

YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ELDE EDİLEN MALZEMELER VE UYGULAMALARI-I

Editor: **Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI**

ARTİKEL AKADEMİ: 243

Sosyal ve Beşeri Bilimler Temel Alanı

Yenilenebilir Kaynaklardan Elde Edilen Malzemeler ve Uygulamaları -I

Editor: Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI

ISBN 978-625-8088-55-7

Birinci Basım: Aralık - 2022

Ofset Hazırlık: Artikel Akademi

Baskı ve Cilt: Net Kırtasiye Tanıtım ve Matbaa San. Tic. Ltd. Şti.
Gümüşsuyu, İnönü Caddesi & Beytül Malcı Sokak 23/A,
34427 Beyoğlu/İstanbul
Matbaa Sertifika No: 47334

Artikel Akademi bir Karadeniz Kitap Ltd. Şti. markasıdır.

©Karadeniz Kitap - 2022

Akademik etik kurallara
bağlı kalınarak yapılacak olan alıntılar ve tanıtım maksadıyla yapılacak
olan kısa alıntılar dışında, yazılı izni alınmadan, tümünün veya bir
kısımının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla, basımı, yayımı,
kopyalanması, çoğaltımı veya dağıtımı yapılamaz.

KARADENİZ KİTAP LTD. ŞTİ.
Koşuyolu Mah. Mehmet Akfan Sok. No:67/3 Kadıköy-İstanbul
Tel: 0 216 428 06 54 // 0530 076 94 90

Yayıncı Sertifika No: 52549
mail: info@artikelakademi.com
www.artikelakademi.com

YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ELDE EDİLEN MALZEMELER VE UYGULAMALARI- I

Editor: **Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI**

YAZARLAR

Alev ER

Cengiz KAHRAMAN

Elif ÇAKIR

Elif IŞIKÇI KOCA

Emin ÖZDEMİR

Gökhan ÇAYLI

Pınar ÇAKIR HATIR

Sefa ÇELİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	7
1. BÖLÜM	
BİTKİSEL TRİGLİSERİDLER VE REAKTİF KISIMLARI	9
- Gökhan ÇAYLI	
- Cengiz KAHRAMAN	
2. BÖLÜM	
BAKTERİYEL SELÜLOZ BAZLI AKILLI	
POLİMERLERİN BİYOMEDİKAL UYGULAMALARI.....	19
- Elif IŞIKÇI KOCA	
- Pınar ÇAKIR HATIR	
3. BÖLÜM	
BİTKİSEL YAĞLAR VE ENDÜSTRİYEL KULLANIM ALANLARI ...	45
- Emin ÖZDEMİR	
- Gökhan ÇAYLI	
4. BÖLÜM	
SÜRDÜRLEBİLİR İMALAT İÇİN BİTKİSEL YAĞ ESASLI	
KESME SIVILARI	75
- Emin ÖZDEMİR	
5. BÖLÜM	
YOSUNLAR VE TİTREŞİM SPEKTROSKOPİ	
UYGULAMALARI.....	117
- Alev ER	
- Sefa ÇELİK	
6. BÖLÜM	
OMEGA-3, OMEGA-6 YAĞ ASİTLERİ VE SPEKTROSKOPİ	
UYGULAMALARI.....	131
- Sefa ÇELİK	
- Elif ÇAKIR	
- Alev ER	

ÖNSÖZ

Yenilenebilir kaynaklar toplumun ve çevrenin ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda oldukça hayati bir öneme sahiptirler. Yenilenebilir kaynaklar konusunda yapılacak faaliyetlerin çevreye, topluma ve ekonomiye pozitif yönde katkıları vardır. Bu nedenle de günümüzde yoğun bir şekilde, her disiplinden sürdürülebilir kalkınma modelini destekleyecek bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Serinin ilki olan bu kitapta çeşitli disiplinlerden bir araya gelen akademisyenlerin çalışmaları derlenmiş olup yenilenebilir kaynaklar konusunda çalışma yapanlar için oldukça faydalı olabilecek bir eser vücuda getirilmiştir.

Artikel Akademi Uluslararası Yayınevi'ne, kıymetli meslektaşlarıma ve bu kitabın hazırlanmasında emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI
Aralık 2022

1. BÖLÜM

BİTKİSEL TRİGLİSERİDLER VE REAKTİF KISIMLARI

Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü

gokhan.cayli@iuc.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-3395-5642

Doç. Dr. Cengiz KAHRAMAN

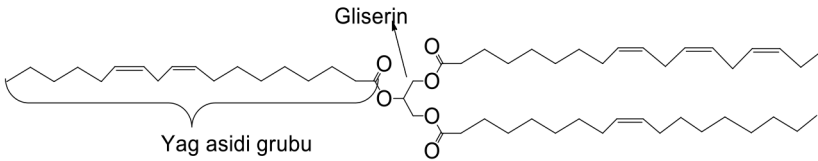
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü

Orcid No: 0000-0003-0272-649X

1. BİTKİSEL TRİGLİSERİTLER

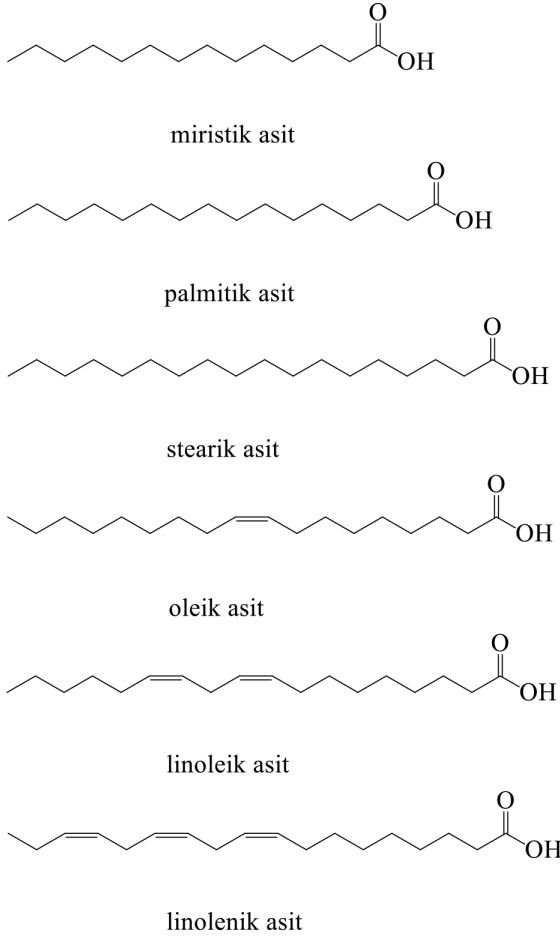
Lipidler yağ çözücülerini olarak adlandırılan maddeler yağ çözücüsü olarak adlandırılan dietil eter, diklorometan ve kloroform gibi organik çözücülerde çözünen maddelerdir. Yağ kökenli maddeler arasında trigliseritler özel bir yer işgal etmektedir. Trigliseritler yağ asidi denilen yüksek karbon sayılı karboksilik asitlerin gliserin triesterleridir (Bakınız Şekil 1) [1,3].



Şekil 1. Basit trigliseridlerin yapısı

Bitkisel trigliseritler özellikle yüksek miktarlarda (milyon ton/yıl) ve

saf bir şekilde elde edildiklerinden hayvansal triglisericidlerden daha fazla kullanılmaktadır. Örneğin soya yağının ve palm yağının 2022 üretim miktarları toplamda 60 milyon tona yakındır. Yapıları incelendiğinde bitkisel triglisericidler doymamış yağ asitlerince zengindirler. Daha önce de belirttiğimiz gibi triglisericidler 3 birim yağ asidinin (kimyasal olarak ifade edilirse 3 mol) 1 birim gliserin ile oluşturduğu esterlerdir. Bu esterler parçalanırsa yağ asitleri ve gliserin oluşur. Bitkisel triglisericidleri oluşturan yağ asitleri incelenirse genellikle çift karbon sayılı yağ asitlerinden oluştuğu ve yağ asitlerinin kompozisyonuna bakıldığında da bunların çoğunlukla doymamış yağ asitleri denilen yani yapılarında çift bağ bulunduran yağ asitleri oldukları görülür. Doğada yaygın bulunan yağ asitleri ve yapıları şekil 2 de gösterilmiştir.

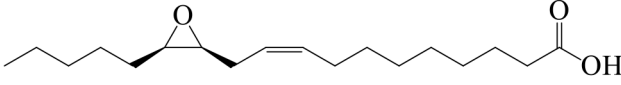


Şekil 2. Doğada yaygın bulunan yağ asitleri ve yapıları

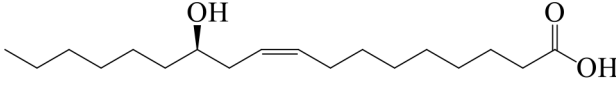
Zeytin yağının ve fındık yağının bileşimine bakıldığında yaklaşık %75 oranında oleik asit içerdiği görülmektedir. Hayvansal kaynaklardan elde edilen don yağında ise bu oran en fazla %40 tır. Ayçiçek yağı Linolein asitçe zengindir. Ayçiçek yağı yaklaşık %50-55 oranında linoleik asit içerir. Keten tohumu ise linoleik asitçe zengindir. Keten tohumu yaklaşık %50 oranında linolenik asit içerir. İnsan vücudu da doymamış yağ olarak oleik asit üretebilir bu sebeple daha çok çift bağa sahip olan linoleik, linolenik ve gadoleik asit gibi asitler (PUFA) ancak dış kaynaklardan temin edilebilir. Doymamış yağ asitlerinin çift bağlarında genelde cis izomerisindedir. Doğada trans çift bağa sahip yağ asidi yaygın değildir.

Doğada nadir olan trans yağ asitleri dışında daha az bulunan yağ asitleride vardır. Bunlardan özellikle hidroksil grubu içeren risinoleik asit ve epoksi grubu içeren vernolik asit oldukça ilginç olup. Risinoleik asit hint yağında bulunmaktadır. 2021 yılında dünya hint yağı üretimi yaklaşık 3 milyon ton civarındadır. Vernolik asit ise vernonya yağında bulunmaktadır ancak şu an için ticari üretim mevcut değildir. Vernonya yağı vernonia galemensis birkisinden elde edilmektedir. Bu bitki ise çölde yetiştiğinden tarımı ve üretimi biraz sıkıntılıdır. Bu sebeplerle henüz ticarileşmemiştir.

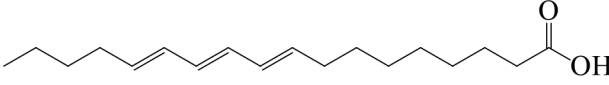
4 cis çift bağa sahip olan yağ asidi araşidonik asit olup 20 karbon atomluk bir zincir ihtiva eder ve yarfıstığında ve cupaçü bitkisinde bulunur. Bu iki bitkiden elde edilen yağın miktarı soya yağı veya palm yağıyla kıyaslandığında düşük kalmaktadır. Dünya fıstık yağı üretimi 2021 de yaklaşık 5 milyon ton civarındadır.



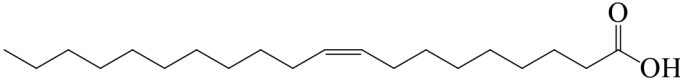
vernolik asit



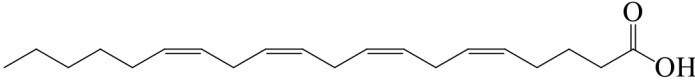
risinoleik asit



oleostearik asit



gadoleik asit



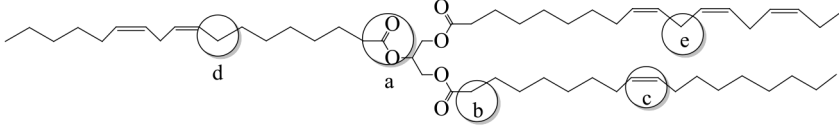
arasidonik asit

Şekil 3. Doğada daha az bulunan yağ asitleri ve yapıları

Bitkisel triglisertilerle ilgili aslında en önemli sıkıntılardan biri bunların aynı zamanda gıda kaynağı (hint yağı ve vernonya yağı gibiler hariç) olmasıdır. Bu kaynakların tamamen endüstriyel kullanıma kanalize olması gıda fiyatlarında yükselmeye sebep olacağından. Atık bitkisel triglisertilerin kullanımı daha mantıklı olacaktır. Bu sayede ayrıca bu maddelerin çevreye olası olumsuz etkilerin (su ve toprağın kirlenmesi) önüne geçecektir.

2. BİTKİSEL TRİGLİSERİTLERİN REAKTİF KISIMLARI

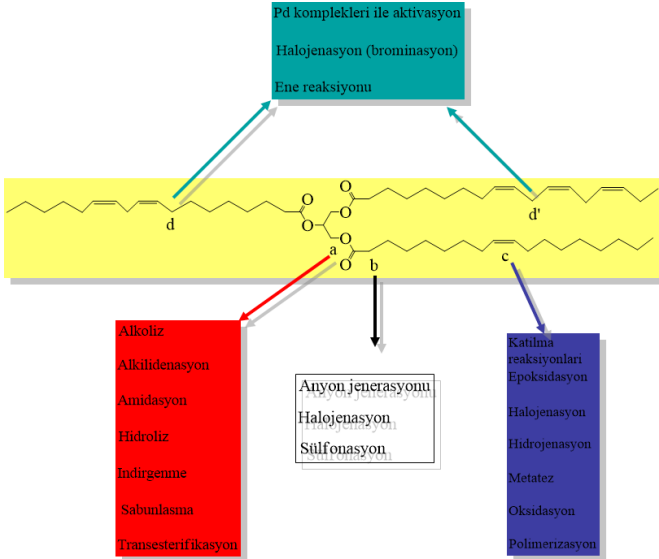
Bitkisel trigliseridlerin yapısı ve reaktif kısımları şekil 4 te gösterilmektedir. Bitkisel trigliseritler büyüklükleri gereği kompleks moleküllerdir yani yapılarında birbirinden farklı reaktiviteye sahip gruplar bulundurmaktadır.



Şekil 4. Trigliseritlerdeki reaktif gruplar a-ester grupları, b- alfa metilen grubu, c-çift bağlar, d,e- alilik ve çift alilik gruplar

Bu gruplar basit trigliseritler için ester grupları, ester karboniline alfa pozisyonunda olan metilen grupları, çift bağlar ve alil gruplarıdır. Yine hint yağı ve vernonya yağı gibi yağlarda sırasıyla hidroksil grupları ve epoksi gruplarında reaktif gruplara dahil edilebilir.

Bu reaktif gruplar kullanıldığında endüstriyel kullanıma uygun ve yüksek saflıklarda çok çeşitli ürünler elde edilebilmektedir. Şu an için epokside soya yağı (ESBO), akrillenmiş epokside soya yağı endüstriyel olarak yüksek saflıkta elde edilebilen ürünlerdir.



Şekil 5. Trigliseritlerdeki Reaktif Kısımlar Kullanılarak Gerçekleştirilen Reaksiyonlar

Bu fonksiyonel grupları modifikasyonu bazen öteki grupların bulunmasında yol açabilmektedir örneğin çift bağların modifikasyonu alil gruplarının yok olmasına sebep olur. Eğer hem çift bağ hemde alil grubu modifikasyonu yapılacaksa ilk olarak alil gruplarının daha sonra ise çift bağların modifikasyonu yapılmalıdır.

Bitkisel triglisericitlerden elde edilen malzemelerin bir diğer avantajı ise bu maddelerden polimer yapılması durumunda yağ asitlerinin sahip olduğu karbon zincirleri nedeniyle plastifiyan gibi etkimleri ve ayrıca molekül olarak küçük kolları sebebiyle petrol veya kömürden elde edilen polimerler kadar yüksek bir mekanik dayanım gösterememektedirler. Bu sebeple başka tip malzemelerle karıştırılarak kullanılmaları gereklidir [4-6].

3. ESTER GRUBUNUN REAKSİYONLARI

Ester bağları triglisericitte en kolay parçalanacak bağlardır. Ester grubunun modifikasyonu ile mono ve diglisericidler, biyodizel ve alkid reçineler üretilmektedir.

Birkisel triglisericidler gliserin fazlasında kullanılan stokiometriye bağlı olarak mono ve diglisericidlere kolaylıkla çevrilebilirler. Bu reaksiyonlar asit, baz veya enzim katalizli gerçekleştirilebilirler. Asit veya baz katalistli reaksiyonlarda optimal olarak 1 mol triglisericid (molar kütle olarak yaklaşık 880 g kabul edilebilir) 6 mol katı gliserinle karıştırılıp 200-240 °C gibi sıcaklıklarda yaklaşık 24 saate kadar süren reaksiyonla mono gliseride çevrilebilir. Diglisericid üretiminde gliserinin molar oranı 3 veya daha az ve süre daha kısa tutulur. Bu sentezlerde verim genelde %50-60 civarındadır. Enzim katalistli reaksiyonlarda ise lipaz enzimi kullanılarak kısa sürelerde %90 ve üstü oranlarda bir verimle mono ve diglisericid elde edilir. Çaylı ve ekibi tarafında yeni geliştirilen bir metotta ise gliserin yerine gliserinin borik asit esteri kullanılarak daha düşük sıcaklıkta 2 saatte %90'ın üstünde bir verimle monoglisericidler elde edilmiştir.

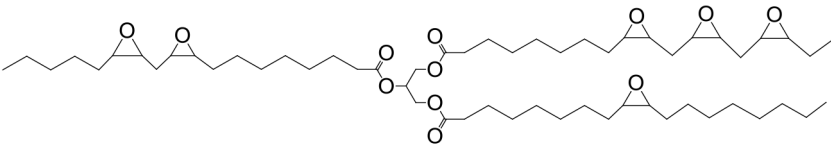
Ester grubu kullanılmasıyla elde edilen diğer bir üründe biyodizel olarak bilinen yağ asidi metil esteridir. Bu maddeinin üretiminde asit, baz veya lipaz katalistli yapılabilir. Metanolün triglisericide baz katalistli çalışmalarda 6/1 olduğunda ve baz katalist metanolün %0,3 ü olduğunda optimum verim

elde edilmektedir. Metanolün dışında diğer kısa zincirli alkollerle de bu transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirilebilir ancak alkolün karbon sayısının artmasıyla verim düşmekte ve reaksiyon yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir [7].

Ester grubunun modifikasyonu ile üretilen diğer bir malzemede alkid reçineleridir. Bu maddeler keten tohumu yağı gibi doymamışlığı yüksek (çift bağ sayısı fazla) olan yağların gliserin fazlasıyla reaksiyonu sonucu elde edilir. Gerçekleşen transesterifikasyon reaksiyonu sonucu polimerik yapıya sahip kolaylıkla film oluşturabilecek bir malzeme oluşur. Alkid reçineleri verniklerin ve yağlı boyaaların üretiminde kullanılır.

4. ÇİFT BAĞLARIN REAKSİYONLARI

Çift bağ dediğimiz yapılarda karbon atomu başka bir karbon atomu ile ikili bağ oluşturur. İkili bağa sahip karbon atomları reaktiflerdir ve kolaylıkla katılma reaksiyonu verirler yani çift bağlı bileşikler nükleofil ve elektrofillerle katılma reaksiyonu verirler. Yağların çift bağlarına katılma reaksiyonu sonucu 3 önemli ticari ürün elde edilmektedir. Bunlardan ilki epokside bitkisel yağlardır. Epokside bitkisel trigliseritler, trigliseritlerin peroksi asitlerle olan reaksiyonu sonucu elde edilirler.

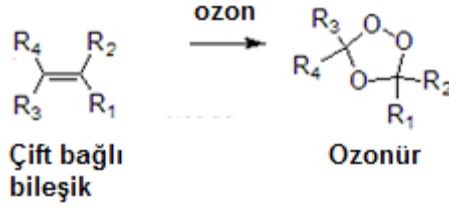


Şekil 6. Tipik bir epokside bitkisel trigliseridin yapısı

Epoksileme aracı olarak *m*.kloro perbenzoik asit veya hidrojen peroksit kullanılmaktadır. Reaksiyon oda sıcaklığında uzun sürelerde (16-24 saat) yapılabileceği gibi 60-80 °C larda 6-8 saat arasında yapılabilmektedir. Reaksiyon sonunda çift bağların neredeyse tamamı epoksit türevlerine dönüştürülür. Epoksi yağlar plastik sanayiinden kozmetik sektörüne kadar oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Diğer bir çift bağ türevi halojen türevidir. Çift bağlar klor ve brom gibi halojenlerle oldukça hızlı bir şekilde reaksiyona girerek halojen türevlerine dönüştürülürler. Özellikle bromlanmış yağlar gıda sanayinde çok kullanılmaktadır. Gazlı içeceklerde reklendiricilerin emülsiyeye edilmesi amacıyla yoğunlukları suyun yoğunluğuna yakın olduğu için kullanılmaktadırlar.

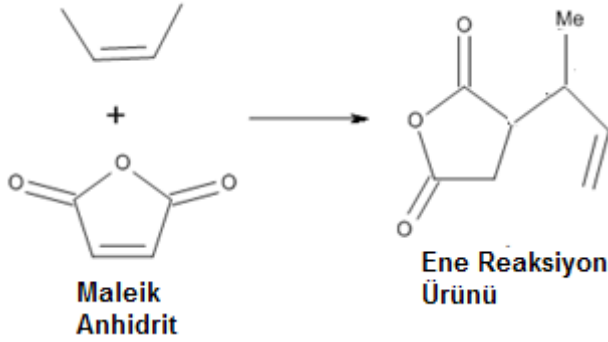
Üçüncü önemli türev ise ozonlanma ürünleridir. Çift bağlar ozon gazı ile reaksiyona girerek ozonür adı verilen türevlere dönüşürler. Bu reaksiyon için ozon jeneratörlerinden faydalanılır. Yine reaksiyon oda sıcaklığında gerçekleşmektedir. Ozon yağı olarak bilinen bu maddeler tıpta tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 7. Tipik bir ozonürün yapısı

5. ALİL GRUPLARININ REAKSİYONLARI

Alil grupları kolaylıkla ene (in reaksiyonu) reaksiyonu verirler bu reaksiyonda alilik karbonun bir hidrojeni enofil denilen başka bir moleküle katılırken molekülün diğer ucuda çift bağ karbonlarından birine bağlanır. Reaksiyon sonucu yağın çift bağı yer değiştirirken enofil denilen moleküle bir alil hidrojeni bağlanmış olur. Ticari olarak bitkisel trigliseritlere ene reaksiyonuyla maleik anhidrit bağlanması ve bunun sonucunda da bitkisel trigliseridin süksinik anhidrit türevlerinin oluşumu söz konusudur. Yine ene reaksiyonu ile yağlara tiyol (-SH grubu içeren maddeler) gruplarının katılmasında söz konusudur. Gerek maleatlanmış gerekse tiyollenmiş bitkisel yağlar polimer sektörde çokça kullanılmaktadır [8-9].



Şekil 8 Maleik anhidrit ene reaksiyonu

SONUÇ

Bitkisel yağlar hem bir gıda kaynağı olarak hemde diğer metabolik faaliyetlerde (Hücre zarı v.b membranların yapımı, hormonların üretimi ve diğer metabolik faaliyetler) kullanılan çok önemli biyomoleküllerdir. 2022 yılı itibari ile dünya genelinde yaklaşık 200 milyon ton civarında bitkisel ve hayvansal trigliserit üretilmiştir. Bunların büyük çoğunluğu da gıda amaçlı olarak kullanılmıştır. Ancak özellikle kızartma yağı olarak kullanım sonrası ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadırlar. Bitkisel trigliseridlerin modifikasyonu sonucu oldukça faydalı olan endüstriyel ürünlere dönüştürülebilmeleri mümkündür. İşin güzel tarafı bu endüstriyel ürünlerin hem biyo degradasyonu mümkündür hem de uzun vadede atmosferik karbon emisyonlarını düşürebilecek kapasiteye de sahiptir. Sürdürülebilir kalkınma gereksinimleri de göz önünde bulundurulduğunda hem çevresel hem beşeri hem de ekonomik alanlarda derin ve olumlu etkiler yapabilecek malzemelerdir.

KAYNAKÇA

- Meier, M. A.R., Metzger, J.O., Schubert, U.S., (2008) “Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science”, Chem. Soc. Rev. 36, 1788-1802.
- Thomas, A (2002), “Fats and Fatty Oils”. Ullman’s Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH.
- “Nomenclature of Lipids”. IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature (CBN). Retrieved 2007-03-08.
- Çaylı, G., Küsefoğlu, S., (2008) “ Isothiocyanate Derivatives of Soybean Oil Triglycerides: Synthesis, Characterization, and Polymerization with Polyols and Polamines”
- Rybak, A., Fokou, P.A., Meier, M.A.R., (2008) “Metathesis as a versatile tool in oleochemistry”, Eur. J. Lipid Sci. Technol. 110, 797-804.
- Temur, A.E., Çaylı, G., (2021) “Kendi kendini Tamir Edebilen Fenolik Reçineler” Artıkel Akademi, İstanbul, 53-72.
- Çaylı, G., Küsefoğlu, S., (2008) “Increased Yields in Biodiesel Production from Used Cooking Oil by a Two Step Process: Comparison with One Step Process by Using TGA” Fuel Processing Technology, 89(2), 118-122.
- De Espinosa, L. M., Meier, M.A.R., (2011) “Plant oils: The perfect renewable resource for polymer science?!” European Polymer Journal, 47 (5), 837-852.
- Eren, T., Küsefoğlu, S., (2004) “Hydroxymethylation and polymerization of plant oil triglycerides” Journal of Applied Polymer Science, 91(6), 4037-4046

2. BÖLÜM

BAKTERİYEL SELÜLOZ BAZLI AKILLI POLİMERLERİN BİYOMEDİKAL UYGULAMALARI

Dr. Elif İŞİKÇİ KOCA

elif.isikci@gmail.com

Orcid No: 0000-0002-2636-1467

Dr. Pınar ÇAKIR HATIR

İstinye Üniversitesi

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

pinar.hatir@istinye.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-3806-7118

GİRİŞ

1. POLİMER NEDİR?

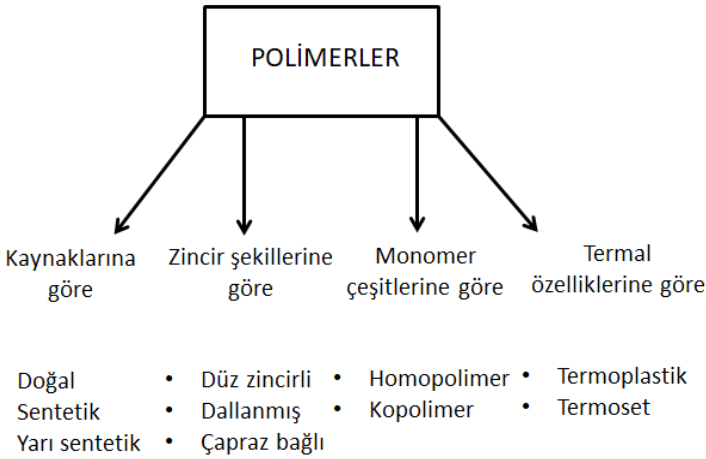
“Polimer” terimi Yunanca poli (çok) ve mer (parça, kısım) sözcüklerinin birleşiminden oluşmaktadır. Polimerler, yapılarında monomer adı verilen çok sayıda küçük molekül içeren makromoleküllerdir. Monomerler, uzun polimer zincirlerini oluşturmak için bir araya gelirler, bu sebeple elde edilen polimer zincirleri, tekrarlanan aynı tip küçük moleküller içermektedir (Fakirov, 2017). Tekrarlayan birimlerin yapısı, polimerin oluşumunda yer alan monomerin tipine bağlıdır (Braun vd., 2005).

Tek tip monomer içeren polimerler homopolimer olarak adlandırılırken birden fazla türü içeren makromoleküller, kopolimer olarak adlandırılmaktadır. Kopolimer yapıların molar kütlesi 10^3 g/mol'un üzerinde olup içerisinde yüzlerce kovalent bağlı atom barındırmaktadır. Kopolimerlerin özelliklerini tanımlamada kullanılan en önemli terimlerden biri olan polimerizasyon derecesi, P, polimer zincirinde kaç tane monomer biriminin bağlı olduğunu

ifade eder. Diğer önemli bir terim ise, bir moleküldeki atomların atomik ağırlık değerlerinin toplamının ölçüsünü gösteren moleküler ağırlık, M , terimidir (Fakirov, 2017; Braun vd., 2005).

1.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerlerin sınıflandırılması, çok farklı şekillerde yapılabilir. Şekil 1’de görüldüğü üzere polimerler; kaynaklarına göre, zincir şekillerine göre, monomer çeşitlerine göre ve termal özelliklerine göre olmak üzere farklı şekillerde gruplandırılabilirler.



Şekil 1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Kaynaklarına göre polimerler; doğal, sentetik ve yarı sentetik olarak sınıflandırılmaktadırlar. Selüloz, nişasta, DNA, RNA, proteinler ve polisakkaritlerin üyesi olduğu doğal polimerler, doğada kendiliğinden oluşabilmektedirler ve genellikle bitkilerde ve hayvanlarda bulunur. Doğal polimerlerin en yaygın örneklerinden olan ve bitkilerin yapısında bulunan selüloz, aynı zamanda birçok canlının da yapı materyali olarak bilinir. Canlıların yaşamsal faaliyetlerinde yer alan bu polimerler aynı zamanda “biyopolimer”ler olarak da bilinir. Kauçuk ağacından elde edilen kauçuk maddesi, örümcek ipeği, karbonhidrat, DNA ve RNA gibi canlılarda bulunan polimerik yapılar, biyopolimerler grubunun bilinen en yaygın yapılarıdır.

Sentetik polimerler, monomerlerden başlayarak laboratuvarında araştırmacılar

tarafından sentezlenir. Genellikle insanların ihtiyaçları doğrultusunda endüstriyel adımlarla üretilirler. Bu grubun en yaygın örnekleri ise genellikle boruların yapısında ve plastik eşyalarda bulunan polietilen; plastik bardak ve tabaklarda, eşya taşıma işlemlerinde kullanılan köpüklerin yapısında bulunan polistiren ve su boruları ve hortum gibi yapıların sentezinde kullanılan polivinilklorür (PVC) verilebilir. Yarı sentetik polimerler ise doğal polimerlerin kimyasal yollarla yapılarının değiştirilmesi ile elde edilir. Selüloz nitrat bu grubun en bilinen örneklerinden olup bu polimerler ticari anlamda büyük öneme sahiptirler.

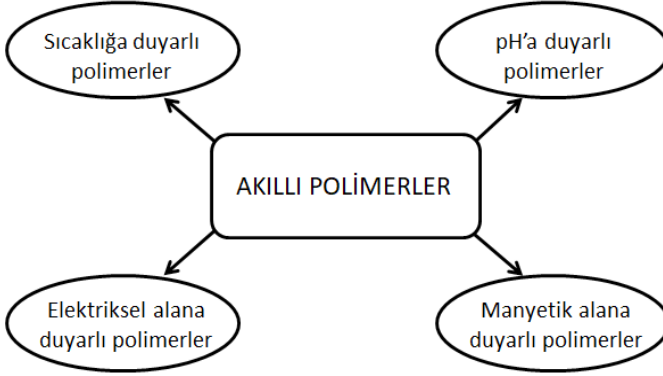
Zincirlerine göre polimerlerin sınıflandırılmasında düz zincirli, dallanmış ve çapraz bağlı polimer grupları görülmektedir. Monomerler lineer bir formda birleştirilmiş halde bulunan polimerler düz zincirli olarak adlandırılırken bu düz zincirlerden rastgele noktalardan çıkan dallanmış yapılara sahip polimerler ise dallanmış grupları oluşturmaktadır. Bu polimerlerde farklı uzunluktaki dallanmalar nedeniyle düşük yoğunluk ve düşük erime noktaları görülmektedir. Çapraz bağlı polimerler ise doğada 2 veya 3 boyutlu formlarda olabilmektedirler ve birden fazla ana zincir içeren yapılarında güçlü kovalent bağlar bulunmaktadır.

Polimerler, monomer çeşitlerine göre sınıflandırıldığında, homopolimer ve kopolimer grupları oluşmaktadır. Kopolimerler de kendi içinde rastgele sıralanmış, ardışık ve blok kopolimerleri olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadırlar. Homopolimerler, tek bir tür monomer içeren yapılar iken kopolimerler, yapılarında birden fazla monomer çeşidi bulundurur. Zincirde bulunan monomerlerin belirli bir düzen içermeden tek sıra halinde sıralanması ile rastgele sıralanmış kopolimerler elde edilir. Ardışık kopolimerlerde ise monomerlerin sıralanmasında belirli bir düzen dikkat çekmektedir. Blok yapılarda ise iki veya daha fazla farklı zincirlerin (zincirlerin her biri kendi içinde tek tip monomer içerir) birleşimi gerçekleşmektedir.

