun oranlarda ilave edilmesinin olumlu sonuçlar verdiği ve farklı türde kağıt ürünlerinin üretiminde bu amaçla kullanılabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Araújo, I. M., Silva, R. R., Pacheco, G., Lustri, W. R., Tercjak, A., Gutierrez, J., ... & Barud, H. S. (2018). Hydrothermal synthesis of bacterial cellulose–copper oxide nanocomposites and evaluation of their antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*, *179*, 341-349.
- Arena, M., Abbate, C., Fukushima, K., & Gennari, M. (2011). Degradation of poly (lactic acid) and nanocomposites by *Bacillus licheniformis*. *Environmental Science and Pollution Research*, *18*, 865-870.
- Akoğlu, A., Karahan, A. G., Çakmakçı, M. L., & Çakır, İ. (2010). Bakteriyele selülozün özellikleri ve gıda sanayisinde kullanımı. *Gıda*, *35*(2), 127-134.
- Amorim, L. F., Mouro, C., Riool, M., & Gouveia, I. C. (2022). Antimicrobial food packaging based on prodigiosin-incorporated double-layered bacterial cellulose and chitosan composites. *Polymers*, *14*(2), 315.
- Bäckdahl, H., Helenius, G., Bodin, A., Nannmark, U., Johansson, B. R., Risberg, B., & Gatenholm, P. (2006). Mechanical properties of bacterial cellulose and interactions with smooth muscle cells. *Biomaterials*, *27*(9), 2141-2149.
- Bae, S. O., & Shoda, M. (2005). Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* BPR2001 using molasses medium in a jar fermentor. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *67*, 45-51.
- Basta, A. H., & El-Saied, H. (2009). Performance of improved bacterial cellulose application in the production of functional paper. *Journal of Applied Microbiology*, *107*(6), 2098-2107.
- Battad-Bernardo, E., McCrindle, S. L., Couperwhite, I., & Neilan, B. A. (2004). Insertion of an *E. coli lacZ* gene in *Acetobacter xylinus* for the production of cellulose in whey. *FEMS Microbiology Letters*, *231*(2), 253-260.
- Benziman, M., Haigler, C. H., Brown Jr, R. M., White, A. R., & Cooper, K. M. (1980). Cellulose biogenesis: polymerization and crystallization are coupled processes in *Acetobacter xylinum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *77*(11), 6678-6682.
- Bertero, M., de la Puente, G., & Sedran, U. (2012). Fuels from bio-oils: Bio-oil production from different residual sources, characterization and thermal conditioning. *Fuel*, *95*, 263-271.
- Betlej, I., Zakaria, S., Krajewski, K. J., & Boruszewski, P. (2021). Bacterial cellulose–properties and its potential application. *Sains Malays*, *50*(2), 493-505.
- Bielecki, S., Krystynowicz, A., Turkiewicz, M., & Kalinowska, H. (2005). Bacterial cellulose. *Polysaccharides and Polyamides in The Food Industry: Properties, Production, And Patents*, 31-84.
- Bodin, A., Bäckdahl, H., Fink, H., Gustafsson, L., Risberg, B., & Gatenholm, P. (2007). Influence of cultivation conditions on mechanical and morphological properties of bacterial cellulose tubes. *Biotechnology and Bioengineering*, *97*(2), 425-434.

- Brown Jr, R. M., Willison, J. H., & Richardson, C. L. (1976). Cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum*: visualization of the site of synthesis and direct measurement of the in vivo process. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 73(12), 4565-4569.
- Brown, A. J. (1886). XIX.—The chemical action of pure cultivations of bacterium acetii. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 49, 172-187.
- Bureau, T. E., & Brown Jr, R. M. (1987). In vitro synthesis of cellulose II from a cytoplasmic membrane fraction of *Acetobacter xylinum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84(20), 6985-6989.
- Carreira, P., Mendes, J. A., Trovatti, E., Serafim, L. S., Freire, C. S., Silvestre, A. J., & Neto, C. P. (2011). Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose. *Bioresource Technology*, 102(15), 7354-7360.
- Chawla, P. R., Bajaj, I. B., Survase, S. A., & Singhal, R. S. (2009). Microbial cellulose: fermentative production and applications. *Food Technology & Biotechnology*, 47(2), 107-124.
- Chen, L., Hong, F., Yang, X. X., & Han, S. F. (2013). Biotransformation of wheat straw to bacterial cellulose and its mechanism. *Bioresource Technology*, 135, 464-468.
- Choi, S. M., Rao, K. M., Zo, S. M., Shin, E. J., & Han, S. S. (2022). Bacterial cellulose and its applications. *Polymers*, 14(6), 1080.
- Czaja, W. K., Young, D. J., Kawecki, M., & Brown, R. M. (2007). The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications. *Biomacromolecules*, 8(1), 1-12.
- Czaja, W., Krystynowicz, A., Bielecki, S., & Brown Jr, R. M. (2006). Microbial cellulose—the natural power to heal wounds. *Biomaterials*, 27(2), 145-151.
- Çakmakçı ML, Karahan AG, Çakır İ, Gündoğdu, A, Akoğlu A. 2008. Selüloz üretiminde kullanılacak mikroorganizmaların izolasyonu, moleküler tanısı ve mikrobiyel selülozun gıda sanayinde kullanım olanaklarının araştırılması. TÜBİTAK TOVAG 105O156 nolu proje raporu.
- Çoban, E. P., & Bıyık, H. H. (2008). Asetik asit bakterilerinden elde edilen alternatif selüloz. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR*, 6(2), 19-26.
- Dahman, Y. (2009). Nanostructured biomaterials and biocomposites from bacterial cellulose nanofibers. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 9(9), 5105-5122.
- Delmer, D. P. (1999). Cellulose biosynthesis: exciting times for a difficult field of study. *Annual Review of Plant Biology*, 50(1), 245-276.
- Dima, S. O., Panaitescu, D. M., Orban, C., Ghiurea, M., Doncea, S. M., Fierascu, R. C., ... & Oancea, F. (2017). Bacterial nanocellulose from side-streams of kombucha beverages production: Preparation and physical-chemical pro-

- perties. *Polymers*, 9(8), 374.
- Domskiene, J., Sederavičute, F., & Simonaityte, J. (2019). Kombucha bacterial cellulose for sustainable fashion. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 31(5), 644-652.
- Dufresne, C., & Farnworth, E. (2000). Tea, Kombucha, and health: a review. *Food Research International*, 33(6), 409-421.
- Erçalışkan, K. (2017). *Çeşitli kaynaklardan bakteriyal selüloz üreten bakterilerin izolasyonu ve karakterizasyonu* (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Fillat, A., Martínez, J., Valls, C., Cusola, O., Roncero, M. B., Vidal, T., ... & Pastor, F. J. (2018). Bacterial cellulose for increasing barrier properties of paper products. *Cellulose*, 25, 6093-6105.
- Gallegos, A. M. A., Carrera, S. H., Parra, R., Keshavarz, T., & Iqbal, H. M. (2016). Bacterial cellulose: a sustainable source to develop value-added products—a review. *BioResources*, 11(2), 5641-5655.
- Gao, W. H., Chen, K. F., Yang, R. D., Yang, F., & Han, W. J. (2011). Properties of bacterial cellulose and its influence on the physical properties of paper. *BioResources*, 6(1), 144-153.
- Gayathrya, G., & Gopalaswamy, G. (2014). Production and characterisation of microbial cellulosic fibre from *Acetobacter xylinum*. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 39, 93-96.
- Geyer, U., Heinze, T., Stein, A., Klemm, D., Marsch, S., Schumann, D., & Schmauder, H. P. (1994). Formation, derivatization and applications of bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 16(6), 343-347.
- Greenwalt, C. J., Steinkraus, K. H., & Ledford, R. A. (2000). Kombucha, the fermented tea: microbiology, composition, and claimed health effects. *Journal of Food Protection*, 63(7), 976-981.
- Goelzer, F. D. E., Faria-Tischer, P. C. S., Vitorino, J. C., Sierakowski, M. R., & Tischer, C. A. (2009). Production and characterization of nanospheres of bacterial cellulose from *Acetobacter xylinum* from processed rice bark. *Materials Science and Engineering: C*, 29(2), 546-551.
- Goh, W. N., Rosma, A., Kaur, B., Fazilah, A., Karim, A. A., & Bhat, R. (2012). Fermentation of black tea broth (Kombucha): I. Effects of sucrose concentration and fermentation time on the yield of microbial cellulose. *International Food Research Journal*, 19(1), 109-117.
- Gomes, F. P., Silva, N. H., Trovatti, E., Serafim, L. S., Duarte, M. F., Silvestre, A. J., ... & Freire, C. S. (2013). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter sacchari* using dry olive mill residue. *Biomass and Bioenergy*, 55, 205-211.
- Guhados, G., Wan, W., & Hutter, J. L. (2005). Measurement of the elastic modulus

- of single bacterial cellulose fibers using atomic force microscopy. *Langmuir*, 21(14), 6642-6646.
- Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2018). Bakteriyel Selülozların Üretimi ve Özellikleri ile Gıda ve Gıda Dışı Uygulamalarda Kullanımı. *Akademik Gıda*, 16(2), 241-251.
- Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Production and characterization of bacterial cellulose from citrus peels. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2165-2175.
- Haimer, E., Wendland, M., Schlufte, K., Frankenfeld, K., Miethe, P., Potthast, A., ... & Liebner, F. (2010, August). Loading of bacterial cellulose aerogels with bioactive compounds by antisolvent precipitation with supercritical carbon dioxide. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 294, No. 2, pp. 64-74). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Hesseltine, C. W. (1965). A millennium of fungi, food, and fermentation. *Mycologia*, 57(2), 149-197.
- Hestrin, S., & Schramm, M. J. B. J. (1954). Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. 2. Preparation of freeze-dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose. *Biochemical Journal*, 58(2), 345.
- Hestrin, S., Aschner, M., & Mager, J. (1947). Synthesis of cellulose by resting cells of *Acetobacter xylinum*. *Nature*, 159(4028), 64-65.
- Hsieh, Y. C., Yano, H., Nogi, M., & Eichhorn, S. J. (2008). An estimation of the Young's modulus of bacterial cellulose filaments. *Cellulose*, 15, 507-513.
- Hon, D. N. S. (1994). Cellulose: A random walk along its historical path. *Cellulose*, 1, 1-25.
- Hong, F., Guo, X., Zhang, S., Han, S. F., Yang, G., & Jönsson, L. J. (2012). Bacterial cellulose production from cotton-based waste textiles: enzymatic saccharification enhanced by ionic liquid pretreatment. *Bioresource Technology*, 104, 503-508.
- Hungund, B., Prabhu, S., Shetty, C., Acharya, S., Prabhu, V., & Gupta, S. G. (2013). Production of bacterial cellulose from *Gluconacetobacter persimmonis* GH-2 using dual and cheaper carbon sources. *Microbial & Biochemical Technology*, 5(2), 31-33.
- Iqbal, H. M. N., Kyazze, G., & Keshavarz, T. (2013). Advances in the valorization of lignocellulosic materials by biotechnology: an overview. *BioResources*, 8(2), 3157-3176.
- Jankovic, I., & Stojanovic, M. (1994). Microbial and chemical composition, growth, therapeutical and antimicrobial characteristics of tea fungus. *Mikrobiologija (Yugoslavia)*, 31(1), 35-43.
- Johnson, D. C., & Neogi, A. N. (1989). *U.S. Patent No. 4,863,565*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Jonas, R., & Farah, L. F. (1998). Production and application of microbial cellulose. *Polymer Degradation and Stability*, 59(1-3), 101-106.

- Kalyoncu, E. E., & Peşman, E. (2020). Bacterial cellulose as reinforcement in paper made from recycled office waste pulp. *BioResources*, 15(4), 8496.
- Kalyoncu, E. E., & Peşman, E. (2022). Bakteriye selüloz ve boraks katkılı atık gazete kağıtlarının termal ve optik özelliklerinin incelenmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 229-237.
- Karaalp, T. (2007). *Bakteriyel selüloz üretiminde farklı karbon kaynaklarının değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kamiński, K., Jarosz, M., Grudzień, J., Pawlik, J., Zastawnik, F., Pandyra, P., & Kołodziejczyk, A. M. (2020). Hydrogel bacterial cellulose: A path to improved materials for new eco-friendly textiles. *Cellulose*, 27, 5353-5365.
- Keshk, S. M. (2014). Vitamin C enhances bacterial cellulose production in *Gluconacetobacter xylinus*. *Carbohydrate Polymers*, 99, 98-100.
- Kiziltas, E. E., Kiziltas, A., & Gardner, D. J. (2015). Synthesis of bacterial cellulose using hot water extracted wood sugars. *Carbohydrate Polymers*, 124, 131-138.
- Klemm, D., Schumann, D., Udhardt, U., & Marsch, S. (2001). Bacterial synthesized cellulose-artificial blood vessels for microsurgery. *Progress in Polymer Science*, 26(9), 1561-1603.
- Krystynowicz, A., Czaja, W., Wiktorowska-Jeziarska, A., Gonçaves-Miśkiewicz, M., Turkiewicz, M., & Bielecki, S. (2002). Factors affecting the yield and properties of bacterial cellulose. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 29(4), 189-195.
- Kose, R., Yamaguchi, K., & Okayama, T. (2016). Preparation of fine fiber sheets from recycled pulp fibers using aqueous counter collision. *Cellulose*, 23, 1393-1399.
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(8), 3713-3729.
- Laftah, W. A., & Wan Abdul Rahman, W. A. (2016). Pulping process and the potential of using non-wood pineapple leaves fiber for pulp and paper production: A review. *Journal of Natural Fibers*, 13(1), 85-102.
- Lestari, P., Elfrida, N., Suryani, A., & Suryadi, Y. (2014). Study on the production of bacterial cellulose from *Acetobacter xylinum* using agro-waste. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 147(1570), 1-6.
- Liebner, F., Aigner, N., Schimper, C., Potthast, A., & Rosenau, T. (2012). Bacterial cellulose aerogels: From lightweight dietary food to functional materials. In *Functional Materials from Renewable Sources* (pp. 57-74). American Chemical Society.
- Lin, D., Lopez-Sanchez, P., Li, R., & Li, Z. (2014). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* CGMCC 3917 using only waste beer

- yeast as nutrient source. *Bioresource Technology*, 151, 113-119.
- Liu, C. H., Hsu, W. H., Lee, F. L., & Liao, C. C. (1996). The isolation and identification of microbes from a fermented tea beverage, Haipao, and their interactions during Haipao fermentation. *Food Microbiology*, 13(6), 407-415.
- Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Čanadanović-Brunet, J. M. (2011). Influence of starter cultures on the antioxidant activity of kombucha beverage. *Food Chemistry*, 127(4), 1727-1731.
- Maria, L., Santos, A. L., Oliveira, P. C., Valle, A. S., Barud, H. S., Messaddeq, Y., & Ribeiro, S. J. (2010). Preparation and antibacterial activity of silver nanoparticles impregnated in bacterial cellulose. *Polimeros*, 20, 72-77.
- Masaoka, S., Ohe, T., & Sakota, N. (1993). Production of cellulose from glucose by *Acetobacter xylinum*. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 75(1), 18-22.
- Mayser, P., Fromme, S., Leitzmann, G., & Gründer, K. (1995). The yeast spectrum of the 'tea fungus Kombucha' Das Hefespektrum des 'Teepilzes Kombucha'. *Mycoses*, 38(7-8), 289-295.
- Mühlethaler, K. (1949). The structure of bacterial cellulose. *Biochimica et Biophysica Acta*, 3, 527-535.
- Mohammadkazemi, F., Azin, M., & Ashori, A. (2015). Production of bacterial cellulose using different carbon sources and culture media. *Carbohydrate Polymers*, 117, 518-523.
- Naritomi, T., Kouda, T., Yano, H., & Yoshinaga, F. (1998). Effect of ethanol on bacterial cellulose production from fructose in continuous culture. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 85(6), 598-603.
- Ng, C., Sheu, F., Wang, C., & Shyu, Y. (2004). Fermentation of *Monascus purpureus* on agri-byproducts to make colorful and functional bacterial cellulose (NATA). *Microbiology Indonesia*, 4(1), 6-10.
- Nguyen, V. T., Gidley, M. J., & Dykes, G. A. (2008). Potential of a nisin-containing bacterial cellulose film to inhibit *Listeria monocytogenes* on processed meats. *Food Microbiology*, 25(3), 471-478.
- Öz, Y. E., & Kalender, M. (2017). Şeker Pancarı Melası Kullanılarak *Gluconacetobacter xylinum* NRRL B-759 ile Bakteriyel Selüloz Üretimi Üzerine Etanolün Etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(2), 31-36.
- Poddar, M. K., & Dikshit, P. K. (2021). Recent development in bacterial cellulose production and synthesis of cellulose based conductive polymer nanocomposites. *Nano Select*, 2(9), 1605-1628.
- Portal, O., Clark, W. A., & Levinson, D. J. (2009). Microbial cellulose wound dressing in the treatment of nonhealing lower extremity ulcers. *Wounds: a Compendium of Clinical Research and Practice*, 21(1), 1-3.
- Poyrazoğlu Çoban, E., & Bıyık, H. H. (2007). *Acetobacter pasteurianus* HBB6 ve

- Acetobacter lovaniensis HBB5 Tarafından Yüzey Kültür Fermentasyonu ile Bakteriyel Selüloz Üretimi. 15. *Ulusal Biyoteknoloji Kongresi*, 28-31 Ekim, Antalya, pp. 37.
- Qiu, K., & Netravali, A. N. (2014a). A review of fabrication and applications of bacterial cellulose based nanocomposites. *Polymer Reviews*, 54(4), 598-626.
- Qiu, K., & Netravali, A. N. (2014b). “Green” composites based on bacterial cellulose produced using novel low cost carbon source and soy protein resin. In *Recent Advances in Adhesion Science and Technology in Honor of Dr. Kash Mittal* (pp. 193-208). CRC Press.
- Ramana, K., Tomar, A., Singh, L. (2000). Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by Acetobacter xylinum. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16(3), 245-248.
- Reiniati, I., Hrymak, A. N., & Margaritis, A. (2017). Recent developments in the production and applications of bacterial cellulose fibers and nanocrystals. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(4), 510-524.
- Revin, V., Liyaskina, E., Nazarkina, M., Bogatyreva, A., & Shchankin, M. (2018). Cost-effective production of bacterial cellulose using acidic food industry by-products. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49, 151-159.
- Ross, P., Mayer, R., & Benziman, M. (1991). Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiological Reviews*, 55(1), 35-58.
- Saibuatong, O. A., & Phisalaphong, M. (2010). Novo aloe vera–bacterial cellulose composite film from biosynthesis. *Carbohydrate Polymers*, 79(2), 455-460.
- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27(2), 185-194.
- Saxena, I. M., & Brown, R. M. (1997). Identification of cellulose synthase (s) in higher plants: sequence analysis of processive  $\beta$ -glycosyltransferases with the common motif“D, D, D35Q (R, Q) XRW ‘. *Cellulose*, 4, 33-49.
- Sievers, M., Lanini, C., Weber, A., Schuler-Schmid, U., & Teuber, M. (1995). Microbiology and fermentation balance in a kombucha beverage obtained from a tea fungus fermentation. *Systematic and Applied Microbiology*, 18(4), 590-594.
- Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G. O., & Yang, G. (2014). Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*, 35, 539-545.
- Shibazaki, H., Kuga, S., & Onabe, F. (1994). Mechanical properties of papersheet containing bacterial cellulose. *Japan Tappi Journal*, 48(12), 1621-1630.
- Skočaj, M. (2019). Bacterial nanocellulose in papermaking. *Cellulose*, 26, 6477-6488.
- Stoica-Guzun, A., Stroescu, M., Tache, F., Zaharescu, T., & Grosu, E. (2007). Effect of electron beam irradiation on bacterial cellulose membranes used