Polimerlerin termal özellikleri incelendiğinde termoplastik ve termoset polimer olarak farklı gruplar oluşturulabilir. Termoplastik özellik sergileyen yapılar, ısı yardımıyla eritilebilir ve soğutulduğunda ise tekrar katılaşma gösterirler. Örnek olarak polietilen, polipropilen ve polistiren malzemeler gösterilebilir. Termoset polimerler ise sıcaklık değişimlerinde tersinir tepkimeler sergileyemezler, ısıtıldığında sertleşir ve üç boyutlu bir yapı kazanırlar. Reçineler poliüretan ve polibütadien gibi yapılar bu gruba örnek verilebilirler (Wang vd., 2018).

2. AKILLI POLİMER NEDİR?

Akıllı polimerler, kimyasal ve fiziksel olarak uygulanan dış uyaranlara karşı tepki verebilen materyallerdir. Bu uyaranlara karşı yapılarını ve özelliklerini değiştirerek yanıt oluştururlar. Bu polimerler aynı zamanda “uyaranlara duyarlı” polimerler olarak da bilinirler (Liu vd., 2017). Akıllı polimerlere etki eden fiziksel ve kimyasal uyaranlar; sıcaklık, pH, manyetik ve elektrik alan değişimleri, ışık, iyonik kuvvet, nem gibi kategorize edilebilir (Şekil 2) (Huang vd., 2019; Tüylek, 2019). Akıllı polimerleri içeren uygulamalar, son yıllarda başta biyomedikal alanda olmak üzere birçok çalışma alanında araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedirler (Lendlein A. ve Kelch, 2002; Ward vd., 2011).



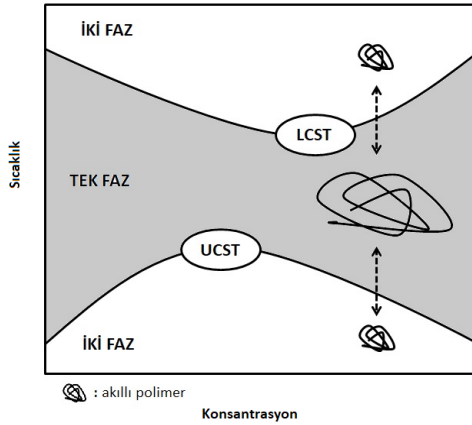
Şekil 2. Akıllı Polimerlerin Çeşitleri

2.1. Akıllı Polimerlerin Çeşitleri

2.1.1. Sıcaklığa Duyarlı Polimerler

Sıcaklığa duyarlı polimerler, sıcaklık değişimine karşı duyarlı olan materyallerdir. Sıcaklık değişimine göre değişen davranış formları, onların hidrojen bağlarına ve hidrofobik etkileşimlerine bağlıdır. Sıcaklık düşüşü ile polimerin etrafındaki su molekülleri ile hidrofobik özellikteki zincirler arasında güçlü hidrojen bağları oluşur. Polimerin serbest enerjisi, kurulan hidrojen bağlarından büyük ölçüde etkilenir ve sıcaklık düştüğünde serbest enerjide azalma gözlenir. Bu durum ise polimerik yapıların düşük sıcaklıkta şişme davranışı göstermelerinin nedenini oluşturur. Tam tersi durumda, sıcaklık

artışı ile birlikte hidrofobik etkileşimler görülmeye başlar, çünkü hidrojen bağlarında zayıflama gözlemlenir. Bu ortamda polimerler çökmeye başlar ve büzülme davranışı sergilerler. (Arısoy ve Dortunç, 2020). Polimerlerin şişme-büzülme davranışlarının gözlemlendiği sıcaklık (Şekil 3), düşük kritik çözücü sıcaklığı (lower critical solution temperature (LCST) olarak bilinir. İkinci tip sıcaklığa duyarlı polimer grubu ise üst kritik çözelti sıcaklığı (upper critical solution temperature (UCST)) kavramı ile tanımlanmaktadır (Niskanen, 2017). Bu özellikteki polimerlerde tek fazlı ve iki fazlı bölgeler arasındaki geçiş soğutma üzerine gerçekleşir (Hruby vd., 2015). LCST davranışı sergileyen polimerler UCST özellikte olanlara göre biyomedikal uygulamalarda daha çok tercih edilmektedir. Bunun sebebi, artan sıcaklık değerlerine karşılık çözünme problemlerinin ortaya çıkması olarak bilinmektedir.



Şekil 3. Polimerlerin Faz Diyagramı

2.1.2. pH' a Duyarlı Polimerler

pH' a duyarlı polimerler, ortamdaki pH değişikliklerine karşı duyarlı olan polimerlerdir. Bu gruptaki polimerler, çevresel pH değişikliklerine tepki olarak proton alan ve veren özellikteki yapılarındaki zayıf asit veya bazik gruplar içeren polielektrolitlerdir (Aguilar vd., 2007). pH duyarlı polimerlerin sentezinde polimerin yapısına asidik veya bazik gruplar eklenmektedir. Asidik yan grup içeren anyonik polimerik yapılarda bulunan ortamın pH değeri iyonlaşan grubun pK_a değeri üzerinde ise yan gruplarda iyonlaşma gerçekleşebilir, bunun bir sonucu olarak polimer üzerinde negatif elektriksel yükler oluşabilir. Bu durum, polimerin yapısında zıt (itici) kuvvetler meydana

getirerek polimere çözücünün rahatlıkla girmesine sebep olur (Çetin, 2012). Katyonik özellik taşıyan polimerlerde ise pK_a değeri, fonksiyonel grupların üstünde ise iyonize form, tam tersi ise deiyonize form oluşmaktadır.

2.1.3. Elektriksel Alana Duyarlı Polimerler

Elektriksel alana duyarlı polimerler, ortamdaki elektrik akımındaki değişikliklere karşı şişme/büzülme özellikleri gösteren yapılar olarak bilinirler. Polielektrolit yapıdaki bu gruptaki hidrojel yapıları, elektriksel özelliklerin değişimi ile gözeneklerin esnemesi veya büzülmesi sonucu ortamdaki çözünmüş maddelerin zarlardan giriş/çıkışına neden olurlar (Brahıma, 2016; Çetin, 2012).

2.1.4. Manyetik Alana Duyarlı Polimerler

Çevredeki manyetik alan değişimine karşı hassas davranış gösteren bu polimerler, genellikle ferrojel olarak bilinen jel yapıları olarak kullanılırlar. Ferrojellere homojen olarak dağıtılmış nano boyutta manyetik özellik sergileyen yapılar (örneğin demir oksit, Fe_3O_4) eklenir ve bu sayede bu jel yapıları, manyetik alandaki değişimlere tepki verecek forma getirilirler (Brahıma, 2016; Çetin, 2012). Bu polimerik malzemeler, manyetik alanın etkisi altında kontrol edilebilirler ve diğer akıllı polimerler gibi şişme/büzülme davranışları da manyetik alandaki değişimlerden etkilenir (Singh, 2014).

3. SELÜLOZ NEDİR?

Selüloz, doğada oldukça yaygın bulunan bir biyopolimer grubu üyesidir. Selüloz, geleneksel metotlara dayanarak bitki veya bitkisel materyallerin ekstraksiyon işlemleri ile elde edilebilir. Ancak bu elde edilen yeni formda, hemiselüloz ve lignin gibi diğer maddeler de bulunmakta olup saf olarak selülozun kazanılması için asit/baz içeren ilave yöntemlerin de uygulanması gerekmektedir. Bu durum hem zaman hem maddiyat açısından olumsuz bir duruma sebebiyet vermektedir. Ayrıca uygulanan işlemlerin çoğunluğu kimyasal basamaklardan oluşmakta olup ekolojik döngünün hasara

uğramasına yol açmaktadır (Esa vd., 2014). Tüm bunların yanında bitkisel bazlı selülozun hammadde olarak elde edilmesine yönelik sürdürülen yoğun çalışmalar, bitkilerin gereğinden fazla kullanılmasına neden olmuş ve bitki tüketiminin kontrolsüz kullanımı ile küresel bazda dengeyi zedelenmesine yol açmıştır (Park vd., 2003). Selüloz üzerine yoğunlaşan çalışmalar, selülozun sadece bitkisel kaynaklardan elde edilmesinin gerekli olan hammadde miktarını karşılamakta zorlandığını göstermiş ve bu duruma ek olarak farklı organizmalardan da selüloz üretimi üzerine odaklanmıştır.

3.1. Bakteriyel Selüloz

Bakteriyel selüloz (BC), biyoteknolojik yöntemler kullanılarak elde edilen bir polisakkarit grubu üyesidir ve sentezinde Gram negatif bakteriler görev alır. BC, β 1-4 glikozidik bağları içeren glukoz moleküllerinin lineer polimer haline dönüşmüş formudur. BC, aynı zamanda bu lineer zincirlerin hücre dışına salgılanması ve yapılarındaki glukoz zincirlerinin hiyerarşik olarak oluşturulmuş şeritler halinde birleştirilmesi ve kristalleştirilmesi adımlarını da içermektedir. Tüm bu işlemlerin sonucunda sıvı besi ortamı yüzeyinde bakteriler tarafından sentezlenmiş üç boyutlu yapıya sahip jelatinimsi bir materyal elde edilmektedir. Bununla birlikte BC'nin membran özellikleri, hem fiziksel hem de mekanik anlamda bitkisel selülozun yapısından farklıdır. BC'nin nano ve mikro fibril yapıları, selüloza yüksek miktarda yüzey alanı sağlamak ve bu durum selüloza yüksek su tutma kapasitesi sağlamaktadır. Ayrıca, fibril yapıları arasındaki hidrojen bağları ile yapının stabilize olması sağlanır ve yapıya mekanik güç verilir (Czaja vd., 2007). Bitki selülozunun yapısında da BC içerisindeki fibril yapılarının benzeri bulunmakla birlikte bu yapılar daha çok bitki hücresinin duvarındaki agregasyonun bir parçası şeklinde görülmektedir. Bu durum ise BC'nin daha yüksek miktarda sıvı absorbe etmesinin sebebinin oluşturmaktadır. Selüloz polimerini tutan 1,4- β -glukozidik bağları, hem bitkisel hem de bakteriyel selülozda glukoz birimlerini bir arada tutmada görev alır, bu durum ise çok sayıda -OH grubuna sahip doğrusal zincirli polimerin oluşumu ile sonuçlanmaktadır (Kabir vd., 2018).

4. BAKTERİYEL SELÜLOZ BAZLI AKILLI POLİMERLER

Bakteriyel selüloz bazlı akıllı polimerlerin sentezinde selülozun yapısında bulunan çok sayıda hidroksil grubunun varlığı ön plana çıkmaktadır. Selüloz bazlı polimerlerde hidroksil grupları arasında hidrojen bağları ile fiziksel çapraz bağlanma olmaktadır. BC'nin türevlendirilmesiyle polimere farklı işlevsel yetenekler kazandırılabilir. BC'nin modifikasyon işlemi, fermantasyon işlemi sırasında yapılabildiği gibi sentezleme sonrasında da yapılabilir. *In situ* modifikasyon işlemleri, kültür koşullarında değişiklik yapılması ile, örneğin karbon kaynağında değişiklik ile veya farklı maddelerin eklenmesi ile, sağlanabilir. Bu işlemlerin sonucunda farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip BC formlarının elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu durum ise fonksiyonlaştırılmış BC/BC bazlı kompozit yapıların üretimine olanak sağlamaktadır. *Ex situ* modifikasyon işlemleri ise sentez sonrası aşamaları kapsamaktadır. En basit haliyle aktif ajanların fiziksel absorpsiyonuna dayalı olarak BC'nin fonksiyonlaştırılması yapılmaktadır (Gregory vd., 2021). Ancak bazı durumlarda, kovalent bağlanma içermeyen yapılarda, absorbe edilen maddelerde sızıntı olabilmektedir. Bu durumun üstesinden gelmek için kimyasal maddeler yardımıyla modifikasyon işlemi tercih edilebilir. Kimyasal modifikasyon işlemi ile hidrofobik türevlerin suda çözünürlüğü iyileştirilmeye çalışılır, düzenli kristal yapı oluşturan hidrojen bağlarına müdahale edilebilir, nano-fibrilasyonu mümkün kılmak için selüloz yüzeyine yükler eklenebilir ki bu yüklü gruplar sayesinde H-bağlarının kohezyonunu zayıflatan itici kuvvetler üretilebilir.

BC'nin farklı biyomedikal uygulamalarda kullanılması için çeşitli fonksiyonlaştırma metotları uygulanmaktadır. Örneğin biyomedikal uygulamalar kapsamında özellikle ortopedi alanında BC kullanılması amacıyla, fosfor bağlanmış iki asidik protonun BC fibrillerine $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ile emdirilmesiyle graft edilmiş materyal elde edilmektedir (Rol vd., 2020). Bu işlem, fosforilasyon kapsamında $-\text{OH}$ gruplarının kimyasal modifikasyonu olarak değerlendirilmektedir. Başka bir örnek olarak, doğal BC polimerinin halkalarının açılması için kimyasal müdahalelerin yapılması verilebilir. Periyodat oksidasyonu olarak bilinen bu yöntem, selüloz zincirlerinde aldehit fonksiyonlarının uygulanmasıdır (Inoue vd., 2020). İşlemin sonucunda, C-C bağları kırılır ve böylece aldehit grupları oluşur. Bunun nedeni ise C2 ve C3

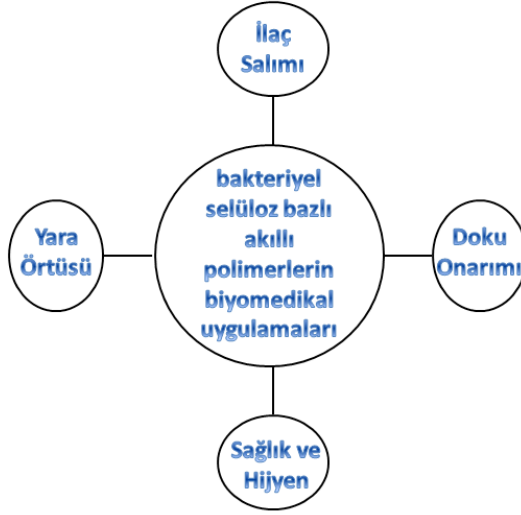
pozisyonlarında bulunan -OH gruplarının oksidasyona uğramasıdır. Tüm bu kimyasal adımlar sonucunda elde edilen yeni BC formu ise, diş hekimliği uygulamaları için biyolojik olarak emilebilir/absorbe olabilir malzemelerin kazanılmasında kullanılmaktadır.

Biyomedikal alanında en yaygın çalışılan konulardan biri olan biyouyumlu ilaç salım sistemlerinde kullanılan BC formları ise adsorpsiyon yolu ile doğal BC'nin yüzey modifikasyonu işlemine dayanmaktadır (Gregory vd., 2021). Bu yöntem, polielektrolitlerin adsorpsiyonu ve hidrofobik polimerlerin adsorpsiyonu olarak iki grupta incelenebilir. Polielektrolitlerin adsorpsiyonunda, biyouyumlu ilaç salım sistemlerinde kullanılmak üzere polielektrolit yapısına bağlı olarak düzenli bakteri nanoselüloz (BNC) ve polielektrolit katmanları oluşmaktadır (Pöttinger vd., 2018). Hidrofobik polimerlerin adsorpsiyonu metodunda ise solventlerin nanofiltrasyonu ve kompozit yapılar için polistiren ve politrifloroetilen adsorpsiyonları görülmektedir (Gregory vd., 2021; Kontturi vd., 2017).

Diğer modifikasyon işlemleri kapsamında BC'nin moleküler veya polimer aşılama uygulamaları yapılmaktadır (Avila vd., 2016; Nogi vd., 2006). Toluen ve asetik anhidrit ile asetilasyon prosesleri moleküler aşılama metodunun basamaklarına örnektir. Bu işlemler ile biyonanofiber kompozit yapılar için optoelektronik cihazların üretiminde kullanılmak üzere, yüksek optik şeffaflıklarını ve termal kararlılıklarını kaybetmeyen ancak aynı zamanda higroskopisite düşürülmüş BC bazlı kompozitler üretilebilir. Ayrıca asetilasyon uygulaması ile yapıya hidrofobik özellik aktarılabilir. BC'nin polimer aşılama yönteminde ise BC, uygun bir monomer ve bir başlatıcı ile karıştırılarak yüzeyinde polimerizasyon işlemi indüklenir (Figueiredo vd., 2015; Pandey vd., 2013). Bu aşamalar sonucunda yara örtü malzemelerinin üretiminde kullanılacak olan antimikrobiyal özellik içeren BC kompozit yapıları ve ilaç salım sistemlerinde oldukça fazla kullanılan süper emici hidrojel yapıları elde edilir (Gregory vd., 2021).

5. BAKTERİYEL SELÜLOZ BAZLI AKILLI POLİMERLERİN UYGULAMA ALANLARI

Bakteriyel selüloz bazlı akıllı polimerler, fiziksel ve mekanik karakterleri sayesinde özellikle biyomedikal uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, bu polimerlerin en çok kullanıldığı alanlardan; kontrollü ilaç salım sistemleri, yara örtüsü üretimi, doku mühendisliği ve 3 boyutlu hücre kültürü tasarımları ile sağlık ve hijyen ürünlerinde kullanımlarına değinilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Bakteriyel Selüloz Bazlı Akıllı Polimerlerin Uygulama Alanları

5.1. İlaç Salımı

Biyomedikal uygulamalar için sıkça kullanılan çapraz bağlı polimer gruplarından biri olan hidrojel, ilaç salım sistemlerinde oldukça tercih edilmektedir. Hidrojeller, 3 boyutlu polimerik ağ yapısına sahip olan hidrofilik karakter gösteren yapılardır. Suya yatkınlık özellikleri sayesinde yüksek miktarlarda su moleküllerini absorbe edebilirler. Hidrojeller, çevresel faktörlere karşı hızlıca ve güçlü bir şekilde yanıt oluşturabildiğinden akıllı polimerik yapılar kapsamında değerlendirilmektedirler. Ayrıca yüksek elastikiyet ve mukavemet özellikleri ile de biyomedikal uygulamalar içeren çalışmalarda ilgi odağı olmaktadır (Klouta, 2015; Liu vd., 2017).

Hidrojeller, sıcaklık, pH, elektriksel alandaki değişiklikler gibi çevresel uyarılara karşı duyarlılıkları sayesinde ilaç moleküllerinin doku, hücre gibi hedeflenen bölgelere taşınmasında görev almaktadırlar. Hidrojellerin geçirgenliklerinde, hidrodinamik durumlarında, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarında meydana gelen değişiklikler, hidrojellerin şişme/büzülme davranışlarını etkilemektedir. Bu durum, hidrojele yüklenmiş olan ilaç moleküllerinin salımını tetikler ve uyarılara karşı hidrojelin oluşturduğu yanıtlarla şişme davranışı ile hidrojelin yapısında değişiklikler meydana gelir. Ayrıca hidrojellerin yapıları üzerinde etkili olan şişme davranışının, hidrojelin tepki verme hızını da etkilediği bilinmektedir. Hidrojellerin uyarılara karşı oluşturduğu tepki hızı, şişme ve büzülme davranışları ile alakalı olup şişme davranışı ile tepki hızı arttırılırken büzülme davranışı ile bu hız geciktirilir. Selüloz ve türevlerinin hidrojel sentezine dahil edilmesi ile hidrojellerin yapılarında ve morfolojilerinde değişiklikler olmaktadır. Bu durum, karboksil gruplarının itme kuvvetleri sayesinde gözenek boyutlarının artmasının bir sonucu olarak hidrojel yüksek şişme oranlarına ulaştırır (Kabir vd., 2018). Bu sebeplerden dolayı selüloz içeren hidrojel sistemleri, ilaç salım mekanizmalarının kontrol edilebilmesi açısından önem kazanmaktadır.

Selülozun içerdiği güçlü bağlar ve hidrojen bağlarındaki kuvvet, onu su ve birçok organik çözücüde çözünmez hale getirmektedir. Hidrojellerle birlikte yeni materyallerin üretimi için selülozun bu dezavantajlarını en aza indirmek için fiziksel ve kimyasal yollar uygulanmaktadır. BC'nin yapısında bulunan zengin hidroksil grupları, ilaç molekülünün hazırlanan yeni materyale yüklenmesini ve salım davranışlarının incelenmesini kolaylaştırmaktadır. Bu özellikler baz alınarak BC ile fiziksel uyarılara karşı cevap verebilen akıllı materyaller sentezlenebilir. Ahmad ve ekibi bu görüşle yola çıkarak BC-g-poli-(akrilik asit) içeren, oral yolla alınan protein bazlı ilaç moleküllerinin özelliklerini koruyan ve sitotoksik etki göstermeyen, pH'a duyarlı hidrojeller sentezlemişlerdir (Ahmad vd.,2014). Çalışmalarında protein bazlı model ilaç olarak bovin serum albümin (BSA) kullanmışlardır. Sonuçları incelendiğinde ise, sentezlenen hidrojellerin protein bazlı ilaç moleküllerinin yapısal bütünlüğü bozulmadan ve proteinlerin biyoaktivitesi korunarak bağırsak bölgesinde aktif olarak görev aldığı raporlanmıştır. Üstelik hidrojellerin yüksek mukoadezif karakteristiği, protein penetrasyonunu arttırmış, buna bağlı olarak da ilacın istenilen bölgede kalma süresi uzatılmış

ve de ilaç absorpsiyonu yükseltmiştir. Ek olarak sitotoksikite denemeleri, bu hidrojellerin in vivo için güvenilir olduğunu göstermiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde Ahmad ve ekibinin çalışması, BC-g-poli-(akrilik asit) bazlı hidrojellerin, oral yolla vücuda alınan protein molekülleri için taşıyıcı materyaller olarak kullanılabilmesine dair umut vadetmektedir.

BC-g-poli(akrilik asitko-akrilamid) bazlı, pH duyarlı hidrojel sentezini içeren başka bir çalışmanın Amin ve ekibi tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir (Amin vd., 2013). İlaç taşıyıcı sistem olarak tasarlanan hidrojel, asidik ortamda azalan şişme davranışı göstermesine karşılık artan pH değerlerinde ise artan şişme özelliği göstererek pH duyarlı karakter sergilemektedir. Araştırmacılar, en yüksek şişme değerine pH 7 iken görüldüğünü raporlamışlardır. Hidrojellerin salım davranışları ise, gerçeğini taklit edecek şekilde hazırlanan mide ve bağırsak sıvısı içeren simülasyon ortamında değerlendirilmiş ve bağırsak sıvısına benzer ortamda daha yüksek salım değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu değerler göz önüne alınarak BC-g-poli(akrilik asitko-akrilamid) pH duyarlı hidrojel sistemlerinin alt sindirim sistemine etki edecek olan ilaçların taşınımı amacıyla kullanılmasının daha uygun olabileceğine vurgu yapılmıştır.

BC, yüksek su emici gücü sayesinde ilaç taşıma veya salım uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu özelliği, uygulamalarda fayda sağlasa da bazı durumlarda az bir basınç karşısında bünyesindeki suyu kaybetmesine, kurumasına sebebiyet vererek BC'ye dezavantaj olmaktadır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için Numata'nın ekibi, BC'nin uçucu olmayan bir çözücü olan polietilen glikol(PEG)'de şişmesini sağlayarak BC/PEG bazlı, düşük sıcaklıklarda opak ve katı formda iken yüksek sıcaklıklarda daha transparan ve elastik karakter kazanan sıcaklığa duyarlı bir jel formu sentezlemişlerdir (Numata vd., 2016). Üstelik araştırmacılar, polietilen glikol diakrilatı (PEGDA) da sentez ortamına ekleyerek daha fazla kovalent bağ içeren ve mekanik özellikleri daha kuvvetli bir kompozit yapısı elde etmişlerdir. Elde edilen malzemenin mekanik dayanıklılığının biyomedikal uygulamalar için uygunluğu incelenmiştir. BC'nin karakterini etkileyen faktörler incelenerek onlardan elde edilen jel formlarının da ilaç salım sistemlerine etkisi araştırılabilir. Nitekim çözünmüş ve dağıntı formdaki BC'nin fizikokimyasal karakterlerine ve bu formlardan elde edilen ilaç salım sistemlerinin davranışlarına olan etkisi, Pandey ve ekibi tarafından

irdelenmiştir (Pandey vd., 2013). Bu çalışmada, *N,N*-etilenbisakrilamid çapraz bağlayıcı olarak görev alırken, çözünmüş BC elde etmek için çözücü olarak NaOH/üre kullanılmıştır ve bu hidrojelde yüksek şişme davranışı sergilemiştir. pH ve iyonik duyarlı karaktere sahip olan bu jellerin, dağınık BC ile hazırlanan jellere oranla daha yüksek gözeneklilik içerdiği ve buna bağlı olarak ilaç yüklenme/salın kapasitelerinin daha iyi olduğu raporlanmıştır. Böylelikle, çözünmüş formdaki BC'nin oral yolla kullanılan ilaçlar için tasarlanan ilaç taşıma sistemlerinde yer alabileceği gösterilmiştir.

Çözünmüş BC ile sentezlenen diğer bir hidrojel grubunda çözünmüş BC ve akrilamid (Am) yer almakta olup sentezlenen hidrojinin (BC/Am), şişme davranışı, gözeneklilik durumu ve *in vitro/in vivo* biyouyumluluk özellikleri irdelenmiştir (Pandey vd., 2014). Teofilinin model ilaç olarak kullanıldığı bu çalışmada ilaç salın performansının, pH 1.5 değerinde pH 7.4 değerine oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca *in vitro* sitotoksikite denemeleri ile BC/Am hidrojellerinin toksik olmadığı ispatlanmıştır. Aynı çalışmada, ICR fareleri ile yapılan akut oral toksisite testleri, kontrol fare grupları ile kıyaslandığında oral yolla alınan 2000 mg/kg orana kadar toksik etki göstermediği raporlanmıştır. Bu çalışma ile BC kullanılan pH duyarlı akıllı hidrojel sistemlerinin başarı ile sentezlenebildiği ve oral yolla alınan ilaçlar için taşıyıcı sistem yapısına BC'nin katılabildiği gösterilmiştir.

BC ile hazırlanan akıllı davranış sergileyen kompozit yapılara birden fazla çevresel uyaranlara cevap verebilme özelliği eklenerek ilaç salın sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaca yönelik bir çalışma, Shi ve ekibi tarafından BC nanofibrilleri (BCNF) ile sodyum aljinat (SA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BCNF/SA kompozit yapısı, IBU, ibuprofen salımı için hem pH hem de elektrik alan değişimine duyarlı özellik sergilemektedir. BCNF/SA'nın şişme ve IBU salın davranışlarının incelendiği çalışmanın sonuçlarına göre, alkali ortamın IBU salın hızını artırdığı raporlanmıştır. Ayrıca yüksek pH değerlerinin kompozit yapısında bulunan aljinatın sodyum tuzuna dönüşebileceği ve bu durumun yapıdaki hidrojen bağlarının kopmasında etkili olabileceği düşünülmektedir. Bunların bir sonucu olarak da polimer zincirlerinde itme kuvveti oluşacağından dolayı yüksek pH değerlerinin hidrojeldeki şişme oranını pozitif etkilediği gösterilmiştir. Araştırmacılar, elektrik alandaki değişimlerin de kompozit yapısındaki ilaç salın performansına etkisini araştırmışlardır ve elektrik alandaki değişimin,

kompozit yapısındaki iyonlaşabilen karboksilik gruplarını arttırabileceğini öngörmüşlerdir. Nitekim kompozit yapısındaki hidrojen iyonlarının elektrik alandaki değişim ile birlikte katoda doğru hareketi ile hidrojel yapısının şişme davranışına katkı sağladığını görmüşlerdir. Bu durumun da ilaç salımını olumlu etkilediğini raporlamışlardır (Shi vd., 2014).

5.2. Yara İyileşmesi

Yara iyileşmesi, hasar görmüş olan dokuların onarımı için yürütülen doğal bir süreç olarak bilinmektedir. Bu süreç, yıpranan dokuların yeniden onarımı için karmaşık hücresel faaliyetlerin gerçekleştiği dinamik biyolojik işlemleri içermektedir. Yara iyileşmesi için kullanılacak biyomalzemelerin yüksek biyouyumlu ve toksik olmama özelliklerini taşıması beklenir (Gregory vd., 2021; Sezer vd., 2019). Ayrıca bu malzemeler, yara dokusu ile etkileşim halinde olacağından bu malzemelerin su tutma kapasitelerinin fazla olması, yaradan kaynaklı salgılanan sıvıları emebilme ve yara iyileşmesi için gerekli derecede nemli ortamı sağlayabilme özelliklerine sahip olması beklenir. Üstelik materyallerin gözenek yapısı da yeni doku oluşumunda hücrelerin büyümesi için gereken gaz giriş çıkışına imkan sağlamalıdır. Yeni dokuların oluşumu için farklı hücre tiplerinin birlikte büyüebilmesini destekleyen çözünmüş bileşenler ve hücre dışı matriks arasındaki bağlantıyı da kapsayacak şekilde karmaşık bir ortamın yara iyileşme mekanizmasını desteklemesi beklenmektedir. Selüloz, doğal fizikokimyasal karakteri sayesinde yara ve yanık iyileşmesi çalışmalarında önemli bir yere sahiptir (Gregory vd., 2021). Selüloz, yüksek su tutma kapasitesi ve bu özelliğinin lifli yapılı biyomalzemeler ile birleşmesi sayesinde yara iyileşmesi amacıyla kullanılmaktadır ve ticari olarak temin edilebilir. Ancak, doğal selüloz formları, yara iyileşmesinde antimikrobiyal aktivite göstermezler. Bu problem ZnO veya Ag nanopartiküllerin selüloz jellere emdirilmesiyle giderilmektedir (Kabir vd., 2018).

Hidrojellerin 3 boyutlu yapıları ve içerdikleri gözenekler, yara iyileşme malzemesi olarak kullanımlarını kolaylaştırmaktadır; çünkü bu yapıları sayesinde hücrelerin büyümeleri için gerekli ortam sağlanmaktadır. Ayrıca ilaç taşıyıcı sistemlerindeki yaygın uygulamaları da onları yara iyileşme alanında öne çıkarmaktadır (Kabir vd., 2018). *S. aureus*, *S. pneumoniae* ve *E. Coli*'ye karşı direnç gösterebildiği kanıtlanan Kloramfenikol'un (CAP, bir

çeşit geniş spektrumlu antibiyotik) model ilaç olarak kullanıldığı bir çalışmada CAP yüklü BC ve 2,3 dialdehit selüloz hidrojel (DABC) membranları, bu bakterilere karşı ilaç salım davranışları açısından incelenmiştir. Sentezlenen bu yapılardan DABC'nin, fibroblast hücrelerinin (L929) yüzeye yapışma ve proliferasyonunu daha olumlu etkilediği raporlanmıştır (Laçın, 2014).

Mohamad ve ekibi, BC ve akrilik asit (BC/AA) içeren hidrojelere elektron demeti ışınlama yöntemi ile sentezlemişler, çekme mukavemeti, su emiciliği ve su buharı iletim hızı (WVTR) özelliklerini inceleyerek karakterizasyonlarını yapmışlardır. Ayrıca bu yeni sentezlenen hidrojelere, hayvan modelleri üzerinde değerlendirerek yara iyileştirme kapasitelerini araştırmışlardır. Sitotoksikite testleri L929 hücrelerinde denenilen hidrojelere Sprague-Dawley sıçanlarında yara iyileştirme ve cilt tahrişi yetenekleri de raporlanmıştır (Mohamad vd., 2014). Toksik özellik göstermediği deneylerle kanıtlanan hidrojelere fibroblast proliferasyonunu arttırdığı, epitelizasyonu hızlandırdığı ve bu sayede yara iyileşme prosesine fayda sağladığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, BC/AA hidrojelere yanık/yara iyileşmesi için elverişli malzemeler olduğunu göstermektedir. Bakteriyel selüloz/kollajen (BC/COL) hidrojel sisteminin ticari kolajenaz merhemi ile sıçan sırtındaki yara iyileşmesi üzerine kurulan bu çalışmada, BC/COL yara üzerine nüfuz etmede kolaylık sağladığından ve yara üzerine yüksek yapışma özelliği gösterdiğinden dolayı yara bölgesine yapışmada zorluk yaşayan kolajenaz merheme göre daha avantajlı bir durum sergilemiştir. Tasarlanan bu yeni sistemin yara üzerinde nemli ortamın korunmasına ve kontrol gurubu ve merhem uygulanan gruplara kıyasla daha hızlı doku onarımı göstermesine dayanılarak BC/COL malzemesinin yara iyileşmesi için uygulanabilir bir materyal olduğu kanıtlanmıştır (Moraes vd., 2016). BC bazlı yara sargısını içeren bir başka buluş ise kronik yaraların, ülser ve diyabet kaynaklı oluşan yaraların tedavisi için Serafica ve ekibi tarafından raporlanmıştır (Serafica vd., 2008). Bu malzeme ile yaraların iyileşmesi için gerekli nemli ortamın sağlanması amaçlanmıştır.