- as transdermal drug delivery systems. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 265(1), 434-438.
- Surma-Ślusarska, B., Danielewicz, D., & Presler, S. (2008). Properties of composites of unbeaten birch and pine sulphate pulps with bacterial cellulose. *Fibres Text East Eur*, 16(6), 127-129.
- Tabarsa, T., Sheykhnazari, S., Ashori, A., Mashkour, M., & Khazaeian, A. (2017). Preparation and characterization of reinforced papers using nano bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 334-340.
- Tang, W., Jia, S., Jia, Y., & Yang, H. (2010). The influence of fermentation conditions and post-treatment methods on porosity of bacterial cellulose membrane. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26, 125-131.
- Teoh, A. L., Heard, G., & Cox, J. (2004). Yeast ecology of Kombucha fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 95(2), 119-126.
- Toyosaki, H., Naritomi, T., Seto, A., Matsuoka, M., Tsuchida, T., & Yoshinaga, F. (1995). Screening of bacterial cellulose-producing *Acetobacter* strains suitable for agitated culture. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 59(8), 1498-1502.
- Usha, R. M., Rastogi, N. K., & Appaiah, K. A. (2011). Statistical optimization of medium composition for bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 using coffee cherry husk extract-an agro-industry waste. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(7), 739-745.
- Uraki, Y., Morito, M., Kishimoto, T., Sano, Y. (2002). Bacterial cellulose production using monosaccharides derived from hemicelluloses in water-soluble fraction of waste liquor from atmospheric acetic acid pulping. *Holzforschung*, 56(4), 341-347.
- Wang, J., Tavakoli, J., & Tang, Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods—A review. *Carbohydrate Polymers*, 219(17), 63-76.
- Watanabe, K., Tabuchi, M., Morinaga, Y., & Yoshinaga, F. (1998). Structural features and properties of bacterial cellulose produced in agitated culture. *Cellulose*, 5(3), 187-200.
- Weber, C. J., Haugaard, V., Festersen, R., & Bertelsen, G. (2002). Production and applications of biobased packaging materials for the food industry. *Food Additives & Contaminants*, 19(S1), 172-177.
- White, A. R., & Brown Jr, R. M. (1981). Enzymatic hydrolysis of cellulose: visual characterization of the process. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78(2), 1047-1051.
- Xiang, Z., Liu, Q., Chen, Y., & Lu, F. (2017a). Effects of physical and chemical structures of bacterial cellulose on its enhancement to paper physical pro-

- perties. *Cellulose*, 24, 3513-3523.
- Xiang, Z., Jin, X., Liu, Q., Chen, Y., Li, J., & Lu, F. (2017b). The reinforcement mechanism of bacterial cellulose on paper made from woody and non-woody fiber sources. *Cellulose*, 24, 5147-5156.
- Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., Mitsuhashi, S., Nishi, Y., & Uryu, M. (1989). The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. *Journal of Materials Science*, 24, 3141-3145.
- Yamanaka, S., & Sugiyama, J. (2000). Structural modification of bacterial cellulose. *Cellulose*, 7(3), 213-225.
- Ye, S., Jiang, L., Su, C., Zhu, Z., Wen, Y., & Shao, W. (2019). Development of gelatin/bacterial cellulose composite sponges as potential natural wound dressings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 148-155.
- Yılmaz, S. (2007). *Alternatif besin yan ürünlerinden bakteriyel selüloz üretimi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yoshinaga, F., Tonouchi, N., & Watanabe, K. (1997). Research progress in production of bacterial cellulose by aeration and agitation culture and its application as a new industrial material. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 61(2), 219-224.
- Yuan, J., Wang, T., Huang, X., & Wei, W. (2016). Dispersion and beating of bacterial cellulose and their influence on paper properties. *BioResources*, 11(4), 9290-9301.
- Zeng, X., Small, D. P., & Wan, W. (2011). Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* BPR 2001 from maple syrup. *Carbohydrate Polymers*, 85(3), 506-513.
- Zhang, H. Y., Yan, X. J., Jiang, Y., & Cong, J. (2011). Development and characteristic of bacterial cellulose for antimicrobial wound dressing. *Advanced Materials Research*, 152, 978-987.



# BÖLÜM 8

## FONKSİYONEL GIDALAR ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME

*Tuğçe ÖZSAN KILIÇ<sup>1</sup>, Ahmet Naci ONUS<sup>2</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye. E-mail: tugceozsan@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3265-6886

<sup>2</sup> Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye. E-mail: onus@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8615-1480

## 1. Giriş

Gıdaların, insan sağlığı üzerine etkileri ve birtakım hastalıkların önlenmesi ile ilişkisi çok eski çağlardan beri bilinen bir gerçektir. Bununla birlikte, sağlık ile beslenme arasındaki bağlantı her geçen zamanda daha fazla kabul görmeye başlamış, tüketicilerde gıda içeriklerine yönelik yeni bakış açıları oluşmaya başlamıştır. Dünya genelinde her yıl 38 milyon ölüm bulaşıcı olmayan hastalıklardan meydana gelmekte ve bu sayının 28 milyonunun ise genellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde meydana geldiği bilinmektedir. En fazla ölüme sebep olan bulaşıcı olmayan hastalıklar arasında ilk üç sırayı kardiyovasküler hastalıklar, kanser ve diyabet almaktadır (sırasıyla 17,5, 8,2 ve 1,5 milyon kişi). Belirtilen bulaşıcı olmayan bu hastalıklar ile bağlantılı risk faktörleri arasında ise sigara, alkol, fiziksel hareket eksikliği ve sağlıksız beslenme en başta gelenlerdir. Modern yaşamın tipik özellikleri, özellikle fiziksel aktivitede yetersizlik ile besin değeri düşük ama kalorisi yüksek besinlerle beslenme gibi yeme alışkanlıkları aşırı kilo, obezite, diyabet, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıklar gibi bulaşıcı olmayan hastalıkların artmasına neden olmuştur (Della vd., 2017). Son yıllarda bahsedilen bulaşıcı olmayan hastalıkların tedavisi de dahil olmak üzere fonksiyonel gıdaların kullanımı benimsenmiştir.

Fonksiyonel gıdalar, fizikokimyasal içerikleri sebebiyle temel besin değerlerinin ötesinde sağlık üzerinde potansiyel olarak yararlı etkileri olan gıdalar olarak kabul edilmektedir. Sağlığı teşvik eder ve hastalık riskini azaltırlar. Özellikle bulaşıcı olmayan hastalıkların gelişmesinin önlenmesinde oldukça önemli rol oynamaktadırlar (Turati vd., 2017). Fonksiyonel gıdalar dünya çapında yaygın bir popülerlik kazanmıştır ve bunlar genellikle “nutrasötikler” ve “tasarımcı gıdaları” olarak bilinmektedir. Görünüş olarak geleneksel gıdalara benzeyen ve normal beslenmenin bir parçası olarak tüketilen fonksiyonel gıdalar, temel insan beslenmesinde sadece beslenme amacı gütmeyen, aynı zamanda sağlık yararları sağlayan gıda ve gıda bileşenleri olarak bilinmektedir (Aghajanpour vd., 2017). Fonksiyonel gıda terimi ilk olarak 1980’lerin ortasında Japonya’da ortaya çıkmış ve besleyici olmasının yanı sıra belirli sağlık işlevleri sağlayan bileşenler içeren işlenmiş gıdaları ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle fonksiyonel gıda, bir veya daha fazla hastalığa karşı önleyici, iyileştirici ve/veya koruyucu etki sağlayan ve besinsel faydalarını artıran gıda olarak tanımlanmaktadır (Roberfroid, 2007).

Gıda endüstrisindeki son gelişmeler, omega 3 ve 6 gibi değerli biyoaktif maddeleri ve polifenoller gibi doğal antioksidanları daha fazla içeren yeni ürünlerin oluşturulmasına imkân tanımaktadır (Sánchez-González vd., 2017). Polifenoller, antioksidanlar olarak önemli bir rol oynarlar ve böylece özellikle yaşlanma sürecinde oksidatif stresin meydana getirdiği hasarı azaltmada önemlidirler (Ayuso vd., 2017). Bununla birlikte beslenme alışkanlıkları ile kanser gelişimi arasında da bağlantı mevcuttur. Kanseri önle-

mede gıdaların önemi oldukça fazladır. Epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, biyoaktif bileşikler açısından zengin olan belirli meyve, hayvansal ürün ve sebzelerin tüketiminin çeşitli metabolik bozukluklar ve kanser riskini azalttığını göstermiştir (Karasawa ve Mohan, 2018). Yapılan araştırmalarda beslenmelerinde meyve ve sebze yi fazla tüketen kişilerde, daha az meyve sebze içeren bir beslenme alışkanlığı olan kişilerle karşılaştırıldığında kansere yakalanma riskinde yarı yarıya bir azalma olduğu bildirilmiştir. Brokoli, karnabahar, turp, lahana gibi birçok sebzenin çiğ ya da pişmiş şekilde tüketimiyle ilişkili olarak kanser ve kalp-damar rahatsızlıkları gibi birçok hastalığın görülme sıklığında düşüklük olduğu yapılan çalışmalarla rapor edilmiştir.

Gıda üretimi ve yeme alışkanlıkları insan sağlığı, çevresel ve sosyal yaşamında önemli bir role sahiptir. Birçok doğal biyoaktif molekülün, çeşitli moleküler yollar üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri bakımından incelenmiştir (Essa vd., 2023). Kurkumin, resveratrol, kersetin, sülforafan, epigallokateşin ve likopen incelenen doğal biyoaktif moleküllerden bazılarıdır. Kurkumin, zerdeçal bitkisinin temel biyoaktif bileşenidir ve antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri ile ön plana çıkmaktadır (Sneharani, 2019). Daha çok üzüm ve narlarda bulunan resveratrol, vasküler fonksiyon, bağışıklık ve bağırsak mikrobiyotası üzerinde faydalar sağlamaktadır (Chaplin vd., 2018). Bir başka değerli meyve olan elmalar ise kersetin bakımından zengindir ve nörodejeneratif hastalıklarda güçlü nöroprotektif özellikler sergilemektedir (Elumalai ve Lakshmi, 2016). Brokoli ve lahana gibi *Cruciferae* familyasında yer alan sebzeler oksidatif strese karşı güçlü bir koruma sağlayan, ayrıca kanserojenlerin DNA'ya bağlanmasını doğrudan engelleyen sülforafan açısından zengindir (Juengel vd., 2017). Farmakolojik özelliklere sahip olduğu bilinen bir diğer önemli bileşik ise epigallokateşinlerdir ve bunlar çay yapraklarında bulunmakta, kanseri önlemede olumlu etkileri olduğu bilinmektedir (Ogawa vd., 2012).

## 2. Fonksiyonel Gıdalar ve Nutrasötikler

Hibrit bir terim olan nutrasötik kavramı, beslenme ve farmasötik kelimelerinin birleşiminden oluşmuş ve ilk kez 1989 yılında keşfedilmiştir. Bir besin takviyesi olan nutrasötikler, gıda dışı bir formda sunulan ve gıdalarda mevcut olan miktarları aşan seviyelerde sağlığı iyileştirmek amacıyla kullanılan, bir biyoaktif maddenin konsantre bir formunu verme potansiyeline sahiptir (Zeisel, 1999). Nutrasötikler, hap, tablet ya da ekstraktlar gibi ilaç formuna benzer şekilde satılmaktadır. Fonksiyonel gıdalar ise, gıdaların sahip oldukları temel besinsel özelliklerin ötesinde sağlığa yararlılıkları fazla olan gıda ya da besinsel bileşenlerdir. Nutrasötikler ve fonksiyonel gıdalar kavramları arasındaki sınır tam olarak netleştirilmemiş, dolayısıyla çeşitli endüstri kolları ve tüketiciler bu iki kavramı birbiri yerine kullanmaktadır.

lar. Genel olarak ifade edilecek olursa, fonksiyonel gıdalar normal bir insan beslenmesi programında tüketilmesi amaçlanan, bununla birlikte sağlığı iyileştirici ya da birtakım hastalık riskini azalma potansiyeline sahip çeşitli biyoaktif bileşenleri içeren gıdalar olarak kabul görmektedir. Fonksiyonel gıdalara örnek olarak belirli vitamin ve mineraller, yağ asitleri ve lifli gıdalar, ya da antioksidanlarca zenginleştirilmiş gıdalar örnek olarak verilebilir. Dolayısıyla değiştirilmemiş gıdalardan olan sebze ve meyveler, fonksiyonel gıdaların en basit biçimini ifade etmektedir. Brokolinin sülforanca zengin olması, havucun yüksek oranda beta karoten içermesi ya da domatesin likopen gibi biyoaktif bileşen bakımından zengin olması fonksiyonel gıdalar arasında yer aldıklarını gösteren en basit örneklerdendir (Gul vd., 2016). Tablo 1’de fonksiyonel gıdalar ile bağlantılı çeşitli kavramlar açıklanmıştır.

**Tablo 1.** *Fonksiyonel gıdalar ile ilişkili çeşitli kavramlar (Kaur ve Das, 2011’den uyarlanmıştır)*

---

**Biyoaktif Bileşikler:**

Sağlıklı ya da iyi bir yaşam sağlamaya yardımcı, kaynağı bir bitki, hayvan ya da denize ait bir canlı olan veya bunlardan türetilen ve doğal olarak meydana gelen kimyasal bileşiklerdir.

---

**Besin Takviyeleri:**

İsminden de anlaşılacağı üzere, bir gıdanın ya da öğünün tam olarak yerine geçmemektedir ancak, aktif madde gıdaya eklenebilir ya da hap, toz veya sıvı formlarda tüketilir ve beslenmeye destek görevi görür.

---

**Fonksiyonel Bileşenler:**

Fonksiyonel bileşenler, gıda üreticileri tarafından içerik maddesi olarak kullanılan, değişen saflıkta biyoaktif bileşikler içeren, standartlaştırılmış ve karakterize edilmiş preparasyonlar, fraksiyonlar veya ekstraktlardır.

---

**Tıbbi Gıdalar:**

Tıbbi değerlendirme ile belirlenen, sonsuza kadar bir hekim gözetiminde uygulanmak üzere formüle edilmiş ve tanınmış bilimsel ilkelere dayalı olarak farklı beslenme gereksinimlerinin olduğu bir hastalık veya özel bir beslenme yönetimi için yararlanılan gıdalar olarak tanımlanmıştır.

---

**Doğal Sağlık Ürünleri:**

Doğal sağlık ürünleri homeopatik preparatları, geleneksel ilaçlarda kullanılan maddeleri, vitamin ve mineralleri, amino asitleri, esansiyel yağ asitlerini ya da çeşitli botanik, hayvansal veya mikroorganizma türevli maddeleri içermektedir. Bu ürünler genellikle hastalık teşhis, tedavi ya da önlenmesi, sağlığın korunması veya iyileştirilmesi amacıyla kullanılmakta, tıbbi veya dozaj şeklinde satışı olmaktadır. Doğal sağlık ürünleri aynı zamanda nutrasötikleri de içermektedir.

---

**Nutrasötikler:**

Nutrasötik kavramı, bir gıda veya gıdanın bir parçası olan ve hastalıkların önlenmesi ve tedavisi de dahil olmak üzere tıbbi veya sağlık açısından faydalar sağlayan herhangi bir maddeyi ifade eder. Bunlar gıdalardan elde edilir ve hap, kapsül, iksir ve sıvı şeklinde kullanılabilir.

---

Fonksiyonel bileşenler arasında vücutta belirli bulaşıcı olmayan hastalıkların başlamasını önlemek için işlev gören bitki kaynaklı, besleyici olmayan ve biyolojik olarak aktif kimyasallar olan fitokimyasallar yer alır (Murano, 2003). Gıdalarda 900'den fazla fitokimyasal bulunur. Bir porسیون (yaklaşık 120 g) meyve veya sebze 100 kadar farklı fitokimyasal madde içerebilir (Srividya vd., 2010). Tablo 2'de gıdalarda bulunan bazı fonksiyonel bileşenler, bu fonksiyonel bileşenlerin biyolojik fonksiyonları ve ortak kaynakları sunulmuştur.

**Tablo 2.** Bazı gıdalardaki çeşitli fonksiyonel bileşenler, kaynakları ve potansiyel yararları

<b>Biyoaktif Bileşen</b>	<b>Kaynak</b>	<b>Potansiyel Yararları</b>
<b>Karotenoidler</b>		
Alfa/beta karoten	Havuçlar, Sebzeler ve Meyveler	Hücrelere zarar verebilecek serbest radikalleri etkisiz hale getirir.
Lutein	Yeşil sebzeler	Kas dejenerasyonu riskini azaltır.
Likopen	Domates ve domates ürünleri (ketçap ve soslar)	Prostat kanseri riskini azaltır.
<b>Nişasta içermeyen polisakkarit</b>		
Fukoidan	Mantarlar (maitake ve reshi), kahverengi algler	Bağışıklık modülasyonu; kanser hücrelerinin apoptozu; beyin gelişimini uyarır; pıhtılaşmayı önleyici etki; kan kolesterol düzeylerini düşürür; yüksek tansiyonu düşürür, kan şekerini dengeler.
Çözünmez besinsel lif	Buğday kepeği	Meme veya kolon kanseri riskini azaltır.

Çözünür besinsel lif ( $\beta$ -Glukanlar)	Yulaf, arpa	Kardiyovasküler hastalık riskini azaltır; kalp hastalıklarına ve bazı kanserlere karşı korur; LDL ve toplam kolesterolü düşürür.
Çözünür lif	Karnıyarık otu	Kardiyovasküler hastalık riskini azaltır; kalp hastalıklarına ve bazı kanserlere karşı korur; LDL ve toplam kolesterolü düşürür.

---

### Yağ asitleri

---

Uzun zincirli omega-3 yağ asitleri-DHA/EPA	Somon ve diğer balık yağları	Kardiyovasküler hastalık riskini azaltır; zihinsel ve görsel işlevleri geliştirir.
Konjuge linoleik asit	Peynir, et ürünleri	Vücut kompozisyonunu iyileştirir; bazı kanser türlerinin riskini azaltır.

---

### Fenolikler

---

Antosiyanidinler	Meyveler	Serbest radikalleri nötralize eder; kanser riskini azaltır.
Kateşinler	Çay	Serbest radikalleri nötralize eder; kanser riskini azaltır.
Flavononlar	Narenciye	Serbest radikalleri nötralize eder; kanser riskini azaltır.
Flavonlar	Meyveler/sebzeler	Serbest radikalleri nötralize eder; kanser riskini azaltır.
Lignanlar	Keten, çavdar, sebzeler	Kanseri önler; böbrek yetmezliğini önler.
Taninler (proantosiyanidinler)	Turna yemişi, turna yemişi ürünleri, kakao, çikolata	İdrar yolu sağlığını iyileştirir; Kardiyovasküler hastalık riskini azaltır.

---



### Bitki sterolleri

Stanol ester	Mısır, soya, buğday	Kolesterol emilimini engelleyerek kandaki kolesterol düzeylerini düşürür.
--------------	---------------------	---

### Prebiyotikler ve Probiyotikler

Frukto-oligosakkaritler	Yer elması, soğan, soğan	arpacık	Bağırsak mikroflorasının kalitesini artırır; mide-bağırsak sağlığını iyileştirir.
-------------------------	--------------------------	---------	---

### Laktobasillus

Biofidobakteriyum	Yoğurt, ürünleri	diğer	süt	Bağırsak mikroflorasının kalitesini artırır; mide-bağırsak sağlığını iyileştirir.
-------------------	------------------	-------	-----	---

### Soya fitoestrogenleri

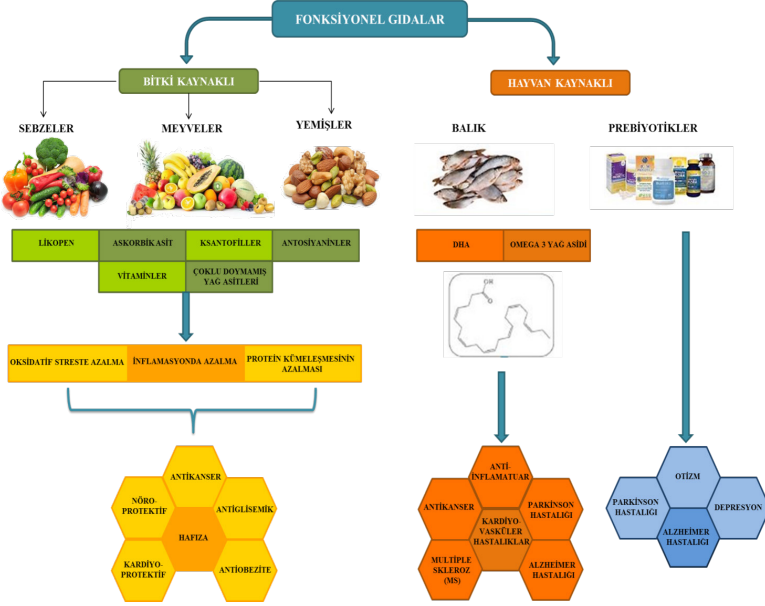
Izoflavonlar: Daidzein Genistein	Soya ve soya bazlı gıdalar		Sıcak baskısı gibi menopoz belirtilerine iyi gelir; kalp hastalığına ve bazı kanserlere karşı koruma sağlar; LDL ve toplam kolesterolün düşürülmesine yardımcı olur.
-------------------------------------	----------------------------	--	--

Abuajah vd., 2015'ten alınmıştır.

### 3. Fonksiyonel Gıdaların Sınıflandırılması

Fonksiyonel gıdalar, üç kategori altında sınıflandırılabilir: (1) Geleneksel olarak kullanılan gıdalar, (2) değiştirilmiş (modifiye) gıdalar, (3) gıda içerikleri. Geleneksel olarak gıdalar herhangi bir değişikliği uğramaksızın yararlandığımız gıdalardır. Bunlar insan sağlığı açısından oldukça güçlü faydaları olduğu bilinen sebze ve meyveler, balık, süt ve süt ürünleri, bakliyatlar ve tahıllardır. Değiştirilmiş ya da modifiye gıdalar, insan sağlığı üzerine yararlarını arttırmak amacıyla belirli bir besin maddesi ile zenginleştirilmiş olan gıdaları kapsamaktadır. Bu gruba örnek olarak vitamin, kalsiyum ve antioksidanlarca zenginleştirilmiş içecekler ya da ekmekler, sterollerce ve omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş gıdalar verilebilir (Hasler vd., 2009). Üçüncü fonksiyonel gıda grubu ise

prebiyotiklerdir. Prebiyotik kavramı ilk kez 1995 yılında Glenn Gibson ve Marcel Roberfroid tarafından “gastrointestinal sistemde yaşayan tek bir mikroorganizmanın ve/veya mikroorganizmaların büyüme, gelişme ve aktivitelerini besleyen, dolayısıyla konağın sağlık durumunu iyileştiren gıda bileşenleri” olarak tanımlanmıştır (Essa vd., 2023) (Şekil 1).



Şekil 1. Fonksiyonel gıdaların insan sağlığı üzerine yararları (Essa vd., 2023'ten uyarlanmıştır)

## 4. Sebze ve Meyve Orijinli Fonksiyonel Gıdalar

Sebze ve meyveler içerdikleri çeşitli türdeki fitokimyasallar sebebiyle zengin bir doğal oksidan kaynağıdır ve toksik etkilerden korunmada önemlidirler. Sebze ve meyvelerde mevcut olan antioksidan özelliklerden sorumlu biyoaktif bileşenlerin en önemlisi polifenollerdir. Bununla birlikte anti-alerjik, anti-karsinojenik ve nöroprotektif özellikleri de olduğu bildirilmiştir (Alshatwi vd., 2010; Yu vd., 2017; Essa vd., 2023).

### 4.1. Domates

Meyvesi yenen sebzeler grubunda yer alan domates (*Lycopersicon esculentum*), dünyada en çok tüketilen gıdalardan biridir. Domatesin olgunlaşması esnasında karotenoid pigmenti sentezlenmekte ve domates, koyu kırmızı rengini buradan almaktadır. Birçok meyve ve sebze çeşitli fenolik bileşikler içermekte, bu fenoliklerin büyük bir çoğunluğu ise flavonoidler grubunda yer almaktadır. Domates de pek çok fenolik molekülü

barındırmakta, likopen, neoksantin, violaksantin, lutein ve  $\beta$ -karoten bu fenolik moleküllerden sadece birkaçını oluşturmaktadır (Burns vd., 2003). Domateste ön plana çıkan biyoaktif bileşen likopendir ve likopen aynı zamanda  $\beta$ -karoten ve ksantofiller gibi diğer önemli biyoaktif bileşenlerin biyosentezinde önemli bir ara maddedir (Ruiz-Sola ve Rodríguez-Concepción, 2012). İnsan vücudunda karotenoidler tek başlarına sentezlenmezler, bu sebeple vücut tamamen beslenme kaynaklarına bağımlıdır. Günümüze kadar yapılagelmiş çalışmalarda ortaya koyulmuştur ki, insan beslenmesinde vücuda alınan likopenin %85'i domates ve domates bazlı gıdalardan sağlanmaktadır. Likopen güçlü bir antioksidandır ve DNA'yı serbest radikallerden koruyarak kansere yol açan mutasyonları önleyebilir (Lindshield vd., 2007). Bununla birlikte likopenin güçlü bir anti-kanserojen olduğu, hücreleri kromozomal sapmalardan korumak suretiyle serbest radikal oluşumunu bozarak DNA'yı oksidatif hasardan koruduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (Alshatwi vd., 2010). Ayrıca klinik araştırmalar likopenin prostat kanserinde faydalı olduğunu göstermektedir.

#### 4.2. Brokoli

Brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), çiçekli başı, yaprakları ve sapı tüketilen bir sebzedir. Brokoli, kükürt içeren bileşikler ve bunların biyometabolik ürünleri olan glukozinolatlar ve izotiyosiyanatlar açısından zengindir ve dolayısıyla güçlü anti-kanser özelliklerine sahiptir. Brokoli ayrıca çeşitli polifenollerce de zengindir. Bu polifenoller arasında isorhamnetin, sinapik asit, kersetin ve rutin yer almaktadır. Ayrıca pek çok vitamin ve mineralleri bünyesinde barındıran brokoli, K, B1, B2 vitaminleri (Damon vd., 2005) ile Na, K, Ca, Mg, Cl, P ve S gibi mineraller açısından da zengin olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla beslenme rutinlerine dahil edilen brokoli, mide, kolon, tiroid, deri ve prostat gibi çeşitli kanserlerinin önlenmesinde oldukça faydalıdır. Brokolinin kanser önleyici özelliği içerdiği sülforafan, indoller, polifenoller, vitaminler ve minerallerle ilişkilidir. Ayrıca birçok çalışmada brokolinin kalbi koruyucu özellikleri olduğu bildirilmiştir. Brokolinin önemli bir biyoaktif bileşiği olan sülforafanın, kanserojen kaynaklı tümör oluşumunu engellemesinin yanı sıra, nörodejeneratif hastalıklarda faydalı olduğu bildirilmiştir.

#### 4.3. Ispanak

Ispanak (*Spinacia oleracea*) yeşil yapraklı bir sebzedir. Diğer yapraklı sebzelerle karşılaştırıldığında ıspanak patuletin, spinasetin, spinatosid, jaseidin ve flavonun da içinde bulunduğu flavonoidler açısından zengindir (Koh vd., 2012). Tüm bu biyoaktif bileşikler ıspanağın güçlü antioksidan ve anti-inflamatuar özelliklerinden sorumludur. Ayrıca klinik araştırmalar ıspanağın potansiyel kalp koruyucu özelliklerini de kanıtlamıştır (Essa vd., 2023).

#### 4.4. Üzümsü Meyveler

Meyveler içerisinde en yüksek antioksidan oranına sahip olanlar üzümsü meyvelerdir. Üzümsü meyveler polifenollerce zengindir. İçerdikleri en önemli polifenoller arasında antosiyaninler, flavonoller ve kateşinler gibi flavonoidler, hidroksisinnamik asitler gibi fenolik asitler ve proantosiyanidinler ve ellagitanninler gibi tanenler mevcuttur. Kırmızı üzüm (*Vitis vinifera* L.) resveratrol açısından zengindir ve bu biyoaktif bileşenin kardiyoprotektif, antikanser, antiinflamatuvar, antioksidan gibi özellikler sergilediği bilinmekte, lipid metabolizmasının modülatörü olarak görev yaptığı da bildirilmektedir (Shahidi, 2009; Kaur and Das, 2011). Yaban mersini (*Vaccinium myrtilus*), sergilediği güçlü antioksidan aktivitesi ve zengin polifenolik bileşik içeriği nedeniyle ‘süper meyve’ olarak bilinmektedir. Flavonoid ve flavonoid olmayan biyoaktif bileşikler içeren yaban mersininin temel biyoaktif bileşeni antosiyaninlerdir (%60). Yaban mersininde bulunan başlıca antosiyaninler arasında malvidin 3-galaktosid, delfinidin 3-galaktosid, delfinidin 3-arabinosid, petunidin 3-galaktosid, petunidin 3-arabinosid, siyanidin 3-glikozid, siyanidin 3-galaktosid gelmektedir. Bunların dışında yaban mersininde proantosiyanidinler, flavonoller ve klorojenik asit de mevcuttur (Essa vd., 2023). Antosiyanince zengin gıdalarla beslenmenin insan sağlığı üzerine oldukça fazla olumlu etkisi olduğu yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır. Vücuda alınan yüksek miktarlardaki antosiyaninin, kadınlarda hipertansiyon riskinde azalmaya, vasküler fonksiyonda iyileşmeye ve kilo kontrolüne (Bertoia vd., 2016), diyabet hastalarında insülin duyarlılığını arttırmakla birlikte inflamasyonu ve oksidatif stresi azalttığına (Li vd., 2015), Alzheimer hastalığında riski azalmasında yardımcı olduğuna (Gao vd., 2012), ve kanser hücresi çoğalmasını engelleyerek kanserin ilerlemesini azalttığına (Johnson ve Arjmandi, 2013) ilişkin çok sayıda araştırma mevcuttur.

#### 4.5. Nar

Nar (*Punica granatum* L.), polifenoller, antosiyaninler, tanenler, flavonoidler, lignanlar, terpenoidler ve steroller gibi fitokimyasalların önemli bir kaynağıdır. Ellagitannin, narın güçlü antioksidan ve antiinflamatuvar aktivitesinden sorumlu olan temel biyokaktif bileşenidir (Akbar vd., 2015). Çok sayıda çalışma narın hipertansiyon, kireçlenme, kanser ve hiperglisemi gibi kronik hastalıkları önlemede, oksidatif stresi azaltmada ve kolesterol seviyelerini korumada sağlığa faydalarını ortaya koymuştur (Zarfeshany vd., 2014).

## 5. Fonksiyonel Gıda Olarak Sert Kabuklu Yemişler

### 5.1. Badem

İnsanlar tarafından en çok tüketilen kuruyemiş türlerinin başında gelen badem, besin değeri yüksek gıdalar arasında yer almaktadır. Polifenol, vitamin ve karbonhidratlarca zengin olmasının yanı sıra oleik, linoleik ve palmitik asitler gibi tekli doymamış yağ asitleri açısından da zengindir. Beslenme rutininde bademin tüketilmesi, diyabet, hipertansiyon gibi kronik hastalıkları azaltır, kilo kontrolüne yardımcı olur. Bununla birlikte koroner kalp hastalığı vakalarının ve inflamatuvar hastalıkların azalmasına katkıda bulunmaktadır (Kamil ve Chen, 2012; Essa vd., 2023).

### 5.2. Ceviz

Ceviz (*Juglans regia* L.) proteinler, yağlar, vitaminler, mineraller ve polifenoller bakımından zengindir. Ceviz içinde mevcut olan önemli serbest yağ asitleri oleik, linoleik ve linolenik asitler (Poulose vd., 2014) olup, bununla birlikte yüksek miktarda omega-3 yağı (alfa-linolenik asit) da içermektedirler. Cevizin içerdiği ellagik asit konjestif kalp hastalığı riskini azaltırken, melatonin ise sergilediği güçlü antioksidan özelliği sayesinde sirkadiyen ritmi düzenlemektedir. Bunun yanı sıra cevizin besin takviyesi olarak tüketilmesi hafızanın güçlenmesine olumlu etki ettiği ve nörolojik bozuklukların ilerlemesini geciktirdiği yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur (Essa vd., 2023).

## 6. Hayvansal Orijinli Fonksiyonel Gıdalar

### 6.1. Balık ve Prebiyotikler

Balık ürünlerinde mevcut olan çoklu doymamış yağ asitleri başlıca biyoaktif bileşenlerini oluşturmaktadır. Balık ürünlerinde bulunan en önemli çoklu yağ asitlerinin temel bileşenleri ise eikosapentaenoik asit ve dokoheksaenoik asit (DHA) oluşturmaktadır. DHA özellikle çocukların büyüme ve gelişiminde kritik bir öneme sahip olup, beyin ve retinadaki hücrel membranların oluşumunda etkilidir. Yapılan araştırmalarla DHA'nın kanser ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi kronik hastalıklarda faydalı etkileri olduğu ortaya koyulurken, aynı zamanda nörolojik hastalıklarda da koruyucu etkileri olduğu bildirilmiştir (Wergeland vd., 2012).

Prebiyotikler canlı mikroorganizmalardır ve konakçı organizmaların bağırsak fonksiyonlarında iyileştirme yönünde olumlu etkiler sergilerler. Fonksiyonel gıda pazarının %65'ine yakınına oluşturan prebiyotikler, süt ve süt ürünlerine, mayonez ve diğer çeşitli sürülebilir gıdalara entegre edilmişlerdir (Begum vd., 2017). Bağışıklığı düzenleyici etkileriyle birlikte, anti-karsinojenik ve hipokolesterolemik etkileri olduğu bilinmekte, nöro-

lojik bozuklukların tedavisinde de yararlı etkileri olduğu bulunmuştur.

## 7. Sonuç

Fonksiyonel gıdalar, görünüm olarak geleneksel gıdalara benzeyen, beslenme programlarının bir parçası olarak tüketilen ve karın doyurma hissiyatını gidermenin ötesinde sağlığı iyileştirme veya çeşitli bulaşıcı olmayan ve kronik hastalıkları önleme gibi birtakım fizyolojik faydaları olduğu yapılan çalışmalarla ortaya koyulan gıdalar olarak karşımıza çıkmıştır. Gün geçtikçe bitki veya hayvan kaynaklarından elde edilen fizyolojik olarak aktif bileşenler içeren fonksiyonel gıdaların sağlığı iyileştirebileceği görüşü yapılan araştırmalarla daha fazla destek görmüştür. Nutrasötikler ve fonksiyonel gıdalar, tedaviden ziyade önleme yoluyla sağlığı teşvik ederek sağlık sistemi üzerindeki artan yükün üstesinden gelmenin yollarına yeni bir ışık sağlayabilir. Sağlık bilincine sahip tüketiciler, kendi sağlıklarını ve refahlarını kontrol etmek amacıyla giderek fonksiyonel gıdalara daha fazla eğilim göstermişlerdir. Ancak fonksiyonel gıdalar alanı henüz emekleme aşamasındadır. Fonksiyonel gıdaların sağlık yararlarına ilişkin iddiaların sağlam bilimsel kriterlere dayandırılması gerektiği düşünülmekte, ancak gıdaların karmaşıklığı, beslenme değişiklikleriyle oluşabilecek telafi edici metabolik değişiklikler ve hastalık gelişiminin belirteçlerindeki eksiklikler gibi birtakım faktörler güçlü bir bilimsel temelin kurulmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte uygun biyoaktif maddeleri belirlemek ve bunların çeşitli hastalıklarla mücadelede veya hastalıkların tedavisindeki rollerini belirlemek zordur. Beslenme-sağlık ilişkilerinin yeterince bilimsel olarak doğrulanmadığı bu gıdaların potansiyel sağlık yararlarını kanıtlamak için daha detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır. Besin değerleri ve fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde oldukça önemli görülen birtakım bileşenlerin varlığından ötürü küresel ölçekte büyük bir ilgi görmekte ve daha yeni fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine yönelik çeşitli çabalar sarf edilmeye devam etmektedir. Sağlıklı ve dengeli bir beslenme, sağlıklı olma durumunun sürdürülmesi ve birtakım hastalıkların önüne geçilebilmesi için fonksiyonel gıdalar temel bir strateji olarak görülmekte, sağlıklı bir yaşam tarzının önemi giderek artan bir bileşeni olma, topluma ve gıda endüstrisine faydalı olma konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

**KAYNAKÇA**

- Abuajah, C.I., Ogbonna, A.C., Osuji, C.M. (2015). Functional components and medicinal properties of food: a review. *J Food Sci Technol.*, 52(5):2522–2529. DOI 10.1007/s13197-014-1396-5.
- Aghajanpour, M., Nazer, M. R., Obeidavi, Z., Akbari, M., Ezati, P., & Kor, N. M. (2017). Functional foods and their role in cancer prevention and health promotion: A comprehensive review. *Am. J. Cancer Res.*, 7(4), 740–769.
- Akbar, M., Song, B.J., Essa, M.M., Khan, M.A. (2015). Pomegranate: an ideal fruit for human health. *Int J Nutr Pharmacol Neurol Dis* 5:141. <https://doi.org/10.4103/2231-0738.167506>
- Alshatwi, A.A., Al Obaaid, M.A., Al Sedair, S.A., Al-Assaf, A.H., Zhang, J.J., Lei, K.Y. (2010). Tomato powder is more protective than lycopene supplement against lipid peroxidation in rats. *Nutr Res N Y N* 30:66–73. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.12.002>
- Ayuso, M.I., Gonzalo-Gobernado, R., & Montaner, J., (2017). Neuroprotective diets for stroke. *Neurochemistry International*, 4–10.
- Begum, P.S., Madhavi, G., Rajagopal, S., Viswanath, B., Razak, M.A., Venkataratnamma, V. (2017). Probiotics as functional foods: potential effects on human health and its impact on neurological diseases. *Int J Nutr Pharmacol Neurol Dis* 7:23. [https://doi.org/10.4103/ijnpnnd.ijnpnnd\\_90\\_16](https://doi.org/10.4103/ijnpnnd.ijnpnnd_90_16)
- Bertoia, M.L., Rimm, E.B., Mukamal, K.J., Hu, F.B., Willett, W.C., Cassidy, A. (2016). Dietary flavonoid intake and weight maintenance: three prospective cohorts of 124 086 US men and women followed for up to 24 years. *BMJ* 352:i17. <https://doi.org/10.1136/bmj.i17>
- Burns, J., Fraser, P.D., Bramley, P.M. (2003). Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62:939–947. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(02\)00710-0](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(02)00710-0)
- Chaplin, A., Carpéné, C., Mercader, J. (2018). Resveratrol, metabolic syndrome, and gut microbiota. *Nutrients*. <https://doi.org/10.3390/nu10111651>
- Damon, M., Zhang, N.Z., Haytowitz, D.B., Booth, S.L. (2005). Phylloquinone (vitamin K1) content of vegetables. *J Food Compos Anal Off Publ UN Univ Int Netw Food Data Syst* 18:751–758. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.07.004>
- Della, V.E., Cacciatore, F., Farinaro, E., Salvatore, F., Marcantonio, R., Stranges, S. et al., (2017). The Mediterranean Diet in the prevention of degenerative chronic diseases. In: *Superfood and Functional Food* (pp. 115–132). IN-TECH.