5.3. Doku Mühendisliği

Doku mühendisliği uygulamaları, vücudumuzdaki dokuların yapısından esinlenerek hücrelerin çoğalmasına ortam sağlamak için hücre dışı matrislerin doku iskeleleri ile birleşerek işlevsel hale getirilmesini amaçlamaktadır (Kabir

vd., 2018). Doku iskeleleri, hücrelerin doğal ortamını taklit eder, hedeflenen yeni dokuların üretimi için gerekli olan alanı/gözenekli yapıyı ve hücrelerin büyümesi için gerekli olan besinlerin hücrelere ulaşmasını sağlar. Ayrıca hücrelerin farklılaşmasını ve çoğalmasını teşvik ederler (Sezer vd., 2019).

Doku iskelesinin üretiminde yer alan materyallerin biyoyoumlu ve biyobozunur olması, ayrıca hücrelerin büyüebilmesi ve farklılaşması için gereken tüm mekanik ve fiziksel özellikleri barındırması gerekmektedir. Hidrojeller, suyu absorblama yetenekleri ve ekstraselüler matris ile uyum göstermeleri sayesinde vücudun kıkırdak, kas, kemik, tendon gibi bölgeleri için doku iskelelerinin tasarlanmasında kullanılmaktadırlar (Kabir vd., 2018; Sezer vd., 2019). BC bazlı doku iskelelerine yönelik uygulamalarda genellikle BC gözenek boyutunun (~0.02-10 µm) memeli hücre boyutundan çok daha küçük olması sebebiyle hücrelerin doku iskelesine tutunmasında sorun olduğu gözlenmiştir. Yin ve ekibi bu sorunu gidermek amacıyla, agaroz mikropartiküller varlığında *Acetobacter xylinum*'u kültive ederek doku iskelelerine hücrelerin penetrasyonunu sağlayan ve böylelikle dokuların 3 boyutlu formunu taklit eden doku yapısını geliştirmek için alternatif bir yöntem geliştirmişlerdir. BC formları agaroz mikropartiküller ile modifiye edilerek gözenek boyutları hücrelerin tutunabileceği düzeye (300–500 µm) getirilmiştir. Bahsi geçen çalışmada, kıkırdak hücreleri ile modifiye edilmiş ve edilmemiş BC bazlı yüzeylerde 14 gün boyunca canlılık incelenmiştir. Sonuç olarak, modifiye edilmemiş BC bazlı yüzeylerdeki hücre büyümesinin, boyutları değiştirilen BC bazlı materyal üzerindeki büyümeye kıyasla daha az olduğu raporlanmıştır (Yin vd., 2015). Bu çalışma ile BC'nin doku iskelesi içeren biyomedikal çalışmalarında aktif olarak yer alabileceği sonucuna varılmaktadır.

Doku iskelelerine yönelik çalışmalarda saf BC kullanılabildiği gibi onun farklı oranlarını içeren malzemeler de test edilmiştir. Örnek olarak Ávila ve ekibinin kulak kıkırdağı üzerindeki çalışması verilebilir. Bu çalışmada ekip, *Gluconacetobacter xylinus* tarafından sentezlenen ve mekanik dayanımı ve sulu fibril oranı (%99 su) yüksek olan Bakteriyel nanoselüloz (BNC) materyalini incelemiştir (Ávila vd., 2014). Yayınlarında, %15 selüloz içeren BNC yapısının, insan kulak kıkırdağı yapısının mekanik özellikleri ile örtüşmekte olduğu ve bu sayede kulak kıkırdak malzemesi yerine kullanılabildiği raporlanmıştır. Buradan yola çıkarak araştırmacılar BNC'nin selüloz içeriğini değiştirmişler

ve in vitro ve in vivo ortamda BNC'nin davranışını incelemiştirlerdir. Selüloz oranı %17 olan BNC materyalinin sitotoksik olmadığını ve düşük konakçı doku cevabına sahip olduğunu raporlamışlardır. Üstelik %17 selüloz içeren BNC materyalinin mekanik karakteri ile kulak kıkırdak yapısının benzerliği de gözlemlenmiştir. BC'nin diğer materyaller ile birlikte kullanılması, biyomedikal uygulamalar için yeni yöntemlerin ve malzemelerin gelişimine katkıda bulunmuştur.

Beekmann ve çalışma grubu, BC'nin kültür ortamına polietilen glikolü (PEG, PEG₄₀₀ ve PEG₄₀₀₀) artan oranlarda ekleyerek ilaç yükleme kapasitesini artırmayı hedeflemiştirlerdir. PEG'in suda çözünebilir olması özelliği ile ilaç salım uygulamalarında kullanılabilen şeffaf bir yapının üretimini gerçekleştirmişlerdir (Beekmann vd., 2020). Çalışmanın sonuçlarını değerlendiren ekip, tahmin ettikleri gibi PEG katkılı modifiye edilmiş BC yapısında gözenek boyutlarının daha büyük olduğunu, su tutma kapasitesinin arttığını ve bunlara bağlı olarak ilaç yükleme ve salım davranışlarının iyileştirilmiş olduğunu raporlamıştır. Bahsi geçen sonuçların, özellikle PEG₄₀₀ katkılı materyalde daha baskın olduğu gözlemlenmiştir. Diklofenak, anti-inflamatuar ilaç modeli, vücuda oral yolla iletildiğinde çeşitli yan etkiler gösterebilmektedir, bu etkileri ortadan kaldırabilmek adına PEG katkılı yeni hidrojel modelleri sentezlenmiştir. En iyi sonuçlar %8 PEG₄₀₀ içeren ve bozulmamış BC için 1.06 mg'dan 1.49 mg diclofenak gBC⁻¹'a kadar artan oranlarda diklofenak yüklü yapıda gözlemlenmiştir (Beekmann vd., 2020). Bu sonuçlar, BC katkılı kompozit yapıların aktif yara örtüsü ve transdermal yama olarak kullanılabilmesine kanıt oluşturmuştur (Gregory vd., 2021).

BC, ipek serisin (silk sericin, SS) ile modifiye edilerek yüksek gözenek yapısına sahip ve su tutma performansı daha fazla olan yeni bir kompozit, Lamboni ve ekibi tarafından geliştirilmiştir (Lamboni vd., 2016). SS'nin reaksiyona dahil edilmesi ile BC'nin termal ve mekanik karakterlerinde değişim gözlenmemiştir. Yeni sentezlenen kompozit yapı, oksijen geçirgenliğini artması ile yara iyileşme sürecinde önem kazanmıştır. Bu sayede hücrelerin büyümesi ve farklılaşması için gerekli besin alımı ve atık uzaklaştırılması adımlarında BC-SS materyalinin kullanımı mümkün olmuştur. Nitekim, fibroblast hücrelerin kompozit üzerindeki canlılık seviyesinin BC ve normal kültür ortamındaki kıyasla daha fazla olduğunu raporlanması ile BC-SS kompozit yapısının yara iyileşme ve doku mühendisliği uygulamalarında yer

alabileceği gösterilmiştir.

Wu ve ekibinin geliştirdiği BC katkılı poli(N-izopropilakrilamid-kobütülmetakrilat) (PNB) bazlı sıcaklık duyarlı sol-jel yapısı BC eklenerek iyileştirilmiş mekanik ve fiziksel özelliklere örnektir. BC/PNB yapısı, sıcaklık artırıldığında büzülme formuna geçmekte ve bunu yaparken PNB yapısından gelen sıcaklığa duyarlı davranışını da korumaktadır. BC/PNB yapısının, BC içermeyen PNB yapısına kıyasla daha karmaşık ve güçlü jel dayanımını gösterdiği tespit edilmiştir. Üstelik sitotoksik olmadığı sitotoksosite ve hemoliz testleri ile kanıtlanan BC/PNB nanojel yapısının, kateter enjeksiyonu ile yerinde jel oluşturma kapasitesine sahip olduğu gösterilerek elde edilen yapının medikal alanda kullanılmasının mümkün olduğu gösterilmiştir (Wu vd., 2013).

Manyetik özellikli BC üzerine tasarlanan bir çalışmada BC'ye manyetik form kazandırmak amacıyla Fe^{3+} ve Fe^{2+} demir iyonları ile BC bir araya getirilmiş ve Fe_3O_4 nanoparçacıkları sentezlenmiştir. Bu çalışmada sentezlenen manyetik hidrojellerin manyetik karakterleri ve sitotoksosite değerlendirmeleri için manyetik BC üretiminde kullanılan tuzun konsantrasyonunda ayarlama yapılmıştır. Elde edilen verilere göre manyetik BC ile yapılan ölçümlerle doku mühendisliği uygulamaları için gerekli olan magnetizasyonun sağlandığı raporlanmıştır (Arias vd., 2018).

Manyetik yapı nano parçacıkların doku iskelesi üretiminde yer aldığı diğer bir çalışma ise Torgbo ve ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir (Torgbo vd., 2019). Çalışmada BC, manyetit Fe_3O_4 ve hidroksiapatit kullanılarak nano yapı kompozit doku iskelesinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Kompozit doku iskelesi, gözeneklilik ve şişme davranışı bakımından değerlendirildiğinde nano yapıların kompozite dahil edilmesi ile birlikte iskelede %80 civarı gözenekliliğin sağlandığı ve şişme performansında ise düşüşün olduğu saptanmıştır. Fare fibroblast L929 hücre hattı ile yapılan testlerle üretilen doku iskelesinin toksik özellik taşımadığı kanıtlanmış ve osteoblast (MC3T3-E1 hücre hattı) hücreleri ile yapılan deneylerle de hücrelerin doku iskelesinde bağlanma ve çoğalma performanslarına bağlı olarak yapının biyo uyumlu olduğu gösterilmiştir.

BC ile birlikte manyetik özellik katılan nano yapıların doku mühendisliği uygulamalarına yönelik kullanımına, beyin anevrizma tedavisi için farklı bir yöntem olarak stent şeklinde doku iskelesi üretimi çalışmalarında rastlanmaktadır. Fe^{3+} ve Fe^{2+} ile BC nano yapıların manyetik özellik içeren

hücre proliferasyonunu destekleyebilen doku iskelesi amacıyla kullanıldığı çalışma, Echeverry-Rendon'ın ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir (Echeverry-Rendon vd., 2017). Biyouyumluluğun artırılması amacıyla polietilen glikol ile kaplanan bu yapı, domuz aort düz kas hücreleri ile yapılan sitotoksitesite testleri ile değerlendirilmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, sentezlenen manyetik özellik taşıyan BC bazlı nano yapılar ile hedeflenen hidrojel formundaki stent doku iskelesi başarıyla üretilmiştir. Elde edilen esnek ve biyouyumlu yapı ile minimum sitotoksitesite değerlerine ulaşılabilmektedir.

5.4. Sağlık ve Hijyen Ürünleri

Süper emici polimerler (SEP) in, kişisel sağlık ve hijyen ürünleri alanında uzun yıllardır kullanıldığı bilinmektedir. Bu polimerik yapıların yüksek miktarda sıvıyı absorbe etme özelliklerinden yola çıkılarak kan, idrar gibi vücuttan salgılanan sıvıların hidrojel yapısına karışması ile hijyenik ürünlerin üretimi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Kabir vd., 2018). SEP özellikli materyaller genellikle akrilik bazlı olarak sentetik malzemeler kullanılarak tasarlanmaktadır; ancak biyouyumlulukları ve biyobozunurlukları açısından problemler olduğundan dolayı SEP üretiminde yeşil biyoteknoloji esaslı polimerlerin kullanımına yönelinmektedir. Selüloz, bu yeşil malzeme grubunun bir üyesi olarak SEP sentezinde yaygınca kullanılmaktadır. Üstelik selüloz bazlı hidrojel, su ile kurduğu hidrojen bağları sayesinde sulu çözeltileri kolaylıkla emebilmektedir. Selüloz bazlı bu ürünler; bebek bezleri, hijyenik pedler ve tek kullanımlık hijyen ürünleri gibi malzemelerin üretiminde yer almaktadır (Bashari vd., 2018). Guan ve ekibi, SEP özelliklerine dayanarak selülözün monomer olarak kullanıldığı, akrilik asit ve akrilamidin de polimerizasyona katıldığı bir reaksiyon tasarlamışlar ve neme dayanıklı olan ve yüksek su tutma kapasitesine sahip olan selüloz bazlı polimerler üretmişlerdir (Guan vd., 2017). Bu ürünlerin tasarımında bazı ürünlerin antimikrobiyal aktivite içermesi istenmektedir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için Peng ve ekibi, kuaternize selüloz (QC) ve doğal selülözün kimyasal çapraz bağlanmasıyla oluşan bir reaksiyon hedeflemiştir (Peng vd., 2016). Reaksiyon, NaOH/üre sulu çözeltisinde gerçekleşmiş olup, ticari tek kullanımlık çocuk bezlerinde kullanılacak olan bir yapıyı elde etmeye yönelik, zayıf mekanik özellikleri ve biyouyumluluğu iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

SONUÇ

Sağlık alanında meydana gelen hızlı değişimlerle birlikte biyomedikal alanında yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır. Akıllı polimerler, biyomedikal alanda üzerinde en çok çalışılan konulardan biridir. Çalışmalar, akıllı polimerleri içeren yeni materyallerin tasarımı üzerinde yoğunlaşmaktadır. İnsan ve toplum sağlığını iyileştirmeye yönelik yapılan araştırmalar, bu alanda kullanılacak ürünlerin biyoyumlu ve biyobozunur özellik taşıması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu sebeple, kullanılan medikal ürünlerin çevre dostu ve yeşil biyoteknoloji kapsamında tasarımı, üretimi ve yeniden dönüştürülmesi üzerine yenilikçi fikirlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Sunulan bu çalışma, biyomedikal alana hizmet vermek amacıyla sentezlenen bakteriyel selülozun akıllı polimer yapıları ile birlikte nasıl ve hangi alanlarda kullanılabilirdiğini göstermektedir. Farklı bilimsel alanların bir arada kullanılabilirdiği, modern tıp uygulamalarını içeren ve sağlık alanındaki gelişmelere yardımcı olabilecek nitelikteki üstün özellikler içeren yeni biyomateryallerin tasarımı ve üretiminin, günümüzdeki bilimsel gelişmelere katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aguilar, M.R., Elvira, C., Gallardo, A., Vázquez, B., ve Román, J.S. (2007). Smart Polymers and Their Applications as Biomaterials. *Topics in Tissue Engineering*, Vol. 3.
- Ahmad, N., Amin, M. C. I. M., Mahali, S. M., Ismail, I., ve Chuang, V. T. G. (2014). Biocompatible and Mucoadhesive Bacterial Cellulose-g-Poly(acrylic acid) Hydrogels for Oral Protein Delivery. *Mol. Pharmaceutics*.
- Amin, M. C. I. M., Ahmad, N., Pandey, M., ve Xin, C. J. (2013). Stimuli-responsive bacterial cellulose-g-poly(acrylic acid-co-acrylamide) hydrogels for oral controlled release drug delivery. *Drug Dev Ind Pharm*, ISSN: 0363-9045, 1520-5762.
- Arısoy, S., ve Dortunç, B. (2020). Thermosensitive Hydrogels for Controlled Drug Delivery. *Literatür Eczacılık Bilimleri Dergisi Journal of Literature Pharmacy Sciences*. 9(1):90-100.
- Arias, S., Shetty, A., Devorkin, J., ve Allain, J.-P. (2018). Magnetic targeting of

- smooth muscle cells in vitro using a magnetic bacterial cellulose to improve cell retention in tissue-engineering vascular grafts. *Acta Biomaterialia*, 77, 172-181.
- Ávila, H.M., Schwarz, S., Feldmann, E.M., Mantas, A., von Bomhard, A., Gatenholm, P., Rotter, N. (2014) Biocompatibility evaluation of densified bacterial nanocellulose hydrogel as an implant material for auricular cartilage regeneration. *Appl Microbiol Biotechnol*, 98:7423–7435.
- Ávila Ramírez, J.A., Gómez Hoyos, C., Arroyo, S., Cerrutti, P., Foresti, M.L. (2016). Acetylation of bacterial cellulose catalyzed by citric acid: Use of reaction conditions for tailoring the esterification extent. *Carbohydr. Polym.* 153 : 686–695.
- Bashari, A., Shirvan, A. R., Shakeri, M. (2018). Cellulose-based hydrogels for personal care products. *Polym Adv Technol.*, 29:2853–2867.
- Beekmann, U., Schmolz, L., Lorkowski, S., Werz, O., Thamm, J., Fischer, D., Kralisch, D. (2020). Process control and scale-up of modified bacterial cellulose production for tailor-made anti-inflammatory drug delivery systems. *Carbohydr. Polym.*, 236, 116062.
- Brahma, S. (2016). pH ve Sıcaklığa Duyarlı Hidrojellerin Sentezlenmesi ve İlaç Salım Davranışlarının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı. İnönü Üniversitesi.
- Braun, D., Cherdrón, H., Rehahn, M., Ritter, H., Voit, B. (2005). *Polymer Synthesis: Theory and Practice Fundamentals, Methods, Experiments*, Fourth Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Printed in Germany.
- Czaja W. K., Young, D. J., Kawecki, M. and Brown, R. M. (2007). The Future Prospects of Microbial Cellulose in Biomedical Applications. *American Chemical Society*, 8:1.
- Çetin, G. (2012). Polivinil Alkol Esaslı İç İç Geçmiş Ağ Yapılı Polimerlerin Hazırlanması Ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kimya Müh. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimyasal Teknolojiler Programı. İstanbul Üniversitesi.
- Echeverry-Rendon, M. n., Reece, L., Pastrana, H., Arias, S., Shetty, A., Pavón, J., & Allain, j. p. (2017). Bacterial Nanocellulose Magnetically Functionalized for Neuro-Endovascular Treatment. *Macromolecular Bioscience*, 17, 1600382.
- Esa F, Tasirin SM, Rahman NA. (2014). Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agric Agric Sci Proc*, 2:113-119.
- Fakirov, S. (2017). *Fundamentals of Polymer Science for Engineers*, First Edition, Published by Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. K Ga A., Germany.
- Figueiredo, A.R.P., Figueiredo, A.G.P.R., Silva, N.H.C.S., Barros-Timmons, A., Almeida, A., Silvestre, A.J.D., Freire, C.S.R. (2015). Antimicrobial bacterial cellulose nanocomposites prepared by in situ polymerization of 2-aminoethyl

methacrylate. *Carbohydr. Polym.* 123 : 443–453.

- Gregory, D. A., Tripathi, L., Fricker, A. T. R., Asare, E., Orlando, I., Raghavendran, V., ve Roy, I. (2021). Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications. *Materials Science & Engineering R*, 145:100623.
- Guan H, Li J, Zhang B, Yu X (2017). Synthesis, properties, and humidity resistance enhancement of biodegradable cellulose-containing superabsorbent. *Polym J Polym.*
- Huang, H. J., Tsai, Y. L., Lin, S. H., Hsu, S. (2019). Smart polymers for cell therapy and precision medicine. *Journal of Biomedical Science*, 26:73.
- Hruby, M., Filippov, S. K., Štěpánek, P. (2015). Smart polymers in drug delivery systems on crossroads: Which way deserves following?. *European Polymer Journal*.
- Inoue, B.S., Streit, S., dos Santos Schneider, A.L., Meier, M.M. (2020). *Int. J. Biol. Macromol.* 148 : 1098–1108.
- Kabir, S. M. F., Sikdar, P. P., Haque, B., Bhuiyan, M. A. R., Ali, A., ve Islam, M. N. (2018). Cellulose-based hydrogel materials: chemistry, properties and their prospective applications. *Progress in Biomaterials*, 7:153–174.
- Klouda, L. (2015). Thermoresponsive hydrogels in biomedical applications: a seven-year update. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 97, 338–349.
- Kontturi, K.S., Biegaj, K., Mautner, A., Woodward, R.T., Wilson, B.P., Johansson, L.-S., Lee, K.-Y., Heng, J.Y.Y., Bismarck, A. ve Kontturi, E. (2017). Noncovalent Surface Modification of Cellulose Nanopapers by Adsorption of Polymers from Aprotic Solvents. *Langmuir* 33 : 5707–5712.
- Laçın, N. T. (2014). Development of biodegradable antibacterial cellulose based hydrogel membranes for wound healing. *Int J Biol Macromol*, 67:22–27.
- Lamboni, L., Li, Y., Liu, J., Yang, G. (2016). Silk Sericin-Functionalized Bacterial Cellulose as a Potential Wound-Healing Biomaterial. *Biomacromolecules*, 17: 3076–3084.
- Lendlein A. ve Kelch S. (2002). Shape memory polymers, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 41: 2034- 2057.
- Liu, Y., Zhang, K., Ma, J., Vancso, G. J. (2017). Thermoresponsive semi-ipn hydrogel microfibers from continuous fluidic processing with high elasticity and fast actuation. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(1):901–908.
- Liu, M., Song, X., Wen, Y., Zhu, J. L., Li, J. (2017). Injectable Thermoresponsive Hydrogel Formed by Alginate-g-Poly(N-isopropylacrylamide) Releasing Doxorubicin-Encapsulated Micelles as Smart Drug Delivery System. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9 (41).
- Lonnberg, H., Fogelstrom, L., Samir, MASA, Berglund, L., Malmstrom, E., Hult, A. (2008) Surface grafting of microfibrillated cellulose with poly(ϵ -caprolactone) –

- synthesis and characterization. *Eur Polym J.* 44(9):2991–2997.
- Mohamad N, Mohd Amin MCI, Pandey M, Ahmad N, Rajab NF (2014). Bacterial cellulose/acrylic acid hydrogel synthesized via electron beam irradiation: accelerated burn wound healing in an animal model. *Carbohydr Polym*, 114:312–320.
- Moraes PRF de S, Saska S, Barud H, Lima LR de, Martins V da CA, Plepis AM de G, Ribeiro SJL, Gaspar AMM (2016). Bacterial cellulose/collagen hydrogel for wound healing. *Mat Res*, 19:106–116.
- Niskanen, J. ve Tenhu, H. (2017). How to manipulate the upper critical solution temperature (UCST)? *Polymer Chemistry*, 8, 220–232.
- Nogi, M., Abe, K., Handa, K., Nakatsubo, F., Ifuku, S., Yano, H. (2006). Property enhancement of optically transparent bionanofiber composites by acetylation. *Appl. Phys. Lett.* 89, 233123.
- Numata, Y., Masaki, S., ve Tajima, K. (2016). Mechanical properties of a bacterial cellulose/polyethylene glycol gel with a peripheral region crosslinked by polyethylene glycol diacrylate. *Polymer Journal*, 48, 317–321.
- Pandey, M., Amin, M. C. I. M., Ahmad, N., ve Abeer, M. M. (2013). Rapid Synthesis of Superabsorbent Smart-Swelling Bacterial Cellulose/Acrylamide-Based Hydrogels for Drug Delivery. *International Journal of Polymer Science*, Article ID 905471, 10.
- Pandey, M., Mohamad, N., ve Amin, M. C. I. M. (2014). Bacterial Cellulose/Acrylamide pH-Sensitive Smart Hydrogel: Development, Characterization, and Toxicity Studies in ICR Mice Model. *Mol. Pharmaceutics*, 11, 3596–3608.
- Pandey, M., Mohd Amin, M.C.I., Ahmad, N., Abeer, M.M. (2013) *Int. J. Polym. Sci.* 905471.
- Park, J.K., Park, Y.H., Jung, J.Y., (2003). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* PJK isolated from rotten apple. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 8(2), 83–88.
- Pavón, J. J., Allain, J. P., Verma, D., Echeverry-Rendón, M., Cooper, C. L., Reece, L. M., Shetty, A. R., & Tomar, V. (2019). In situ Study Unravels Bio-Nanomechanical Behavior in a Magnetic Bacterial Nano-cellulose (MBNC) Hydrogel for Neuro-Endovascular Reconstruction. *Macromolecular Bioscience*. 19(2):1800225.
- Peng, N, Wang Y, Ye Q, Liang L, An Y, Li Q, Chang C (2016). Biocompatible cellulose-based superabsorbent hydrogels with antimicrobial activity. *Carbohydr Polym*, 137:59–64.
- Pötzinger, Y., Rabel, M., Ahrem, H., Thamm, J., Klemm, D. ve Fischer, D. (2018). *Cellulose* 25: 1–22.
- Rol, F., Sillard, C., Bardet, M., Yarava, J.R., Emsley, L., Gablin, C., L'eonard, D., Belgacem, N., ve J. Bras. (2020). Cellulose phosphorylation comparison and

- analysis of phosphate position on cellulose fibers. *Carbohydr. Polym.* 229, 115294.
- Qui, Y., Park, K. (2001). Environment-sensitive Hydrogels for Drug Delivery, *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 53, 321-339.
- Serafica G, Mormino R, Oster AG, Lentz EK, Koehler PK (2008). Microbial cellulose wound dressing for treating chronic wound. US Patent 7, 390, 499 B2.
- Sezer, S., Şahin, İ., Öztürk, K., Şanko, V., Koçer, Z., ve Sezer, Ü. A. (2019). Cellulose-Based Hydrogels as Biomaterials. Md. I. H. Mondal (ed.), *Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels, Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series*. Springer Nature Switzerland AG.
- Shi, X., Zheng, Y., Wang, G., Lin, Q., Fan, J. (2014). pH- and electroresponse characteristics of bacterial cellulose nanofiber/sodium alginate hybrid hydrogels for dual controlled drug delivery. *RSC Adv.* 4 (87), 47056–47065.
- Silvestre, A.J., Freire, C.S., Neto, C.P. (2014). Do bacterial cellulose membranes have potential in drug-delivery systems? *Expert Opin Drug Deliv* 11(7):1113–1124.
- Singh, G. (2014). Hydrogel as a novel drug delivery system, a review. *J. Fundam. Pharm. Res.*, 2(1), 35-48.
- Torgbo, S., ve Sukyai, P. (2019). Fabrication of microporous bacterial cellulose embedded with magnetite and hydroxyapatite nanocomposite scaffold for bone tissue engineering. *Materials Chemistry and Physics*. 237:121868.
- Tüylek, Z. (2019). SAĞLIK ALANINDA KULLANILAN AKILLI POLİMERLER, Smart Polymers Used in the Field of Health. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, ISSN: 2147-7892, 7:1, 81-95.
- Wang, M., Guo, L., Sun, H. (2018). *Manufacturing Technologies for Biomaterials*. The University of Hong Kong, Pokfulam, Hong Kong.
- Wang, Y., Yang, Nç, Wang, D., He, Y., Chen, Li., Zhao, Y. (2018). Poly (MAH- β -cyclodextrin-co-NIPAAm) hydrogels with drug hosting and thermo/pH-sensitive for controlled drug release. *Polymer Degradation and Stability*, 147, 123–131.
- Wang, Q., Asoh, T. A., Uyama, H. (2018). Rapid uniaxial actuation of layered bacterial cellulose/poly (N-isopropylacrylamide) composite hydrogel with high mechanical strength. *RSC Adv.*, 8, 12608.
- Yin N, Stilwell MD, Santos TM, Wang H, Weibel DB (2015). Agarose particle-templated porous bacterial cellulose and its application in cartilage growth in vitro. *Acta Biomater*; 12:129–138.
- Wang, X., Xu, K., Yao, H., Chang, L., Wang, Y., Li, W., Zhao, Y., Qin, J. (2018). Temperature-Regulated Aggregation-Induced Emissive Self-Healable Hydrogel for Controlled Drug Delivery. *Polymer Chemistry*, 9 (38).
- Ward, M. A., Georgiou, T. K. (2011). Thermoresponsive polymers for biomedical

applications. *Polymers*, 3, 1215-1242.

Wu, L., Zhou, H., Sun, H. J., Zhao, Y., Yang, X., Cheng, S. Z. D., ve Yang, G. (2013). Thermoresponsive Bacterial Cellulose Whisker/Poly(NIPAM-co-BMA) Nanogel Complexes: Synthesis, Characterization, and Biological Evaluation. *Biomacromolecules*, dx.doi.org/10.1021/bm3019664.

Dr. Elif İŞİKÇİ KOCA

Lisans eğitimini 2008-2012 yılları arasında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümü'nde tamamlamıştır. Ardından 2012-2014 yılları arasında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik ABD'nda yüksek lisans eğitimi almıştır. Doktora eğitimini ise Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik ABD'nda 2014-2020 yılları arasında gerçekleştirmiştir. Kontrollü ilaç salımı ve akıllı hidrojeller üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Dr. Pınar ÇAKIR HATIR

Pınar Çakır Hatır, 2004 yılında Boğaziçi Üniversitesi Kimya Bölümü'nden mezun oldu. 2008 yılında Boğaziçi Üniversitesi Kimya Bölümü'nde yüksek lisansını tamamladı. 2012 yılında Fransa Sorbonne Üniversiteleri grubu bünyesindeki Compiègne Teknoloji Üniversitesi'nden Biyoteknoloji doktora derecesini aldı. Doktora süresince "Moleküler baskılı polimer nanoyapılar" üzerinde çalıştı. Aynı zamanda AB araştırma ağları NASCENT ve IRMED'de araştırmacı olarak görev aldı. 2013 yılından bu yana çok sayıda ulusal ve uluslararası araştırma projesinde yürütücü, araştırmacı ve danışman olarak yer aldı. Halen Horizon 2020 EuroNanoMed projesi ile bir TÜBİTAK3501 projesi yürütmektedir. Bununla birlikte, CA16215, CA21164 ve CA21121 kodlu COST Aksiyonlarında Türkiye Yönetim Komitesi üyeliği görevleri bulunmaktadır. 2019'da başvurduğu proje ile Marie-Sklodowska Curie Actions Mükemmellik Mührü Ödülü'nü aldı (Puan: %88.4). Birçok ulusal ve uluslararası yayına sahip Dr. Pınar Çakır Hatır'ın araştırma ilgi alanları, biyomedikal uygulamalarda kullanılmak üzere moleküler baskılanmış polimerler, akıllı hidrojeller, nano yapıları materyallerin sentezlenmesi ve yenilenebilir kaynaklardan çevre dostu sentez yöntemlerinin geliştirilmesi olarak özetlenebilir.

3. BÖLÜM

BİTKİSEL YAĞLAR VE ENDÜSTRİYEL KULLANIM ALANLARI

Dr. Emin ÖZDEMİR,
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi
emin.ozdemir@iuc.edu.tr
Orcid No: 0000-0002-6517-9270

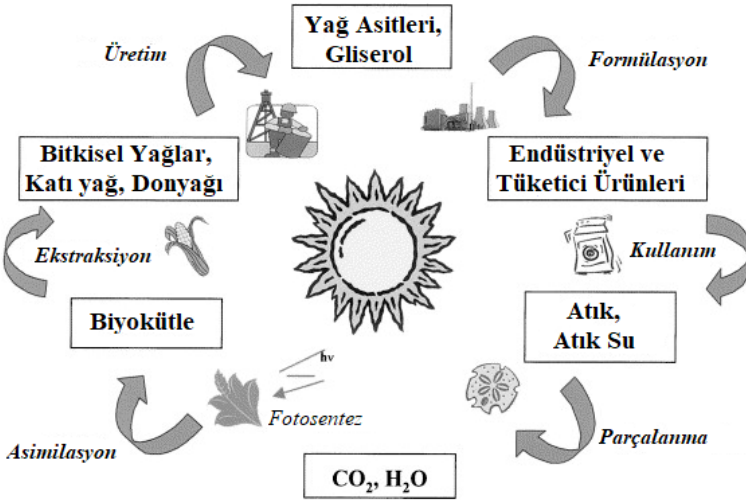
Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü
Orcid No: 0000-0002-3395-5642

GİRİŞ

Doğaya verilen zararın insanlığı tehdit etmesi sonucu, devletlerin ve toplumların artan çevre bilinci ile son yıllarda, biyo-esaslı, biyo-bazlı, biyo-bozunur, yenilenebilir, geri dönüşümlü, çevre dostu, toksik olmayan, yeşil, vb. terimlerini günlük hayatımızda ve endüstride sıkça duymaktayız. Ayrıca, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, atıkların geri dönüşümü ve maliyeti gibi kavramların her geçen gün gelişen teknoloji ile birlikte daha çok ön plana çıkmasıyla biyo-kökenli ürünler vazgeçilmez duruma gelmektedir. Toplumların çevre dostu ürünler kullanma talepleri, çevreye uyumlu ürünlerin üretimini gerekli kılmaktadır. Bu minvalde, petrol türevi madeni yağlar, yakıtlar vb. hammaddelerin çevre ve insan sağlığına olan zararlarını bertaraf etmek için yapılan çözüm arayışlarında, hayvansal yağların daha maliyetli ve üretiminin yetersiz olması göz önüne alındığında, bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Çevre dostu bitkisel yağlar, doğada kolayca bozunabilmelerinin

yanında yenilenebilir ve zehirsiz özelliklerinden dolayı petrol türevi yakıt, yağ ve hammaddelere iyi bir alternatif oluşturmaktadırlar.