- Elumalai, P., Lakshmi, S. (2016). Role of Quercetin benefits in neurodegeneration. *Adv Neurobiol* 12:229–245. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28383-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28383-8_12)
- Essa, M.M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S.B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R.P., Qoronfleh, M.W. (2023). Functional foods and their impact on health. *J Food Sci Technol* 60(3):820–834. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>
- Gao, X., Cassid, A., Schwarzschild, M.A., Rimm, E.B., Ascherio, A. (2012). Habitual intake of dietary flavonoids and risk of Parkinson disease. *Neurology* 78:1138–1145. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31824f7fc4>
- Gul, K., Singh, A.K., Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and Functional Foods: The Foods for the Future World. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56:2617–2627.
- Hasler, C.M., Brown, A.C. (2009). Position of the American dietetic association: functional foods. *J Am Diet Assoc* 109:735–746. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.02.023>
- Johnson, S.A., Arjmandi, B.H. (2013). Evidence for anti-cancer properties of blueberries: a mini-review. *Anticancer Agents Med Chem* 13:1142–1148. <https://doi.org/10.2174/18715206113139990137>
- Juengel, E., Euler, S., Maxeiner, S., Rutz, J., Justin, S., Roos, F., Khoder, W., Nelson, B.W.O., Blaheta, R.A. (2017). Sulforaphane as an adjunctive to everolimus counteracts everolimus resistance in renal cancer cell lines. *Phytomedicine Int J Phytother Phytopharm* 27:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2017.01.016>
- Kamil, A., Chen, C.Y.O. (2012). Health benefits of almonds beyond cholesterol reduction. *J Agric Food Chem* 60:6694–6702. <https://doi.org/10.1021/jf2044795>
- Karasawa, M.M.G., Mohan, C. (2018). Fruits as prospective reserves of bioactive compounds: a review. *Nat Prod Bioprospecting*, 8:335–346. <https://doi.org/10.1007/s13659-018-0186-6>
- Kaur, S. and Das, M. (2011). Functional Foods: An Overview. *Food Sci. Biotechnol.* 20(4): 861-875. DOI 10.1007/s10068-011-0121-7
- Koh, E., Charoenprasert, S., Mitchell, A.E. (2012). Effect of organic and conventional cropping systems on ascorbic acid, vitamin c, flavonoids, nitrate, and oxalate in 27 varieties of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *J Agric Food Chem* 60:3144–3150. <https://doi.org/10.1021/jf300051f>



- Li, D., Zhang, Y., Liu, Y., Sun, R., Xia, M. (2015). Purified anthocyanin supplementation reduces dyslipidemia, enhances antioxidant capacity, and prevents insulin resistance in diabetic patients. *J Nutr* 145:742–748. <https://doi.org/10.3945/jn.114.205674>
- Lindshield, B.L., Canene-Adams, K., Erdman, J.W. (2007). Lycopene metabolites bioactive? *Arch Biochem Biophys* 458:136–140. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2006.09.012>
- Murano, P.S. (2003). Phytochemicals and phytonutrients in understanding food science & technology. Wadsworth, Bemont, pp 51–56
- Ogawa, K., Hara, T., Shimizu, M., Nagano, J., Ohno, T., Hoshi, M., Ito, H., Tsurumi, H., Saito, K., Seishima, M., Moriwaki, H. (2012). (-)- Epigallocatechin gallate inhibits the expression of indoleamine 2,3-dioxygenase in human colorectal cancer cells. *Oncol Lett* 4:546–550. <https://doi.org/10.3892/ol.2012.761>
- Poulose, S.M., Miller, M.G., Shukitt-Hale, B. (2014). Role of walnuts in maintaining brain health with age. *J Nutr* 144:561S-566S. <https://doi.org/10.3945/jn.113.184838>
- Roberfroid, M.B., (2007). Inulin-type fructans: Functional food ingredients. *J. Nutr.*, 137(11), 2493–2502.
- Ruiz-Sola, M.Á., Rodríguez-Concepción, M. (2012). Carotenoid biosynthesis in arabidopsis: a colorful pathway. *Arab Book Am Soc Plant Biol*. <https://doi.org/10.1199/tab.0158>
- Sánchez-González, C., Ciudad, C. J., Noé, V., & Izquierdo-Pulido, M., (2017). Health benefits of walnut polyphenols: An exploration beyond their lipid profile. *CRC Crit Rev. Food Sci. Nutr.*, 57(16), 3373–3383.
- Shahidi, F. (2009). Nutraceuticals and functional foods: Whole versus processed foods. *Trends Food Sci. Tech.* 20: 376-387.
- Sneharani, A.H. (2019). Curcumin-sunflower protein nanoparticles-a potential anti-inflammatory agent. *J Food Biochem* 43:e12909. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12909>
- Srividya, A.R., Nagasamy, V., Vishnuvarthan, V.J. (2010). Nutraceutical as medicine: a review. *Pharmanest* 1(2):132–145
- Turati, F., Bosetti, C., Polesel, J., Serraino, D., Montella, M., Libra, M. et al., (2017). Family history of cancer and the risk of bladder cancer. A case-control study from Italy. *Cancer Epidemiol.*, 48, 29–35.

- Wergeland, S., Torkildsen Ø, Bø L., Myhr, K.M. (2012). Polyunsaturated fatty acids in multiple sclerosis therapy. *Acta Neurol Scand Suppl.* <https://doi.org/10.1111/ane.12034>
- Yu, L., Wang, W., Pang, W., Xiao, Z., Jiang, Y., Hong, Y. (2017). Dietary lycopene supplementation improves cognitive performances in tau transgenic mice expressing P301L mutation via inhibiting oxidative stress and tau hyperphosphorylation. *J Alzheimers Dis JAD* 57:475–482. <https://doi.org/10.3233/JAD-161216>
- Zarfeshany, A., Asgary, S., Javanmard, S.H. (2014). Potent health effects of pomegranate. *Adv Biomed Res.* <https://doi.org/10.4103/2277-9175.129371>
- Zeisel, S.H. (1999). Regulation of nutraceuticals. *Science.* 285: 1853–1855.



# BÖLÜM 9

## BİYOPELET VE BİYOPELET STANDARTLARI

*Zehra YILDIZ<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, Mersin [zyildiz@tarsus.edu.tr](mailto:zyildiz@tarsus.edu.tr), Orcid ID: 0000-0003-1304-4857

## GİRİŞ

Tarım, ziraat ve ormancılık üretim faaliyetleri sonucunda oluşabilen biyokütleler yenilenebilir enerji kaynaklarından olup hem ekolojik hem de ekonomik enerji kaynaklarıdır. Biyokütle, enerji ihtiyacının karşılanmasında, sürdürülebilir enerji, temiz çevre, enerji güvenliği, atık yönetimi ve kırsal istihdam açısından önemlidir. Biyokütle doğrudan yakılarak ısınma amaçlı kullanılmasının yanı sıra katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilererek elektrik üretimi ya da motor yakıtı olarak kullanılabilir (Atay ve ark., 2016; Turumtay, 2020). 55,6 EJ küresel biyokütle arzınının %85'i odun talaşı, odun peletleri ve geleneksel biyokütle kaynakları dahil olmak üzere katı biyokütleden karşılanmaktadır. Geri kalan biyokütle arzının %7'si sıvı biyoyakıt, %5'i belediye ile endüstriyel atıklar ve %3'ü biyogaza aittir. Başta ormancılık sektörü olmak üzere odun talaşı, pelet ve odun kömürü gibi katı biyokütle ürünleri, küresel biyokütle arzının çoğunluğunu oluşturmaktadır (Cui ve ark., 2021). Biyokütleyi enerji sektöründe etkin kullanılabilir duruma getirmek için bazı sorunları çözmek gerekmektedir. Biyokütlelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen biyoyakıtların biyokütlenin doğrudan kullanılmasında ortaya çıkan bu sorunların çözümüne en uygun alternatiftir. Biyoyakıtların atık biyokütlelerden elde edilmesi yakıtı daha ekonomik ve ekolojik yapmaktadır. Biyoyakıtların ISO/TC (International Organization for Standardization/Technical Committee) uluslararası standartlara göre sınıflandırılmıştır. Katı biyoyakıtlar için ISO/TC 238 ve sıvı biyoyakıtlar için ISO/TC 28/SC7 kullanılır. Ülkemizde katı biyoyakıtlar, yakıt özellikleri ve sınıfları TS EN ISO 17225-1 standartlarına göre değerlendirilmektedir (Sözen ve ark., 2017). Biyogaz gaz biyoyakıt, biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetileter, biyoetiltersiyer ve bitileter ise sıvı biyoyakıtlar sınıfındadır. Biyokömür, biyopelet ve biyobriket katı biyoyakıtlardır (Deveci ve ark., 2019). Katı biyoyakıtlar geleneksel ve modern katı biyoyakıtlar olarak sınıflandırılır. Geleneksel katı biyoyakıtlar işlem görmemiş ham biyokütle ve atık biyokütlelerdir. Modern katı biyoyakıtlar ise biyokütlenin işlenerek daha verimli bir yakıt haline dönüştürülmesiyle elde edilir. Modern biyoyakıtlarda, hammaddeler öğütülerek parçacık boyutu küçültülür, kurutulur ve yüksek basınçla sıkıştırılarak uniform yoğunluğu düşük ayrıca ısı verimi yüksek çevreye zararsız biyoyakıtlar elde edilir. Biyopeletler, biyokömür ve biyobriketler modern katı biyoyakıtlardır. Bu yakıtlar kazan yakıtı olarak ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılır (Gürdil ve ark., 2015).

Biyoyakıtlar yakıtın fiziksel durumuna göre olduğu gibi işlem görmüş ve görmemiş olmasına göre de birincil ve ikincil biyoyakıtlar olarak sınıflandırılabilir. Birincil biyoyakıtlar işlenmemiş biyokütle olan odun, talaş, pelet ve hayvansal atıklardır. Birincil biyoyakıtlar, işlenmemiş olduğundan genellikle küçük ve büyük ölçekli endüstriyel uygulamalarda

ısıtma veya elektrik üretim ihtiyaçlarını karşılamak için doğrudan kullanılırlar. İkincil biyoyakıtlar, biyokütlelerin işlenmesiyle elde edilen biyodizel, biyoetanol, biyogaz, biyopelet, biyokömür ve biyobiriket gibi biyoyakıtlardır. İkincil biyoyakıtlar birincil biyoyakıtlara kıyasla daha ekonomik ve sürdürülebilirdir. Bu nedenle ikincil biyoyakıtların kullanımı teşvik edilmelidir (Işık ve Yavuz, 2022).

Tarım, hayvancılık ve ormancılık faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atıklar değerlendirilerek biyoyakıtların elde edilmesi ülke ekonomisine katkı sağlarken ekonomik ve ekolojik yerli yakıt üretilmiş olur. Tarımsal atıklar, orman ürünleri atıkları, bitkisel artıklar, hayvansal atıklar, aquatik atıklar, endüstriyel ve evsel atıklar gibi atık biyokütleler biyoyakıt olarak değerlendirilerek ucuz, temiz, yenilenebilir ve yerli alternatif yakıt kaynağıdır. Tarımsal atıkların yoğunluğunun düşük olması ve yüksek nem içeriğine sahip olması sebebiyle doğrudan yakılması verimli değildir. Ayrıca bu atıkların doğrudan kullanılması taşıma, depolama ve işleme aşamalarında ekonomik olmamaktadır (Atay ve ark., 2018). Yonga, talaş, kabuk, kılıf, dal, yaprak, sap, saman, meyve çekirdeklerinden oluşan tarımsal atıklar, hayvansal atıklar ve endüstriyel atıklar atık biyokütle kaynaklarıdır (Sümer ve ark. 2016). Tarımsal artıkların fosil yakıtlara karşı alternatif yakıt olarak enerji sektöründe önemli bir potansiyeli vardır. Biyokütle potansiyeli 109.4 milyon ton/yıl ve tarımsal ürün artığı yaklaşık 5 milyon ton ile Türkiye OECD ülkeleri arasında dördüncü sırada yer almaktadır (Turumtay, 2022). Tarımsal artıklarının toplam ısıl değerine göre en büyük pay % 25’lik bir oranla Akdeniz Bölgesine aittir (Küsek, 2015). Ekili alan başına elde edilen tarımsal ürüne nerdeyse eşit miktarda hasat atığı çıkmaktadır. Bu atıklar çoğunlukla gübre ya da doğrudan yakılarak değerlendirildiği için atığın içeriğindeki bazı maddeler toprağı kirleterek verimini azaltmaktadır (Alp, 2022). Biyokütlenin işlenmeden doğrudan kullanımı karbon monoksit, kükürt dioksit ve partikül özelliklerinden dolayı solunum sorununa neden olabilir (Rusdianto ve Chiron, 2015). Ayrıca tarımsal artıkların doğrudan yakılmak üzere katı yakıt olarak kullanılmasında yoğunluklarının düşük olması ve yüksek nem içeriğine sahip olması gibi sorunlar bulunmaktadır. Düşük yoğunluk ve yüksek nem miktarı taşıma ve depolama maliyetlerini artırmaktadır. Tarımsal artıkların biyopelet ya da biyobiriket gibi modern katı biyoyakıtla dönüştürülmesi en basit ve en ucuz yöntemlerden biridir. Tarımsal artıklar pelet haline getirildiğinde atıkların yoğunluğu artarken taşıma ve depolama maliyetleri düşer. Homojen boyut ve şekil sağlandığı için yakma sistemlerine otomatik olarak beslenerek materyalin daha etkin kullanımı sağlanmaktadır (Bilgin ve ark., 2016; Küsek, 2015).

Biyopeletler, katı fosil yakıt olan kömüre göre daha az kül ve kükürt içeriğine sahip olmasından dolayı daha temiz, yerli ve yenilenebilir bir alternatif yakıttır. Biyopelet, uluslararası düzeyde enerji sektöründe önemli

bir pazara sahip katı biyoyakıtlardan biri olup, işlem hacmi olarak biyodizel ya da bioetanol gibi sıvı biyoyakıtlarla rekabet edecek konuma gelmiştir (Zengin ve ark., 2020). Biyopeletler, talaş, odun yongaları, ağaç kabukları, fındık kabukları, badem kabukları, ceviz kabukları, zirai ürünler, mısır koçanları, pancar küspesi, ayçiçeği çenekleri, kuru zeytin ve kiraz çekirdekleri, ekinlerin sapları ve atık kâğıtlar olmak üzere birçok atık biyokütleleri ile melas, nişasta ve zeolit gibi bağlayıcı maddeler ya da bağlayıcısız olarak üretilmektedir. Atık veya taze biyokütle kaynakları kurutma, öğütme ve presleme gibi basit fiziksel işlemler ile biyopeletler elde edilir. Biyokütlenin pelet haline gelmesi ile ısı değeri yüksek ve yığın yoğunluğu düşük bir katı yakıt elde edilir. Ayrıca biyokütlenin yanma özellikleri iyileşir ve çevreye zararlı emisyon miktarı azalır (Topkoç ve Yıldız, 2021).

## BİYOPELET

Tarımsal atıklar gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için önemli alternatif bir enerji kaynağıdır. Bu sebeple bu atıkların katı yakıt olarak değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Türkiye’de bazı sanayilerde tarımsal ve fabrika atıklarından büyük ölçekte yararlanılmamaktadır. Tarımsal artıkların değerlendirilmeyip bertaraf edilmesi çevre kirliliğine ve maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu atıkların biyopelet haline dönüştürülmesi özellikle enerjide dışa bağımlı tarım ülkelerinin enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için önemli bir kaynaktır. Birçok gelişmiş ülkede tarımsal atıklar, biyokütlenin peletlenmesi ya da briketlenmesi gibi basit işlemlerle kullanışlı, ekolojik ve ekonomik katı yakıtlar olarak değerlendirilmektedir (Atay ve ark., 2016; Başbüyük ve ark., 2021).

Peletleme işlemi ile biyokütlenin yoğunluğu artarken taşıma ve depolama maliyetleri düşer. Homojen ve uniform bir şekil elde edilir. Yakma sistemlerine otomatik beslediği için biyokütlenin daha etkili kullanımı sağlanmaktadır. Biyokütle yüksek sıkıştırma ve sıcaklık uygulanması ile uniform küçük boyutlu silindirler olarak biyopelet elde edilir (Rusdianto ve Choiron, 2015).

Biyopeletlerin alternatif katı yakıt olarak kullanımı son yıllarda artmış ve katı yakıt olarak enerji ihtiyacının sağlanmasında fosil yakıtlara karşı alternatif bir çözüm sunmuştur. Biyopelet üretiminde gereken hammadde ihtiyacı yaygın olarak orman endüstrisi yan ürünleri veya artıklarından karşılanmaktadır. Bu sebele biyopeletler genellikle odun peleti olarak ifade edilir. Odun peleti hammadde tedarikinin, üretiminin ve kullanımının basit olması yakıt olarak kullanımını gün geçtikçe arttırmıştır (Zengin ve ark., 2020). Ormancılık faaliyetleri, odunun ahşap ihtiyacı gibi her alanda hammadde olarak sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Bu nedenle, odun dışı kaynaklardan elde edilen biyokütle, hammadde olarak potansiyel haline gelmektedir (Anonim, 2017).



Tablo 1 de kıyılmış, balya ve pelet halindeki saman, kıyılmış odun, hızar tozu ve odun peletine ait yoğunluk, nem, kül, ısı değer ve enerji yoğunluğu değerleri verilmiştir (Başer ve Acaroğlu, 2014). Tablo 1’de görüldüğü gibi odun, odun peletine dönüştüğünde yoğunluğu  $250 \text{ kg/m}^3$ ’den  $650 \text{ kg/m}^3$ ’e artarken, nem içeriği % 10-50 arasında değişirken % 10’un altına düşmekte, ısı değeri 11-17 kcal/kg iken  $17.5 \text{ kcal/kg}$ ’a artmış, enerji yoğunluğu  $4.3 \text{ GJ/m}^3$ ’den  $11.4 \text{ GJ/m}^3$ ’e yükselmiştir. Biyokütle pelete dönüşürken hacim ile nem içeriği düşerken yoğunluğu ve enerji değeri yükselmektedir. Böylece taşıma, depolama ve yakma masrafları azalır.

**Tablo 1.** Saman, odun, hızar tozu ve odun peletinin bazı yakıt özellikleri

Hammaddeler	Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )	Nem (%)	En düşük ısı değ. ( $\text{MJ/kg}$ )	Kül (%)	Enerji yoğunluğu ( $\text{GJ/m}^3$ )
Saman (kıyılmış)	50	10-20	14.5	5	0.7
Saman (büyük balya)	130	10-18	14.5	5	1.9
Saman peleti	600	<10	15.0	5	9
Odun (kıyılmış)	250	10-50	11-17	0.5	4.3
Hızar tozu	200	20-50	12-17	0.5	3.4
Odun peleti	650	<10	17.5	0.5	11.4

Tablo 2 de odun talaşı, odun peleti, odun kömür ve kömüre ait bazı yakıt özellikleri verilmiştir (Olgun ve ark., 2014; Anonim, 2017). Tablo 2’den görüldüğü gibi odun talaşı odun peleti haline getirildiği zaman nem içeriği, biyolojik bozunurluğu ve taşıma ücreti düşerken alt ısı değer, parça yoğunluğu, hacimsel enerji yoğunluğu ve ürün kararlılığı artmaktadır. Odun peleti diğer katı yakıtlara göre %10’dan az nem içeriğiyle ve yüksek enerji yoğunluğu oldukça tercih edilir. 1 MWh üretmek için odun peletleri ile karşılaştırıldığında enerji; doğal gaz 3 kat, fuel oil 5 kat ve elektrik ile ısıtma da atmosfere 10 kat daha fazla  $\text{CO}_2$  salınır. Türkiye bağlamının ekonomik karşılaştırması odun peletinin diğerlerine göre daha avantajlı olduğunu gösterir. Türkiye’de  $50,2 \text{ GJ}$  ısıtma enerjisi yaklaşık 2 ton kömür, 1142 kg akaryakıt,  $1454 \text{ m}^3$  doğal gaz veya 2,66 ton odun peleti gerektirir (Toksoy ve ark., 2020). Biyopeletler, fuel-oil, LPG ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan daha ucuz bir yakıttır.

**Tablo 2.** Odun talaşı, odun peleti, odun kömürü ve kömürün bazı yakıt özellikleri

	Odun talaşı 	Odun peleti 	Odun kömürü 	İthal kömür 
Nem (%w:w)	30-55	7-10	1-5	10-15
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	1673-2868	3585-4063	7170-7648	5497-6692
Uçucu madde (%w:w)	75-85	75-85	10-12	15-30
Sabit karbon (%w:w)	16-25	16-25	85-87	50-55
Parça yoğunluğu (kg/l)	0.20-0.30	0.55-0.65	0.18-0.24	0.80-0.85
Enerji yoğunluğu (GJ/m <sup>3</sup> )	1.4-3.6	8-11	5.4-7.7	18-24
Biyolojik bozunurluk	Hızlı	Orta	Yok	Yok
Öğütme gereksinimi	Özel	Özel	Standart	Standart
Ürün kararlılığı	Sınırlı	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Taşıma Ücreti	Yüksek	Orta	Orta	Düşük

Tablo 3 de pelet ile sanayiide kullanılan fosil yakıtların maliyetinin karşılaştırılması verilmiştir (Anonim, 2022; Anonim, 2023). Tablo 3 de görüldüğü üzere bazı yakıtların KDV hariç sanayide 1000 kcal ısı ihtiyacı için maliyet karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre sanayide en ucuz yakıtta göre yakıt maliyeti indeksine pelet sahiptir. Peletin birim maliyeti yerli kömüre göre halen yüksektir. Birim kalori maliyeti ise ithal kömür ve doğalgazdan daha fazla olup, fuel-oil ile neredeyse aynıdır (Anonim, 2022). Ancak biyopeletin birim kalori maliyeti ülkemizde kömür rezervlerinin %90'nını oluşturan linyitlerin ortalama birim kalori maliyetinden daha ucuzdur. Biyokütlenin öğütülmesi, kurutulması ve preslenmesi enerji maliyetine dolayısıyla ürün maliyetine yansımaktadır. Pelet üretim maliyetinin yaklaşık olarak % 43'ü ham madde, % 35'i kurutucu, % 7'si peletleme ünitesi, % 6'sı personel giderleri, % 3'ü depolama, %2,5'i yan ekipmanlar, % 2'si öğütme, % 1'i kapital ve % 0,5'i soğutmadan oluşturmaktadır (Özdemir, 2016).



**Tablo 3.** Sanayide peletin diğer yakıtlarla maliyetinin karşılaştırılması

Yakıt Türü	Alt Isıl Değeri	Birim Fiyat	Ortalama Verim (%)	Atık Miktarı (%)	Fiyat (TL/kcal)	Yakıt Maliyeti İndeksi
Pelet	4950 kcal/kg	5,00 TL/kg	91	1	1110	100
Soma linyiti	4679 kcal/kg	2,69 TL/kg	65	13	834	117
İthal Sibiryay Kömürü	7000 kcal/kg	6,27 TL/kg	65	11	1378	193
Fuel oil No:6	9562 kcal/kg	8,76 TL/kg	80	10	1145	160
LPG	11000 kcal/kg	19,90 TL/kg	92		1966	275
Motorin	10256 kcal/kg	21,11 TL/kg	84		2450	342
Doğalgaz ( $\leq 300.000$ )	8250 kcal/m <sup>3</sup>	7,14 TL/m <sup>3</sup>	93		931	130
LNG	8250 kcal/m <sup>3</sup>	24,70 TL/m <sup>3</sup>	93		3220	450
Elektrik	860 kcal/kWh	4,35 TL/kWh	99		5112	714

Yakıtın kimyasal bileşimi yanma karakteristiği üzerine etkisi önemlidir. Yakıtların kimyasal özellikleri çeşitli elementlerin kimyasal bileşenleri ile adlandırılır. Gerek geleneksel katı yakıt olan odun ve kömür gerekse katı biyoyakıtlar çoğunlukla C ve H az miktarlarda da O, N ve S elementleri bulunduran organik biyokütlelerdir. Yakıtlarda O, N ve S elementleri istenmeyen hetero atomlardır. N ve S yandıklarında çevreye zarar veren aerosoller oluşturur. Yanma sonucunda ortama bırakılan aerosoller, azot oksitler, kükürt oksitler, duman ve is olarak tanımlanır. Aerosollerin bir kısmı ışımayı hapsettiğinden ısınmaya, bir kısmı ise ışımayı yansıttığından soğumaya sebep olmaktadır ancak küresel boyutta değil bölgesel sıcaklık değişimine neden olmaktadır ve kısa süreli etkileri vardır. Tablo 4 de çeşitli katı yakıtlara ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir (Tüzün, 2012).

**Tablo 4.** Çeşitli katı yakıtların kimyasal analiz sonuçları (%)

Yakıt Türü	C	H	O	N	S
Odun Parçaları (Kastamonu)	45,93	5,88	42,94	0,32	0,03
Turba	59	6	33	1,5	0,5
Linyit	65	4,0	30	1,0-1,5	1,0-0,5
Taş Kömürü (Yağlı)	88	5	5	1	1
Antrasit	92	3	3	1,5	1
Orman atığı peleti (Manisa)	49	4,08	28,88	0,36	0,12
Mdf peleti (Konya)	51,88	5,68	37,54	3,48	0,03

Pelet yakıtı daha fazla konutlarda ısınma ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır. Pelete olan talep arttıkça tesislerin sayısı artarken pelet üretiminin gerçekleştirildiği ülkelerde daha yüksek kapasitede pelet tesisleri yaygınlaşmaktadır (Özdemir, 2016). Ahşabın üretimi ve kullanımını özellikle gelişmiş ülkelerde artışı için pelet sektörü de gelişmektedir.

İsveç, 1980 yılında ilk biyo-pelet üreticisi olup, odun partiküllerinden ve diğer odun endüstriyel atıklardan pelet üretimi yapmıştır. Biyopeletin en büyük tüketicileri Avrupa, Amerika ve Asya, özellikle Japonya ve Kore'dir (Anonim, 2017). Biyopeletler, birçok Avrupa ülkesinde yaklaşık 20 yıldır üretilmekte ve günümüzde neredeyse Avrupa'nın tamamında, Kuzey Amerika, Rusya ve İskandinavya ülkelerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Finlandiya yakıt ihtiyacının %96'sını biyopeletlerden karşılamaktadır (Zengin ve ark., 2020). 2023 yılında biyopelet ticaret hacmin 29 milyon ton olması beklenmektedir. 2018 yılında Japonya 1 milyon tonun üzerinde Güney Kore 3,4 milyon ton, Hollanda 2,5 milyon ton ve Birleşik Krallık 1,5 milyon ton pelet ithalat etmiştir (Toksoy ve ark., 2020). Ülkemizde pelet üretimi ve tüketimi henüz yaygınlaşmamıştır. Daha çok odun tozu olmakla beraber ağaç talaşı ve mobilya artıklarından iç tüketim için küçük ve orta ölçekli az sayıda pelet tesisinde üretim yapılmaktadır. Odun tozu biyopelet üretiminde hammadde ihtiyacını karşılayacak durumda olmadığı için mevcut biyopelet fabrikalarının bir kısmı kapanmaktadır (Zengin ve ark., 2020). Türkiye'nin odun peleti potansiyeli 1,8 milyon ton olarak hesaplanırken, kullanılan odun miktarı, üretim ve döviz kurundaki değişikliklerden dolayı bu miktar düştüğü için yaklaşık 400.000 ton hesaplamıştır (Toksoy ve ark., 2020). Hammadde kaynaklarına ve ulaşım yoluna yakınlığına göre üretilen peletin sağlandığı biyokütle türü değişmektedir. Türkiye'de resmi olarak yaklaşık 30 üretici bulunmakta olup, pelet üretimi için genellikle çam ağacını ve diğer ağaç türlerini kullanır. Ankara'da pelet üreticileri, mobilyacılar, ağaç işleme fabrikaları gibi çok sayıda işletme bulunduğundan bu hammaddeleri kullanmaktadır. Karadeniz Bölgesi de ormancılık faaliyetleri fazla olduğundan pelet üretimi için orman ürünleri ve atıklarını kullanmaktadır. Ege ve Akdeniz bölgelerinde çok sayıda zeytin ağacı ve zeytinyağı fabrikası bulunduğu için pelet üretiminde hammadde olarak zeytin prinası kullanılmaktadır (Karaca, 2021).

## **BİYOPELET STANDARTLARI**

Uluslararası biyoyakıt ticaretini yaygınlaştırmak ve kolaylaştırmak için standartlaşma çok önemlidir. Pelet yakıt özelliklerinin standartlarını ilk kez 1980'lerin ortalarında Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ısıtıcı üreticileri ve kullanıcıları kullanmaya başlamıştır. Almanya, İsveç, Avusturya, İtalya, Fransa, Danimarka, Finlandiya, Hollanda, Birleşik Krallık ve diğer ülkeler 1990'ların başına kadar kömür standartlarını benimsemiştir. 1990'ların sonlarında, Avusturya, İsveç, Birleşik Krallık, Fransa ve Danimarka gibi Avrupa ülkeleri, Evrensel Avrupa Katı Hal Pelet Yakıt Standardı (CEN) standardını kullanmıştır. CEN, Teknik Komite (TC) katı biyoyakıtları bünyesinde CEN/TC 335 biyoyakıt standardını geliştirmiştir (Anonim, 2017; Miranda, 2015). 2008 yılında CEN standardı güncellenmiş ve pelet yakıt için uyarlanan ISO standartları kabul edilmiştir (Gürdil

ve ark., 2015). 2011 yılında, EN 14961 standardının uygulanması, üretim teknolojisinin gelişmesine imkan vermiş ve uluslararası ticareti teşvik etmiştir. Son zamanlarda, EN ISO 17225 standardı eski spesifikasyonun yerini almış, talepleri konut ve sanayi için ahşap peletler gibi yeni sınıflandırmalar yapılmıştır. Avrupa'da EN*plus* ve Almanya da DIN*plus* standartları, Kuzey Amerika'da ASTM, CAN*plus* ve PFI standartları ve tüm dünyada ISO standartları gibi dünyada odun peletleri için birçok spesifikasyon bulunmaktadır. Avrupa standardı EN*plus* ve Kanada standardı CAN*plus* biyopellet standartları aynıdır (Anonim, 2017; Miranda, 2015). EN 14961-2 standardına göre üç biyopellet standardı vardır. EN*plus*A1: kimyasal olarak işlenmiş odun artıkları, EN*plus*A2: Kereste atıkları, sanayi faaliyetleri sonucu ortaya çıkan odun kabukları, köksüz ağaçlar, EN*plus*B: Orman, ağaçlandırma ve diğer saf odunlar, ağaç işleme sanayi atıkları ve yan ürünler ile kullanılmış ahşap ürünlerini ifade eder (Aydemir, 2017). Amerikan Pelet Yakıtları Enstitüsü (PFI), 2000 yılında biyo-pelet düzenlemeleri ve pelet yakıtları için bir standardizasyon programı başlatmıştır. PFI standardı, DIN*plus*, EN*plus*, ve CAN*plus* standartlarına çok benzerdir. Pelet yakıt standartlarındaki farklılıklar, yanma ekipmanına uygun olarak kalite standartlarının geliştirilmesinden kaynaklanmıştır (Anonim, 2017; Miranda, 2015). Pelet pazarı olgunlaştıkça, pelet standardizasyon endüstrinin gerisinde kalmıştır. Hükümetler, pelet standart sisteminin geliştirilmesine daha fazla dikkat etmeli ve endüstrinin gelişimine rehberlik etmelidir (Jiang ve ark., 2016). Birçok ülke pelet kullanımı ile ilgili yasal düzenlemeler yaparken Türkiye de biyopelletler için kalite standardı mevcut değildir. (Toksoy, 2020). Avusturya, İsveç, Almanya, İtalya ve Birleşik Krallık gibi bazı Avrupa ülkeleri kendi pelet standartlarını geliştirmiş ve pelet endüstrilerinin gelişimini teşvik etmiştir (Jiang ve ark., 2016). Avrupa ülkelerinde her ülkenin kullandığı farklı standartlar mevcuttur. ONORM M 7135 standardı Avusturya, ITEBE standardı Fransa, SS 18 71 70 standartları İsveç, SN 166000 standartları İsviçre, NS 3165 standartları Norveç ve CTI-R 04/5 standartları İtalya da kullanılan pelet standartlarıdır (Anonim, 2017; Miranda, 2015; Aktaş, 2022). Avusturya'da Ö-Norm ve Almanya'da DIN plus normları pelet kalitesini artırmaktan ziyade pazarlama da kullanılan bir araçtır. İsveç ve Almanya standartları birbirine çok benzerdir. Peletin ısı değeri nem miktarına bağlı olup, düşük nem miktarı ısı değeri artıran bir faktördür. Baca gazı kanallarında ve ısı değiştirici yüzeylerinde cüruf oluşumunu önlemek için kül miktarı az olmalıdır. Bunun için pelet ham maddesine bazı mısır veya mısır nişastası gibi doğal maddeler ilave edilir. İsveç standartları haricinde pelet yapımında bağlayıcı olarak tutkal kullanılmaz. Avusturya da peletin mekanik dengesinin belirlenmesi için slingo-test aşınma değerinin bilinmesi gerekmektedir. Slingo testi, pelet mekanik strete tabii tutulduğunda dökülen küçük pelet parçacıklarının ölçümüne dayanır. Pelet yakıtlarının kalite standartlarında düşük nem içe-

riği, yüksek ısı değeri, düşük kül içeriği ve yüksek yoğunlukta olması istenir (Sungur ve ark., 2018; Aktas, 2022)

2000 yılından itibaren pelet için Avrupa Birliği standartları geliştirildiğinden, bu ülkeler Avrupa Birliği standartlarını kendi standartları olarak benimsemiş veya kendi standartlarını değiştirmek için Avrupa Birliği standartlarına atıfta bulunmuştur. Avrupa Birliği standartlarında pelet performansı için çok fazla sınırlama olmayıp, biyokütle besleme stoğunun toplanması, depolanması ve taşınması ile üretim ekipmanları, üretimi sırasında güvenlik ve çevre hijyeni gereklilikleri ile ilgili hiçbir bilgi standartlarda yoktur. ABD'deki pelet standartları esas olarak kül içeriği, nem içeriği, uçucu organik bileşik, istifleme yoğunluğu ve numune hazırlamanın nasıl ölçüleceğine odaklanmıştır (Jiang ve ark., 2016).

Biyopeletlerin uluslararası standartlarında göre nem miktarı, kül miktarı, uçucu madde miktarı, sabit karbon miktarı gibi kısa analiz değerleri, alt-üst ısı değeri, parçacık boyutu, pelet parça yoğunluğu, pelet çapı, pelet uzunluğu ve pelet dayanımı gibi mekanik özellikler ile azot, kükürt, klor, arsenik, kadmilyum, krom, bakır, kurşun, cıva, çinko, nikel gibi kimyasal analiz sonuçları yer almıştır. Tablo 5'de biyopeletlerin hem uluslararası standartlarda hem de ülkemizde istenen ortak teknik yakıt özellikleri nem miktarı (H), kül miktarı (K), üst ısı değeri (Q), çap (D), uzunluk (L) ve parça yoğunluğu (d) gibi fiziksel özellikler ile azot (N) ve kükürt (S) içeriği gibi kimyasal özellikler olduğu için bu ölçümlere ait limit değerler verilmiştir (Anonim, 2008; Bantacut ve ark., 2013; Munawar ve Subiyanto, 2014; Anonim, 2017; Thrän ve ark., 2017; Pradhan ve ark., 2018a; Pradhan ve ark., 2018b; Amirta, 2018; Garcia ve ark., 2019; Cahyono ve ark., 2022). Tablo 5'de yer alan standartlara göre çap 6-10 mm, uzunluk 3.15-40 mm, ısı değeri 16.5-19.5 MJ kg<sup>-1</sup>, nem % 7-12, kül içeriği % 0.5-2 ve parça yoğunluğu 600-1400 kg m<sup>-3</sup> aralığında olduğu görülmüştür. Azot içeriği % 0.3-1 ve kükürt içeriği ise % 0.03-0.08 aralıklarında değişmektedir.

**Tablo 5. Biyopelet standartları**

Pelet Standardı		H (%)	K (%)	Q (MJ/kg)	D (mm)	L (mm)	d (kg/m <sup>3</sup> )	N (%)	S (%)
ISO 17225-6	I1	≤10	≤1	≥16.5	6, 8 (±1)	3.15-40	≥600	≤0.3	≤0.05
	I2	≤10	≤1.5	≥16.5	6, 8, 10 (±1)	3.15-40	≥600	≤0.6	≤0.05
	I3	≤10	≤3	≥16.5	6, 8, 10, 12 (±1)	3.15-40	≥600	≤0.6	≤0.05
ONORM M7135		< 10	<0.5	>18	4-10	<5D	> 1,120	≤0.3	≤0.04
DIN	DIN 51731	<12	<1.5	17.5-19.5	4-10	<5D	1,000-1,400	<0.3	<0.08
	DIN Plus	<10	<0.5	>18	4-10	<5D	>1,120	≤0.3	≤0.04
ITEBE		<15	≤6	>16.9	6±1	10-30	> 650	<0.3	<0.08
SS 18 71 70	Grup1	≤10	<0.7	≥16.9	<25	<5D	≥600	-	≤0.08
	Grup2	≤10	<0.7	≥16.9	<25	<5D	≥500	-	≤0.08
	Grup3	≤12	<1.5	≥16.9	<25	<5D	≥500	-	-
CTI-R 04/5	Pellet goldA1	≤10	≤0.7	≥16.9	6±1	3.15-40	≥600	≤0.3	≤0.03
	Pellet goldA2	≤10	≤1.5	≥16.9	6±1	3.15-40	≥600	≤0.5	≤0.03
PFI	PFI Süper Premium	≤6	≤0.5	-	6.35-7.25	≤25.4	640-768	-	-
	PFI Premium	≤8	≤1	-	6.35-7.25	≤25.4	640-768	-	-
	PFI Standard	≤10	≤2	>19	6.35-7.25	≤25.4	608-768	-	-
	PFI Utility	≤10	≤6	-	6.35-7.25	≤25.4	608-768	-	-
CAN	CAN plusA1		≤0.7	≥16.5				≤0.3	≤0.04
	CAN plusA2		≤1.2	≥16.5	6±1,			≤0.5	≤0.05
	CANplusB	≤10	≤2	≥16.5	8±1	3.15-40	600-750	≤1	≤0.05
EN	ENplusA1		≤0.7	≥16.5				≤0.3	≤0.04
	ENplusA2		≤1.2	≥16.5	6±1,			≤0.5	≤0.05
	ENplusB	≤10	≤2	≥16.5	8±1	3.15-40	600-750	≤1.0	≤0.05

Peletlerin kimyasal ve mekanik özellikleri, yanma verimi, emisyon ile partikül salınımı, kül ve cüruf miktarını önemli ölçüde etkiler. Biyopeletlerin mekanik özellikleri, kimyasal analizi ve kısa analizi sonuçları yakıt özelliklerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Biyokütle peletlerinin mekanik özelliklerinin bilinmesi özellikle taşıma ve depolama işlemleri açısından oldukça önemlidir. Biyopeletin mekanik özellikleri biçim, parçacık boyutu, parça yoğunluğu, pelet dayanımı, pelet sertliği, pelet uzunluğu ve pelet çapıdır. Pelet uzunluğu ve pelet çapı, yanma verimi ve yakma sistemlerinin tasarımı açısından oldukça önemlidir. İnce peletler, özellikle düşük kapasiteli yakma sistemlerinde yanma daha verimlidir. Pelet uzunluğu yakıtın otomatik olarak yakma sistemine beslenmesi açısından önemli

olup, kısa peletler daha iyi akış sağlar (Bilgin ve ark., 2016).