Bir maddenin kaderiyle ilgili en önemli husus olarak değerlendirilen biyobozunurluk (doğada biyolojik bozunabilirlik) özelliğine sahip olan bitkisel yağlar (Willing, 2001), mikroorganizmaların etkisi sonucu oluşan biyokimyasal parçalanmaya oldukça duyarlıdırlar (Alves & Oliveira, 2008). Şekil 1’de bitkisel kaynaklara dayalı ürünlerin yaşam döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 1. Bitkisel kaynaklara dayalı kimyasal ürünlerin yaşam döngüsü (Willing, 2001)

Biyobozunurluk ve tokisk olmama, çevre dostu olma açısından ana unsurlardır. Biyobozunur madde, mikroorganizmanın etkisiyle biyokimyasal bozulmaya karşı hassastır. Geri dönüştürülebilir bir maddenin orijinal molekülü, birincil bozunmada kaybolacaktır. Ardından, nihai bozunmada karbondioksit, hidrojen ve biyokütle oluşacaktır. Nihai biyolojik parçalanabilirlik, organik malzemenin doğanın karbon döngüsü ile güvenli bir şekilde yeniden bütünleşmesini sağladığı için oldukça önemlidir (Debnath vd., 2014). Bu nedenle bitkisel yağlar gibi biyo-ürünlerin çıktısı temizdir veya çok az kirliliğe neden oldukları için bertarafı da güvenli olduğundan su kütlelerini ve çevreyi etkilemezler (Katna vd., 2020).

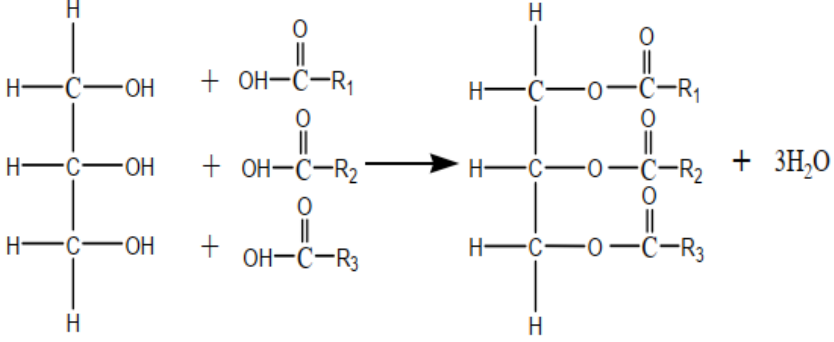
Çok yönlü kullanım alanına sahip olan bitkisel yağlar iki açıdan oldukça önemlidir. Birincisi, karbonhidrat, vitaminler ve mineral maddeler nedeniyle önemli birer besin maddesidirler. Sağladığı enerji açısından diğer besinler ile karşılaştırıldığında yağlar ilk sırada yer alır. Diğer bir önemli husus ise ilerleyen teknolojiyle birlikte bitkisel yağların, kimya ve enerji sektörü başta olmak üzere endüstride önemli bir hammadde kaynağı oluşturmasıdır. Özellikle, biyodizel üretimi ve çevre dostu endüstriyel yağlayıcı maddeler başta olmak üzere, plastik, deterjan, şampuan, dezenfektan, sabun, kozmetik, boya, inşaat, ilaç, tarımsal ilaç, tutkal, kağıt, matbaa mürekkebi, aydınlatma ve cam macunu gibi çeşitli sanayi sektörlerinde hammadde olarak kullanılması göz önüne alındığında, yağlı tohumlu bitki ve bitkisel yağ üretiminin önemi daha da artmaktadır (Ohlson, 1992; Kolsarıcı vd, 2015; Karakuş, 2014; Arıoğlu vd., 2014; Onat vd., 2017; Kılılı & Beycioğlu, 2019; Yurtvermez & Gıdık, 2021). Sürdürülebilirlik açısından düşünüldüğünde, bitkisel yağ esaslı yakıtların, yağlayıcıların ve çeşitli sınai ürünlerin üretimi sonucu bitkisel yağların gelecekte önemli bir enerji ve hammadde kaynağı olacağı anlaşılmaktadır (Arıoğlu, 2016). Dünyada ve ülkemizde artan nüfusa ve ekonomik büyümeye paralel her geçen gün artan enerji tüketimi göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımların gerekliliği kaçınılmazdır. Bu yüzden, biyodizel vb biyoenerji türlerinin üretimine kaynak teşkil edecek bitkisel yağlardan gereğince faydalanılması gereklidir (Sezek, 2018).

Türkiye, iklim ve toprak çeşitliliği ile yağlı tohumlu bitki ve bitkisel yağ üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir (Yurtvermez & Gıdık, 2021). Endüstride işlenerek tohumlarından yağ elde edilen bitkiler genel olarak, soya, ayçiçeği, çığit (pamuk tohumu), kolza, kanola, yer fıstığı, susam, aspir, pelemir, krembi, hintyağı, haşhaş, keten, kenevir, mısır (mısır özünden), zeytin, hurma (palm) ve hindistan cevizi (coco) şeklindedir. Bu bitkilerden, mısır, keten, çığit, kenevir ve haşhaş öncelikle bitkisel yağ dışındaki başka ihtiyaçlar için yetiştirilmekte olup yan ürün olarak tohumlarından ham yağ üretilmektedir. 2016 yılı verilerine göre, zeytin, hurma ve hindistan cevizi hariç dünya ham yağ üretimi 187 milyon ton olarak gerçekleşirken, Türkiye’de ise 786 bin ton ham yağ üretimi gerçekleşmiştir. 2017 yılında ise dünyada 194 milyon ton ham yağ üretimi yapılırken, Türkiye’de ise 850 bin ton ham yağ üretimi yapılmıştır (Arıoğlu, 2014; Onat vd., 2017; Kılılı & Beycioğlu, 2019). 2019-2020 verilerine göre dünyada 595 milyon ton bitkisel ham

yağ üretilirken, bunun %65'lik oranı soyadan sağlanmıştır. Aynı dönemde Türkiye'de 3,5 milyon ton bitkisel ham yağ üretilmiştir (Yurtvermez & Gıdık, 2021). Genel olarak, Türkiye'de bitkisel ham yağ üretiminin %69'u, sıvı yağ tüketiminin de %84'ü ayçiçeğinden sağlanmaktadır (Meral, 2019). Farklı iklim koşulları gereksiniminden dolayı, jojoba, hurma ve hindistan cevizi dışındaki yağlı tohumlu bitkilerin hepsinin yetişebildiği Türkiye'de bitkisel yağlar, başta ayçiçeği olmak üzere zeytin, haşhaş, susam, kolza, çığıt, soya, yerfıstığı, mısır, ketencik, pelemir ve aspir bitkilerinden elde edilmektedir (Gulluoglu vd., 2017). Bunların yanında Türkiye'nin yerli bitkilerinden olan fakat yağı için çok nadir olarak yetiştirilen, yağ şalgamı, ızgın, ketencik ve hardalın yanı sıra son zamanlarda dünyada üretimi yapılan çufa ve jajoba önemli yağ bitkileridir. Ayrıca çay tohumu, tütün tohumu, karpuz çekirdeği, domates çekirdeği ve üzüm çekirdeği gibi yan ürünler gıda dışı endüstriyel alanlarda kullanılabilir yağ kaynakları olarak sıralanabilir (İlslu, 1973; Serim & Akgül).

2. BİTKİSEL YAĞLARIN KİMYASAL YAPISI VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİ











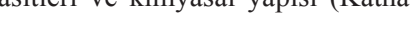
Bitkisel yağlar kimyasal olarak, üç yağ asidi ve bir gliserin molekülünden meydana gelen yağ asidi trigliseridleri olarak bilinirler. Trigliserit yapı, tek bir molekül içinde karmaşık bir yağ asidi yapısı oluşturan farklı yağ asidi zincirleriyle ilişkilidir. Bitkisel yağ trigliseritinin tipik kimyasal yapısını gösteren Şekil 2'deki R1, R2 ve R3 sembolleri, yağ asidi zincirleri olarak da adlandırılan uzun karbon zincirleridir (Lawal vd., 2012). Eğer üç yağ asidi farklı ise ürün karmaşık trigliserit, aynı ise basit trigliserit olarak tanımlanır (Başoğlu 2004; Hoşgün, 2008).



GLİSERİN + ÜÇ MOLEKÜL YAĞ ASİDİ \longrightarrow TRİGLİSERİT + 3 MOLEKÜL SU

Şekil 2. Bitkisel yağ trigliseritinin oluşumu ve kimyasal yapısı (Hoşgün, 2008)

Yağ asitleri, hidrojen ve diğer grup atomları ile karbon-karbon bağlarından oluşur ve bir $-\text{COOH}$ grubu (karboksilik asit) ile sonlanır. Yağ asitleri, 14-26 sayıda atomdan oluşan çift sayıda karbon atomu içerir. Şekil 3, yağ asitlerinin yapısını göstermektedir. Bazı yerlerde, hidrojen atomları, molekülü tekli doymamış hale getiren bir çift karbon bağı ile değiştirilir. Bu birkaç yerde meydana gelirse, moleküle çoklu doymamış denir. Bu doymamışlık, doymuş yağa göre yağın erime noktasının ve termal stabilitesinin düşmesine neden olur. Bilinen 1000'den fazla yağ asidinden sadece 20'si bitkisel yağlarda bulunur (Katna vd., 2020). Yağlarda bulunan ve önem arz eden yağ asitlerinden bazıları; oleik asit, linoleik asit, linolenik asit, risinoleik asit, araşidonik asit, erusik asit gibi doymamış asitleri ve palmitik asit, stearik asit, laurik asit, behenik asit ve araşidik asit gibi doymuş yağ asitleridir (Kadiroğlu, 2008; Shashidhara & Jayaram, 2010; Meral, 2019; Katna vd., 2020).

Yağ Asidi	Kimyasal Formül	Kimyasal Yapı
Caprylic	$C_8H_{16}O_2$	
Capric	$C_{10}H_{20}O_2$	
Lauric	$C_{12}H_{24}O_2$	
Myristic	$C_{14}H_{28}O_2$	
Palmitic	$C_{16}H_{32}O_2$	
Palmitoleic	$C_{16}H_{30}O_2$	
Stearic	$C_{18}H_{36}O_2$	
Oleic	$C_{18}H_{34}O_2$	
Linoleic	$C_{18}H_{32}O_2$	
Linolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	
Ricinoleic	$C_{18}H_{34}O_3$	

Şekil 3. Bitkisel yağlardaki yağ asitleri ve kimyasal yapısı (Katna vd., 2020)

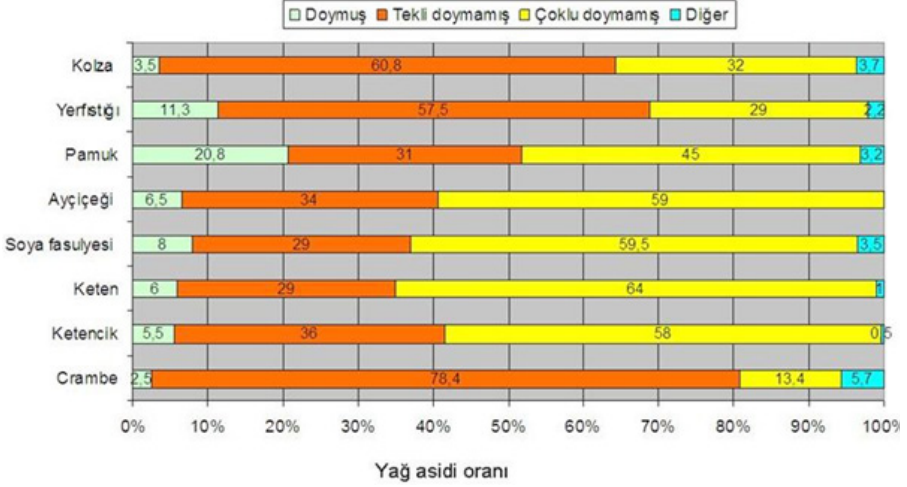
Bitkisel yağlardaki yağ asitleri, yağlayıcılarda arzu edilen özellikleri sağlayan bir anahtar konumundadır (Shashidhara & Jayaram, 2010). Yağ asidinin türü ve doyma derecesi, yağın kayganlığını ve viskozitesini belirler (Katna vd., 2020). Yağ asitleri, bitkisel yağların metalik yüzeylerle güçlü bir şekilde etkileşime girerek, yüksek mukavemetli yağ filmi oluşturmaları sonucu sürtünmeyi ve aşınmayı azaltmalarını sağlar (Lawal vd, 2012). Çünkü fiziksel adsorpsiyon tabakasının oluşturulduğu sınır yağlama oluşturarak çalışan bitkisel yağlarda; $-OH$, $-COOH$, $-COOR$ gibi polar grupların varlığı, metal yüzeye karşı güçlü bir afinite ile sonuçlanır ve böylece güçlü yağ filmi tabakası oluşumu nedeniyle sürtünme azalır (Katna vd., 2020). Daha uzun

polar karbon zincirlerinin daha güçlü etkileşimler yaratması, sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasını sağlar (Gajrani & Sankar, 2017; Katna vd., 2020). Ayrıca güçlü moleküller arası etkileşim, sıcaklıktaki değişikliklere karşı dirençli olduğu için kararlı veya daha yüksek bir viskozite katsayısı sağlar (Lawal vd, 2012). Farklı bitkisel yağların içerdiği yağ asitlerinin kimyasal yapısı Çizelge 1’de sunulmuştur. Yağ asitlerinin oranı, bitki tipinin yanında, iklim koşullarına ve hava durumuna bağlıdır (Shashidhara & Jayaram, 2010).

Çizelge 1. Bitkisel yağların yağ asidi yapısı (Shashidhara & Jayaram, 2010)

Fatty acid	Soybean	High oleic Soybean	Sunflower	Rapeseed	Palm	Pongamia pinnata	Jatropha curcass	Olive	Castor	Neem	Linseed	Coconut
C 14: 0	-	-	-	-	1.50	7.90	-	0.10	-	-	-	-
C 16: 0	1.50	6.0	6.0	9.8	43.0	4.0	12-17	17.3	-	15.0	5.0	9.0
C 16: 1	10.4	-	-	-	-	-	-	-	-	22.0	-	-
C 18: 0	4.30	3.0	3.0	1.6	5.0	2.0	6.7	2.7	2-3	19.0	3.0	2.0
C 18: 1	24.4	85.0	17.0	18.4	40.0	62.0	37-63	60.7	3-5	49.0	22.0	7.0
C 18: 2	51.6	4.0	74.0	16.8	10.0	12.0	19-41	4.40	3-5	9.50	17.0	1.0
C 18: 3	7.7	2.0	6.0	6.5	-	-	-	0.5	80-90	-	52.0	-
C 20: 0	-	-	Traces	9.2	0.5	10.0	-	-	-	-	-	-
C 20: 1	-	-	-	-	-	4.0	-	-	-	-	-	-
C 22: 0	0.5	-	Traces	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C 22: 1	-	-	-	37.7	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72.0*

Daha yüksek bir doyumluk derecesi bitkisel yağı oksidasyona daha az duyarlı hale getirir. Örneğin hindistan cevizi yağı yüksek miktarda laurik asit ve %90’dan fazla doyumluğa sahiptir, bu da oksidasyona karşı güçlü bir direnç sağlar. Öte yandan, hurma yağı, ona makul bir kayganlık derecesi veren aynı sayıda doymuş ve doymamış yağ asidine sahiptir. Ayçiçek yağında alfa-tokoferol bulunması oto-oksidasyonu önler. Risinoleik asit, hint yağında yüksek miktarda bulunur ve hint yağında yüksek viskoziteden sorumludur. Bununla birlikte, oksidasyonun serbest yağ asitleri ürettiğini görmek ilginç olmakla beraber bu yağ asitleri bahsedilen bu yağların sınır yağlama özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir (Vižintin vd., 2000; Atabani vd., 2013).



Şekil 4. Doymuş ve doymamış yağ asitleri kompozisyonu bakımından bitkisel yağların karşılaştırması (Lühs & Friedt, 1994; Schuster, 1992; Aufhammer, 1998).

Bitkisel yağların oksidasyon kararlılığı, yukarıda belirtildiği üzere içerdikleri doymamış yağ asitlerinin oranına bağlıdır. İyi oksidasyon kararlılığı ve yüksek erime noktası için muhteviyatındaki doymamış ürünlerin oranı az olmalıdır (Gajrani & Sankar, 2017). Şekil 4’de doymuş ve doymamış yağ asitleri kompozisyonu bakımından bazı bitkisel yağlar karşılaştırılmıştır (Lühs & Friedt, 1994; Schuster, 1992; Aufhammer, 1998). Daha yüksek bir doyma derecesi, yağ asitlerinde daha yüksek kayganlık sağlar. Doymuş bir yağ asidi, doymamış olandan daha iyi yağlama sağlar. Mineral yağlarda rastgele hizalanan ve dolayısıyla daha zayıf bir yağ filmi oluşumuna nazaran, yağ asitlerinin polar doğası yönlendirilmiş moleküler düzeyde bir film tabakası oluşumunu sağlar (John vd., 2004; Biresaw & Mittal, 2008). Ayrıca doymamışlık, bitkisel yağların mineral yağlardan daha iyi biyolojik olarak parçalanabilirliğine yol açar (Katna vd., 2020). Diğer yandan, içerdikleri doymuş yağ asidi oranı düşük olanlar kalitesi yüksek yemeklik yağ sınıfına girerken, ihtiva ettikleri çoklu doymamış yağ asitleri, bitkisel yağın raf ömrünü kısaltmanın yanı sıra yanmaya karşı da hassasiyetini artırır (Kurt &

Seyis, 2008).

Yağ asitlerinde bulunan doymuş ve doymamış uzun zincirler iyi tribolojik özellikler verse de, ne yazık ki performansları düşük oksidatif stabiliteden etkilenir. Ancak doymamışlığın giderilmesi bu eksikliği iyileştirebilir. Ayrıca yağın akışkanlığı, yağın kimyasal yapısından etkilenir. Zincir uzunluğu kayganlığı ve viskozite indeksini olumlu yönde etkilerken akışkanlığı ve oksidatif kararlılığı azaltır ve uçuculuğu artırır. Dallanmış zincir akışkanlığı artırır, ancak uçuculuğu ve kayganlığı azaltır ve moleküldeki doymamışlık oksidatif kararsızlığı ve kayganlığı artırır. Bitkisel yağlar, mineral yağlara göre daha yüksek viskoziteye ve yüksek viskozite indeksine sahiptir. Doymuş yağ asitleri, oksidatif stabilite açısından doymamış yağ asitlerinden üstündür. Oksidasyon hızı, doymamışlık derecesine ve ayrıca bitkisel yağda bulunan yağ asidinin türüne bağlıdır. Çünkü linoleik asidin oksidasyon hızı oleik asitten 10 kat fazla iken, linolenik asidin oksidasyon hızı oleik asitten 100 kat fazladır (Fox & Stachowiak, 2007). Çeşitli bitkisel yağların fiziko-kimyasal veya reolojik özellikleri Çizelge 2’de sunulmuştur (Shashidhara & Jayaram, 2010; Gajrani & Sankar, 2017).

Çizelge 2. Bitkisel yağların reolojik özellikleri (Shashidhara & Jayaram, 2010)

Properties	Soybean	High oleic soyabean	Sunflower	Rapeseed	Joboba	Pongammiapinata	Jatropha curcass	Neem	Castor
Kinematic viscosity@40 1C (cSt)	32.93	41.34	40.05	45.60	24.9	43.0	47.48	68.03	220.60
Kinematic viscosity@100 1C (cSt)	8.08	9.02	8.65	10.07	6.43	8.30	8.04	10.14	19.72
Viscosity index	219	-	206	216	233	172	208	135	220
Saponification value(mgKOHg ₋₁)	189	-	-	180	94.69	179	196.80	166	180
Total acidvalue(mgKOHg ₋₁)	0.61	0.12	-	1.40	1.10	22	3.20	23	1.40
Iodine value(mglg ₋₁)	144	85.9	-	104	98	78	97	66	87
Pour point(0 1C)	-9.0	-	-12.0	-12.0	9.0	-9.0	0	9.0	-27.0
Flash point(0 1C)	240	-	252	240	-	-	240	-	250

Değişken boyutlu moleküllere sahip olan mineral yağlara kıyasla bitkisel yağların molekül boyutları oldukça homojendir. Bu durum fiziksel parametrelere göre bitkisel yağların özelliklerinin daha az değişmesine sebep

olur (Ulrich, 2002). Bitkisel yağlar benzer yapıda olduklarından, yalnızca dar bir viskozite aralığında yağlayıcı olarak kullanılabilirler. Yağın yapısındaki moleküller aralarındaki kuvvetli etkileşim, güçlü bir yağ filmi oluşmasını sağlarken, düşük sıcaklık özelliklerinin zayıflamasına sebep olur (Lawal vd., 2012). Mineral yağlara göre bitkisel yağların molekül ağırlığının ve kaynama noktasının daha yüksek olması buğulanmayı ve buharlaşmayı azaltır (Khan & Dhar, 2006). Bitkisel yağlar, mineral yağlara kıyasla daha yüksek parlama noktasına sahiptir ki bu durum duman oluşumunu ve yangın tehlikesini azaltır (Ulrich, 2002; Woods, 2005). Mineral yağlara nazaran daha yüksek viskozite indeksine sahip olan bitkisel yağlarda, sıcaklık arttıkça viskozite daha yavaş azalır. Bitkisel yağlar, yüksek çalışma sıcaklığı ve yüksek viskozite aralığında daha stabil yağlama sağlarlar (Woods, 2005).

3. ENDÜSTRİYEL KULLANIM ALANLARI VE UYGULAMALARI

Son yıllarda, soya fasulyesi, ayçiçeği, kolza, kanola, palm, jatropha, zeytin, neem, karanja, hint yağı ve hindistancevizi yağı gibi sebze ve tohumlardan elde edilen çeşitli bitkisel yağların geliştirilmesi ve performans değerlendirmesi için araştırmalar devam etmektedir (Abdalla vd., 2007; Gryglewicz vd., 2003; De Chiffre & Belluco 2002; Clarens vd., 2004; , Alves & De Oliveira, 2006; Shashidhara & Jayaram, 2010). Fakat, Blazer (İsviçre), Cargill Industrial Oils & Lubricants (ABD), Renewable Lubricants (ABD) gibi az sayıda şirket, bitkisel yağların ticarileştirilmesi için uğraşmaktadır (Shashidhara & Jayaram, 2010). Diğer yandan literatürde incelenen bitkisel yağların yüzde 80'inden fazlası yemeklik (yenebilir) yağlar olduğu ve genel performanslarının iyi olduğu belirtilmiştir (Kazeem vd, 2022). Genel olarak, bitkisel yağların potansiyel uygulama alanları Çizelge 3'de listelenmiştir (Shashidhara & Jayaram, 2010).

Çizelge 3. Bitkisel yağların Uygulamaları (Shashidhara & Jayaram, 2010).

-
- İki zamanlı deniz motor yağları
 - Zincir testere ve testere yağları
 - Demiryolu tekerleği yağlayıcıları
 - Kamyon merkezi sistem yağları
 - Tel halat yağları
 - Bina ve köprü yapımında, derin ve yeraltı işlerinde, ormanlarda ve tarım ekipmanlarında kullanılan makineler için hidrolik yağlar
 - Kanalizasyon arıtma tesisleri için yağlayıcılar
 - Su bendi tesisleri ve kapı kiliti mekanizması
 - Gıda endüstrisi için yağlayıcılar
 - Kar motosikletleri ve kayak pisti bakım ekipmanları için yağlayıcılar
 - Metal işleme ve metal şekillendirme işlemleri
 - Genel olarak içten yanmalı motorlar ve hidrolik sistemler.
-

Diğer yandan gıda olarak tüketilen veya tüketilmeyen bazı bitkisel yağ türlerinin listesi ve spesifik uygulamaları Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4’de belirtildiği üzere, gıda maddesi olarak yaygın olarak kullanılan soya ve ayçiçeği yağları petrol bazlı malzemeler yerine yenilenebilir bir kaynak olarak kullanılma potansiyeline sahiptirler (Woerfel & Erickson, 1995). Fakat soya ve ayçiçeği esaslı ürünler, gıda sektöründe kullanılan tarım ürünlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bunların yerine yenmeyen bitkisel yağların, gıda zinciri sistemi ve dolayısıyla tüm sürdürülebilirlik üzerindeki minimum etkisi nedeniyle endüstride kullanılmaları umut verici görünmektedir. Bu nedenle özellikle Hindistan alt kıtasında bol miktarda bulunan; jatropha, kranj, mahua, neem (nim) bitkileri, gıda maddesi olarak kullanılmayan alternatif bitkisel yağ kaynaklarına örnek olarak verilebilir (Valaki vd., 2014).

Çizelge 4. Bazı bitkisel yağların potansiyel uygulamaları (Shashidhara & Jayaram, 2010)

Bitkisel yağ tipi	Uygulama
Soya yağı	Yağlayıcılar, biyodizel yakıt, metal kesme-işleme ve kalıplama yağları, baskı mürekkepleri, boyalar, kaplamalar, sabunlar, şampuanlar, deterjanlar, dezenfektanlar, plastikleştiriciler, hidrolik yağlar
Kanola yağı	Hidrolik yağlar, traktör şanzıman sıvıları, metal kesme ve işleme sıvıları, gıda sınıfı yağlar, nüfuz eden yağlar, zincir yağları
Kolza yağı	Zincir testere yağlayıcıları, hava kompresörü-tarımsal ekipman, biyolojik bozunabilen gresler
Donyağı	Buhar silindiri yağları, sabunlar, kozmetikler, yağlayıcılar, plastikler
Ayçiçeği yağı	Gres yağı, alternatif dizel yakıt
Aspir yağı	Açık renkli boyalar, dizel yakıt, reçineler, emayeler
Keten tohumu yağı	Kaplamalar, boyalar, cilalar, vernikler, renk koyulaştırıcılar
Krembi (Crambe) yağı	Gres, ara kimyasallar, yüzey aktif maddeler
Palmiye (Hurma) yağı	Çelik haddeleme yağları, gres
Hint yağı	Dişli yağları, gresler
Hindistan cevizi yağı	Gaz motoru yağları
Zeytinyağı	Otomotiv yağları
Jajoba yağı	Gres, kozmetik endüstrisi, yağlayıcı uygulamaları
Kufeya (Cuphea) yağı	Kozmetik ve motor yağı

3.1. Endüstriyel Yağlayıcılar

Mekanik temaslarda sürtünmeyi ve aşınmayı önleyen ve veya azaltan yağlayıcıların gerek dünya endüstrisi, gerekse ekonomik gelişme üzerinde önemli bir rolü vardır. Yağlayıcılar, sanayinin tüm sektörlerinde makine ve malzemelerinin yağlanması için kullanılmaktadır. Erken uygarlıklar dönemine ait tarihsel kayıtlardan, bitkisel yağların birtakım yağlama işlemlerinde kullanıldığı anlaşılmaktadır (Schey, 1970). Bu yağlayıcılara, zeytinyağı, palm yağı, hintyağı ve diğer yağlı tohumlardan elde edilen bitkisel yağlar dâhil edilebilir. Özellikle tel çekme işlemini kolaylaştırmak için kullanılan yağlayıcıların hali hazırda mevcut olan sıvılar olduğunu varsaymak mantıksız değildir. 1735'te Leupold, pürüzlü yüzeylerin yağlanması için bitkisel yağları da önermiştir (Dowson, 1979). Ayrıca, 1850'lerde petrolün keşfinden önce, metal kesme ve işleme sıvısı kaynağı olarak bitkisel yağların kullanıldığı belirtilmiştir (Albert, 2014). Petrolün keşfinden sonra, metal işleme vb endüstriyel işlemlerde bitkisel yağların yerine petrol (mineral) esaslı yağlar temel yağlayıcı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Albert, 2014).

Günümüzde, dünyada kullanılan yağlayıcıların yaklaşık %85'i petrol bazlı yağlardır (Pop vd., 2008). Petrol bazlı yağların aşırı kullanımı çevre üzerinde birçok olumsuz etki yaratmıştır. Başlıca olumsuz etkiler, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi, hava kirliliği, toprağın kirlenmesi ve sonuç olarak tarımsal ürün ve gıda kirlenmesi şeklinde sıralanır (Birova vd., 2002). Ayrıca çalışanlardaki meslek hastalıklarının yaklaşık %80'inin petrol esaslı mineral yağların cilt ile temasından kaynaklandığı bildirilmektedir (Bennett, 1983; HSE, 1994). Bu zorlukların üstesinden gelmek için, bilim adamları ve tribologlar tarafından petrol bazlı mineral yağlara çeşitli alternatifler araştırılmaktadır. Alternatifler arasında ilk sırada yer alan ve fiziksel özellikler açısından mineral yağlara benzeyen bitkisel yağlar, çevre dostu, yenilenebilir, daha az toksik ve biyolojik olarak kolayca bozunabilir oldukları için petrol bazlı yağların yerine kullanılacak çekici doğal kaynaklardır.

Bitkisel esaslı yağlayıcıların uygulamalarına örnek olarak; iki zamanlı motorlar (motosiklet motorları, kayık motorları, çeşitli tarım makinesi motorları, vb.), ağaç kesme ve budama motorlarındaki kesici zincirler, konveyörler, iletim ve kaldırma makinalarında kullanılan adhesif yağlayıcılar, inşaat, maden, deniz araçlarında kullanılan zincir yağlayıcıları, demiryolu

rayları, inşaat beton kalıplarında kullanılan yağlayıcılar, tarım, inşaat ve çeşitli açık sistemli üretim makinaları için gresler, halat ve makara yağlayıcıları, hidrolik ve pnömatik sistemlerdeki yağlayıcılar ve metal işleme ve kesme yağları sıralanabilir (Shashidhara & Jayaram, 2010).

Diğer yandan bitkisel esaslı yağlayıcıların geliştirilmesi için araştırmalar devam etmektedir. John ve arkadaşlarının (John vd., 2004) geliştirdikleri su bazlı bitkisel yağ emülsiyonu formülasyonu ile soya fasulyesi yağı, kükürt, ozon ve oksijen ile modifiye edilerek emülsiyonlar hazırlanmıştır. Polioksietilen sorbitan tetraoleat ve etoksillenmiş oleik asit ester kullanılarak elde edilen emülsiyonların modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş tüm yağlar için stabil olduğu bildirilmiştir. Modifiye edilmemiş yağlara kıyasla, hem ozonla, hem de kükürt ile modifiyeli yağların viskozitesinde bir artış fark edilmiştir. Ayrıca, modifiye edilmiş emülsiyonların tümü mükemmel pas önleme özelliği sergilemişlerdir. Bir başka çalışmada Singh ve Gupta (Singh & Gupta, 2006), Asya'nın kuru tropikal bölgelerinde yaygın olarak bulunan neem, karanja ve pirinç kepeği gibi gıda maddesi sınıfına girmeyen bitkilerin yağlarını kullanarak, çevre dostu çözünebilen endüstriyel yağlayıcılar geliştirmişlerdir. Tüm bitkisel yağlardan hazırlanan çözünür yağlar, %90 biyolojik parçalanabilirlik sergilerken, herhangi bir toksisite de oluşmamıştır. Sonuç olarak, neem yağı esaslı formülasyonların diğer iki yağdan daha iyi olduğu bildirilmiştir.

3.2. Biyodizel Üretimi

Dünyada ve ülkemizde nüfus artışına paralel artan ihtiyaçların tetiklediği ekonomik büyümeden dolayı enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır (Sezek, 2018). Bununla birlikte fosil yakıt kaynaklarının giderek azalması, fosil yakıtların çevre ve insan sağlığına olan zararlı etkileri ve toplumlarda artan çevre bilinci sonucu sürdürülebilirlik açısından enerjinin çevre dostu, yenilenebilir kaynaklardan sağlanması gündeme gelmiştir (Tekin, 1998). Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin giderek artması sonucu bu konuda yeni yatırımlara ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu yüzden, biyoenerjide kullanılacak bitki ve bitki türlerine yeterli önem gösterilerek biyokütleden yeterince faydalanılmalıdır. Ülkemizin mevcut potansiyeli göz önüne alındığında, özellikle biyodizel gibi yenilenebilir enerji elde etmek için

çok elverişli koşullara sahip olduğu görülmüştür (Sezek, 2018). Petrolün, ekonomik ve sürdürülebilir olmayışından dolayı, son yıllarda gelişmiş ülkeler başta olmak üzere dünyada petrole alternatif olabilecek çevre dostu sürdürülebilir yeni bir yakıt arayışı sonucunda bitkisel yağlardan biyodizel yakıt üretilmiştir (Arıoğlu, 2016). Bitkisel yağların kısa zincirli alkol (metanol veya etanol) ile reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, dizel motorlar, jeneratörler ve kaloriferlerde yakıt olarak kullanılabilmesinin yanında yüksek yağ içeriğinden dolayı motor, şanzıman vb. makine elemanlarının yağlanması da kullanılabilen ürüne biyodizel denilmektedir. 2014 yılı verilerine göre dünyada 17 milyon ton bio-dizel üretimi gerçekleşmiştir (Arıoğlu, 2016). ABD ve Avrupa ülkelerinde özellikle yük taşıyan araçlarda ve iş makinelerinde kullanılan biyodizelin, yakıt etkinliği açısından petrol esaslı dizel yakıttan farkının olmadığı belirtilmektedir (Tekin, 1998).

Alternatif bir enerji kaynağı olan biyodizel yakıt, bitkisel yağlar, atık yağlar ve hayvansal yağlardan üretilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Gül vd., 2010; Kaya, H. 2020). Hayvansal yağların az olması, atık yağların dönüşüm prosesinin ise maliyetli olması bitkisel yağları biyodizel üretimi için en uygun kaynak olarak ön plana çıkarmıştır. Ayçiçeği, pamuk, kanola, aspir ve kenevir gibi bitkilerden direkt olarak bir katalizör yardımı ile biyodizel üretilebilmektedir. Yağlı tohumlu bitkilerden biyodizel yakıt üretmek için harcanan enerji miktarı, petrolden yakıt üretmek için harcanan enerjinin yaklaşık %32'si kadar olması bitkisel yağların sağladığı diğer bir avantajdır. Tohumlarının yağ içeriği yüksek, insan gıdasında kullanılmayan, farklı ekolojik koşullara kolayca adapte olabilen yağlı tohumlu bitkiler biyodizel üretiminde öncelikle tercih edilirler (Alptekin vd., 2014; Yurtvermez & Gıdık, 2021).

Diğer yandan bitkisel yağların, düşük sıcaklıklarda zayıf akış, düşük uçuculuk ve yüksek viskozite gibi özelliklerinden dolayı direkt dizel yakıt olarak kullanımı sınırlıdır (Ali vd., 1995; Dunn vd., 1996; Tekin, 1998). Bitkisel yağlardaki mum, fosfoid ve yüksek derecede ergiyen gliseritlerin yanında yakıt depolarında ve yanma odalarında oluşan polimerizasyon ve oksidasyon biyodizel yakıtta bir takım sorunlara neden olur. Bu sorunlar, kristallenmeye bağlı enjektör ve piston tıkanıklığı, viskozitede yükselme, yanma sonrası karbon kalıntılarının fazlalığı ve atomizasyonun yetersizliği şeklinde sıralanabilir. Transesterifikasyon, proliz, dilüsyon ve mikroemülsifikasyon gibi teknikler

kullanılarak bu sorunların çözümü için çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca bu problemlerin üstesinden gelmek için dizel yakıt üretiminde kullanılacak bitkisel yağların yapışkan maddelerden arındırılmış olması istenir (Bagby, 1987; Tekin, 1998).

Fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir bir enerji olan biodizel yakıt üretiminde; soya yağının (Kinney & Clemente, 2005), ayçiçeği yağının (Bawadi vd., 2005), çığıt yağının (Saraç, 2011), aspir yağının (Karabaş, 2013; Eryılmaz vd., 2014), pelemir yağının (Öğüt vd, 2014), kolza yağının (Çalışır vd., 2005; Gizlenci vd., 2012), krembi yağının (Xu vd., 2010) ve ketencik yağının (Fröhlich & Rice, 2005; Soriano & Narani, 2012) iyi bir kaynak hammadde olduğu yapılan araştırmalar neticesinde bildirilmiştir. Diğer yandan dünyada, genellikle bir bölgede en fazla ekilen yağlı tohum bitkisi, biyodizel üretimi için birincil bitkisel yağ kaynağı olarak kullanılır. Fakat bu bitkisel yağların birçoğunun hem pahalı, hem de insan gıdası olarak kullanılması, ekonomik sürdürülebilirlik açısından ciddi endişe doğurmaktadır. Bu sebeple, biyodizel üretimi için tohumları yüksek oranda yağ içeren, arzu edilen yağ asidi içeriğine sahip, tarımsal girdi açısından ucuz, ek yatırım gerektirmeden mevcut tarımsal ekipmanlar ile üretilebilen, hatta tarım dışı arazilerde bile yetişebilen alternatif bitkisel yağ kaynaklarına ihtiyaç vardır (Moser & Vaughn, 2010; Sevilmiş vd., 2019).

3.3. Boya, Vernik v.b., Ürünlerin Üretimi

Gelişen teknoloji ile birlikte sentetik ürünlerin üretimi artarken doğal ürünlerin üretimi azalmıştır. Fakat sentetik ürünlerin alerji gibi insan sağlığına olan fark edilmesi ile hammaddesi doğal ürünler tekrar gündeme gelmiştir. Örneğin ahşap malzemelerin çürümesini önlemek için üzerine sürülen sentetik vernik, koruyucu sıvılar ve boyalar yerine insan sağlığına ve çevreye zararsız doğal bitkisel yağlar ve bitkisel yağ esaslı ürünler kullanılmaya başlanmıştır. Ahşap malzemeye emdirilen (emprenye) bitkisel yağlar, malzeme yüzeyinin hidrofobik özellik kazanmasını sağlayarak ortamdaki nemden etkilenmesini önler. Yüzeydeki hidrofobik özellik, ahşap malzemedeki rutubet oranının azalmasını, yüzeyde mantar oluşumunun engellenmesini ve malzemenin çürümesini engelleyerek kullanım ömrünün uzamasını sağlar. Bunların yanında çabuk kuruma özelliğinden dolayı, özellikle ressamların kullandığı

boyalar ve iç-dış cephe duvar boylarının üretiminde kullanılır. Ayrıca dış ve iç cephe boylarına su tutmayı engelleyici özellik katmak için kullanılırlar. (Koski & Ahonen, 2008; Yurtvermez & Gıdık, 2021). Bitkisel yağların ahşap malzemeler üzerindeki etkileri Çizelge 5’de sunulmuştur.

Çizelge 5. Bitkisel yağların ahşap malzemeler üzerindeki etkileri (Yurtvermez & Gıdık, 2021)

Yağ Çeşidi	Emprenye Edilen Ahşaptaki Bulgular
Bezir ve Kenevir yağı	Kayımda %40-50 ağırlık artışı ve %25’den daha az rutubet, Sarıçamda %100 ağırlık artışı
Palm yağı, Soya yağı ve Vaks	Ladinde %20-40 nemlenme değeri ve %40 çekmeyi önleme
Kanola yağı	Sarıçamda yoğunluğun 2 kat artışı, %50 rutubette azalma, Termitlere karşı iyi biyolojik dayanım
Fındık yağı	%27 ve üstü konsantrasyonda formosan termitlerine karşı etkin
Piroliz yağı	Sarıçamda dolu hücre yönteminde 800 kg/m ³ retensiyon, boş hücre yönteminde 300 kg/m ³ retensiyon, %60-90 oranında DÖE değeri
H. cevizi yağı, Odun yağı, Bezir yağı ve 3 tip tall yağı	%20 nemlenme değeri, 96 saatlik su alma deneylerinde örneklerde %66-89 su itici etkinlik değerleri

3.4. Mürekkep Üretimi

Petrol fiyatlarının 1970’li yıllarda hızla yükselmesi sonucu mürekkep üretimi için yenilenebilir kaynak arayışına giren sektör ve araştırmacılar, fiziksel özellikler bakımından mineral yağlara benzeyen bitkisel yağlara yoğunlaşmışlardır. Araştırmalar sonucunda 1985 yılında, rafine soya yağı, tresin, pigment ve antioksidan formülasyonuna sahip, siyah ve renkli

baskılarda kullanılabilen ilk jenerasyon adı verilen mürekkep üretilmiştir (Monhiyan, 1983; Monhiyan, 1985a; Monhiyan 1985b). Ardından petrol esaslı resin kullanımını tamamen ortadan kaldıran yine soya yağı esaslı ikinci jenerasyon adı verilen formülasyon geliştirilmiştir (Erhan & Bagby, 1991; Bagby & Erhan, 1993). Eğer kuruma hızı geliştirilirse, gelecekte baskı işlemlerinin tümünde soya esaslı mürekkepler kullanılabilir (Tekin, 1998).

3.5. Kozmetik Üretimi

Bitkisel yağlar, zengin antioksidan içeriklerinin yanında çoklu doymamış yağ asitlerinin özel dermatolojik etkilerinden dolayı kozmetik ürün üretimi için çok elverişlidirler (Korsrud vd., 1978). Özellikle cilt bakımında kullanılan ürünler olmak üzere genel olarak mevcut kozmetik ürünlerde 400 çeşit bitkinin kullanıldığı bilinmektedir. Muhteiyatındaki fenolik bileşiklerden dolayı yükek antioksidan özelliğe sahip olan bitkisel yağlar, cildi sürekli yenileyen yaşlanma karşıtı ürünlerde, E vitamini, retinol ve antioksidan sağlayıcı olarak yer alırlar. Ayrıca fındık yağı, zeytinyağı ve kantaron yağı gibi bitkisel yağlar, cildin yumuşatılması ve pürüzsüzleştirilmesi için üretilen emoliyan yağ ve kremler ile cildi temizleyen, nemlendiren ve canlandıran astrenjen ve antibakteriyel ürünlerde kullanılırlar (Yurtvermez & Gıdık, 2021). Diğer yandan cilt pürüzsüzlüğünde ve bakımında çok etkili olan yüksek E vitamini içeriğinden dolayı çiğit yağı, cilt bakımında kullanılan kozmetik ürünlerin üretiminde kullanılır (Saraç, 2011). Yüksek E vitamini içeriğinin sağladığı doku ve hücreleri yenileyici etkisinden dolayı bazı merhemlerin bileşiminde kullanılan haşhaş yağı, ciltte daha bir genç görünüme ve hücre işlevlerinin düzenlenmesine yardımcı olur (İpek & Arslan, 2012).

3.6. İlaç Üretimi

İnsanlar tarih boyunca hastalıklarla mücadelede ve tedavi yöntemlerinde bitkileri kullanagelmişlerdir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, özellikle gelişmiş ülkeler başta olmak üzere dünya nüfusunun %70-80'nin hastalıklara karşı mücadelede ve korunmada bitkisel ilaçları tercih ettikleri belirtilmiştir (Zhang & WHO, 2002; Kaşkoniené vd., 2009). Bunun yanında gelişmiş

ülkelerin birçoğunda, ilaçların belli bir oranda bitkisel içerik ihtiva etmesi kanunla zorunlu hale getirilmiştir (Farnsworth vd., 1985).

Sentetik ilaçlara nazaran bitkisel ilaçların yan etkilerin daha az olması ve kolay ulaşılabilir olmaları bitkisel ilaçlara olan ilgiyi artırmaktadır (Göktaş & Gıdık, 2019). Ülke genelinde gıda olarak tüketilen yağlar ve yağların kalitesi, o toplumun gelişmişlik düzeyine işaret eder. Bitkisel yağların, kimyasal yapısındaki karbon atomu sayına, karbon zinciri uzunluğuna ve çift bağ içeriğine bağlı olarak, kanser, patojenik, kardiyovasküler hastalıklar ve diğer rahatsızlıkların tedavisinde önemli rol oynadığı belirtilmiştir (Liu, 2004; Hoşgün, 2015).

Genel olarak bitkisel yağlar, oleik asit (omega-9), linoleik asit (omega-6), linolenik asit (omega-3), araşidonik asit, erusik asit gibi doymamış asitlerin yanında palmitik asit ve stearik asit, behenik asit ve araşidik asit gibi doymuş yağ asitleri de içerir (Kolsarıcı vd., 1995; Kadiroğlu, 2008; Meral, 2019). Bitkisel yağlar; insan vücudu tarafından üretilemediğinden dolayı besinler ile alınabilen temel yağ asitlerinden, oleik asit (omega-9), linoleik (omega-6) ve linolenik (omega-3) asitleri bakımından oldukça zengindirler (Hoşgün, 2015). Bitkisel yağlarda kaliteyi yükselten linoleik asit; yağın doyunluğunu düşürüp, kana geçmesini ve hazmını kolaylaştırırken, hücre zarı yapısına geçtiğinde ise kolesterolü düşürür (Kolsarıcı vd., 1995; Meral, 2019). Başka bir deyişle, yağdaki yüksek orandaki linoleik asit (omega-6) ve linolenik asit (omega-3), LDL kolesterolünün sağlığa zararlı etkilerine karşı kalp ve damar sağlığını muhafaza ederken, oleik asit (omega-9) ise, iyi kolesterol olarak bilinen HDL oluşumuna katkı sağlar. Sonuç olarak, doymamış yağ asitlerinin, kronik kalp rahatsızlıkları ve damar sertliği gibi hastalıkların tedavisinde etkili olduğu belirtilmiştir (Thompson vd., 1996).

Bitkisel yağların içerdiği antioksidanlar, kanser ve diğer hastalıklara karşı bağışıklık sisteminin güçlenmesini sağlarlar. Ayrıca iyi seviyedeki karbonhidrat içeriklerinin yanında bol miktarda potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfor, kükürt, çinko ve demir gibi minerallerle beraber A, B, K ve E vitaminleri bakımından da oldukça zengindirler (Kadiroğlu, 2008; İpek & Arslan, 2012). Bunların yanında bitkisel yağlarda bulunan yüksek E vitamini (alfa-tokoferol), hafızanın güçlenmesi ve sinir sistemi işleyişinin düzenlenmesinin yanında doku ve hücreleri yenileyici etkisinden dolayı yaraların ve hücre hasarlarının tedavisinde etkilidir (İpek & Arslan, 2012).

Diğer yandan, özellikle haşhaş bitkisinin kapsülünden, tıpta birçok önemli ilacın üretiminde hammadde olarak kullanılan, genel olarak “afyon” adı verilen 20 çeşit alkaloid (morfin, narkotin, kodein, tebain, papaverin vb.) elde edilir. Uyuşturucu madde olan bu afyon türevi alkaloidler, ağrı kesici ilaçların ve uyku verici ilaçların içeriğinde yer alan maddelerdir (Kolasarıcı vd., 2005). Aromaterapide masaj yağı olarak kullanılan haşhaş yağı, mesane iltihabına, raşitizme ve sıraca rahatsızlığının tedavisinde faydalıdır (İpek & Arslan, 2012). Ayrıca kolesterol bulunmayan soya yağında yüksek miktarda bulunan proteinlerin kanser ve kalp hastalıkları gibi kronik hastalıklarla mücadelede (Lucas vd., 2001; Tosun 2003), osteoporoz (kemik erimesi) riskini azaltmada (Arjmandi vd.,1998) ve kronik böbrek rahatsızlıklarının tedavisinde (Ranich vd., 2001) faydalı olduğu uzmanlarca belirtilmiştir (Bayar & Yılmaz, 2005). Bunların yanında ayçiçeği yağının, bağışıklık sistemini güçlendirmek ve kalbi korumanın yanı sıra prostat ve kolon kanserlerini engelleyerek, kansere karşı yüksek derecede koruyucu olduğu tespit edilmiştir (De Leonardis vd., 2003).

4. BİTKİSEL YAĞLARIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Bitkisel yağlar, doğada sürdürülebilir olmalarının yanı sıra petrol esaslı mineral yağlara göre çok sayıda avantaja sahiptir. Çizelge 4, bitkisel yağların, mineral yağlara göre avantaj ve dezavantajlarını göstermektedir. Bitkisel yağların dezavantajları, kimyasal ve genetik modifikasyonun yanı sıra baz stoğun yeniden formülasyonu ile çözülebilir (Shashidhara & Jayaram, 2010; Gajrani & Sankar, 2017) Bitkisel yağlar, teknik avantajlarının yanı sıra aynı zamanda bitkisel yağ kaynağı bitkilere de değer katarlar (John vd., 2004). Birçok avantajından dolayı bitkisel yağ esaslı hammaddeler, çevreci endüstriyel uygulamalarda yüksek derecede talep görmektedirler.

Çizelge 6. Bitkisel yağların mineral yağlara göre avantajları ve dezavantajları (Shashidhara & Jayaram, 2010).

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek biyolojik parçalanabilirlik	Düşük termal kararlılık
Düşük çevre kirliliği	Oksidatif kararlılık
Katkı maddeleri ile uyumluluk	Yüksek donma noktası
Düşük üretim maliyeti	Zayıf korozyon koruması
Geniş üretim olanakları	
Düşük toksisite	
Yüksek parlama noktası	
Yüksek viskozite indeksi	
Düşük uçuculuk	

Çizelge 6'da görüldüğü üzere, doğal haldeki bitkisel yağların zayıf termooksidasyon kararlılığı endüstriyel akışkan olarak kullanımını sınırlandırmaktadır. Farklı tribokimyasal işlemler boyunca stabilizeyi sağlamak için yağın yapısı; aşırı sıcaklık değişimlerine, kayma bozulmalarına, temasta olduğu malzeme ile kuvvetli fiziksel ve kimyasal adsorbsiyon gücüne sahip olmalı ve böylece mükemmel sınır yağlama özelliklerini devam ettirebilmelidir (Salman & Durak, 2011). Zayıf oksidatif stabilite tipik olarak yağ molekülündeki çift bağda meydana gelen hızlı reaksiyonlardan kaynaklanır. Serbest radikal oksidasyonu, hidrojen soyutlaması, ilave reaksiyonu, parçalanma, yeniden düzenleme, orantısızlaştırma reaksiyonu ve polimerizasyon gibi reaksiyonlar oksidatif kararlılığı azaltabilir. Bu problemler, bitkisel yağın kimyasal reaksiyonlarla yapısal modifikasyonu ile hafifletilebilir (D'Souza vd., 1991). Düşük termal özellikler ve oksidatif bozunmaya karşı düşük direnç gibi ana performans sorunları; katkı maddelerinin yeniden formüle edilmesi, bitkisel yağların kimyasal modifikasyonu ve yağlı tohumların genetik modifikasyonu gibi çeşitli yöntemlerle ele alınarak çözüm aranmaktadır (Bartz, 1998; Fox & Stachowiak, 2007).

SONUÇ

Dünyada her geçen gün artan nüfusun ihtiyacından ve ekonomik büyümeden dolayı enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Mevcut durum göz önüne alındığında önümüzdeki yıllarda yenilebilir enerji kaynaklarına olan talebin iyice artması beklenmektedir. Bu yüzden başta biyodizel yakıt olmak üzere biyoenerjide kullanılacak bitkisel yağlara ağırlık verilerek biyokütleden yeterince faydalanma sağlanmalıdır.

Fosil yakıtların, sentetik malzemelerin, mineral yağların mevcudiyeti sınırlı kaynaklara dayandığından ve giderek azaldığı için sürdürülebilir değildirler. Fakat doğal yenilenebilir kaynaklara dayanan, sürdürülebilir ve çevre dostu özellikleri nedeniyle bitkisel yağlar, petrol türevi yakıtlara, yağlara ve malzemelerin yerine potansiyel adaylardır. Doğada biyolojik olarak kolayca parçalanabilen ve toksik olmayan bitkisel yağlar, hali hazırda çeşitli endüstriyel uygulamalarda hammadde kaynağı olarak kullanılmaktadır. Dünya genelinde üretimine son yıllarda daha çok önem verilen ve insan hayatında birçok açıdan önemli bir yere sahip olan bitkisel yağların, gıda olarak kullanımlarının yanı sıra; biyo-dizel yakıt üretimi, endüstriyel yağ ve yağlayıcıların üretimi, mürekkep üretimi, ilaç üretimi, kozmetik üretimi, boya ve vernik üretimi gibi farklı kullanım alanlarının olduğu ve bu kullanım alanlarının giderek genişlediği görülmektedir.

Genel olarak endüstride kullanılan bitkisel yağların; soya, ayçiçeği, çığıt (pamuk tohumu), kanola, yer fıstığı, susam, pelemir, aspir, krembi, haşhaş, keten, kenevir, mısır (mısır özünden), zeytin, hurma (palm) ve hindistan cevizi yağları gibi gıda sektöründe kullanılan yemeklik yağlar olduğu görülmüştür. Endüstride özellikle gıda dışı bitkisel yağların kullanılması, sürdürülebilir gıda zinciri üzerinde minimum etkiye, mükemmel biyolojik bozunabilirliğe ve minimum sağlık tehlikesine sahip olacaktır. Bununla birlikte, kolza yağı, hintyağı, neem yağı, karanja yağı ve jatropha yağı gibi gıda sektöründe kullanılmayan ve az bilinen bitkisel yağların endüstride uygulanabilirliği konusunda yapılacak araştırmalar bitkisel yağların etkinliğini daha da artıracaktır. Ayrıca Türkiye'nin yerli bitkilerinden olan, yağ şalgamı, ızgın, ketencik ve hardal ile dünyada üretimi yapılan çufa ve jajoba bitkilerinin yanı sıra çay tohumu, tütün tohumu, karpuz çekirdeği, domates çekirdeği ve üzüm çekirdeği gibi yan ürünler gıda dışı endüstriyel alanlarda kullanılabilir yağ

kaynakları olarak sıralanabilir.

Sonuç olarak bitkisel yağların, petrol türevi ürünlerin neden olduğu ekolojik ve sağlık sorunlarını azaltabilecek çevreye duyarlı sürdürülebilir bir üretim sağlayacağı görülmüştür. Gelecekteki araştırmalarda, düşük termal ve oksidatif stabilite, yüksek donma noktası ve zayıf korozyon direnci gibi bitkisel yağların dezavantajlarının üstesinden gelmek için çözümlere odaklanılmalıdır. Özetle araştırmacıların, yeşil üretim için bitkisel esaslı malzemelerin seçimi, uygulama teknikleri, miktar optimizasyonu ve geri dönüşümüne odaklanmaları tavsiye olunur.

KAYNAKÇA

- Abdalla, H. S., Baines, W., McIntyre, G., & Slade, C. (2007). Development of novel sustainable neat-oil metal working fluids for stainless steel and titanium alloy machining. Part 1. Formulation development. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(1), 21-33.
- Albert, S., Choudhury, I. A., Sadiq, I. O., and Adedipe, O. (2014). Vegetable-oil based metalworking fluids research developments for machining processes: survey, applications and challenges. *Manufacturing Review*, 1-22.
- Ali, Y., Hanna, M. A., & Cuppett, S. L. (1995). Fuel properties of tallow and soybean oil esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(12), 1557-1564.
- Alptekin, E., Canakci, M., & Sanli, H. (2014). Biodiesel production from vegetable oil and waste animal fats in a pilot plant. *Waste management*, 34(11), 2146-2154.
- Alves, S. M., & de Oliveira, J. F. G. (2006). Development of new cutting fluid for grinding process adjusting mechanical performance and environmental impact. *Journal of materials processing technology*, 179(1-3), 185-189.
- Alves, S. M., & Oliveira, J. F. G. (2008, June). *Vegetable based cutting fluid-an environmental alternative to grinding process*. In 15th CIRP international conference on life cycle engineering, Sydney (pp. 664-668).
- Arıoğlu, H. (2014). *Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı Ders Kitabı*. ÇÜ Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayın No: A-70, Genel Yayın, (220).
- Arıoğlu, H. (2016). Türkiye'de yağlı tohum ve ham yağ üretimi, sorunlar ve çözüm önerileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel Sayı-2), 357-368.
- Arjmandi, B. H., Getlinger, M. J., Goyal, N. V., Alekel, L., Hasler, C. M., Juma, S., ... & Kukreja, S. C. (1998). Role of soy protein with normal or reduced isoflavone content in reversing bone loss induced by ovarian hormone deficiency in rats. *The American journal of clinical nutrition*, 68(6), 1358S-1363S.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin,

- I. A., & Fayaz, H. (2013). Non-edible vegetable oils: a critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renewable and sustainable energy reviews*, 18, 211-245.
- Aufhammer, W. (1998). *Getreide-und andere Kornerfruchtarten*. Eugen Ulmer GmbH & Co. S 560.
- Bagby, M. O. (1987). Vegetable oils for diesel fuel: opportunities for development. *American Society of Agricultural Engineers (Microfiche Collection) (USA)*.
- Bagby, M.O, Erhan, S.Z. (1993). U.S. Patent, 5122188.
- Bartz, W. J. (1998). Lubricants and the environment. *Tribology international*, 31(1-3), 35-47.
- Başoğlu, F. (2006). Yemeklik yağ teknolojileri. Nobel Yayın Dağıtım.
- Bayar, R., & Yılmaz, M. (2005). Türkiye’de soya fasulyesi ve önemi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-12.
- Bawadi, H. A., Bansode, R. R., Trappey II, A., Truax, R. E., & Losso, J. N. (2005). Inhibition of Caco-2 colon, MCF-7 and Hs578T breast, and DU 145 prostatic cancer cell proliferation by water-soluble black bean condensed tannins. *Cancer letters*, 218(2), 153-162.
- Bennett, E. O. (1983). Water based cutting fluids and human health. *Tribology international*, 16(3), 133-136.
- Biresaw, G., & Mittal, K. L. (2008). *Surfactants in Tribology, Volume 4*. CRC Press.
- Birova, A., Pavlovičová, A., & Cvenroš, J. (2002). Lubricating oils based on chemically modified vegetable oils. *Journal of Synthetic Lubrication*, 18(4), 291-299.
- Clarens, A. F., Zimmerman, J. B., Landis, H. R., Hayes, K. F., & Skerlos, S. J. (2004, July). Experimental comparison of vegetable and petroleum base oils in metalworking fluids using the tapping torque test. *In Proceedings of the Japan/ USA Symposium on Flexible Manufacturing* (pp. 19-21).
- Çalışır, S., Marakoğlu, T., Ögüt, H., Öztürk, Ö. (2005). Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera* L.). *Journal of Food Engineering*, 69(61-66).
- Debnath, S., Reddy, M. M. and Yi, Q. S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of cleaner production*, 83, 33-47.
- De Chiffre, L., & Belluco, W. (2002). Investigations of cutting fluid performance using different machining operations. *Tribology & Lubrication Technology*, 58(10), 22.
- De Leonardis, A., Macciola, V., & Di Rocco, A. (2003). Oxidative stabilization of cold-pressed sunflower oil using phenolic compounds of the same seeds. *Journal*

- of the Science of Food and Agriculture*, 83(6), 523-528.
- Dowson, D. (1979). *History of Tribology*, Longmans Green, New York.
- D'souza, V., de Man, L., & de Man, J. M. (1991). Polymorphic behavior of high-melting glycerides from hydrogenated canola oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(12), 907-911.
- Dunn, R. O., Shockley, M. W., & Bagby, M. O. (1996). Improving the low-temperature properties of alternative diesel fuels: vegetable oil-derived methyl esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(12), 1719-1728.
- Erhan, S. Z., & Bagby, M. O. (1991). Lithographic and letterpress ink vehicles from vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 68(9), 635-638.
- Eryılmaz, T., Yeşilyurt, M. K., Cesur, C., Yumak, H., Aydın, E., Çelik, S. A., & Yıldız, A. K. (2014). Yozgat ili şartlarında yetiştirilen aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Dinçer çeşidinden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2014(1), 62-75.
- Farnsworth, N. R., Akerele, O., Bingel, A. S., Soejarto, D. D., & Guo, Z. (1985). Medicinal plants in therapy. *Bulletin of the world health organization*, 63(6), 965.
- Fox, N.J., & Stachowiak, G.W. (2007). Vegetable oil-based lubricants—a review of oxidation. *Tribology international*, 40(7), 1035-1046.
- Fröhlich, A., & Rice, B. (2005). Evaluation of *Camelina sativa* oil as a feedstock for biodiesel production. *Industrial crops and products*, 21(1), 25-31.
- Gajrani, K.K., and Sankar, M. R. (2017). Past and current status of eco-friendly vegetable oil based metal cutting fluids. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3786-3795.
- Gizlenci, Ş., Acar, M., & Şahin, M. (2012). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının (Biyodizel, biyoetanol ve biyokütle) projeksiyonu. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(3), 337-344.
- Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). *Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Kullanım Alanları*. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 145-151.
- Gryglewicz, S., Piechocki, W., & Gryglewicz, G. (2003). Preparation of polyol esters based on vegetable and animal fats. *Bioresource Technology*, 87(1), 35-39.
- Gül, Ö. F., Tüter, M., & Aksoy, H. A. (2010). The utilization of waste activated bleaching earth in biodiesel production: Optimization by response surface methodology. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(19), 1812-1820.
- HSE. (1994). *Health risks from metalworking fluids – aspects of good machine design*. HSE Books, London.
- İhsulu, K. (1973). *Yağ bitkileri ve Islahı*. Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 254-255.

- İpek, G., & Arslan, N. (2012). Gıda Maddesi Olarak Haşhaş (Papaver somniferum L.) Tohumunun Değerlendirilmesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 99-101.
- John, J., Bhattacharya, M., & Raynor, P. C. (2004). Emulsions containing vegetable oils for cutting fluid application. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 237(1-3), 141-150.
- Kadiroğlu, A. (2008). *Yerfıstığı yetiştiriciliği*. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya, 53s.
- Karabaş, H. (2013). Ülkemiz Islahçı Çeşitlerinden Remzibey-05 Aspir (Carthamus tinctorius L.) Tohumlarından Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 9-17.
- Karakuş, M. Ü. (2014). 12. Uluslararası Yem Kongresi Açılış Konuşması. *Türkiye Yem Sanayicileri Birliği Dergisi*, 70, 29-40.
- Kaşkonienė, V., Maruška, A., Kornysova, O., Charczun, N., Ligor, M., & Buszewski, B. (2009). Quantitative and qualitative determination of phenolic compounds in honey. *Cheminė technologija*, 52(3), 74-80.
- Katna, R., Suhaib, M., & Agrawal, N. (2020). Nonedible vegetable oil-based cutting fluids for machining processes—a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 35(1), 1-32.
- Kaya, H. (2020). Yenilenebilir Enerji İstihdamında Küresel Durumun Değerlendirilmesi. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, (2020 Sonbahar Özel Sayı I/II), 10-21.
- Kaya, Y., Evcı, G., Durak S., and Gucer, T. (2009). Yield components affecting seed yield and their relationships in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2261-2269.
- Kazeem, R. A., Fadare, D. A., Ikumapayi, O. M., Azeez, T. M., & Adediran, A. A. (2022). Development of Bio-Cutting Fluid (*Cirtullus lanatus*) and its Performance Assessment on the Machining of AISI 1525 Steel Using Taguchi Technique and Grey Relational Analysis. *Biointerface Res. Appl. Chem*, 12, 5324-5346.
- Khan, M. M. A., & Dhar, N. R. (2006). Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 7(11), 1790-1799.
- Kılılı, F., & Beycioğlu, T. (2019). Türkiye’de ve Dünyada Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretim Durumu Türkiye Yağlı Tohum Üretimine İlişkin Önemli Sorunlar. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 1(5), 17-33.
- Kinney, A. J., & Clemente, T. E. (2005). Modifying soybean oil for enhanced performance in biodiesel blends. *Fuel processing technology*, 86(10), 1137-1147.