Pelet kalitesi için parçacık boyutunun, materyal çeşidine bağlı olarak %10-20'sinin küçük parçacıklardan oluşması koşulu ile ortalama çapın 0.5-0.8 mm arasında olması istenir (Bilgin ve ark., 2015).

Pelet yoğunluğu, taşıma ve depolama maliyetlerine etki etmektedir. Yüksek yoğunluktaki peletler taşıma maliyetlerini düşürürken taşıma ve depolama etkinliğini artırmaktadır. Peletlerin son kullanıcıya ulaşana kadar dayanıklı olması oldukça önemlidir. Yüksek dayanıklılığa sahip peletler özellikle taşınma ve depolamada avantajlıdır. Pelet dayanıklılığı  $\geq 80$  ise yüksek kaliteli, %70-80 arasında ise orta kaliteli ve  $< 70$  ise düşük kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Bilgin ve ark., 2016).

Peletleme ile yoğunlaştırma, tarımsal ve biyolojik malzemelerin değerini artırmak için kullanılan etkili yollardan biridir. Tarımsal işlemeden elde edilen yan ürünlerin çoğu yoğunluğu düşük ( $< 150 \text{ kg/m}^3$ ) olduğundan uzun mesafeler boyunca verimli ve ekonomik bir şekilde taşınmaz (Munawar ve ark., 2014). Biyokütlenin hasat ve balyalama işlemlerinden sonra yoğunluğu  $112-160 \text{ kg/m}^3$  aralığına yükselirken parçalamadan sonra odun yoğunluğu yaklaşık  $265 \text{ kg/m}^3$ 'e yükselmektedir. Peletleme ve briketleme işlemleri ile biyokütle yığın yoğunluğu 4-7 kat artarken biyokütle ticari bir ürün haline gelmektedir. Yüksek yoğunluklu pelet, yüksek ısı değere sahip olup, kararlı yanma sağlamaktadır. Yoğunluğun değişmesi özellikle sabit hava kaynağı ve hacimsel pelet yükleme durumunda önemli sorunlara yol açar (Aktaş, 2022).

Peletleme işlemine ve pelet kalitesine, hammadde ile birlikte pelet makinalarının temel parçaları etki etmektedir. Peletleme işlemine etkili başlıca makine parçaları kalıp ve silindirlerdir (Amiri ve ark., 2019). Peletlemede öğütülmüş numune çapları 4 ila 12 mm veya daha büyük olan kalıplardan geçirilerek üretilir (Munawar ve ark., 2014). Mevcut koşullarda sürdürülebilir pelet üretimi için hammadde temininin sağlanması ve hammadde özellikleriyle peletleme makinesi temel bileşenlerinin uyumlu olması gerekmektedir. Ayrıca, peletin depodan yanma odasına taşınması için pelet boyutları önemli rol oynar. Pelet kalıpları, hammaddenin sıkışarak pelet formuna dönüştüğü daralan konik kesitli deliklere sahiptir. Konik deliklerin çıkış çapları genellikle 6, 8 veya 10 mm'dir ve farklı çaptaki pelet üretimi için pelet makinesinde farklı delik çaplarına sahip kalıplar kullanılabilir. Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen standartlara göre pelet çaplarının, kullanım yerine bağlı olarak  $6 (\pm 1)$  veya  $8 (\pm 1)$  mm çapında olması gerektiğini bildirilmiştir. Avusturya ve Almanya pazarındaki çoğu transport sistemleri için optimum pelet çapı yaklaşık 6 mm'dir. İsveç'te ise 8 mm'dir (Aktaş, 2022). Bunun yanında otsu yapıda hammadde üretilen peletlerin dahil edildiği EN ISO 17225-6 standardında pelet

çaplarının  $6 \text{ mm} \leq D \leq 25 \text{ mm} (\pm 1)$  değerinde olabileceği bildirilmiştir. Pelet çaplarıyla ilgili, ev tipi pelet yakma sistemlerinde pelet çapının genellikle 6 mm olması tavsiye edilirken, endüstriyel ölçekli yakma sistemlerinde 8 mm çapında pelet kullanımı yaygındır (Yılmaz ve ark., 2021). Tablo 5’de yer alan pelet standartlarına göre pelet uzunluğu en fazla çapın beş katı olabilirken en az 3.15 mm olabilir.

Yüksek ısı değerinin biyopeletin verimli yandığını gösterir. Tablo 5’de görüldüğü gibi biyopelet standartlarında biyopeletlerin üst ısı değeri  $16.5 \text{ MJ kg}^{-1}$  ve üzerinde olması istenmektedir. Avrupa Pelet Konseyi pelet standartları ENplus-A1, Enplus-A2 ve EN-B standartlarda peletlerin ısı değeri  $16-19 \text{ MJ kg}^{-1}$  arasında olması istenmektedir (Aydemir, 2017).

Nem içeriğinin biyolojik malzemelerin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir (Munawar ve ark., 2014). Dolayısıyla nem içeriği, biyopelet kalitesini belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Ateşleme hızı, duman oluşumu, depolama ve taşıma maliyetlerini etkiler. Düşük nem içeriği biyopelet ateşlemesini kolaylaştırır ve depolama ömrünü uzatır. Yüksek nem içeriği, depolama sırasında küf oluşumuna neden olur (Bantacut ve ark., 2013). Avrupa’da pelet üretimi ele alındığında, orman atıklarının yanında tarımsal atıklardan ağırlıklı olarak sap ve saman atıklarının ön planda olduğu görülmektedir. Sap ve samanın kurutma işlemine tabi tutulmadan % 20 nem oranında pelet üretilebilmektedir. Biyokütlenin nem içeriği % 25-30 olsa bile peletlenebilmektedir. Hasat döneminde bitkiler genellikle nem içeriği % 50’dir. % 60-70 civarında nemli hayvan dışkısı ve tatlı sorgum sapları gibi daha yaş biyokütle dahi günümüz teknolojisinde peletlenebilir durumdadır. Pelet nem içeriklerinin farklılık göstermesi, peletin enerji değeri ve formunda değişiklik göstermesine neden olmaktadır. Biyokütlenin nem içeriği peletleme süresini uzatır, pelet makinelelerinin merdane, peletleme haznelere, dişliler arasına biyokütle yapışarak makinelerin düzgün çalışmasına engel olabilir ve peletleme sisteminde tıkanmaya sebep olabilir. Biyokütlenin nem içeriğinin yakıtın ısı değerinin üzerinde nemin olumsuz yönde bir etkisine rağmen topraklanabilmesi için biyokütlenin belli bir oranda neme sahip olması istenir (Topkoç ve Yıldız, 2021). Ayrıca nem içeriği düşük biyokütlenin kimyasal bağlayıcısız pelet üretiminde ısı ortaya çıkar ve biyokütlenin yanıcı bir madde olmasından dolayı tutuşup yanmasını önlemek için peletin soğutulması gerekir. İzin verilen en düşük nem miktarı PFI Süper Premium’a ait olup, % 6 altındadır. Pelet numunelerinde bu nem değerini sağlayan örnek yoktur. İzin verilen en yüksek nem miktarı % 15 ile ITEBE standardına aittir. Standartlarda nem miktarı % 6-15 arasında değişmekte olup, genelde birçok standartta nem miktarı % 10 olarak belirlenmiştir.

Kül miktarı, biyopelet üretiminin derecelendirilmesinde önemli bir parametredir. Düşük kül miktarı biyopeletin verimli yandığını ve yanmayan

mineral içeriğinin düşük olduğunun göstergesidir. Kül, fosfatlar, klorürler, sülfatlar gibi anyonlar ve sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir ve manganez gibi diğer halojenürler ve katyonlar içeren oksitler ve tuzlardan oluşur (Bantacut ve ark., 2013; Munawar ve Subiyanto, 2014). En düşük kül miktarı ONORM M 7135 ve PFI Süper Premium'a ait olup, limit % 0.5 dir. En yüksek kül miktarı % 6 ile ITEBE ve PFI Utility standartlarına aittir. Yüksek kaliteli pelette kül oranı düşük olmalı ve % 1-2'yi geçmemelidir. Pelet yapılmadan yakılan ağaçlarda ise % 6 ile 10 arasında değişmektedir. Biyokütle peletlerinin kül içeriği ısıl değerini etkiler. Hammaddenin kül içeriği ne kadar yüksek olursa, kalori değeri o kadar düşük olur. Düşük kül oranı sayesinde yakma sisteminin verimi artar ve işletme maliyetleri azalır (Munawar ve Subiyanto, 2014).

Diğer katı yakıtlar ile kül oranları kıyaslama yapıldığında, kömürde % 20 iken pelette ise bu oran % 0,5'tir. Dolayısıyla, ev tipi bir sobada 25 kg pelet yakıldığında 65 gr kadar az miktarda kül ortaya çıkmaktadır (Abt ve ark., 2014).

Peletlerin kullanıldığı soba ve kazan gibi sistemlerde yanma özelliklerinin ve kullanılan yakıtın çevresel etkilerinin saptanabilmesi için yanma sonucunda ortaya çıkan baca gazındaki gazların (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> vb.) emisyon değerlerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Kükürt ve azot çevre açısından en büyük kirleticilerden biridir. Kükürt dioksit ve azot oksit emisyonu solunum problemlerine neden olduğu için insan sağlığını da etkiler. Ayrıca kükürt yanma odası, kazan ve borularda korozif bir etkiye sahiptir (Sungur ve ark., 2016; Aktaş, 2022). Tablo 5'de verilen standartlarda görüldüğü gibi izin verilen azot miktarı en az % 0.3 ve en fazla % 1 olarak verilmiştir. Genel olarak azot miktarı birçok standartta % 0.3 olarak verilmiştir. Kükürt miktarı ise en az % 0.3 ve en fazla % 0.8 olarak belirlenmiştir.

## SONUÇLAR

Uluslararası biyoyakıt ticaretini yaygınlaştırmak ve kolaylaştırmak için standartlaşma önemlidir. Biyopelet için birçok ülkede pelet standartları bulunmaktadır. Amerikan veya Avrupa Birliği biyopelet standartlarında genellikle biyokütle olarak odun talaşı kullanılmıştır. Bu nedenle, standartların farklı tarımsal atıklara göre yeniden düzenlenmesi yararlı olacaktır. Türkiye'nin tarımsal atık potansiyeli yüksek olup, enerji tarımı ve enerji ormancılığına gerekli destek ve önem verildiği taktirde biyopeletler katı kazan yakıtı olarak kömür ve odun yerine kullanılabilir. Bu sebeple enerji de sürdürülebilir teknolojik alt yapı oluşturulmasında Türkiye'nin kendine ait biyopelet standardı geliştirilmesi çok önemlidir. Bu sebeple bu çalışmada uluslararası pelet standartlarına yer verilmiş ve karşılaştırılması yapılarak ilerleyen dönemlerde Türk pelet standardının oluşturulmasına katkı sunacağı düşünülmüştür.



## KAYNAKLAR

- Abt, K.L., Abt, R.C., Galik, C.S., ve Skog, K.E., (2014). Effect of policies on pellet production and forests in the u.s. south: a technical document supporting the forest service update of the 2010 rpa assessment. General Technical Report SRS-202. US Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC.
- Aktaş, T. (2022). Türkiye’de imal edilen odun pelet örneklerinin kalite özelliklerinin ve standartlara uygunluğunun belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(1): 25-40.
- Alp, E. (2022). Biyoyakıt Kaynağı Olarak Pelet Yapımı, Sakarya Ticaret Borsası, <https://www.stb.org.tr/Arastirmalar/pelletbiomass>, Erişim tarihi: 19.09.2022.
- Amiri, H., Kianmehr, M. H., ve Arabhosseini, A. (2019). Effect of particle size, die rotary speed and amount of urea on physical properties of the produced pellet. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 2059-2068.
- Amirta, R. (2018). Pellet Kayu Energi Hijau Masa Depan, EHM Depan, Mulawarman University Press.
- Anonim, (2008). PFI Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel 18
- Anonim, (2017). APEC Energy Working Group/Expert Group on New and Renewable Energy Technologies, Heating Applications of Bio-pellet to Enhance Utilization of Renewable Energy in the APEC Region. APEC Project No. EWG 18/2016A
- Anonim, (2022). Sanayide 1000 kcal ısı ihtiyacı için gerekli olan çeşitli yakıtlar için maliyet karşılaştırma tablosu. *Tesisat Dergisi*, 10.
- Anonim, Kahramanlar Orman Ürünleri, Peletin Diğer Yakıtlarla Detaylı Kıyaslanması. <https://www.kahramanlar.com.tr/pelet>. (erişim tarihi: 10.05.2023)
- Atay, A. O., Ekinci, K., Umucu, Y. (2016). Yağ gülü damıtma atıkları, kızılçam kabuğu ve linyit kömür tozundan elde edilen peletlerin baca gazı emisyonlarının belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2), 1-9.
- Atay, A. O., Ekinci K., Üçok S., Kaçar, H., Kumbul, B. S., ve Aybek, A. (2018). Şeftali çekirdeği ve linyit kömür tozundan yapılan peletlerin fiziko mekanik özellikleri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 274-280.
- Atchison, J. E., ve Hettenhaus, J. R. (2003). *Innovative methods for corn stover collecting, handling, storing and transporting* (No. NREL/SR-510-33893). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Aydemir, T. (2017). Farklı Tarımsal Artıklar Kullanılarak Hazırlanan Karışım Peletlerinde Kenevir Sapı Kullanımının Pelet Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem

Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ.

- Bantacut, T., Hendra, D., Nurwigha, R. (2013). Mutu Biopellet Dari Campuran Arang Dan Sabut Cangkang Sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23 (1):1-12
- Başer, E., Acaroğlu, M. (2014). Tarımsal kökenli hammaddelerin yakacak pelet üretimi ve kullanımında karşılaşılan teknik problemler. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştay, 28-29 Mayıs 2014, Samsun
- Başbüyük, Ü. F., Aybek, A., ve Üçok S. (2021). Pamuk Çiğidi Küspesi ve Kırmızı Biber İşleme Atıklarından Biyoyakıt Amaçlı Pelet Elde Edilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(4), 879-890.
- Bilgin, S., Koçer, A., Yılmaz, H., Acar, M. ve Dok, M. (2016). Çay fabrikası atıklarının peletlenmesi ve pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *JAFAG* 33, 70-80.
- Bilgin, S., Yılmaz, H., Koçer, A., Acar, M. ve Dok, M. (2015). Fındık zuruğunun peletlenmesi ve pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 11: 265-273.
- Cahyono, A.A., Amri, I., Bahruddin, A. (2022). Upgrading characteristics of empty fruit bunch biopellet with addition of bintaro fruit as co-firing. *Journal of the Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering Science*, 1:1-8
- Cui, X., Yang, J., Wang, Z. ve Shi, X. (2021). Better use of bioenergy: A critical review of co-pelletizing for biofuel manufacturing. *Carbon Capture Science & Technology*, 1, 100005.
- Deveci, E. Ü., Gönen, Ç., ve Çetin, G. (2019). Mısır koçanında sülfürik asit, hidrojen peroksit ve ultrasound ön işlemleri ile çözünmüş şeker üretiminin optimizasyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 183-198.
- Garcia, R., Gil, M.V., Rubiera, F., Pevida, C. (2019). Pelletization of wood and alternative residual biomass blends for producing industrial quality pellets. *Fuel*, 251 739–753
- Gürdil, G. A. K., Baz, Y. Ö., Demirel, Ç. ve Demirel, B. (2015). Yakıt peleti ve briketi için güncellenmiş avrupa birliği standartları ve ilgili parametreler, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 147-156
- Haruna, N.Y. ve Afzal, M. T. (2016). Effect of particle size on mechanical properties of pellets made from biomass blends, *Procedia Engineering*, 148, 93 – 99
- Işık, S. ve Yavuz, S. (2022). Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlara genel bir bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (ICAENS-1), 193-201.
- Jiang, L., Yuan, X., Xiao, Z., Liang, J., Li, H., Cao, L., ... ve Zeng, G. (2016). A comparative study of biomass pellet and biomass-sludge mixed pellet: Energy input and pellet properties. *Energy Conversion and Management*, 126, 509-515.

- Karaca, N.K. (2021). Türkiye pelet yakıtı sektörünün mevcut durumu ve gelecek öngörülere: bir anket çalışması. ODTÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Karkania, V., Fanara, E. ve Zabaniotou, A. (2012). Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets’ market in Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1426– 1436
- Olgun, H., Keivani, B., Ersöz, Ö. ve Koçar, G. (2014). Biyokömürün termokimyasal enerji dönüştürme sistemlerinde kullanılması. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs 2014, Samsun
- Miranda, T., Montero, I., Sepúlveda, F. J., Arranz, J. I., Rojas, C.V. ve Nogales, S. (2015). A review of pellets from different sources, *Materials*, 8, 1413-1427
- Munawar, S. S., Subiyanto, B. (2014). Characterization of biomass pellet made from solid waste oil palm industry, *Procedia Environmental Sciences*, 20, 336 – 341
- Özdemir, S. (2017). Pelet biyoyakıt üretiminin ekonomik analizi. Sakarya Ticaret Borsası. 10-12.
- Pradhan P., Arora A. ve Mahajani S. M. (2018). Pilot scale evaluation of fuel pellets production from garden waste biomass, *Energy for Sustainable Development*, 43, 1–14
- Pradhan P., Arora A., Mahajani S. M. ve Arora A. (2018). Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review, *Fuel Processing Technology*, 181, 215–232
- PFI Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel 18-June-2008
- Rusdianto, A. S., ve Choiron, M. (2015). Analysis of Bio Pellet Process based on Mass Balance. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 262-265.
- Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D. ve Güngör, E. (2017). Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 148-160.
- Sümer S.K., Kavdır Y., Çiçek G. (2016). Türkiye’de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi, *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(4), 379-387
- Sungur, B. ve Topaloglu, B. (2018). Pelet Yakıtlı Kazanda Duman Borularının Yanma Performansına Etkisinin Nümerik İncelenmesi.
- Turumtay, H. (2020). Çay budama atık biyokütlesinin linyit kömür ile karıştırılarak beraber yanma potansiyelinin araştırılması. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 21 (2), 135-142
- Thrän, D., Peetz, D. ve Schaubach, K. (2017). Global Wood Pellet Industry and Trade Study.
- Toksoy, D., Çolak, S. ve Bayramoğlu, M. M. (2020). A study on the biomass ener-

gy potential of Turkey: example of wood pellets. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(5), 867-871.

Topkoç, E., Yıldız, Z. (2021). Alternatif bir katı yakıt olarak biyopeletler. 5. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi. Mersin.

Tüzün, M.K. (2012). Katı yakıtlı kazanlara uyumlu pelet brülörü tasarımı ve imalatı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta

Yılmaz, H., Topakcı, M., Çanakcı, M. ve Karayel, D. (2021). Çim Peleti Üretiminde Kalıp Delik Çapı ve Nem İçeriğinin Üretim Parametreleri ve Pelet Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 47-56.

Zengin, Y., Çelik, A. E., Dok, M. ve Çolak, S. (2020). Kavak odun atıklarından elde edilen peletlerin bazı yakıt özelliklerinin belirlenmesi, *AÇÜ Orman Fak Dergisi* 21(1):29-36.