- Kolsarıcı, Ö., Bayraktar, N., İşler, N., Mert, M., & Arslan, B. (1995). Yağlı tohumlu bitkilerin üretim projeksiyonları ve üretim hedefleri. *IV. Teknik tarım kongresi bildiri kitabı, 1*, 467-483.
- Kolsarıcı, Ö., Gür, A., Başalma, D., Kaya, M. D., & İşler, N. (2005). *Yağlı Tohumlu Bitkiler Üretimi*.
- Kolsarıcı, Ö., Kaya, K.D., Göksoy, A.T., Arıoğlu, H., Kulan, E.G., Day, S. (2015). Yağlı Tohum Üretiminde Yeni Arayışlar. Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1, Ankara, 401-425
- Korsrud, G. O., Keith, M. O., & Bell, J. M. (1978). A comparison of the nutritional value of crambe and camelina seed meals with egg and casein. *Canadian Journal of Animal Science*, 58(3), 493-499.
- Koski, A., & Ahonen, R. (2008). *Applicability of crude tall oil for wood protection*.
- Kurt, O., & Seyis, F. (2008). An alternative oilseed crop: Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). *Anadolu Journal of Agricultural Sciences (Turkey)*.
- Lawal, S. A., Choudhury, I. A., & Nukman, Y. (2012). Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals—a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 52(1), 1-12.
- Liu, K. (Ed.). (2004). *Soybeans as functional foods and ingredients* (pp. 73-100). Champaign, IL: AOCS press.
- Lucas, E. A., Khalil, D. A., Daggy, B. P., & Arjmandi, B. H. (2001). Ethanol-extracted soy protein isolate does not modulate serum cholesterol in golden Syrian hamsters: a model of postmenopausal hypercholesterolemia. *The Journal of nutrition*, 131(2), 211-214.
- Lühs, W., & Friedt, W. (1994). The major oil crops. *Designer oil crops: Breeding, processing and biotechnology.*, 5-71.
- Meral, Ü. B. (2019). Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Bitkisinin Önemi ve Üretimine Genel Bir Bakış. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2(2), 58-71.
- Monhiyan, J.T. (1983). American Newspaper Publishers Association, U.S. Patent, 4419132.
- Monhiyan, J.T. (1985a). American Newspaper Publishers Association, U.S. Patent, 4519841.
- Monhiyan, J.T. (1985b). American Newspaper Publishers Association, U.S. Patent, 4554019.
- Moser, B. R., & Vaughn, S. F. (2010). Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel. *Bioresource technology*, 101(2), 646-653.

- Ohlson, R. (1992). *Nodfood Products Utilizing Vegetable Oils*. Proceeding of the Conference on Oilseed Technology and Utilization. Ed. Applewhite, T.H., AOCS press, 211-223.
- Onat, B., Arıoğlu, H., Güllüoğlu, L., Kurt, C., Bakal, H. (2017). Dünya ve Türkiye’de yağlı tohum ve ham yağ üretimine bir bakış. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 149-153.
- Öğüt, H., Oğuz, H., Bacak, S., Aydın, F., Uygun, S., Arslan, Y., & Subaşı, İ. (2014). Pelemir biyodizelinin teknik özelliklerinin incelenmesi. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar*, 4, 28-29.
- Pop, L., Puşcaş, C., Bandur, G., Vlase, G., & Nuşiu, R. (2008). Basestock oils for lubricants from mixtures of corn oil and synthetic diesters. *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, 85(1), 71-76.
- Ranich, T., Bhatena, S. J., & Velasquez, M. T. (2001). Protective effects of dietary phytoestrogens in chronic renal disease. *Journal of Renal Nutrition*, 11(4), 183-193.
- Salman, Ö., & Durak, E. (2011). Eco-Friendly Vegetable Oil Based Lubricants. *Sigma*, 29, 412-421.
- Saraç, M. (2011). *Enzimatik Ekstraksiyon Yöntemi İle Pamuk Yağı Eldesi*. Doctoral dissertation, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schey, J. A. (1970). *Metal Deformation processes/friction and lubrication*. IIT RESEARCH INST CHICAGO IL., 1-2.
- Schuster, W.H., 1992. Ölpflanzen in Europa. DLG-VerlagsGmbH, S. 240
- Serim, F., & Akgül, A. Türkiye’nin Bitkisel Yağ Üretiminde Hammadde Sorunu Ve Çözüm Önerileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1-2).
- Sevilmiş, U., Bilgili, M., Kahraman, Ş., Seydoşoğlu, S., & Sevilmiş, D. (2019). Ketencik (Camelina sativa) Tarımı. *International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research*, 2(2), 36-62.
- Sezek, M. (2018). Endüstri Bitkileri ve Bitki Artıklarının Biyoyakıt Olarak Kullanımı. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 33(1), 105-111.
- Shashidhara, Y. M., & Jayaram, S. R. (2010). Vegetable oils as a potential cutting fluid—an evolution. *Tribology international*, 43(5-6), 1073-1081.
- Singh, A. K., & Gupta, A. K. (2006). *Metalworking fluids from vegetable oils*. *Journal of synthetic lubrication*, 23(4), 167-176.
- Soriano, N. U., & Narani, A. (2012). Evaluation of biodiesel derived from Camelina sativa oil. *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, 89(5), 917-923.
- Tekin, A. (1998). Bitkisel Yağların Gıda Dışı Kullanım Alanları. *Gıda*, 23(3), 229-233.

- Thompson, L. U., Rickard, S. E., Orcheson, L. J., & Seidl, M. M. (1996). Flaxseed and its lignan and oil components reduce mammary tumor growth at a late stage of carcinogenesis. *Carcinogenesis*, 17:1373-1376.
- Tosun, M. (2003). *Bitkisel Sıvı Yağlar Sektör Araştırması*. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., GA/03-1-2, Ankara.
- Ulrich, K. (2002). Vegetable oil-based coolants improve cutting performance. *Journal of Cutting Fluids*. <http://www.blaser.com/download/Dec02.pdf>.
- Valaki J.B., Vishak, M., Gautam, V., Vijay, P., and Pruthvirajsinh, R. 2014. Vegetable Oil Based Metal Cutting Fluids For Sustainable Machining Processes. *International Journal of Emerging Technologies And Applications in Engineering, Technology And Sciences (IJ-ETA-ETS)*, 7(1), 325-328
- Vižintin, J., Arnšek, A., & Ploj, T. (2000). Lubricating properties of rapeseed oils compared to mineral oils under a high load oscillating movement. *Journal of Synthetic lubrication*, 17(3), 201-217.
- Willing, A. (2001). Lubricants based on renewable resources—an environmentally compatible alternative to mineral oil products. *Chemosphere*, 43(1), 89-98.
- Woerfel, J. B., & Erickson, D. R. (1995). *Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization*. Champaign, IL: AOCS Press.-1995.-P, 65-92.
- Woods, S. (2005). Going green. *Cutting Tool Engineering*, 57(2), 48-51.
- Xu, K., Yang, Y., & Li, X. (2010). Ectopic expression of *Crambe abyssinica* lysophosphatidic acid acyltransferase in transgenic rapeseed increases its oil content. *African Journal of Biotechnology*, 9(25), 3904-3910.
- Yurtvermez, B., Gıdık, B. (2021). Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Kullanım Alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 139-145.
- Zhang, X., & World Health Organization. (2002). *Traditional Medicine Strategy 2002-2005*.

4. BÖLÜM

SÜRDÜRLEBİLİR İMALAT İÇİN BİTKİSEL YAĞ ESASLI KESME SIVILARI

Dr. Emin ÖZDEMİR,

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi

emin.ozdemir@iuc.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-6517-9270

GİRİŞ

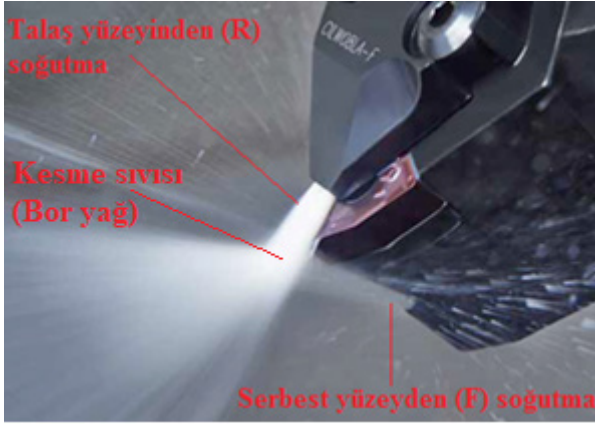
Son 200 yıldan beri kesme sıvıları metal kesme ve işleme operasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Lawal vd., 2012). Sanayi devriminden (1850–1900) yaklaşık 50 yıl sonra, takım tezgâhlarına yönelik yeni taleplerden kaynaklanan birçok işleme problemine bir çözüm olarak, metal kesme sıvılarının değerlendirilmesi konusunda artan bir farkındalık oluşmuştur. Aşağıda sıralanan dört önemli olay, metal kesme sıvılarının geliştirilmesindeki hızlı ilerleme için gerekli koşulları olgunlaştırmıştır: (i) 1859’da ABD’de büyük miktarlarda petrolün keşfi, metal kesme sıvılarının bileşimi üzerinde derin bir etkiye yol açmıştır. (ii) Takım yapmak için alaşımlı çeliklerin geliştirilmesi. (iii) Gelişen petrokimya endüstrisi. (iv) Bir güç kaynağı olarak elektrik motorunun geliştirilmesi (McCoy, 2006). Northcott (Northcott 1868), 1873’te Viyana’da düzenlenen takım tezgâhi sergisinde hem İngiltere’de hem de Amerika Birleşik Devletleri’nde talaş kaldırma işlemlerinin yaygın olarak kullanıldığını belirtmiş ve kesme sıvıları kullanılarak torna tezgâhi verimliliğinin artırılabilceğini bildirmiştir (Albert, 2014). Talaşlı imalat işleminde, Northcott tarafından 1868 yılında yapılan ilk kesme sıvısı uygulamasında (Northcott, 1868) ve akabinde 1883 yılında Taylor tarafından yapılan suyun kesme sıvısı olarak kullanıldığı diğer bir çalışmada (Taylor,

1907), talaş kaldırma noktasına sabit bir su akışı yönlendirmenin, kesme hızını arttırdığı ve verimliliğin %30-40 oranında arttığı kanıtlanmıştır. Fakat ısı iletkenliği ve özgül ısısı yüksek olan su çok etkili bir soğutucu olmakla beraber yağlama özelliği hemen hemen sıfırdır. Takım tezgâhının kılavuz ve kızak gibi hareketli parçalarını yağlayamaz ve kesme bölgesindeki sürtünmeyi azaltamaz. Sonuç olarak su, tezgâh parçalarının ve bileşenlerinin hızlıca aşınmasına neden olur (Çetin & Özçelik, 2011).

Merchant 1945 yılında, doğru tipteki kesme sıvısının, hem metal deformasyonu, hem de talaş oluşumundaki sürtünme direncini büyük ölçüde azaltacağını ve ayrıca sürtünmenin üstesinden gelmek için üretilen ısıyı azaltacağını bildirmiştir (Merchant, 1945). Ernst, Merchant ve Shaw tarafından yapılan araştırmalar sonucunda, sürtünme azaltıcı olarak hangi kimyasal katkı maddelerinin etkili olduğu ve bu kimyasalların kararlı bir kimyasal emülsiyon formunda suyla birleştirildiğinde, hem sürtünmeyi azaltan hem de ortamı soğutan yeni bir kesme sıvısının oluşturulabileceği teorileştirilmiştir (Ernst & Merchant, 1948; Shaw, 1942; Shaw, 1948; Merchant, 1951). Elde edilen bu bilgiler ışığında, imalat işlemlerinde genel olarak, mineral yağ esaslı veya sentetik ve yarı sentetik kesme sıvıları kullanılır. Kesme sıvıları, soğutma ve yağlama yaparak verimliliğin ve üretimin kalitesinin yükselmesini sağlar. Soğutma ve yağlamanın yanında, talaş yapışmasını önleme, talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırma, kesme bölgesi sıcaklığını, kesme kuvvetlerini ve sürtünmeyi düşürerek kesici takım ömründe ve işlenen yüzey kalitesinde iyileşme sağlar (Çetin & Özçelik, 2011).

Metal kesme, işleme ve şekillendirme endüstrisinde, sürtünmenin ve yüksek kesme sıcaklıklarının takım ömrü ve parça kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek için kesme sıvıları kullanılır. Kesme sıvıları, tormalama, taşlama, delme ve frezeleme gibi metal işleme süreçlerini optimize eden mühendislik malzemeleridir. İmalat ve mühendislik topluluklarında, talaş kaldırma amacıyla kullanılmakta olup, kesme ve taşlama sıvıları olarak bilinirler. Çekme, haddeleme ve zımbalama işlemleri için kullanılan sıvılar ise metal şekillendirme sıvıları olarak adlandırılır (Albert vd., 2014). Talaşlı imalatta, özellikle işlenmesi zor malzemelerin kesme performansını yükseltmenin yanında, yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme bölgesi sıcaklığı, hızlı kesici takım aşınması ve düşük talaş kırılabilirlik problemlerini azaltmak amacı için farklı soğutma ve yağlama teknikleri uygulanmaktadır

(Debnath vd., 2014). Örneğin torna tezgahlarında uygulanan talaşlı imalat işlemlerinde, kesme sıvısı, kesici takımın talaş yüzeyinden kesici takım ile talaş ara yüzüne veya kesici takımın serbest yüzeyinden doğrudan iş parçasına olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır (Şekil 1). Takımın-talaş ara yüzüne uygulanan soğutma, ara yüzeyde film tabakası oluşturarak sürtünmenin ve dolayısı ile takım aşınmasının azalmasını sağlar. Ayrıca sıcaklığı azalarak gevrekleşen talaşın kırılabilme kabiliyeti artırır (Hong vd., 2001). Doğrudan iş parçasına uygulanan kesme sıvısı ise işlenen yüzeyin kalitesini geliştirilir (Özdemir, 2020).



Şekil 1. Torna işleminde kesici takımdan basınçlı kesme sıvısı uygulaması (Özdemir, 2020)

Raporlarda, 2005 yılında küresel olarak yaklaşık 38 milyon ton mineral yağın kullanıldığını bildirilmiş ve takip eden on yıl için % 1,2'lik bir artış tahmin edilmiştir (Kline & Company, 2006). Son yayınlanan raporda ise 2019 yılında, mineral yağlara yönelik küresel talebin yaklaşık 37 milyon tona ulaştığı bildirilmiştir. Rapora göre Kuzey Amerika, 4,8 kg kişi başına mineral yağ tüketimi ile dünya ortalamasının neredeyse dört katı seviyede en yüksek tüketimi gerçekleştirmiştir (Sönnichsen, 2021). Ayrıca Avrupa Birliği'nin tek başına yılda yaklaşık 320.000 ton metal kesme sıvısı tükettiği ve bunun en az üçte ikisinin bertaraf edilmesi gerektiği bildirilmektedir (Abdalla vd., 2007). İlgili yüksek sıcaklık ve atmosferik koşullarla reaksiyona girme eğilimi nedeniyle, kullanım sürecinde kesme sıvıları zamanla bozulur ve malzeme özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı daha fazla kullanılamazlar.

Kullanılmış kesme sıvıları yüksek derecede toksik ve biyolojik olarak parçalanamaz olduklarından dolayı çevre ve personel sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkileri vardır (Valaki vd., 2014). Ayrıca depolama ve elden çıkarma masraflarından dolayı maliyetlerin artmasına neden olurlar (Raj vd., 2016; Kaçal, 2017). Bu problemler nedeniyle, kesme sıvısı kullanımını azaltmak hatta önlemek için bazı alternatif yöntemler araştırılmıştır (Kaçal, 2017). Bu yüzden, petrol esaslı suda çözünür kesme sıvılarının yerine, sentetik veya bitkisel yağ esaslı doğal yağlardan oluşan yeni nesil, çevre ve operatör dostu kesme sıvılarına doğru bir yöneliş vardır. Bunlardan bitkisel yağ esaslı kesme sıvıları, özellikle talaşlı imalat işlemlerinde yeni bir uygulama alanı açmıştır. Özellikle kolza (Flider, 1995) ve kanola (Wessol & Whitacre, 1993) yağları başta olmak üzere bitkisel yağlar, biyolojik olarak parçalanabilen yağlayıcılara umut verici adaylardır. Kolayca biyolojik olarak parçalanabilirler ve sentetik bazı yağlardan daha az maliyetlidirler (Albert vd., 2014).

Petrol esaslı konvansiyonel kesme sıvılarının zararlı etkilerini mümkün olduğunca azaltmak için alınabilecek önlemleri analiz etmeye ihtiyaç vardır. Bu durum, endüstri firmalarını, araştırma merkezlerini ve üniversiteleri süreci ayrıntılı olarak incelemeye ve daha iyi optimal çözüm bulmaya itmiştir. Bazı araştırmacılar petrol bazlı konvansiyonel kesme sıvılarının maruziyetini azaltmak için çeşitli yöntemler önerirken, bazıları ise bileşiminin değiştirilmesini tavsiye etmiştir (Adler vd., 2006). Diğer yandan, atmosfere zararlı gazlar salan, işçilerde çok sayıda deri ve diğer hastalıklara neden olan ve bertaraf maliyetleri yüksek olan konvansiyonel kesme sıvıları hala endüstride yüksek miktarda kullanılmaktadır (Bennett & Bennett, 1985).

1. KESME SIVILARININ ÖZELLİKLERİ

Metal kesme ve işleme endüstrisinde kullanılan kesme sıvılarının başlıca amaçları, soğutma ve yağlamadır. Soğutmanın amacı, kesme bölgesinde oluşan ısıyı taşınım ile ortamdaki uzaklaştırmak, yağlamanın amacı ise takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzüne nüfuz ederek sürtünmeyi azaltarak kesici takım aşınmasını önlemektir (Dal, 2009, Kuram, 2009, Şimşek, 2010). Metal işleme sıvılarının metal işleme mekanığına sağladığı avantajlar: (i) sıvının sürtünmeyi azaltmak için iş parçası ile takım arasında bir yastık görevi göreceği bir yağlayıcı tabakası sağlama yeteneği, (ii) bir işleme veya şekillendirme

sırasında üretilen ısıyı azaltmak için soğutma sıvısı, (iii) talaşlar üretilirken uzaklaştırarak hem takımda hem de iş parçasında metal birikmesini önlemek, (iv) doğru iş parçası kısımları üzerinde istenen finiş sağlamak şeklinde sıralanabilir (Albert vd., 2014).

Ayrıca kesme sıvılarının, işlevlerini yerine getirebilmeleri için sahip olmaları gereken bazı temel özelliklere şu şekilde sıralanabilir (Upadhyay 2015).

- (i) İyi bir kesme sıvısı, büyük bir özgül ısı kapasitesine ve iyi bir termal iletkenliğe sahip olmalıdır.
- (ii) Viskozitesi düşük olmalıdır.
- (iii) Toksik olmamalı, aşındırıcı olmamalı ve takım veya iş parçası malzemesi ile reaksiyona girmemelidir.
- (iv) Çok maliyetli olmamalı ve kolay ulaşılabilir olmalıdır.
- (v) Parlama noktası yüksek olmalıdır.
- (vi) Fiziksel, kimyasal ve termal olarak kararlı olmalıdır.

Sanayi devrimi günlerinin itici gücü, maksimum takım ömrü, minimum duruş süresi ve mümkün olan en az parça reddi (hurda) ile en yüksek hızda parçayı işlemek veya şekillendirmenin hepsi, doğruluk ve finiş gereksinimlerini korurken, bu yalnızca metal işleme sıvılarının özellikleri ile elde edilebilir (McCoy, 2006). Talaş kaldırma işlemlerinde soğutucuların ve yağlayıcıların görevleri; tedrici kesici takım aşınmasını geciktirerek takım ömrünü arttırmak, kesme kuvvetlerini ve titreşimleri düşürmek, pürüzlülüğü düşürerek işlenen yüzey kalitesini yükseltmek, işlenebilirliği geliştirmek ve sonuç olarak talaşlı imalat işleminin verimliliği arttırmaktır. Bir başka ifade ile kesme sıvılarında arzulanan ve sahip olmaları gereken özellikler; soğutma özelliği, yağlama özelliği, özelliklerini uzun süre koruyabilmesi, anti korozyon özelliği, takım tezgahına zarar vermemesi, ısı transferi yeteneğinin iyi olması, uçucu olmaması, köpürmemesi, ateş almaması, sağlığa zararlı olmaması ve çevre dostu olmaları şeklinde sıralanabilir (Dal, 2009, Kuram, 2009, Şimşek, 2010).

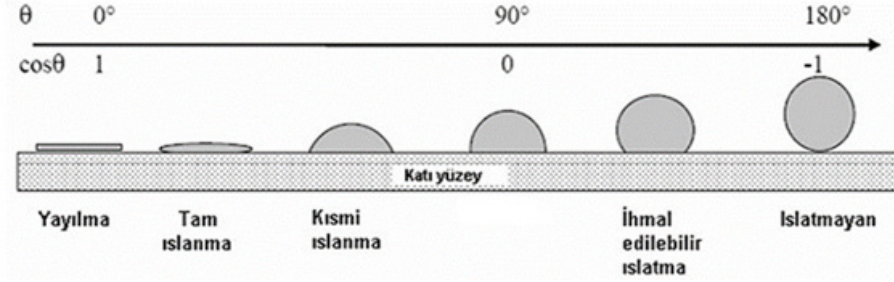
2. KESME SIVILARININ FONKSİYONLARI

İmalat sürecinde kesme sıvısı, işleme prosesine öncelikle üç ana şekilde fayda sağlamalıdır. Birincisi, yağlama yaparak, sürtünmeyi ve üretilen ısıyı azaltmalıdır. Örneğin, azdırma, vida çekme, tıg çekme ve klavuz çekme gibi çok düşük kesme hızlarında gerçekleşen işlemlerde yağlama ön plandadır. Takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzeylerinde yağlama yaparak, ara yüzeylerdeki sürtünme katsayısını düşürüp, sürtünme etkisinden dolayı oluşan ısıyı da azaltır (Upadhyay, 2015). İkincisi ise, sürtünmeden kaynaklı ısı oluşumu tamamen ortadan kaldırılamadığından ve çoğu zaman önemli ölçüde azaltılamadığından dolayı kesme sıvısı etkili bir soğutucu görevi görmelidir. Taşlama başta olmak üzere tornalama, frezeleme ve delme gibi nispeten yüksek kesme hızlarında yapılan talaşlı imalat işlemlerinde ise soğutma ön plandadır. Termal gradyanı düşürerek termal bozulma eğilimini azaltma amacına hizmet eder (Upadhyay, 2015). Üçüncü olarak, iş parçası malzemesinin ısı ve basınç altında kesici takıma kaynak olma eğilimine karşı bir kaynak önleyici madde olarak hareket etmelidir. Bunların haricinde kesme sıvısının diğer yan fonksiyonları; talaşların işleme bölgesinden uzaklaştırılması, iş parçasını ve takım tezgahını korozyona karşı koruma, harcanan gücü azaltma, takım ömrünü uzatma, iş parçası kalitesini artırma, verimliliği yükseltme ve belli bir talaş tipinin oluşturulmasıdır (Akben & Erten, 2009; Byers, 2006). Kesme sıvıları ayrıca proses sırasında harcanan gücü ve enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır (Kazeem vd., 2022).

2.1. Yağlama Fonksiyonu

Sürtünmenin ön planda olduğu düşük kesme hızlarındaki talaşlı imalat işlemlerinde, kesme sıvısının birincil görevi, kesici takım, iş parçası ve talaş ara yüzeylerinde yağlama yapmaktır. Kapılar etki ile takım-iş parçası-talaş ara yüzeylerine kadar ulaşan kesme sıvısı tarafından bir yağ filmi oluşturularak, takım, iş parçası ve talaş arasında direkt temas engellenmiş ve sürtünme azaltılmış olur. Kesme sıvılarının bu yağ filmi oluşturma özelliğine yapışma kabiliyeti (oilness) denir. Bu olayda sıvının kimyasal yapısı önemlidir. Bütün sıvıların aksine sadece polar gruplardan oluşan moleküllere sahip sıvılar,

özellikle yağlar, metal yüzeylerde yapışmış bir film tabakası oluşturabilirler. Genelde kesme sıvılarına az miktarda aditif katkı maddesi katılarak yapışma kabiliyetleri yükseltilir (Akkurt, 2000; Dal, 2009, Kuram, 2009, Şimşek, 2010).



Şekil 2. Katı ve sıvı arasında oluşan temas açıları ve ıslatma özelliği (Özdemir, 2013)

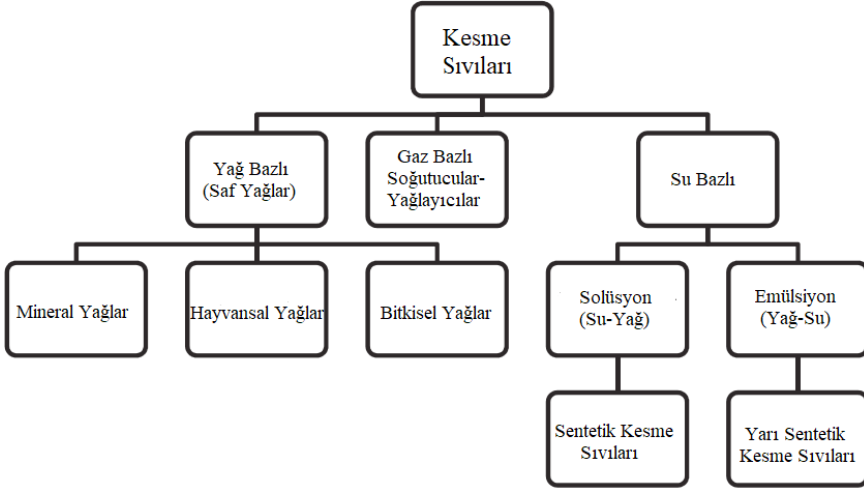
İyi bir yağlama, kesme sıvısının ıslatma özelliğine bağlı olarak gerçekleştirilir. Islatma, kesme sıvısının takım, iş parçası ve talaş ara yüzeylerinde yapışma (adezyon) oluşturabilmesi için katı yüzeyler üzerinde kolayca yayılmasına denir. Katı yüzey üzerindeki sıvının, yüzey ile arasında oluşan temas açısı ıslatmanın ölçüsüdür (Şekil 2). Küçük temas açılarında ıslatma zayıf iken, büyük temas açılarında iyi ıslatma meydana gelir. Teorik olarak temas açısı $\theta=0^\circ$ durumunda, sıvının katı yüzeyde ince bir film şeklinde yayılması sonucu mükemmel bir ıslatma meydana gelir. Pratikte temas açısının $\theta=180^\circ$ durumu gözlenmez. Yer çekimi kuvveti sıvı damlayı katı yüzey üzerine çeker. Temas açısı $\theta < 90^\circ$ durumunda sıvının katı yüzeyi ıslattığı, $\theta > 90^\circ$ durumunda ise sıvının katı yüzeyi ıslatmadığı ifade edilebilir. Temas açısı $\theta < 20^\circ$ durumu kuvvetli bir ıslatmanın meydana geldiğini, $\theta > 140^\circ$ durumu ise ıslatmama özelliğini ifade eder. Tam ıslatmanın gerçekleşmediği durumlarda, sistemin yüzey enerjisinin bir fonksiyonu olan temas açısı ile bir sıvı damlası meydana gelir (Özdemir, 2013). Kesme sıvılarının yağlama işlevi, kesici takım ile iş parçası ve kesici takım ile talaş arasındaki sürtünmenin azalmasını sağlar. Ayrıca takım ile talaş arasındaki kaynak benzeri malzeme yapışmasını önleyerek kesme kuvvetlerinin düşmesine yardımcı olur (Hong & Broome, 2000; Groover, 2010).

2.2. Soğutma Fonksiyonu

Yüksek ısının oluşturduğu yüksek kesme hızlarında uygulanan talaşlı imalat işlemlerinde, kesme sıvısının birincil görevi, kesme bölgesindeki ısmıı uzaklaştırmaktır. Isı akışı sıcak ortamdan soğuk ortama doğru gerçekleştiğinden, talaş kaldırma işleminde kesme bölgesinde ortaya çıkan ısı, kesme sıvısı ile absorbe edilerek ortamdan uzaklaştırılır. Kesme sıvısının iyi bir soğutma yapabilmesi için yüksek termal iletkenliğe ve özgül ısıya sahip olması gerekir (Akkurt, 2000). Ayrıca bir kesme sıvısının veya yağının soğutma etkisi; debisine, viskozitesine, akış yönüne ve iş parçasına bağlıdır (Şahin, 1998).

3. KESME SIVILARININ SINIFLANDIRILMASI

Geniş bir alanda çeşitlilik gösteren karakteristikleri nedeniyle kesme sıvılarını sınıflandırmak için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Genel olarak kesme sıvıları yağ bazlı, su bazlı ve gaz bazlı olmak üzere üç ana sınıfa ayrılabilir (Şekil 3). Yağ bazlı kesme sıvıları, iyi bir yağlama özelliği gerektiren işlemlerde kullanılırken, soğutma ve yağlama özelliklerinin gerekli olduğu durumlarda su bazlı kesme sıvıları tercih edilir. Su bazlı kesme sıvısı ayrıca emülsiyonlar ve çözeltiler şeklinde ayrılabilir (Vieira vd., 2001; Debnath vd, 2014). Bu başlık altında incelenecek kesme sıvıları; saf-düz yağlar, gaz bazlı soğutucular ve su bazlı kesme sıvıları olmak üzere üç ana grupta toplanmışlardır. Ayrıca su bazlı kesme sıvıları, çözünebilen yağlar (emülsiyonlar), sentetik sıvılar ve yarı sentetik sıvılar şeklinde sıralanmışlardır.



Şekil 3. Kesme sıvılarının sınıflandırılması (Debnath vd, 2014)

3.1. Yağ Bazlı Kesme Sıvıları (Saf-Düz Yağlar)

Genel olarak saf kesme yağları, su ile sulandırılmadan, saf şekilde veya “aşırı basınç” katkı maddeleri (EP katkı maddeleri) ile güçlendirilerek kullanılan petrol türevi mineral yağlardır. Yağlamanın soğutmadan daha önemli olduğu uygulamalarda kullanılırlar. Bu yüzden, kesme hızının çok düşük, kaldırılan talaş derinliğinin ve kesme basınçlarının yüksek olduğu uygulamalarda kesme sıvısının başlıca görevleri; yeterli yağlamayı sağlayarak sürtünmeyi azaltmak, kesici takımın yığıntı talaşa neden olan talaş kaynağını önlemek ve kesme bölgesindeki talaşları uzaklaştırmaktır. Gerekli yağlama mineral yağ ile sağlanırken, EP katkı maddesi olarak klor ve kükürt kullanılır. Bu katkı maddeleri, kesici takımın talaş yüzeyinde düşük kayma dayanımına sahip klorür veya sülfür bir kaplama oluşturarak, takıma talaş kaynağını önlerler. Katkı maddeleri, uygulamanın doğasına ve işlenen malzemeye göre seçilir. Talaşlı imalat uygulamasına göre seçilecek kesme yağının en önemli özellikleri; viskozite, parlama noktası, EP katkıları ve ıslatma ajanlarıdır. Kesme yağlarının; kükürtlü mineral yağlar, klorlu mineral yağlar, hayvansal mineral yağlar, kükürtlü hayvansal mineral yağlar, klorlu hayvansal mineral yağlar ve bitkisel yağlar gibi farklı türleri mevcuttur.

3.2. Gaz Bazlı Soğutucular-Yağlayıcılar

Gaz bazlı soğutucu-yağlayıcılar ile genel olarak oda sıcaklığında gaz halinde olan ve çevre dostu kesme sıvıları olarak kabul edilen maddelere atıfta bulunmaktadır. Uygulamalarda gaz formunda veya kriyojenik olarak soğutulmuş basınçlı sıvılar kullanılmaktadır. Gaz bazlı soğutucu-yağlayıcılar; hava, nitrojen, argon, helyum ve karbondioksittir. Gaz bazlı soğutucu-yağlayıcılar inert gaz olarak kabul edildiğinden, yüksek kesme sıcaklıklarında kesici takım ve işlenmiş yüzeyin oksidasyonunu önleyen yüksek korozyon direncine sahiptirler. Ayrıca, yağlama yeteneklerini geliştirmek için sis veya damlacık şeklinde uygulanabilen kesme yağları birlikte kullanılabilirler (Debnath vd, 2014). Gazların zayıf termal iletkenliği ve düşük soğutma kapasitesi nedeniyle, gaz bazlı soğutucu-yağlayıcıların soğutma kapasitesini arttırmak için sıkıştırma, soğutma ve sıvılaştırma gibi farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Ayrıca, bu gaz bazlı soğutucu-yağlayıcılar, sıvı haldeki kesme sıvılarının uygulanamadığı durumlarda ön plandadır. Sıkıştırılmış gaz bazlı soğutucu-yağlayıcılar, geleneksel soğutma tekniklerinin talaş-takım arayüzüne nüfuz edemediği ağır kesme koşullarında tercih edilirler (Shokrani vd., 2012; Debnath vd, 2014).

3.3. Çözünmeyen Yağlar (Emülsiyonlar)

Suda çözünmeyen saf mineral yağlar, su içinde küçük küre zerrecikler şeklinde dağılarak asılı kalırlar. Yağların zerrecikler şeklinde küçük parçacıklara ayrılması “emülgatör” olarak bilinen bir kimyasal ile sağlanırken, sudaki bu yağ ortamı “emülsiyon” olarak adlandırılır. Suyun ısıyı absorbe etme kabiliyeti olan “özgül ısı” ve ısıyı dağıtma kabiliyeti olan termal iletkenliği yağlardan oldukça yüksektir. Fakat kesme işleminde meydana gelen sürtünmeyi azaltma yeteneği olan “kayganlık” yalnızca yağlar ile sağlanabilir. Metal kesme işlemlerinde kullanılan emülsiyonlarda, “yağ” kayganlığı sağlarken, “su” ise soğutmaya sağlar. Özellikle yağlamanın soğutma kadar önemli olduğu, delme, frezeleme ve tornalama gibi talaşlı imalat işlemlerinde, daha yüksek yağ konsantrasyonu içeren “zengin emülsiyonlar” gerekirken, kesme sıvısının birincil rolünün soğutma olduğu taşlama vb. işlemlerde “daha yüksek seyreltmelere” sahip

emülsiyonlar kullanılır.

Uzun yıllardır talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan “bor yağı” adı verilen kesme sıvısı, mineral yağ ile suyun %5-10 oranında karışımı sonucu hazırlanan bir emülsiyondur. Genel olarak ince ve orta kaba talaş kaldırma işlemlerinde kullanılırlar. Rengi süt gibi beyaz olan bor yağı emülsiyonu, zamanla kullanım döngüsüne göre bozulduğunda açık mavi ya da buna benzer bir renk alır. Zamanla içinde üreyen bakterilerden dolayı bozulan bor yağı emülsiyonunda, yağ ve su birbirinden ayrılır ve korozyon önleme vb özelliklerini kaybederek etrafa rahatsız edici bir koku salar (Kesen, 2019).

3.4. Sentetik Kesme Sıvıları

Mineral yağ yerine sentetik kimyasalların su ile karıştırılması sonucu elde edilen sentetik kesme sıvıları, bakteri üremesinden etkilenmediği için çok uzun ömürlüdürler. Fakat yağlama kabiliyetleri zayıf olup, pH değerleri (~9,5) çok yüksektir. Genelde 1:60 oranında seyreltme yapılarak kullanılırlar. Seyreltme oranı keyfi olarak yükseltilem emülsiyonlar, takım tezgâhında paslanmaya ve epoksi boyaların soyulmasına neden olurlar. Yüksek temizleme kabiliyetinden dolayı ortamdaki pislik ve kiri içine toplayan sentetik kesme sıvıları, iyi filtreme sistemine sahip olmayan tezgâhlarda arzu edilmeyen sonuçlar doğurabilirler. Ayrıca yüksek debilerde oluşabilecek aşırı köpürme, zayıf takım ömrü ve yüzey kalitesine neden olur. Yağlamaya göre soğutmanın ön planda olduğu işlemlerde kullanılırlar. Elmas taş ile karbür taşlama, çok hassas olmayan normal taşlama işlemleri ve CNC tezgâhlardaki hafif talaş kaldırma işlemleri ideal kullanım uygulamalarıdır.

Çizelge 1’de talaşlı imalat endüstrisinde kullanılan konvansiyonel kesme sıvısı çeşitleri ile bunların avantajları ve dezavantajları sunulmuştur.

Çizelge 1. Konvansiyonel kesme sıvısı tiplerinin avantajları ve dezavantajları (Öndin, 2019)

Kesme Sıvısı Tipi	Avantajları	Dezavantajları
Kesme yağları (Düz yağlar)	Mükemmel kayganlık ve pas kontrolü	Düşük soğutma, yangın tehlikesi
		Sis veya duman oluşumu
Çözünebilen yağlar (Emülsiyonlar)	İyi yağlama ve soğutma	Düşük hız sınırlayıcı veya ağır kesme işlemleri
		Pas kontrol problemleri
Yarı sentetik yağlar	Mikrobiyal kontrol	Bakteri üremesi
	Pas kontrolü	Buharlaştırma kayıpları
	İyi soğutma	Kolay köpük oluşumu
Sentetik yağlar	Mükemmel soğutma	Su sertliğine etki eder
	Mikrobiyal kontrol	
	Yanıcı olmaması	Kolayca diğer makine akışkanları tarafından kirlenme
	Duman oluşturmaması	
	İyi korozyon kontrolü	
	İndirgenmiş buğulanma	
Köpük problemi olmaması	Kötü kayganlık	

4.5. Yarı Sentetik Kesme Sıvıları

İçinde kısmen mineral yağ ve sentetik kimyasallar içeren yarı sentetik kesme sıvıları, emülsiyonların yağlayıcılık özelliği ile sentetik sıvıların

soğutma başta olmak üzere diğer avantajlarına sahiptirler. Sentetik sıvılara göre daha iyi anti-pas ve yağlama kabiliyetine sahip olan yarı sentetik kesme sıvılarının, saf yağlara ve emülsiyonlara göre ise soğutma kabiliyeti yüksek ve bakımı daha kolay olup, daha az duman oluştururlar. Çok hassas olmayan genel amaçlı silindirik ve puntasız taşlama işlemleri ideal kullanım uygulamalarıdır. Tüm bu avantajlarına rağmen, sentetik ve yarı sentetik kesme sıvılarının, çinko, toryum, kadmiyum ve magnezyum alaşımları gibi malzemelerin talaşlı imalatlarında kullanımı uygun değildir (Kesen, 2019).

4. KONVASYONEL KESME SIVISILARININ NEDEN OLDUĞU SORUNLAR

Dünyada kullanılan yağlayıcıların yaklaşık %85'i petrol bazlı yağlardır (Pop vd., 2008). Kesme ve işleme operasyonlarında metaller ile devamlı etkileşim halinde olan kesme sıvıları; operasyonlarda verimli sonuçlar elde edilebilmesi için bileşimlerinde çeşitli kimyasal maddeler bulundururlar. Kimyasal bileşimleri ve içerdikleri katkı maddeleri dolayısı ile metal işleme sıvıları, yaşam döngüleri boyunca insan sağlığı ve çevresel tehlikeler konusunda ciddi endişe doğururlar.

4.1. Çevresel Sorunlar

Ekolojik döngüye, hava, toprak ve su vasıtası ile karışan mineral ve veya sentetik yağ esaslı kesme sıvıları içerdikleri hidrokarbonlardan dolayı ekosistem için tehlike arz etmektedirler. Başlıca olumsuz etkiler; özellikle yüzey suyu ve yeraltı suyu kirliliği, hava kirliliği, toprak kirliliği ve sonuç olarak tarımsal ürün ve gıda kirliliğidir (Birova vd., 2002).

Amerika Birleşik Devletlerinin batısı, Meksika'nın kuzeyi, Güney Amerika, Hindistan, Çin, Sahra Çölü'nü çevreleyen Afrika ülkeleri, Güney Afrika ve Avustralya dahil olmak üzere dünya nüfusunun üçte birinin su sıkıntısı yaşadığı bir dünyada, bir litre madeni yağın yaklaşık 1 milyon litre temiz içme suyunu kirletebileceği bildirilmiştir. Dahası, makine başına yılda 2400 litre kesme sıvısı tüketen küçük ölçekli bir endüstriyel işleme bile yılda 2400 milyon litre temiz içme suyu kaynağını kirletebilir. Bu nedenle biyolojik

olarak kolayca parçalanabilen, çevre dostu kesme sıvılarına ihtiyaç vardır (Valaki vd., 2014).

Kesme sıvılarının kalitesi, PH değeri, viskozitesi, korozyona dayanıklılık testi ve biyolojik olarak parçalanabilirliği açısından periyodik olarak kontrol edilir. Bilindiği üzere kesme sıvıları, kullanılan takım ve iş parçası malzemesi kombinasyonuna göre ya saf sıvı olarak ya da suyla karışabilen emülsiyon olarak kullanılır. İki akışkan formu arasındaki bileşim farkı nedeniyle, kimyasal, biyolojik, termal ve bileşimsel bozunma mekanizmaları farklıdır. Bunlar biyolojik olarak parçalanabilirliği, toksisiteyi ve kesme sıvılarının zararlı aerosol oluşum hızını etkiler. Bozulmuş veya atık kesme sıvısının yok edilmesi, kelimenin tam anlamıyla büyük bir endişe kaynağıdır. Bileşim farklılığından dolayı, bozunma mekanizmaları farklı olan saf ve emülsiyon metal kesme sıvılarının bertaraf mekanizmaları da birbirinden farklıdır (Valaki vd., 2014).

Diğer yandan kullanılmış metal işleme sıvılarının yok edilmesi, Avrupa atık mevzuatının ayrılmaz bir parçası olan geri dönüşüm temellerine dayanmaktadır. Atık kesme sıvılarının çevresel, sağlık ve sosyal etkileri hakkında bilgi eksikliği veya kullanılmış kesme sıvısının geri dönüşümü için teknik uzmanlık gereksiniminden dolayı kesme sıvılarının bertarafına düzenleyici kurumlar ve üreticiler tarafından yeteri kadar önem verilmemektedir. Diğer yandan belirtilen çevresel faktörlerden dolayı kesme sıvılarının kullanımının azaltılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Devletlerin düzenlemeleri ve toplumda artan bilinç düzeyi ile endüstriyel faaliyetlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerine artan ilgi, sanayicileri konvansiyonel kesme sıvılarının kullanımını azaltmaya zorlamaktadır (Birova vd., 2002; Çetin vd., 2010; Çetin ve Özçelik, 2011; Valaki vd., 2014; Öndin, 2019).

4.2. Sağlık Sorunları

Endüstride, metal işleme makinesi operatörlerinin maruz kaldığı meslek hastalıklarının yaklaşık %80'inin kesme sıvılarının cilt ile temasından kaynaklandığı bildirilmektedir (Bennett, 1983; HSE, 1994). IOSH raporlarına göre, yalnızca ABD'de senede 1 milyon civarında işçinin kesme sıvısına maruz kaldığı, dünya genelinde ise kesme sıvısına maruz kalan kişi sayısının

20 milyonu bulduğu bildirilmiştir. Makine operatörlerinin birincil derecede etkilendiği bu grupta, aynı ortamda çalışan diğer işçiler, kalite kontrol elemanları ve mühendisler de yer almaktadırlar. Özellikle suda çözünen emülsiyon kesme sıvılarında bulunan bakteri ve mantarlar tarafından üretilen mikrobiyal toksinlerin, makine operatörleri için oldukça zararlı olduğu bildirilmiştir (Zeman vd., 1995; Çetin, 2010; Albert vd., 2014). Çünkü emülsiyonun genelini oluşturan su, yüksek ısıda hızlıca buharlaşarak çalışma ortamı atmosferine karışır. Genel olarak ciltte tahrişe veya alerjiye (Resim 1) neden olan metal işleme sektöründe kullanılan kesme sıvılarının; çalışanlarda dermatit, folikülit ve cilt kanseri gibi cilt hastalıklarının yanında solunum rahatsızlıklarına da neden olduğu belirtilmiştir (Öndin, 2019).



Resim 1. Kesme Sıvılarının Ciltteki Etkisi (Demir vd., 2009; Çetin, 2010)

Kesme sıvılarının neden olduğu en yaygın rahatsızlık tipi olan dermatit; ciltte kuru, pullu yanma tarzında lezyonlara ve yoğun kaşıntıya neden olan kronik bir cilt rahatsızlığıdır. Çözünür yağ emülsiyonlarının pH değeri 8,5 iken asidik olan insan derisinin pH değeri 5,5 civarındadır. Çalışma ortamında, cildin çözünür yağ emülsiyonları ile sürekli teması, nötralizasyon reaksiyonu nedeniyle cildin kurumasına neden olur. Bu kuruluk ve esneklik kaybı sonucu cilt; kızarıklık, çatlama, ağrı ve enfeksiyonlara karşı yüksek derecede duyarlı hale gelir. Bunun yanında atölyelerde temizlik için yaygın olarak kullanılan pamuklu bezlerin içerdiği küçük metalik talaşlar, bu bezler temizlik için cilde sürüldüğünde, yaralanmalara meyilli olan kuru ciltte küçük çizik yaraları oluşmasına neden olur. Bir süre sonra enfekte olan bu yaralar kaşıntıya neden

olurlar. Ayrıca temizlik için çok aşındırıcı ve ucuz sabunların kullanılması, çözünür yağlara maruz kalan ciltlerde daha da kötüleşebilen kuru cilde neden olabilir.

Diğer yandan kesme yağları, kıl köklerini ve cilt gözeneklerini tıkayarak, ciltte siyah noktaların oluşmasına neden olur. Bu oluşumlar cildin doğal yağ akışını engelleyerek, normalde ciltte bulunan bakterilerle birlikte siyah noktaların altında birikmelerine neden olurlar. Sonuç olarak, cilt yağlarının birikmesi ve bakteri üremesi, ciltte tahrişe ve sivilcelere neden olur. Bu ve benzeri enfeksiyon, yaralanma veya tahriş nedeniyle kıl köklerinin iltihaplanması sonucu folikülit hastalığı meydana gelir. Belirtileri genellikle boyun, göğüsler, kalçalar ve yüzde olmak üzere kıl köklerinin çevresinde oluşan hassas, şişmiş bölgeler ile karakterize edilen, acı veren irin dolu lezyonlardır.

Diğer yandan talaşlı imalat işlemlerinde kesme bölgesine basınçlı bir şekilde fışkırtılan kesme sıvıları, özellikle kesme bölgesinde oluşan yüksek ısıdan dolayı buharlaşarak mikro partiküllere dönüşür. Çevreye yayılan kesme sıvısı zerrelere ve içerdikleri hidrokarbonlar, çalışanlarda ve özellikle makine operatörlerinde; akut solunum yolu rahatsızlıkları, astım, kronik bronşit, akciğer iltihaplanması ve akciğer kanseri gibi ciddi akciğer ve solunum yolları hastalıklarına neden olur. Ayrıca kesme sıvısı zerrelere ile temas halindeki ciltte; alerjik reaksiyonlar, doku bozukluğu (iltihaplanma) ve nadiren de olsa cilt kanseri vakaları gibi dermatolojik ve kalıtsal hastalıklar meydana gelir (Bennett, 1983; Çetin vd., 2010; Çetin ve Özçelik, 2011; Kesen, 2019). Kesme sıvılarının içerdiği kimyasallar direkt olmasa da dolaylı yoldan kanser riskini tetiklemektedir. Hayvanlar üzerinde yapılan testler sonucu, kesme sıvılarının kanser tümörü oluşumuna neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca istatistiklere göre insanlarda; deri, gırtlak, rektum, mesane, pankreas ve skrotum kanseri risklerini doğurduğu kanıtlanmıştır (Çetin, 2010).

5. BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARI

Tarihsel kayıtlar, hayvansal ve bitkisel yağların erken uygarlıklar tarafından çeşitli yağlama uygulamalarında kullanıldığını göstermektedir (Schey, 1970). Her ne kadar bu aşamada metal kesme ve işleme sıvılarının uygulanmasından söz edilmese de, daha sonraki çağlarda tel çekme işlemini kolaylaştırmak için kullanılan yağlayıcıların hali hazırda mevcut olan sıvılar olduğunu varsaymak mantıksız değildir. Bu yağlayıcılara, hayvansal yağlar ve katı yağlar (öncelikle balina, don yağı ve domuz yağı) ile zeytin, hurma, hint ve diğer yağlı tohumlu bitkiler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen bitkisel yağlar dâhil edilebilir. 1735'te Leupold, pürüzlü yüzeyleri yağlamak için don yağı veya bitkisel yağ kullanılmasını önermiştir (Dowson, 1979). Mineral olmayan yağ esaslı kesme sıvıları hakkında rapor edilen ilk araştırma ise, çelik malzemenin kesilmesi sürecinde balina yağının domuz yağından daha üstün olduğunu keşfeden Thurston tarafından 1870 yılında yapılmıştır (Taylor, 1907). Ayrıca, 1850'lerde petrolün keşfinden önce, kesme sıvısı kaynağı olarak bitkisel ve hayvansal yağların kullanıldığı kayıtlara geçmiştir. Petrolün keşfinden sonra, bitkisel yağlara alternatif olarak petrol türevi mineral yağ, kesme sıvıları için temel yağlayıcı olarak kullanılmaktadır (Albert, 2014).

Petrol esaslı konvansiyonel kesme sıvılarının içinde bulunan kimyasal maddeler, işçi ve çevre sağlığı üzerinde ciddi negatif etkilere neden olduğu için üreticilere sorun yaratmaya başlamışlardır (Flores, 2019). Zamanla kullanım alanı ve miktarı giderek yükselen yağlayıcıların, çevresel olarak kabul edilebilirlikleri giderek daha önemli hale gelmiştir. 21. yüzyılda, yasa ve yönetmeliklerle uygulanan çevre koruma bilinci göz önünde bulundurulduğunda, çevre dostu kesme sıvıları genel bir trend haline gelmiştir (Gajrani & Sankar; 2017). Çevresel konularda sürekli yükselen kamu bilinci sonucu oluşan baskılar ve artan geri dönüşüm maliyetlerinden dolayı, son yıllarda talaşlı imalat işlemlerinde kesme sıvılarının tüketimini azaltmak için kuru veya kuruya yakın işlemeye doğru bir eğilim oluşmuştur (Weinert vd., 2004)]. Ancak en gelişmiş kaplamalı kesici takımlarla bile, nikel bazlı süper alaşımlar gibi kesilmesi zor malzemeler söz konusu olduğunda kesme sıvılarından tamamen kaçınılamayacağı görülmüştür (Courbon vd., 2009). Petrol türevi mineral yağ esaslı konvansiyonel kesme sıvılarının üzerindeki çevresel etkiler ve kanuni düzenlemeler, bitkisel yağ esaslı kesme

sıvılarının tekrar gözden geçirme ihtiyacını gündeme getirmiştir. Biyobozunur malzemelere yönelik artan talep, özellikle talaşlı imalat operasyonlarında, petrol türevi malzemelere alternatif olarak bitkisel yağların kullanılması için bir yol açmıştır (Bisio & Xanthos, 1995; Li vd., 2001). Kesme sıvılarıyla ilişkili olumsuz etkileri azaltmak için 1990'ların başından itibaren biyolojik olarak parçalanabilen fonksiyonel sıvılar üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Sonuç olarak, çeşitli bitkisel yağlardan geliştirilen, biyo-esaslı, çevre dostu sıvı ve yağlayıcılar artık piyasada rekabet edebilir duruma gelmiştir (Busch & Backe; 1993).

Çevre dostu kesme sıvıları genellikle, bitkisel yağlar, biyo kesme sıvısı ve fosfat esterleri, polialkilen glikoller, polialfaolefinler (PAO'lar), alkil aromatikler ve polibütanların içinde olduğu kimyasal olarak sentezlenmiş sıvı esterlerden oluşur (Gajrani & Sankar; 2017). Bitkisel yağlar; özellikle ayçiçeği yağı (Şık, 2009), kolza yağı (Flider, 1995), kanola yağı (Wessol & Whitacre, 1993) ve soya yağı (Karahana, 2010; John vd., 2004) başta olmak üzere jatropha, hindistancevizi ve palmye yağları biyolojik olarak parçalanabilen yağlayıcılar için gelecek vaat eden alternatiflerden bazılarıdır (Valaki vd., 2014). Kolayca biyolojik olarak parçalanabilirler ve sentetik bazlı yağlardan daha az maliyetlidirler (Albert vd., 2014).

5.1. Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı ve Reolojik Özellikleri

Bitkisel yağlar temel olarak ester bağları yoluyla hidroksil gruplarına bağlanan üç uzun zincirli yağ asidine sahip gliserol molekülleri olan trigliseritlerden oluşur (Fox & Stachowiak, 2007). Şekil 4'de bitkisel yağ trigliseritinin tipik kimyasal yapısı görünmektedir. Yağ asidi zincirleri olarak da adlandırılan Şekil 4'de görünen R1, R2 ve R3 sembolleri, hidrojen atomlarını da içeren karbon-karbon bağlarından oluşan uzun karbon zincirlerini ifade etmektedir (Lawal vd., 2012). Uzun karbon zincirlerine sahip olan yağ asitleri doymamışlık içerebilen moleküllerdir (Fox & Stachowiak, 2007; Mongkolwongrojn & Arunmetta, 2002; Lawal vd., 2012). Bitkisel yağ trigliseritlerindeki yağ asitleri, genelde 14 ila 22 karbon uzunluğunda olup, farklı doymamışlık seviyelerine sahiptirler (Lawal vd., 2012).

Bilinen yağlarda bulunabilme ihtimali olan 20 yağ asidi türünden önemli olanları; oleik asit, linoleik asit, linolenik asit, risinoleik asit, araşidonik asit, erusik asit gibi doymamış asitler ve palmitik asit, stearik asit, laurik asit, behenik asit ve araşidik asit gibi doymuş yağ asitleridir (Kadiroğlu, 2008; Shashidhara & Jayaram, 2010; Meral, 2019; Katna vd., 2020). Çizelge 2, çeşitli bitkisel yağlara ait yağ asitlerinin kimyasal yapısını göstermektedir. Yağ asitlerinin oranı, bitki tipinin yanında, iklim koşullarına ve hava durumuna bağlıdır (Shashidhara & Jayaram, 2010).

Çizelge 2. Bitkisel yağların yağ asidi yapısı (Shashidhara & Jayaram, 2010)

Yağ Asidi	Hind. cevizi	Keten	Neem	Hint yağı	Zeytin	Jatropha	Karanja	Palm	Kolza	Ayçiçek	Oleik soya	Soya
C14:0	-	-	-	-	0.10	-	7.900	1.50	-	-	-	-
C16:0	9.00	5.00	15.00	-	7.30	12-17	4.00	43.00	9.80	6.00	6.00	1.50
C16:1	-	-	22.00	-	-	-	-	-	-	-	6.00	10.4
C18:0	2.00	3.00	19.00	2-3	2.70	6.70	2.00	5.00	1.60	3.00	-	4.30
C18:1	7.00	22.00	49.00	3-5	60.70	37-63	62.00	40.00	18.40	17.00	3.00	24.4
C18:2	1.00	17.00	9.50	3-5	4.40	19-41	12.00	10.00	16.80	74.00	85.00	51,6
C18:3	-	52.00	-	80-90	0.50	-	-	-	6.50	6.00	4.00	7.70

Sıcaklıktaki düşüşle birlikte, bitkisel yağlar mineral yağlardan daha viskoz kalır ve bu durum iş parçasından ve talaşlardan erken drenaja neden olur. Bitkisel yağlar daha yüksek viskozite, çalışma sıcaklığı aralığında daha kararlı yağlama sağlar (Woods, 2005). Mineral yağların molekül boyutları değişkendir ancak bitkisel yağ molekül boyutları oldukça homojendir ve bu da fiziksel parametrelere göre özelliklerinin daha az değişmesine neden olur (Ulrich, 2002). Bitkisel yağın moleküler ağırlığı ve kaynama noktası daha yüksektir ve bu, buğulanmayı ve buharlaşmayı azaltır (Khan & Dhar, 2006). Çizelge 3’de bazı bitkisel yağların fiziko-kimyasal veya başka bir deyişle reolojik özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 3. Bitkisel yağların reolojik özellikleri (Shashidhara & Jayaram, 2010)

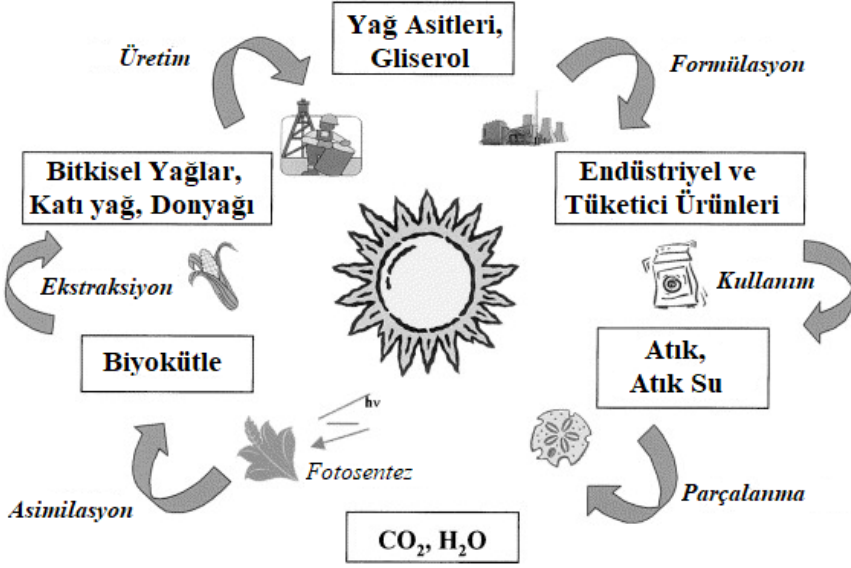
Özellikler	Kinematik Viskozite (@ 40 °C (cSt))	Kinematik Viskozite (@ 100 °C (cSt))	Viskozite İndeksi	Sabunlaşma Değeri (mgKOH)
Hint yağı	220.6	19.72	220	180
Neem	68.03	10.14	135	166
Jatropha	47.48	08.04	208	196.80
Karanja	43.00	08.30	172	179
Jajoba	24.90	06.43	233	94.69
Kolza	45.60	10.07	216	180
Ayçiçeği	40.05	08.65	206	-
Oleik soya	41.34	09.02	-	-
Soya	32.93	08.08	219	189

01.40	87.00	-27.00	250
23.00	66.00	09.00	-
03.20	97.00	0.00	240
22.00	78.00	-09.00	-
01.10	98.00	09.00	-
1.40	104	-12.00	240
-	-	-12.00	252
00.12	85.90	-	-
00.61	144	-09.00	240
Toplam Asit Değeri (mgKOH g ⁻¹)	İyot Değeri (mg I g ⁻¹)	Akma Noktası (0 °C)	Parlama Noktası (0 °C)

Bitkisel yağların oksidasyon stabilitesi yukarıda belirtilen özelliklerinin yanı sıra mevcut doymamış ürünlerin miktarına da bağlıdır. Yüksek erime noktası ve hatta daha iyi oksidasyon stabilitesi için doymamış ürünün mevcudiyeti düşük olmalıdır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasında, metalik yüzeylerle güçlü bir şekilde etkileşime giren uzun karbon zincirleri (polar yağ asidi zincirleri) daha iyi performans gösterirler (Gajrani & Sankar, 2017).

5.2. Bitkisel Yağların Avantajları ve Dezavantajları

Bitkisel yağın en önemli özelliği biyolojik olarak parçalanabilmesidir. Willing'e göre (Willing, 2001), biyolojik olarak parçalanabilirlik, bir maddenin çevresel kaderiyle ilgili en önemli husustur. Biyobozunurluk, bir maddenin mikroorganizmanın etkisiyle biyokimyasal parçalanmaya duyarlı olduğu anlamına gelir. Ayrıca mikroorganizmalar, insan ve çevre sağlığını etkileyen toksik sis ortamı sorunları yaratan bitkisel yağları metabolize etme ve sindirme yeteneğine sahiptirler (Alves & Oliveira, 2008). Şekil 5'de yenilenebilir kaynaklara dayalı kimyasal ürünlerin yaşam döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 5. Yenilenebilir kaynaklara dayalı kimyasal ürünlerin yaşam döngüsü (Willing, 2001)

Bitkisel yağlar, daha yüksek biyolojik parçalanabilirliği ve atık arıtma maliyetlerini en aza indirme kabiliyeti nedeniyle metal işleme endüstrisinde kesme sıvısı olarak gelişmektedirler. Aynı zamanda, düşük toksisiteleri nedeniyle petrol esaslı mineral yağlarda oldukça yaygın olan operatörlere yönelik sağlık risklerini de azaltırlar (Kuram vd., 2010, July). Proses sürecinde havada oluşan sis bulutunun oldukça azalması sonucu daha temiz ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlanmış olur (Gajrani & Sankar, 2017). Bu durum cilt ve akciğer kanseri gibi zehirli sislerin teması ve solunması sonucu çalışanların karşılaştığı sorunları hafifletebilir. Belirtilen nedenlerden dolayı çevre dostu olan bitkisel yağ esaslı kesme sıvıları, ayrıca konvansiyonel kesme sıvılarına kıyasla daha iyi yağlayıcıdırlar. Kolayca hidrolize olurlar ve bitmiş ürünler üzerinde genellikle ince bir tabaka oluştururlar (John vd., 2004). Her şeyden önce yenilenebilir kaynaklardan elde edilirler ve bu nedenle sınırsız ve sürdürülebilirlerdir (Gajrani & Sankar, 2017). Bitkisel yağların sağladığı bu faydalar, aynı zamanda bitkisel yağ kaynağı bitkilere de değer katmaktadır (John vd., 2004).

Bitkisel yağlar, mineral bazlı kesme sıvılarına göre duman oluşumunu ve yangın tehlikesini azaltan daha yüksek parlama noktasına sahiptir (Kuram

vd., 2013a,b). Parlama noktası, kesme sıvısının yüzeyine yakın havada tutuşabilir bir karışım oluşturmak için kesme sıvısının en düşük sıcaklığıdır. Parlama noktası ne kadar düşük olursa, malzemenin alev alması o kadar kolay olur (Zhang vd., 2012). Bu nedenle, işleme sırasında yüksek sıcaklığa dayanabilmesi için kesme sıvılarının daha yüksek bir parlama noktasına sahip olması gerekir.

Bitkisel yağların, biyolojik olarak yüksek derecede bozunabilirlik, düşük çevre kirliliği, katkı maddeleri ile uyumluluk, üretim maliyetlerinin düşük olması, geniş alanda üretim olanakları, toksik olmamaları, yüksek parlama noktası değeri, yüksek viskozite indeksi ve düşük uçuculuk gibi avantajlarının yanında düşük termal kararlılık, oksidatif kararlılık, yüksek donma noktası değeri ve zayıf korozyon direnci gibi dezavantajları bulunmaktadır (Shashidhara & Jayaram, 2010). Bitkisel yağlar özellikle oksidasyon veya hidrolitik reaksiyonlar yoluyla bozulmaya karşı daha hassastırlar. Bu nedenle bitkisel maddenin doğru seçimi, oluşan çözeltinin pH değeri ve kontrolü önemli konulardır (Alves & Oliveira, 2008). Yetersiz oksidatif stabilitenin yanında yüksek veya düşük sıcaklık uygulamalarındaki kullanımla ilgili dezavantajları mevcuttur (Asadauskas vd., 1996; Erhan & Asadauskas, 2000). Zayıf oksidatif stabilite tipik olarak yağ molekülündeki çift bağda meydana gelen hızlı reaksiyonlardan kaynaklanır. Serbest radikal oksidasyonu, hidrojen soyutlaması, ilave reaksiyonu, parçalanma, yeniden düzenleme, orantısızlaştırma reaksiyonu ve polimerizasyon gibi reaksiyonlar oksidatif kararlılığı azaltabilir. Bu problemler, bitkisel yağın kimyasal reaksiyonlarla yapısal modifikasyonu ile hafifletilebilir (D'Souza vd., 1991). Düşük termal özellikler ve oksidatif bozunmaya karşı düşük direnç gibi ana performans sorunları; katkı maddelerinin yeniden formüle edilmesi, bitkisel esaslı yağların kimyasal modifikasyonu ve yağlı tohum bitkinin genetik modifikasyonu gibi farklı metodlar ile giderilmeye çalışılmaktadır (Honary, 1996; Fox & Stachowiak, 2007).