# BÖLÜM 10

## **BİTKİLERDE SEKONDER METABOLİTLER VE ELİSİTÖRLERE GENEL BİR BAKIŞ**

*Tuğçe ÖZSAN KILIÇ<sup>1</sup>, Ahmet Naci ONUS<sup>2</sup>*

---

1 Dr. Öğr. Üyesi, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye. E-mail: tugceozsan@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3265-6886

2 Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye. E-mail: onus@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8615-1480

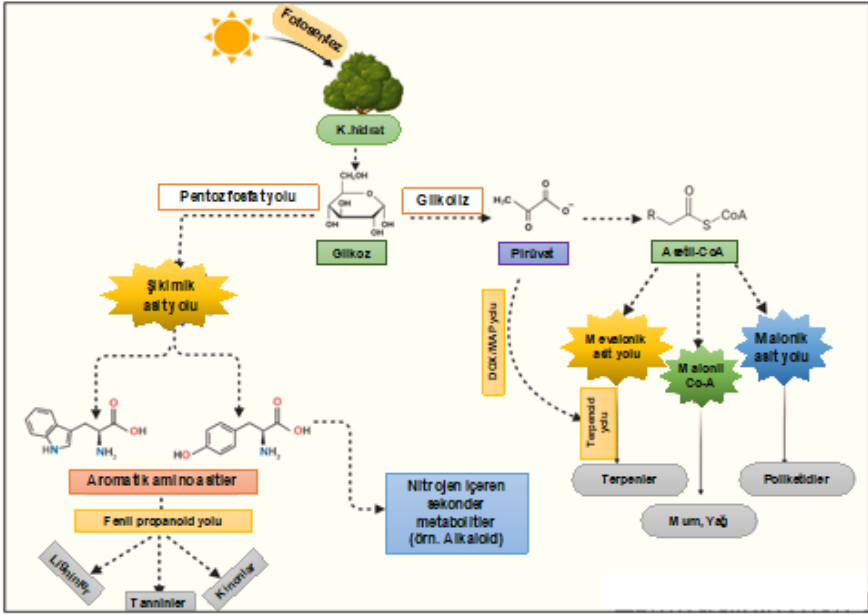
## 1. Giriş

Bitkilerin hareket halinde olmamaları bir dezavantaj olarak görülse de sürekli değişen çeşitli çevresel baskılarla başa çıkmak amacıyla birtakım karmaşık savunma sistemleri, fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyonlar geliştirmişlerdir (Osakabe vd., 2014; Isah, 2019). Tohum gelişiminden uygun aşamaya kadar olan tüm yaşam süresi boyunca bitkiler, hücresel ve fizyolojik süreçlerini devam ettirebilmeleri için birincil (primer) metabolitler ve ikincil (sekonder) metabolitler olarak kategorize edilen metabolitler üretirler. Birincil metabolitler bitki büyüme ve gelişiminde doğrudan rol oynayan karbonhidrat, protein ve yağlardır. İkincil metabolitler ise bitkilerin zorlu ortamlara uyum sağlamasına ve hayatta kalmasına yardımcı olan, bitki savunmasında anahtar rol üstlenen çok işlevli metabolitlerdir.

Bitkiler, çeşitli biyotik/abiyotik stres koşullarıyla başa çıkmalarını sağlayan ve sekonder metabolitlerin birikimini teşvik eden çeşitli savunma mekanizmaları geliştirmiştir (Dawane ve Pathak, 2020). Bu mekanizmalar, bitkilerin tehdit sinyallerini tespit etmesine ve kendilerini korumak için savunmacı bir şekilde yanıt vermesine olanak tanıyan reseptörlerin ve sensörlerin etkinleştirilmesini içerir. Sekonder metabolitler ayrıca bitkilerin çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı tepkisinde bitkinin rengini, lezzetini ve kokusunu da etkilemektedir (Jan vd., 2021). Strese uyum sağlamada bitki stres fizyolojisindeki önemli rollerinin yanı sıra sekonder metabolitler, çeşitli biyoaktif bileşenlerin özel kaynağıdır ve eczacılık, kozmetik, tarım ve gıda/yem üretimi dahil olmak üzere ticari açıdan değerli çeşitli ürünlerde uygulanmakta ve aynı zamanda çeşitli hastalıklara karşı yeni ilaçların geliştirilmesi için büyük fırsatlar sunmaktadır.

## 2. Bitki Metabolitleri

Kimyasal bileşimlerine göre bitkilerin tedavi edici özellikleri anlaşılabilir. Biyosentez yolları baz alınarak sekonder metabolitler üç temel kategoriye ayrılmaktadır: (1) fenolik bileşikler (şikimat yolu aracılı biyosentez); (2) terpenler (mevalonik yolun aracılık ettiği sentez); ve (3) nitrojen içeren bileşikler (trikarboksilik asit döngüsü aracılı sentez) (Jan vd., 2021) (Şekil 1).



Şekil 1. Bitkilerde sekonder metabolitlerin sentezi (Humbal ve Pathak, 2023'ten uyarlanmıştır).

Sekonder metabolitlerin önemli bir sınıfı olarak tanımlanan fenolikler (Ali vd., 2013), yapılarında bir veya daha fazla fenol grubu içeren, basit yapılardan karmaşık polimerik maddelere kadar en geniş metabolit grubunu oluşturur (Humbal ve Pathak, 2023). Fenolikler, hem suda hem de organik çözücülerde çözünebilir yaklaşık 10.000 kimyasaldan oluşan heterojen bir molekül ailesidir (Taiz ve Zeiger, 2006). Fenoliklerin bitkilerde büyüme, üreme ve biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı direnç dahil olmak üzere çeşitli temel rollere sahip olduğu bilinmektedir (Chaparro vd., 2013). Bazı fenolik bileşikler, yüksek pazar değeri ve talebi olan tıbbi özellikleri nedeniyle değerlidir. Bu temel sekonder metabolitin alt türleri fenoller, flavonoidler, tanenler, lignanlar, ligninler ve kumarinlerdir. Önemli fenolik bileşikler arasında kafeik asit, ferulik asit, hidroksisinnamik asit, klorojenik asit, gallik asit, mirisetin, apigenin ve luteolin genistein yer alır (Largia vd., 2022). Fenoller sebzelerde, meyvelerde, kakaoda, çaylarda ve diğer bitkilerde bulunan en yaygın sekonder bitki bileşenleridir. Anti-inflamatuar, antioksidan, anti-kanserojen ve diğer biyolojik özellikler gibi çeşitli sağlık yararları sunarlar ve ayrıca oksidatif strese ve bazı hastalıklara karşı koruma sağlarlar (Tariq vd., 2021).

Bitki sekonder metabolitlerinin en sık görülen türü, suda çözünmeyen, izopren birimlerine sahip terpenlerdir. İzopren birim sayılarına göre monoterpenler, diterpenler, triterpenler, tetraterpenler, seskiterpenler ve politerpenler olarak sınıflandırılır.

penler olarak sınıflandırılır (Verma ve Shukla, 2015). Terpen bileşiklerinin tüm türleri antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antispazmodik, antihistaminik, kardiyoprotektif özellikler gibi önemli farmakolojik aktiviteler sergiler. Bitki gelişiminde hayati bir rol oynayan önemli terpenler arasında diterpenler (gibberellinler), triterpenler (sterol), tetraterpenler (karotenoidler) ve seskiterpenler (ABA) yer alır (Boureau vd., 2013).

Alkaloitler, siyanojenik glikozitler ve protein olmayan amino asitler, yapılarında nitrojen içeren bitki sekonder metabolitlerine örnektir. Terapötik nitelikleri nedeniyle oldukça ilgi çekmektedirler (Jamwal vd., 2021). Azot içeren sekonder metabolitlerin önemli bir grubu siyanojenik glikozitler, glukozinolatlar ve alkaloidlerdir. Alkaloitler, nitrojen içeren düşük molekül ağırlıklı kimyasallardır. Yaklaşık 12.000 kimyasal, nitrojen içeren bileşik sınıfına aittir (Khan, 2017). Tirozin ve izin ve gibi birkaç amino asidin mevcudiyeti alkaloitlerin üretimiyle bağlantılıdır. Nikotin, purin alkaloidleri, tropan alkaloidleri, terpenoidler indol alkaloidleri ve benzilzokinolin alkaloidlerinin tümü alkaloid örnekleridir. Bitkiler, çeşitli terpenoid indol alkaloidleri tarafından biyotik stres faktörlerine karşı korunur (Mohammed vd., 2021). Vinblastin ve ajmalin gibi terpenoid indol alkaloidleri de tıbbi açıdan önemli alkaloidlerdir (Akhgari vd., 2017), bunlar kanser ve kardiyovasküler bozuklukları tedavi etmek için kullanılmıştır. Benzilzokinolin alkaloidlerine örnek olarak antimikrobiyal ilaçlar (berberin ve sanguinarin), kas gevşeticiler (papaverin), öksürük baskılayıcılar (kodein) ve analjezikler (morfin) verilebilir. Tropan alkaloidleri *Convolvulaceae* ve *Solanaceae* bitki gruplarında bol miktarda bulunur. Pürin nükleotidleri, purin alkaloidlerinin üretiminin yapı taşlarıdır (Jamieson vd., 2021). Alkaloidlerin dışında bitkilerde nitrojenli koruyucu kimyasallar olan siyanojenik glikozitler ve glukozinolatlar da bulunur (Patra vd., 2013). Hardal yağı glikozitleri olarak da bilinen glukozinolatlar, hidrolize edildiğinde uçucu bileşikler üreten bir tür bitki glikozididir. Glikosinolatların varlığı turp, brokoli ve lahanaya gibi bitkilere farklı bir tat ve koku verir (Afsar vd., 2021).

### 3. Elisitörler

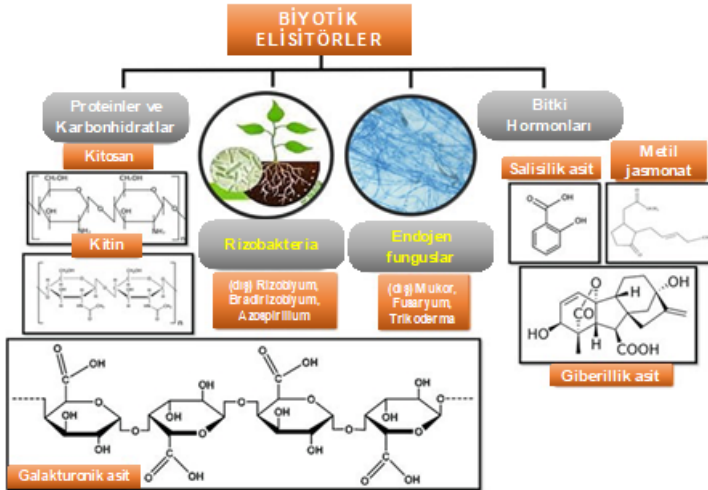
Yapılan araştırmalar göstermektedir ki 2050 yılına gelindiğinde, aşırı nüfus artışına bağlı olarak gıda üretiminin iki katına çıkması beklenmekte ve bu da önümüzdeki yıllarda tarımsal kimyasal bileşiklerin kullanımında artış olacağına işaret etmektedir. Bu tür bir artış, toplum sağlığı açısından risk anlamına gelmektedir. Karşılaşılması muhtemel bu riskleri azaltmak veya değiştirmek için yeni biyoteknolojik araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut çeşitli yaklaşımlar ve/veya stratejiler arasında elisitörler, beslenmedeki nutrasötik rolleriyle bilinen sekonder metabolitlerin üretimi yoluyla küçük miktarlarda uygulandığında bitkilerin savunma tepkisini ve adaptasyon kapasitesini tetikleyebilen stres uyaranlarıdır. Bitkiler sürekli



olarak stres koşullarına maruz kaldıklarından, olumsuz ortamlarla başa çıkabilmek ve minimum morfolojik değişikliklere maruz kalabilmek için tolerans stratejileri geliştirmişlerdir (Caicedo-López vd., 2021).

Stres faktörleri, kaynaklarına ve bitkiler üzerindeki etkilerine bağlı olarak biyotik ve abiyotik olarak sınıflandırılabilir.

Biyotik elisitörler, proteinler, karbohidratlar, bakteriler, mantarlar ve fitohormonlar (bitki hormonları) gibi canlı organizmalar tarafından üretilen maddelerdir (Şekil 2). Belirli bir biyolojik fonksiyona sahip bileşiklerin büyük çeşitliliği göz önüne alındığında bunlara biyostimülanlar olarak da atıfta bulunulmuştur (Yakhin vd., 2017).



Şekil 2. Biyotik elisitörlerin farklı ajanları (Largia vd., 2022'den uyarlanmıştır).

Buna karşılık, abiyotik elisitörler, biyolojik kökenli olmayan, fiziksel ya da kimyasal olabilen ve bitkilerin sekonder metabolit üretimini tetikleyebilen uyarılardır (Thakur vd., 2019). Ağır metaller ve inorganik tuzlar kimyasal elisitörlerin kapsamına girerken; ışık, sıcaklık, su ve ses dalgaları fiziksel elisitörlerin kapsamına girmektedir (Largia vd., 2022) (Şekil 3).

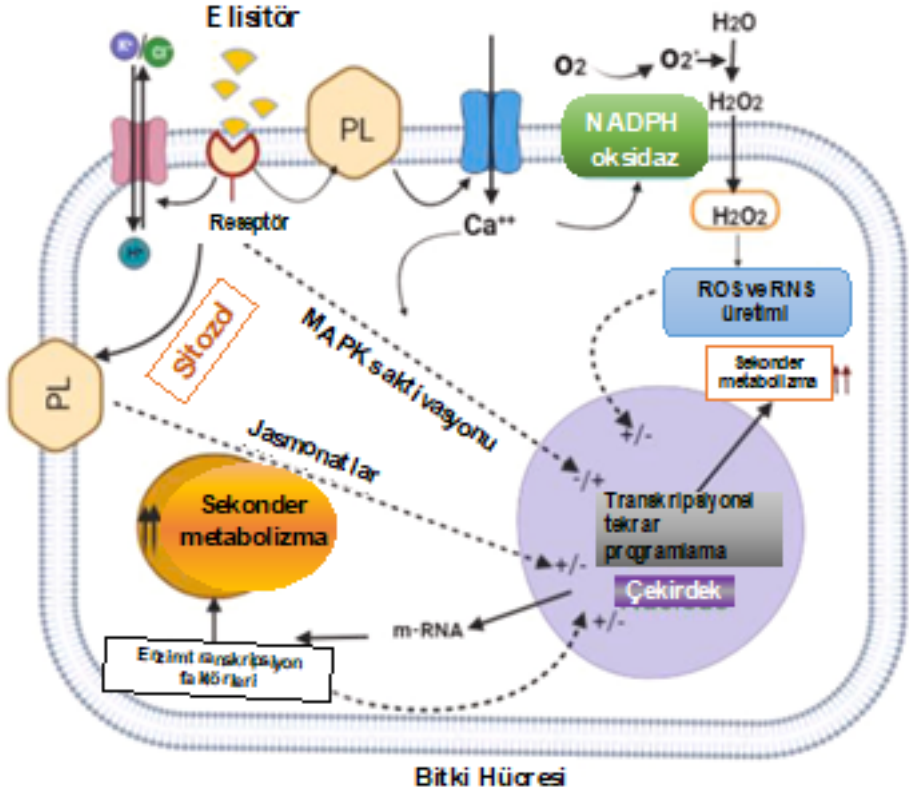


Şekil 3. Abiyotik elisitörlerin kategorileri (Largia vd., 2022'den uyarlanmıştır).

### 3.1. Elisitör ile indüklenme ve sekonder metabolit üretimine ilişkin mekanizmaya genel bir bakış

Çevresel bir uyarı bitki metabolitlerinin üretimini tetiklemediği sürece, bu değerli bileşikler belirli bitki dokularının dışında ya da bitkinin gelişim sürecinde nadiren sentezlenmektedir (Sampaio vd., 2016). Bitkilerin büyüme ve gelişmeleri sırasında, ışık, sıcaklık, su, tuz, bakteri, virüsler ve mantarlar dahil olmak üzere çeşitli abiyotik ve biyotik streslere maruz kalmaktadırlar (Ncube vd., 2012). Bitkiler, maruz kaldıkları çeşitli stres faktörleri, elisitörler veya sinyal moleküllerine doğal bir yanıt olarak sekonder metabolit birikimi gerçekleştirirler. Bitkilerin karşılaştıkları çeşitli abiyotik ve biyotik elisitörler, bitkilerde sekonder metabolizmanın üretimi için aktivasyon sağlar. Dolayısıyla bitkiler, primer metabolitleri yeniden yönlendirerek ve fenolik, flavonoid, tanen ve diğer sekonder metabolitlerin üretimini tetikleyerek ve ayrıca antioksidan enzim aktivitelerini uyararak strese yanıt verir. Elisitör, bitkilere az miktarda uygulandığında, stresli koşullara bitkinin adaptasyonu için gerekli olan spesifik bir bileşiğin biyosentezini indükleyen veya güçlendiren bir madde veya kimyasal bileşik olarak tanımlanabilir. Elisitörlerin uygulanması, çeşitli tıbbi, tedavi edici, beslenme ve tarımsal kullanımlara yönelik spesifik ve yeni sekonder metabolitlerin sentezini geliştirmek için en etkili yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Naik ve Al-Khayri, 2016). Bugüne kadar bitki sekonder metabolitlerini ortaya çıkarmak için biyotik ve abiyotik elisitörler kullanılmıştır. Benzer şekilde, nanopartikül aracılı bitki sekonder metabolit üretimi, nanoteknolojinin bitki sekonder metabolitlerinin üretimini ortaya çıkarmak için büyük potansiyel göstermesi nedeniyle

birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Ayrıca nanoteknoloji, sentezlenen nanomateriyallerin/nanopartiküllerin sekonder metabolitlerin üretimini arttırmak için kullanıldığı çeşitli umut verici araçlar ve fırsatlar sunmaktadır (Naik ve Al-Khayri, 2016) (Şekil 4).



Şekil 4. Elisitör etkisinin genel mekanizmasının şematik gösterimi (Humbal ve Pathak, 2023'ten uyarlanmıştır).

Kısaltmalar: PL-fosfolipaz; ROS-reaktif oksijen türleri; RNS-reaktif nitrojen türleri MAPKs-mitojenle aktifleşen protein kinazlar.

Şekil 4'te, bir hücrede elisitör ile indüklenme sonucunda savunma yanıtı olarak meydana gelen çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçler gösterilmiştir. Elisitör uygulandığında, hücre zarındaki reseptör, elisitörü algılar ve hücre içinde, plazma zarının ve sitozolik proteinlerin tersinir fosforilasyonu ve defosforilasyonu, sitozolik kalsiyum konsantrasyonunda artış, klorür ve potasyum iyonlarının dışarı akışı, protonların akışı dahil olmak üzere bir dizi olayı tetikler. Bu da hücre dışı alkalinizasyon ve sitoplazmik asitleşme ile sonuçlanır. Bu değişiklikler, mitojenle aktifleştirilen prote-

in kinaz (MAPK) yolu gibi çeşitli sinyal yollarını aktive eder ve reaktif oksijen ve nitrojen türleri (ROS ve RNS) üreten NADPH oksidazın aktivasyonuna yol açar. Bu süreç aynı zamanda erken savunma genlerinin ekspresyonunu, jasmonat üretimini ve daha sonra savunma yanıt genlerinin ekspresyonunu da tetikler. Son olarak sekonder metabolitlerin birikmesi elisitöre karşı kalıcı bir savunma sağlar (Ramirez-Estrada vd., 2016).

#### 4. Nanoelisitörler

Son yıllarda nanoteknoloji alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Nanomalzemeler tıp, enerji, kozmetik, elektronik, biyoteknoloji ve ilaç gibi farklı endüstrilerde geniş uygulama alanları bulmuştur (Humbal ve Pathak, 2023). Boyutları 1 ile 100 nm arasında değişen malzemeler nanopartiküller olarak belirtilmektedir. Son yıllarda yapılan birçok araştırma, nanopartiküllerin yeni abiyotik elisitörler olarak kullanıldığına (Rivero-Montejo vd., 2021) ve fitokimyasalların artan üretiminin indükleyicileri olarak görev yaptıklarını göstermiştir. Yine bazı çalışmalar nanopartiküllerin sekonder metabolit biyosenteziyle bağlantılı gen ifadelerini uyarma yeteneğini doğrulamıştır (Khan vd., 2021). Nanopartiküller plazma zarı reseptörlerine bağlanarak ve iyonları ( $Cl^-$ ,  $K^+$  akışı ve  $Ca^{2+}$  akışı) sitoplazmaya aktararak çeşitli sinyal iletim yollarını modüle etmekte ve böylece sekonder metabolit üretimine yol açmaktadır (Largia vd., 2022). Şekil 5'te görüldüğü üzere nanopartiküller kaynaklarına göre; karbon bazlı, metal bazlı, metal oksitler, metal tuzları, kuantum noktaları ve nano boyutlu polimerler olarak sınıflandırılır (Largia vd., 2022).

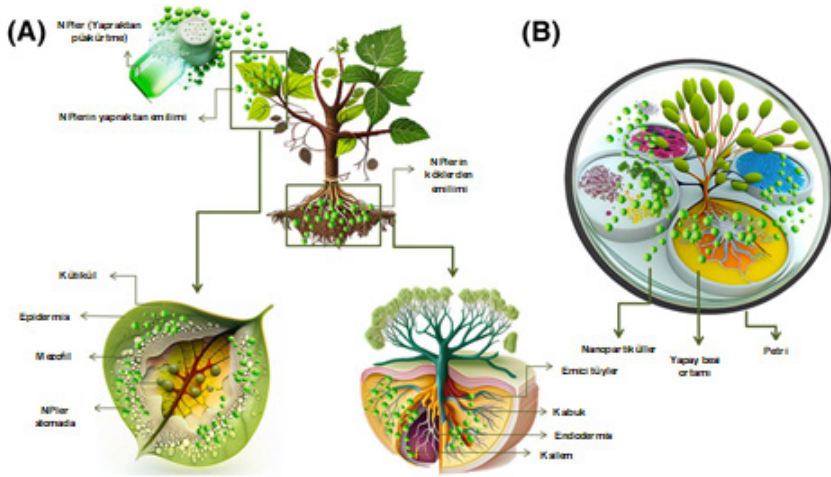


Şekil 5. Nanopartiküllerin sınıflandırılması (Largia vd., 2022'den uyarlanmıştır).

Nanopartiküllerin bitki büyümesi, gelişimi, fizyolojisi ve biyokimyası üzerindeki etkisi araştırılmış ve yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur.

Ancak bitki sekonder metabolitleri üzerindeki etkileri ise henüz tam olarak anlayamamıştır. Sekonder metabolitler, son zamanlarda büyük ilgi görmüş, bu durum da bitkilerdeki sekonder metabolitlerin üretimlerini arttırmak için yeni ve farklı stratejilerin araştırılmasına ve geliştirilmesine yol açmıştır. Etkili bir elisitör olarak nanopatiküller, farklı bitki sekonder metabolitlerinin üretimini arttırmak için umut verici bir sınıf olarak ortaya çıkmıştır.

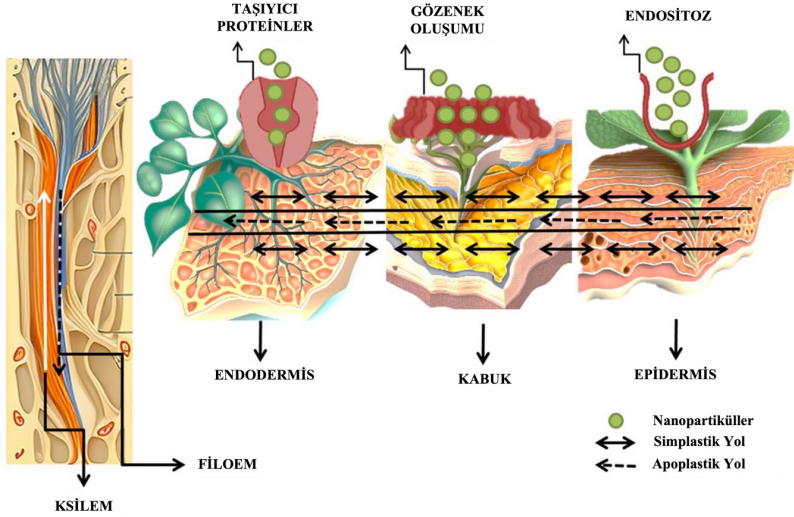
Nanopatiküller, yüksek yüzey alanı/hacim oranı, dakika boyutu, yüksek reaktivite ve elektron değişimini kolaylaştırma yeteneği gibi ayırt edici özelliklerinden dolayı, birçok bitki hücresi ve doku bileşenine kolaylıkla nüfuz edebilir ve bunlarla etkileşime girebilir (Nair vd., 2010). Nanopatiküller bitkiler tarafından üç ana yolla emilebilir; Şekil 6'da gösterildiği gibi yapraktan püskürtme yoluyla, toprağın içinden ve yapay olarak oluşturulan bir besin ortamı aracılığıyla alınabilmektedir.



**Şekil 6.** Bitki organlarında ve hücrelerinde nanopatiküllerin (NP) emilmesi, girişi ve taşınmasının şematik gösterimi. (A) NP'lerin yapraktan püskürtme yoluyla veya topraktan alınarak bitkilerin kökleri yoluyla emilmesi, (B) Yapay besin ortamlarında NP'lerin eksplant/tohum/dokulardan alımı (Inam vd., 2023'ten uyarlanmıştır).

Bir kez içselleştirildikten sonra nanopatiküller, apoplastik veya simplastik yollardan hücreler arasında aktarılma potansiyeline sahiptir (Şekil 7). Hücre duvarına nüfuz ettikten sonra nanopatiküllerler, merkezi damar silindirine ulaşana kadar apoplastik bir şekilde hücre dışı boşluklardan taşınır ve ksilem boyunca tek yönlü yukarı doğru hareket etmelerine olanak tanır. En içteki vasküler silindire ulaşmak için nanopatiküllerin,

simplastik taşıma yoluyla kaspary şerit bariyerini geçmesi gerekir (Ali vd., 2021). Girişten sonra nanopartiküller, bitki hücrelerinin birincil ve özel metabolizmasını bozabilecek çeşitli organellerle ve bitki hücrelerinin alt hücre bileşenleriyle etkileşime girme kapasitesine sahiptir. Bu bozulma, ROS oluşumundan veya diğer mekanizmalardan kaynaklanabilmektedir (Marchiol vd., 2014).



**Şekil 7.** Nanopartiküllerin (NPler) bitkilere çeşitli yollardan aktarılmasının şematik gösterimi. Tam oklar, NP'lerin plazmodesmata, yani simplast yolu boyunca hareketini gösterir; Kesikli oklar, NP'lerin hücre duvarları, yani apoplast yolu boyunca hareketini temsil eder (Inam vd., 2023'ten uyarlanmıştır).

Son çalışmalarla, bitki sekonder metabolitlerinin çeşitli nanopartikül türleri tarafından ortaya çıkarıldığı bildirilmiştir. Lala (2020) tarafından yürütülen bir araştırmada, bakır bazlı nanopartiküllerin (CuNP'ler) hidrofonic olarak yetiştirilen *Bacopa monnieri* L.'ye uygulanmasının, antioksidan kapasitenin artmasına ve saponinler, alkaloidler, flavonoidler ve fenol seviyelerinde doza bağlı bir artışa yol açtığı bildirilmiştir. Bitkinin sekonder metabolitlerinde gözlemlenen doz-yanıt tepkisi, düşük dozdaki CuNP'lerin *B. monnieri*'de sağlık açısından potansiyel faydaları olabilecek biyoaktif bileşiklerin sentezini uyarabildiğini göstermiştir. Moola vd. (2022) tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada, *Celastrus paniculatus*'un tesadüfi ve tüylü kök kültürlerinin gümüş nanopartikülleri (AgNP'ler) ile muamele edilmesinin, terapötik özelliklere sahip önemli bir fitokimyasal olan selastrol düzeylerinin artmasına yol açtığını bulmuşlardır. Benzer şekilde Kruska vd. (2022), metal (Ag, Au, Cu, Pd) ve metal oksit (CeO<sub>2</sub>, CuO, TiO<sub>2</sub>, ZnO) nanopartikülleri ile işlenmiş *Hypericum perfo-*

*ratum* L.'nin hücre süspansiyon kültürlerinde çeşitli biyoaktif sekonder metabolitlerin ortaya çıktığını bildirmiştir. Başka bir çalışmada, kallus ortamındaki titanyum dioksit nanopartiküllerinin ( $TiO_2$  NP'ler) *Cicer arietinum* L.'de sekonder metabolitlerin üretimi üzerindeki etkisi araştırılmış ve sonuçta fenolik ve flavonoid seviyelerinde dikkate değer ve istatistiksel olarak anlamlı bir artış ortaya çıkmıştır (Al-Oubaidi ve Kasid, 2015).

Yapılan çalışmalarda sekonder metabolitlerin sürdürülebilir ve iyileştirilmiş bir üretimine ulaşmak için tür, boyut ve etkili konsantrasyon açısından en uygun nanopartikülleri belirlemek amacıyla derinlemesine araştırma yapılması gerekmektedir. Ek olarak, bunların alımı, translokasyonu, içselleştirilmesi ve ortaya çıkarılma mekanizmalarının kapsamlı bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Ayrıca nanopartikül kullanımının bitkilerde sekonder metabolit üretimini artırdığı, bunun da tıp ve tarım alanlarında pek çok faydası olabileceği saptanmıştır. Ancak nanopartikül kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerini tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu düşünülmektedir (Humbal ve Pathak, 2023).

## 5. Sonuç

Eksojen elisitör uygulamalarıyla bitkilerdeki sekonder metabolit üretimi uyarılabilmektedir. Çeşitli abiyotik ve biyotik stres faktörleri bitki büyüme ve gelişmesini etkilemesinin yanı sıra sekonder metabolit birikimine de etki etmektedir. Sekonder metabolitlerin oldukça geniş bir uygulama yelpazesi olduğundan, bitkilerdeki birikimlerini/üretimlerini arttırmak için yeni stratejilere ihtiyaç duyulmakta ve bu durum her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Elisitasyon, bitkilerde sekonder metabolit üretiminin iyileştirilmesinde gün geçtikçe daha çok kullanılır hale gelmiştir. Farklı biyotik ve abiyotik elisitörlerin sekonder metabolit üretimi üzerindeki etkileri, özellikle spesifik bitki türüne ve hedeflenen metabolit türlerine göre değişiklik göstermektedir. Elisitasyon süreci ardındaki mekanizmanın belirsizliği devam etse de bitkilerdeki sekonder metabolitlerin üretimini arttırması yönünde oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte günümüzde nanoteknoloji, bitkilerde sekonder metabolitlerin üretimini arttırmak için umut verici bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Nanopartiküller, bitki sekonder metabolitlerinin sentezi için abiyotik elisitörler olarak büyük bir potansiyele sahiptir ve son zamanlarda yapılan önemli çalışmalar arasında yerini almıştır. Bitkilerdeki sekonder metabolitlerin verimini arttırmak için yeni stratejiler kullanılarak araştırmacıların yeni ve daha etkili bir dizi biyoaktif bileşik geliştirmesi mümkün görünmektedir. Günümüze kadar sekonder metabolitlerin üretimini teşvik etme potansiyeli bakımından sınırlı sayıda nanomateryal araştırılmış olup, bu konuda nanoteknolojinin potansiyel rolünü ortaya koymak için daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Afsar, T., Razak, S., Aldisi, D., Shabbir, M., Almajwal, A., Al Kheraif, A.A., Arshad, M. (2021). *Acacia hydaspica* R. Parker ethyl-acetate extract abrogates cisplatin-induced nephrotoxicity by targeting ROS and inflammatory cytokines. *Sci. Rep.* 11 (1), 17248.
- Akhgari, A., Oksman-Caldentey, K.-M., Rischer, H. (2017). Biotechnology of the medicinal plant *Rhazya stricta*: A little investigated member of the Apocynaceae family. *Biotechnol. Lett.* 39, 829–840.
- Al-Oubaidi, H.K.M., Kasid, N.M. (2015). Increasing phenolic and flavonoids compounds of *Cicer arietinum* L. from embryo explant using titanium dioxide nanoparticle *in vitro*. *World J. Pharm. Res* 4 (11), 1791–1799.
- Ali, F., Omar, R., Amin, M. (2013). An examination of the relationships between physical environment, perceived value, image and behavioural Intentions: A SEM approach towards Malaysian resort hotels. *J. Hotel Manag. Tourism* 27 (2), 9–26.
- Ali, S., Mehmood, A., Khan, N. (2021). Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. *J Nanomater* 2021:6677616. <https://doi.org/10.1155/2021/6677616>
- Boureau, L., Pribat, A., Mortain-Bertrand, A., Bert, L.S., Rolin, D., Teyssier, E., Gallusci, P. (2013). Metabolic engineering of isoprenoid biosynthesis. In: *Natural Products*, K.G. Ramawat, J.M. Mérillon (eds.), DOI 10.1007/978-3-642-22144-6\_126, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp: 2814-2851.
- Caicedo-López, L.H., Aranda, A.L.V., Sáenz de la O, D., Gómez, C.E.Z.G., Márquez, E.E., Zepeda, H.R. (2021). Elicitors: bioethical implications for agriculture and human health. *Rev. bioét. (Impr.)*, 29(1): 76-86. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-80422021291448>
- Chaparro, J.M., Badri, D.V., Bakker, M.G., Sugiyama, A., Manter, D.K., Vivanco, J.M. (2013). Root exudation of phytochemicals in *Arabidopsis* follows specific patterns that are developmentally programmed and correlate with soil microbial functions. *PLoS One* 8 (2), e55731.
- Dawane, V., Pathak, B. (2020). Assessment of secondary metabolite profile and quantification method development for Lupeol and Caffeic acid by HPTLC in *Avicennia marina* pneumatophore roots. *Biocatal. Agricult. Biotechnol.* 26:101573.



- Humbal, A., Pathak, B. (2023). Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review (“VSI: secondary metabolites”). *Plant Stress*, 8:100166.
- Inam, M., Attique, I., Zahra, M., Khan, A.K., Hahim, M., Hano, C., Anjum, S. (2023). Metal oxide nanoparticles and plant secondary metabolism: unraveling the game-changer nano-elicitors. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02587-3>
- Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biol. Res.* 52.
- Jamieson, C.S., Misa, J., Tang, Y., Billingsley, J.M. (2021). Biosynthesis and synthetic biology of psychoactive natural products. *Chem. Soc. Rev.* 50 (12), 6950–7008.
- Jamwal, A., Nayim, S.T.I., Shukla, R.K., Agrawal, R., Gupta, S. (2021). Assessment of barriers in lead time improvement: an exploratory study of electronics manufacturing companies in Himachal Pradesh (India). *Int. J. Bus. Syst. Res.* 15 (2), 182–199.
- Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Kim, K.-M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. *Agronomy* 11(5): 968.
- Khan, S. (2017). Pathway modulation of medicinal and aromatic plants through metabolic engineering using. *Transgenesis and Secondary Metabolism*. Springer, pp. 431–462.
- Khan, A.U., Khan, T., Khan, M.A., Nadhman, A., Aasim, M., Khan, N.Z., Ali, W., Nazir, N., Zahoor, M. (2021). Iron-doped zinc oxide nanoparticles-triggered elicitation of important phenolic compounds in cell cultures of *Fagonia indica*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 147:287–296. <https://doi.org/10.1007/s11240-021-02123-1>
- Kruszka, D., Selvakesavan, R.K., Kachlicki, P., Franklin, G. (2022). Untargeted metabolomics analysis reveals the elicitation of important secondary metabolites upon treatment with various metal and metal oxide nanoparticles in *Hypericum perforatum* L. cell suspension cultures. *Ind. Crops Prod.* 178, 114561.
- Lala, S. (2020). Enhancement of secondary metabolites in *Bacopa monnieri* (L.)

- Pennell plants treated with copper-based nanoparticles *in vivo*. IET Nanobiotechnol. 14 (1), 78–85.
- Largia, M.J.V., Shilpha, J., Satish, L., Swamy, M.K., Ramesh, M. (2022). Elicitation: An Efficient Strategy for Enriched Production of Plant Secondary Metabolites. In: Phytochemical Genomics, M. K. Swamy, A. Kumar (eds.), Springer Nature Singapore Pte Ltd. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-5779-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-19-5779-6_19)
- Marchiol, L., Mattiello, A., Pošćić, F., Giordano, C., Musetti, R. (2014). *In vivo* synthesis of nanomaterials in plants: location of silver nanoparticles and plant metabolism. Nanoscale Res Lett 9:101. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-101>
- Mohammed, A.E., Abdul-Hameed, Z.H., Alotaibi, M.O., Bawakid, N.O., Sobahi, T.R., Abdel-Lateff, A., Alarif, W.M. (2021). Chemical diversity and bioactivities of monoterpene indole alkaloids (MIAs) from six *Apocynaceae* genera. Molecules 26 (2), 488.
- Moola, A.K., Senthil Kumar, T., Ranjitha Kumari, B.D. (2022). Enhancement of Celastrol compound by silver nanoparticles and acetosyringone in *Celastrus paniculatus* Willd. through adventitious and hairy root culture. J. Plant Biochem. Biotechnol. 31 (2), 429–434.
- Naik, P.M., Al-Khayri, J.M. (2016). Abiotic and biotic elicitors—role in secondary metabolites production through *in vitro* culture of medicinal plants. Abiotic and Biotic Stress in Plants—Recent Advances and Future Perspectives. InTech, Rijeka, pp. 247–277.
- Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Kumar, D.S. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci 179:154–163. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012>
- Ncube, B., Finnie, J., Van Staden, J. (2012). Quality from the field: the impact of environmental factors as quality determinants in medicinal plants. South Afr. J. Bot. 82, 11–20.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.-S.P. (2014). Response of plants to water stress. Front. Plant Sci. 5, 86.
- Patra, B., Schluttenhofer, C., Wu, Y., Pattanaik, S., Yuan, L. (2013). Transcriptonal regulation of secondary metabolite biosynthesis in plants. Biochim. Biophys. Acta 1829 (11), 1236–1247.

- Ramirez-Estrada, K., Vidal-Limon, H., Hidalgo, D., Moyano, E., Golenioswki, M., Cusidó, R.M., Palazon, J. (2016). Elicitation, an effective strategy for the biotechnological production of bioactive high-added value compounds in plant cell factories. *Molecules* 21(2), 182.
- Rivero-Montejo, S.D.J., Vargas-Hernandez, M., Torres-Pacheco, I. (2021). Nanoparticles as novel elicitors to improve bioactive compounds in plants. *Agriculture* 11:134. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020134>
- Sampaio, B.L., Edrada-Ebel, R., Da Costa, F.B.J.S.R. (2016). Effect of the environment on the secondary metabolic profile of *Tithonia diversifolia*: a model for environmental metabolomics of plants. *Sci. Rep.* 6(1):29265.
- Taiz, L., & Zeiger, E.J.U.J.I. (2006). *Fisiologia vegetal* (Vol. 10). 1265.
- Tariq, L., Bhat, B.A., Hamdani, S.S., Mir, R.A.J.M. (2021). Phytochemistry, pharmacology and toxicity of medicinal plants. *Med. Aromat. Plants* 217–240.
- Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P.K., Puri, S. (2019). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants* 12, 1–12.
- Verma, N., Shukla, S. (2015). Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants* 2 (4), 105–113.
- Yakhin, O.I, Lubyaynov, A.A, Yakhin, I.A, Brown, P.H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front Plant Sci.* 26(7):2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.