5.3. Bitkisel Yağların Kesme Sıvısı Uygulamaları ve Performansları

Bitkisel yağların imalat sektöründe kesme sıvısı olarak kullanılması için büyük bir potansiyel vardır [Singh & Gupta; 2006]. Çeşitli bitkisel yağlara

dayalı çevre dostu kesme sıvılarını geliştirmek için son yıllarda araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların çoğu; soya fasulyesi, ayçiçeği, kolza, kanola, palm, jatropha, zeytin, neem, karanja, hindistancevizi ve hintyağı gibi bitkilerin meyvelerinden veya yağlı tohumlarından elde edilen yağlar üzerinedir. Bunlardan bazı araştırma grupları (John vd., 2004; Singh & Gupta; 2006; Raynor vd., 2005) bitkisel yağ esaslı metal kesme sıvılarının geliştirilmesiyle uğraşırken, bazı gruplarda (Abdalla vd., 2007; Gryglewicz vd., 2003; De Chiffre & Belluco 2002; Clarens vd., 2004; , Alves & De Oliveira, 2006; Shashidhara & Jayaram, 2010) yeni yağların geliştirilmesi ve performans değerlendirmesi ile ilgilenmektedirler. Ancak, Blazer (İsviçre), Cargill Industrial Oils & Lubricants (ABD), Renewable Lubricants (ABD) gibi çok az şirket, bitkisel yağ esaslı kesme sıvılarını ticarileştirmek için çalışmaktadır (Shashidhara & Jayaram, 2010). Endüstride çeşitli alanlarda kullanılan bazı bitkisel yağların listesi ve potansiyel uygulamaları Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Bazı bitkisel yağların potansiyel uygulamaları (Shashidhara & Jayaram, 2010; Gajrani and Sankar, 2017)

Bitkisel yağ tipi	Uygulama
Soya yağı	Metal işleme ve kesme sıvıları, yağlayıcılar, hidrolik yağ, zincir sıvısı, gresler, denizcilik ve otomotiv, endüstriyel ve gıda sınıfı hidrolik sıvılar, biyo-dizel yakıt, oleokimyasal üretim için oleik asit kaynakları, boyalar, kaplamalar, sabunlar, şampuanlar, deterjanlar, dezenfektanlar, baskı mürekkepleri, plastikleştiriciler
Ayçiçeği yağı	Metal işleme ve kesme sıvıları, yemeklik yağ, yağlayıcılar, gres yağı, oleokimyasal üretim için oleik asit kaynakları, alternatif dizel yakıt
Palmiye yağı	Metal işleme ve kesme sıvıları, iki zamanlı motor yağı, zincir yağları, tekstil yağları, aşınma önleyici hidrolik sıvısı, gıda işleme makineleri yağı, gres

Kanola yağı	Metal işleme ve kesme sıvıları, hidrolik yağlar, traktör şanzıman sıvıları, gıda sınıfı yağlar, nüfuz eden yağlar, zincir yağları
Kolza yağı	Metal işleme ve kesme sıvıları, testere çubuğu yağları, hava kompresörü-çiftlik ekipmanları, biyolojik olarak parçalanabilen gresler
Pongamia Pinnata yağı (Hint kayını yağı)	Lamba yağı, su-boya bağlayıcısı, böcek ilaçları, sabun, tabaklama endüstrileri, bitkisel ilaçlar
Don yağı	Buhar silindiri yağları, sabunlar, kozmetikler, yağlayıcılar, plastikler
Hint yağı	Metal işleme ve kesme sıvıları, dişli yağları, gresler
Hindistan cevizi yağı	Metal işleme ve kesme sıvıları, gaz motoru yağları
Zeytinyağı	Otomotiv yağları
Aspir yağı	Açık renkli boyalar, dizel yakıt, reçineler, emayeler
Keten tohumu yağı	Kaplamalar, boyalar, cilalar, vernikler, emayeler
Jajoba yağı	Gres, kozmetik endüstrisi, yağlayıcı uygulamaları
Crambe yağı	Gres, ara kimyasallar, yüzey aktif maddeler
Cuphea yağı	Kozmetik ve motor yağı
Neem (Nim) yağı	Kesme sıvısı
Jatropha Curcas yağı	Kesme sıvısı
Karanja yağı	Kesme sıvısı
Prinç kepeği yağı	Kesme sıvısı

Çizelge 5'ten anlaşıldığı üzere, kesme sıvısı olarak kullanılan bitkisel yağların %80'den fazlasının gıda olarak tüketilen yemeklik (yenebilir) yağlar olduğu görülmüştür. Araştırmalar neticesinde, genel olarak yemeklik bitkisel yağların endüstriyel performanslarının iyi olduğu görülmüştür. Fakat bu yağların gıda sınıfında olmaları ve gelecekte diğer endüstriyel yağlarla rekabet edecek duruma gelmeleri, onları biyo-yaglayıcılar olarak daha pahalı hale getirecektir (Kazeem vd, 2022). Bunların yerine gıda olarak tüketilmeyen (yenmeyen) veya daha az bilinen bitkisel yağların endüstride kullanılması, sürdürülebilirlik açısından daha umut verici görünmektedir. Bu yüzden gıda dışı bitkisel yağların çevre dostu kesme sıvısı olarak kullanımı ön plana çıkmıştır (John vd., 2004).

Yukarıda da belirtildiği üzere gıda dışı bitkisel yağ esaslı kesme sıvıları, biyolojik olarak parçalanabilen, çevre dostu, toksik olmayan, yenilenebilirdir ve konvansiyonel kesme sıvılarına alternatif olarak en çok aranan seçenektir (Katna vd, 2020). Hindistan alt kıtasında bol miktarda bulunan; jatropa, karanja, mahua, neem (nim) bitkileri, gıda maddesi olarak kullanılmayan alternatif bitkisel yağ kaynaklarına örnek olarak verilebilir (Valaki vd., 2014). Gıda dışı yağlardan elde edilen biyo-yaglayıcıları geliştirmek ve formüle etmek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bunlardan jatropa yağı esaslı kesme sıvısı uygulaması, çevresel etkinin yanı sıra teknik performans açısından; daha iyi yağlama, uygun soğutma özelliği, daha iyi talaş yıkama, işlenmiş yüzeyin korozyona karşı korunması, düşük üretim maliyeti, katkı maddeleri ile uyumluluk, yüksek donma noktası ve geniş üretim olanakları sunmaktadır. Çevre açısından bakıldığında, jatropa yağı, yüksek biyolojik parçalanabilirlik, düşük çevre kirliliği, düşük toksisite, solunum ve cilt problemi olmaması, tahriş edici ve alerjik olmaması, yaşam döngüsü boyunca sağlık ve çevresel tehlikelerin oluşmaması gibi avantajlara sahiptir (Valaki vd., 2014).

John ve arkadaşları (John vd., 2004), su bazlı bitkisel yağ emülsiyonlarının formülasyonu için bir yöntem tanımlamışlardır. Soya fasulyesi yağı, kükürt, ozon ve oksijen ile modifiye edilerek emülsiyonlar hazırlanmıştır. Polioksietilen sorbitan tetraoleat ve etoksillenmiş oleik asit ester kullanılarak elde edilen emülsiyonların modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş tüm yağlar için stabil olduğu bildirilmektedir. Modifiye edilmemiş yağlara kıyasla, hem ozonla modifiye edilmiş, hem de kükürt ile modifiyeli yağların viskozitesinde bir

artış fark edilmiştir. Ayrıca, modifiye edilmiş emülsiyonların tümü mükemmel pas önleme özellikleri sergilemişlerdir.

Singh ve Gupta (Singh& Gupta, 2006), Asya'nın kuru tropikal bölgelerinde yaygın olarak bulunan neem, karanja ve pirinç kepeği gibi gıda maddesi sınıfına girmeyen bitkilerin yağlarını kullanarak, çevre dostu çözünebilen metal işleme sıvıları geliştirmişlerdir. Emülsiyon stabilite testi altında numunelerin normal ve yüksek sıcaklıklarda stabil olduğu rapor edilmiştir. Benzer şekilde, tüm formülasyonlar bakır şerit korozyon testine tabi tutulmuşlardır. Demir talaşı pas testinde, pirinç kepeği yağı hariç diğer yağların filtre kağıdında leke oluşturmadığı belirtilmiştir. Tortu testleri sonucunda tüm yağlar için herhangi bir tortu oluşumu bildirilmemiştir. Kayganlık testi, formülasyonların aşınma izi çapını önemli ölçüde azalttığını ortaya çıkarmıştır. Tüm bitkisel yağlardan hazırlanan çözünür yağ, %90 biyolojik parçalanabilirlik sergilemiştir. Ayrıca bakteri toksisite testi sonucunda herhangi bir toksisiteye rastlanmamıştır. Sonuç olarak, neem yağı esaslı formülasyonların diğer iki yağdan daha iyi olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 6. Talaşlı imalat işlemlerinde bitkisel yağ esaslı kesme sıvılarının uygulandığı araştırmalardan bazılarının özetleri (Albert vd., 2014)

Proses	İş parçası	Kesici takım	Kesme sıvısı	Araştırma	Yazarlar
Torna	AISI 4340	Kaplamalı karbür	Palm ve pamuk yağlarının su emülsiyonları ile mineral yağ emülsiyonu	Yüzey pürüzlülük ve kesme kuvveti	Lawal vd., 2014
Torna	AISI 304	Karbür	Hindistan cevizi yağı, emülsiyon ve suyla karışmayan saf kesme yağı	Yüzey pürüzlülük ve takım aşınması	Xavior & Adithan, 2009
Torna	AISI 9310	Kaplamasız karbür	Bitkisel yağ (tip belirtilmemiş)	Sıcaklık, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, talaş oluşumu,	Khan vd., 2009

Torna	Düşük karbonlu çelik, alüminyum ve bakır	Tungsten karbür	Yer fıstığı, Hindistancevizi, palm ve karite yağı	Kesme kuvveti	Ojolo vd., 2008
Torna	Düşük karbonlu çelik, alüminyum ve prinç	HSS	Palm yağı	Kesme kuvveti	Ojolo & Ohunakin, 2011
Torna	AISI 1040	Sementit karbür	SAE-40 ve hindistancevizi yağı	Sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması	Krishna vd., 2010
Delme	AISI 316L	HSS	Kolza yağı ve mineral yağ	Kesme kuvveti, takım ömrü ve talaş oluşumu	Belluco & De Chiffre,, 2004
Delme	AISI 304	HSS-E	Ayçiçek yağı ve mineral yağ	Yüzey pürüzlülük ve itme kuvveti	Kuram vd., 2010, July
Delme	Ti-6Al-4V	AlTiN kaplamalı karbür	Palm yağı ve sentetik ester	İtme kuvveti, tork ve sıcaklık	Rahim & Sasahara, 2011
Taşlama	SAE 1020	CBN	Bitkisel yağ ve yarı sentetik yağ	Taş aşınması, pürüzlülük	Alves & Oliveira, 2006
Taşlama	100Cr6	CBN	Kolza yağı, palm yağ, mineral yağ, hayvansal yağ, yemeklik yağ	Pürüzlülük, ekolojik ve maliyet değerlendirmesi	Herrmann vd., 2007
Freze	AISI 420	Karbür-TiAlN ve AlTiN	Palm yağ	Kesme kuvveti, takım ömrü ve yüzey pürüzlülük	Sharif vd., 2009
Freze	AISI 304	HM90 APKT, 100304PDR IC908	Kanola yağı ve ayçiçeği yağı	Kesme kuvveti ve takım aşınması	Kuram vd., 2010, June

Son yıllardaki talaşlı imalat süreci araştırma geliştirme çalışmalarında, bitkisel yağ esaslı kesme sıvısı uygulamaları büyük ilgi görmüştür. Bunun nedeni, çevre dostu olmalarının yanında işleme sırasında kaydedilen iyi performans sonuçlarıdır (Albert vd., 2014). Çizelge 6'da görüldüğü üzere, birçok çalışmada (Lawal vd., 2014; Xavior and Adithan, 2009; Khan vd., 2009; Ojolo vd., 2008; Ojolo & Ohunakin, 2011; Krishna vd., 2010; Belluco and De Chiffre, 2004; Kuram vd., 2010, July; Rahim & Sasahara, 2011; Alves & Olivieira, 2006; Herrmann vd., 2007; Sharif vd., 2009; Kuram vd., 2010, June) bitkisel yağ esaslı kesme sıvısı uygulaması incelenmiş ve bitkisel yağların, tornalama, frezeleme, taşlama ve delme gibi talaşlı imalat proseslerinde kesme sıvısı için alternatif bir kaynak olduğu gösterilmiştir.

Belluco ve De Chiffre (Belluco ve De Chiffre, 2004), konvansiyonel HSS-Co matkaplar ile AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde bitkisel esaslı kesme yağlarının performansını incelemişlerdir. Araştırmada ticari mineral yağ referans alınmış olup farklı katkı seviyelerinde beş tip bitkisel esaslı kesme sıvısı test edilmiştir. İtme kuvvetinin takım ömrü boyunca önemli olduğunu ve elde edilen ölçümlerin takım ömrü boyunca iyi bir performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Deney sonuçlarına göre tüm bitkisel esaslı kesme sıvılarının, referans ürün olan ticari mineral esaslı kesme sıvısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak, kesme sıvılarına göre göreceli olarak takım ömründe %177 artış ve itme kuvvetinde %7 azalma sağlandığı bildirilmiştir.

Rahim ve Sasahara (Rahim ve Sasahara, 2011), Ti-6Al-4V malzemenin yüksek hızda delinmesinde kesme sıvısı olarak minimum miktarda palmye yağı yağlama, minimum miktarda sentetik ester yağlama, konvansiyonel kesme yağı yağlama ve hava soğutmanın etkisini araştırmışlardır. Minimum miktarda palmye yağı yağlama ile en düşük takım aşınma hızı elde edilmiştir. Palmye yağında bulunan uzun karbon zincirli yağ asitleri, sürtünme ve aşınmada önemli azalmanın nedeni olabilir. Yağ asidi metalik oksit ile reaksiyona girer ve düşük sürtünmeli bir yağlayıcı tabaka oluşturur ve pürüzsüz kaymaya yol açar. Uzun karbon zincirine sahip yağ asitleri, çalışma yüzeyini korumak için daha yüksek kesme sıcaklıklarına dayanabilir. Minimum miktarda palmye yağı ile yağlama altında delme sırasında, moleküler ince film yağlayıcının varlığından dolayı sürtünme ve takım aşınmasında azalma gözlemlenmiştir. Yüksek viskoziteye sahip olan ve akışa karşı dirençli olan

palmye yağı, takım-talaş arayüzünün daha iyi yağlanması ve sürtünmenin azalmasına neden olurken, bu durumun daha az ve yavaş takım aşınmasına neden olduğu kanısına varılmıştır.

Kuram ve arkadaşları (Kuram vd., 2010, July), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesi işleminde üç farklı bitkisel esaslı kesme sıvısının performansını incelemişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülüğü ve en düşük itme kuvveti değerlerinin, ticari ayçiçeği kesme sıvısı kullanıldığında gözlemlendiği belirtilmiştir. Takım aşınmasının ve kesme kuvvetinin azaltılmasında, ayçiçeği kesme sıvısı ve kanola kesme sıvısının, ticari yarı sentetik kesme sıvısından daha etkili olduğu bildirilmiştir.

Özçelik ve arkadaşları (Özçelik vd., 2011), AISI 304 malzemenin delme sürecinde, ayçiçeği yağı ve kanola yağından geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvısı ile mineral kesme yağının performanslarını karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, ayçiçeği esaslı kesme sıvılarına nazaran kanola esaslı kesme sıvılarının daha iyi pürüzlülük değeri sağladığı bildirilmiştir.

Xavior ve Adithan (Xavior ve Adithan, 2009), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin karbür takımlarla tornalama operasyonu sürecinde hindistancevizi yağı, mineral saf kesme yağı ve emülsiyon kesme sıvısı olmak üzere üç tip kesme sıvısının performansını incelemişleridir. Hindistancevizi yağının, takım aşınmasını azaltmada ve daha iyi yüzey kalitesi sağlamada konvansiyonel mineral yağlardan daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca hindistancevizi yağının, diğer iki kesme sıvısına kıyasla kesme kuvvetlerini ve sıcaklığı düşürme açısından çok daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir.

Çetin ve arkadaşları (Çetin vd., 2010), AISI 304L östenitik paslanmaz çelik malzemelerin kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla boyuna tornalama sürecinde, ticari mineral ve yarı sentetik kesme yağları referans alınarak, bitkisel esaslı rafine ayçiçeği ve kanola yağlarından elde edilen aşırı basınç (EP) katkılı kesme sıvılarının performansını incelemişlerdir. Kesici takımlardaki en düşük yan yüzey ve burun aşınmalarının %8 EP katkılı ayçiçeği yağı ile elde edildiği bildirilmiştir.

Paul ve Pal (Paul ve Pal, 2011), düşük karbonlu çeliğin tornalanması sırasında, neem yağı, karanja yağı ve konvansiyonel kesme sıvısı kullanmışlardır. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının, kuru işlemeye ve konvansiyonel kesme sıvılarına kıyasla daha iyi yüzey kalitesi ve daha düşük kesme sıcaklığı sağladığını bildirilmişlerdir. Ayrıca karanja yağına kıyasla

daha düşük viskoziteye sahip olan neem yağının kesme sıcaklığını düşürmede daha başarılı olduğu görülmüştür.

Çetin ve Özçelik (Çetin ve Özçelik, 2011), karbür takma uçlu kesici ile AISI 304 çeliğinin tormalama operasyonunda ayçiçek ve kanola yağlarından formüle edilen %8 ve %12 EP (aşırı basınç) katkılı iki farklı bitkisel esaslı kesme sıvısı ile mineral yağ esaslı ticari kesme sıvısının performanslarını araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, referans olarak kullanılan ticari kesme sıvısına nazaran, geliştirilen bitkisel yağ esaslı kesme sıvıları ile daha az kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edildiği bildirilmiştir.

Ojolo ve arkadaşları (Ojolo vd., 2008), bakır, düşük karbonlu çelik ve alüminyum malzemelerinin tormalama işlemlerinde dört farklı bitkisel esaslı kesme sıvısı (hindistancevizi yağı, palm yağı, yerfıstığı yağı ve karite yağı) kullanmışlardır. Bitkisel esaslı kesme sıvısının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin malzemeye bağlı olarak değiştiği belirtilirken, yer fıstığı yağının en iyi işleme performansını sağladığı bildirilmiştir.

Zhang ve arkadaşları (Zhang vd., 2012), yüksek karbonlu çelik alaşımını tormalama işlemlerinde, soya fasulyesi esaslı kesme sıvısını, kuru kesme ve mineral yağ esaslı kesme sıvılarıyla karşılaştırmışlardır. Deneylerin istatistiksel analiz sonuçlarına göre, soya fasulyesi esaslı kesme sıvısının, yüzey pürüzlülüğünü azaltmada mineral yağ esaslı kesme sıvısı ile benzer performans gösterdiği belirtilirken, takım aşınmasının kontrolü açısından çok daha iyi olduğu açıklanmıştır.

Kuram ve arkadaşları (Kuram vd., 2013a), parmak freze ile işleme prosesinde, çeşitli bitkisel esaslı kesme sıvılarının spesifik enerji, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, bitkisel esaslı kesme sıvılarının daha temiz üretim hedefine ulaştığı ve aynı zamanda spesifik enerji, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından işleme performansını iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Alves ve Oliveira (Alves & Oliveira, 2008), %45 oranında seyreltilmiş biyobozunur hintyağı esaslı kesme sıvısı kullandıkları taşlama işlemi sırasında, mineral esaslı kesme sıvılarına kıyasla taşlama kuvvetleri ile taş aşınmasının azaldığı ve daha iyi yüzey kalitesi elde edildiğini gözlemlemişlerdir.

SONUÇ

Petrol esaslı konvansiyonel kesme sıvılarının içerdiği toksik maddeler, çalışan ve çevre sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkilere neden olmaktadır. Hükümetlerin ve çevre kurumlarının, çalışanların sağlığını ve çevreyi koruma konusunda katı önlemler almasıyla birlikte, üretim süreçlerinin ekonomik ve teknik yönlerinin yanında, çalışan sağlığı ve çevre güvenliği de önemli bir endişe alanı haline gelmiştir. Kesme sıvısı atıklarının bertarafı, dünya çapındaki metal kesme endüstrileri açısından ciddi bir tehdittir ve bu nedenle, çevre ve personel sağlığı üzerindeki minimum olumsuz etkileri vurgulamak için bilimsel bertaraf ve geri dönüşüm normları oluşturulmuştur. Zamanla artan kesme sıvısı atıkları ve toksik etkileri, atık işleme uygulamaları ile atık geri dönüşümü konusunda bilgi ve teknik uzmanlık eksikliği, metal işlemeyi çok sürdürülemez bir üretim faaliyeti haline getirmektedir. Bitkisel esaslı kesme yağlarının, teknik uygunluğunun yanı sıra mükemmel biyolojik olarak parçalanabilirliği ve toksik olmayan özellikleri, bu yağları metal kesme ve işleme endüstrilerinde umut verici bir alternatif haline getirmektedir. Bu nedenle, metal işleme endüstrileri, çalışan ve çevre sağlığına karşı tehdit oluşturmayan bitkisel yağlara doğru hızla kaymaktadır. Mineral yağ üreticileri ve kullanıcıları, çevre yasalarını karşılamak için önümüzdeki yıllarda birçok zorlukla karşılaşırken, bitkisel yağlar, imalat endüstrisinin bu zorunlulukların üstesinden gelmesine yardımcı olacaktır. Çünkü yapılan araştırmalar, bitkisel yağların metal işleme sıvıları olarak geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Sınırlı bir kaynak olan petrol türevi mineral esaslı yağların mevcudiyeti giderek azalırken, bitkisel esaslı kesme sıvıları ise sürdürülebilirdir. Bununla birlikte, daha az bilinen bitkisel yağların kesme sıvısı olarak uygulanabilirliği konusunda yapılacak deneysel araştırmalar bitkisel yağların etkinliğini artıracaktır. Ayrıca literatürde kesme sıvısı olarak kullanılan bitkisel yağların genelde yemeklik yağlar olduğu görülmüştür. Özellikle gıda endüstrisinde kullanılmayan bitkisel yağların kesme sıvısı olarak kullanılması, sürdürülebilir gıda zinciri üzerinde minimum etkiye, mükemmel biyolojik bozunabilirliğe ve minimum sağlık tehdidi sağlayacaktır. Diğer yandan içilebilir su kaynaklarının kirlenmesine ilişkin ciddi bir endişe, biyolojik olarak parçalanabilen ve toksik olmayan bitkisel esaslı kesme sıvısı atıkları ile en aza indirilebilir.

Yapılan literatür incelemesi sonucu bitkisel yağ esaslı kesme sıvılarının daha çok çelik alaşımlarının işlenmesinde uygulandığı görülmüştür. Özellikle demir dışı metaller ve süper alaşımlar başta olmak üzere farklı metal alaşımlarının işlenmesi sürecinde, bitkisel yağ esaslı kesme sıvılarının uygulanmasındaki bu boşluğun, acil olarak giderilmesi gerekmektedir. Özellikle mühendislik alanlarında geniş uygulamaları olduğu için imalat endüstrisinde çok önemli bir yer işgal eden ısıya dayanıklı nikel, nikel-demir veya kobalt alaşımları olan süper alaşım malzemelerin işlenmesi süreçlerinde bitkisel yağ esaslı kesme sıvılarının sunduğu faydaları elde etmek için bu malzemeler üzerindeki etkilerinin araştırılması çok önem arz etmektedir. Ayrıca talaşlı imalat endüstrisinde bitkisel yağ esaslı metal kesme sıvılarından azami derecede fayda sağlamak için önem sırasına göre frezeleme ve taşlama uygulamalarına odaklanan araştırmalara ciddi önem verilmelidir.

KAYNAKÇA

- Abdalla, H. S., Baines, W., McIntyre, G., & Slade, C. (2007). Development of novel sustainable neat-oil metal working fluids for stainless steel and titanium alloy machining. Part 1. Formulation development. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(1), 21-33.
- Adler, D. P., Hii, W. S., Michalek, D. J., & Sutherland, J. W. (2006). Examining the role of cutting fluids in machining and efforts to address associated environmental/health concerns. *Machining Science and technology*, 10(1), 23-58.
- Akben, U., & Erten, M. (2009, 2-3 Ekim). *Minimum miktarda yağlama yöntemi ile sulu kesme yönteminin takıma ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi*. 1. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul.
- Akkurt, M. (2000). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Albert, S., Choudhury, I. A., Sadiq, I. O., and Adedipe, O. (2014). Vegetable-oil based metalworking fluids research developments for machining processes: survey, applications and challenges. *Manufacturing Review*, 1-22.
- Alves, S. M., & de Oliveira, J. F. G. (2006). Development of new cutting fluid for grinding process adjusting mechanical performance and environmental impact. *Journal of materials processing technology*, 179(1-3), 185-189.
- Alves, S. M., & Oliveira, J. F. G. (2008, June). *Vegetable based cutting fluid-an environmental alternative to grinding process*. In 15th CIRP international

- conference on life cycle engineering, Syndey (pp. 664-668).
- Asadauskas, S., Perez, J. M., & Duda, J. L. (1996). Oxidative stability and antiwear properties of high oleic vegetable oils. *Lubr. Eng.*, 52, 877-882.
- Belluco, W., & De Chiffre, L. (2004). Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel. *Journal of materials processing technology*, 148(2), 171-176.
- Bennett, E. O. (1983). Water based cutting fluids and human health. *Tribology international*, 16(3), 133-136.
- Bennett, E. O., & Bennett, D. L. (1985). Occupational airway diseases in the metalworking industry Part 1: Respiratory infections, pneumonia, chronic bronchitis and emphysema. *Tribology International*, 18(3), 169-176.
- Birova, A., Pavlovičová, A., & Cvenroš, J. (2002). Lubricating oils based on chemically modified vegetable oils. *Journal of Synthetic Lubrication*, 18(4), 291-299.
- Bisio, A. L., & Xanthos, M. (1995). *How to Manage Plastics Waste*. Hanser Gardner Publications, NY (USA), 253.
- Busch, C., & Backé, W. (1993). Development and investigation in biodegradable hydraulic fluids (No. 932450). *SAE Technical Paper*.
- Byers, J. P. (2006). *Metalworking Fluids, Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Castro, W., Weller, D. E., Cheenachorn, K., & Perez, J. M. (2005). The effect of chemical structure of basefluids on antiwear effectiveness of additives. *Tribology international*, 38(3), 321-326.
- Clarens, A. F., Zimmerman, J. B., Landis, H. R., Hayes, K. F., & Skerlos, S. J. (2004, July). Experimental comparison of vegetable and petroleum base oils in metalworking fluids using the tapping torque test. *In Proceedings of the Japan/USA Symposium on Flexible Manufacturing* (pp. 19-21).
- Courbon, C., Kramar, D., Krajinik, P., Pusavec, F., Rech, J., & Kopac, J. (2009). Investigation of machining performance in high-pressure jet assisted turning of Inconel 718: an experimental study. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(14), 1114-1125.
- Çetin, M. H. (2010). *Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Tornalamadaki Performansının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Çetin, M. H. ve Özçelik, B. (2011). AISI 304 çeliklerin tormalanmasında EP katkılı karma bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 581-589.
- Çetin, M. H., Özçelik, B., Kuram, E., Şimşek, B. T. ve Demirbaş, E. (2010, 11-12 Kasım). *AISI 304L çeliğin EP katkılı bitkisel esaslı kesme sıvıları kullanılarak tormalanmasında ilerleme hızının aşınma üstüne etkisi*. 2. Ulusal Tasarım İmalat

ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 230-241.

- Dal, M. (2009). *Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Frezelemedeki Performansının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Debnath, S., Reddy, M. M. and Yi, Q. S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of cleaner production*, 83, 33-47.
- Demir, H., Ulaş, H., ve Zeyveli, M. (2009). *Talaşlı üretimde kullanılan kesme sıvılarından istenen özellikler*. Karabük Üniversitesi, 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS), Karabük.
- De Chiffre, L., & Belluco, W. (2002). Investigations of cutting fluid performance using different machining operations. *Tribology & Lubrication Technology*, 58(10), 22.
- Dowson, D. (1979). *History of tribology*. Longmans Green, New York, 177-178, 253.
- D'souza, V., De Man, L., & De Man, J. M. (1991). Polymorphic behavior of high-melting glycerides from hydrogenated canola oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(12), 907-911.
- Ernst, H., and Merchant, M. E. (1948). *Surface treatment of metals*, American Society of Metals, Cleveland, OH, pp. 299-337.
- Erhan, S.Z., & Asadauskas, S. (2000). Lubricant basestocks from vegetable oils. *Industrial crops and products*, 11(2-3), 277-282.
- Flores, J. (2019). *Health hazards in Industry, Public Health 4310, Metal Fabrication*.
- Flider, F. (1995). Industrial Specialty Oils-INFORM Associate Editor Frank Flider describes the use of rapeseed oil in lubricants and other industrial products. *Inform-International News on Fats Oils and Related Materials*, 6(9), 1031-1040.
- Fox, N.J., & Stachowiak, G.W. (2007). Vegetable oil-based lubricants—a review of oxidation. *Tribology international*, 40(7), 1035-1046.
- Gajrani, K.K., & Sankar, M. R. (2017). Past and current status of eco-friendly vegetable oil based metal cutting fluids. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3786-3795.
- Groover, M.P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems (5th ed.)*. NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Gryglewicz, S., Piechocki, W., & Gryglewicz, G. (2003). Preparation of polyol esters based on vegetable and animal fats. *Bioresource Technology*, 87(1), 35-39.
- Herrmann, C., Hesselbach, J., Bock, R., & Dettmer, T. (2007). Coolants made of native ester-technical, ecological and cost assessment from a life cycle perspective. *In Advances in life cycle engineering for sustainable manufacturing businesses*, Springer, London. 299-303.
- Honary, L. A. (1996). An investigation of the use of soybean oil in hydraulic

- systems. *Bioresource Technology*, 56(1), 41-47.
- Hong, S.Y., and Broomer, M. (2000). Economical and ecological cryogenic machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Clean Products and Processes*, 2, 157-166.
- Hong, S.Y., Irel, M., and Jeong, W. C. (2001). New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(15), 2245-2260.
- HSE. (1994). *Health risks from metalworking fluids – aspects of good machine design*. HSE Books, London.
- John, J., Bhattacharya, M., & Raynor, P. C. (2004). Emulsions containing vegetable oils for cutting fluid application. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 237(1-3), 141-150.
- Kaçal, A. (2017, 2-4 November). *PMD 23 Çeliğin tornalanmasında % 0,15 Nano-MoS2 Katkılı minimum miktarda yağlama (MMY) performansının incelenmesi*. 8th International Symposium on Machining, Antalya, 340-351.
- Kadiroğlu, A. (2008). *Yerfıstığı yetiştiriciliği*. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya, 53s.
- Karahan, M. (2010). *Ham Soya Yağından Metal Kesme Sıvı Eldesi ve Karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli.
- Katna, R., Suhaib, M., & Agrawal, N. (2020). Nonedible vegetable oil-based cutting fluids for machining processes—a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 35(1), 1-32.
- Kazeem, R. A., Fadare, D. A., Ikumapayi, O. M., Azeez, T. M., & Adediran, A. A. (2022). Development of Bio-Cutting Fluid (*Cirtullus lanatus*) and its Performance Assessment on the Machining of AISI 1525 Steel Using Taguchi Technique and Grey Relational Analysis. *Biointerface Res. Appl. Chem*, 12, 5324-5346.
- Kesen, A. (2019). *Bor Yağı ve Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarına Nano Gümüş Eklentisinin Delme İşlemindeki Performansının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Khan, M. M. A., & Dhar, N. R. (2006). Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 7(11), 1790-1799.
- Khan, M. M. A., Mithu, M. A. H., & Dhar, N. R. (2009). Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid. *Journal of materials processing Technology*, 209(15-16), 5573-5583.
- Kline & Company, Inc. (2006). *Competitive intelligence for the global lubricants industry, 2004–2014*.

- Krishna, P. V., Srikant, R. R., & Rao, D. N. (2010). Experimental investigation on the performance of nanoboric acid suspensions in SAE-40 and coconut oil during turning of AISI 1040 steel. *International Journal of machine Tools and manufacture*, 50(10), 911-916.
- Kuram, E. (2009). *Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Delmedeki Performansının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Kuram, E., Ozcelik, B., Bayramoglu, M., Demirbas, E., & Simsek, B. T. (2013a). Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments. *Journal of Cleaner Production*, 42, 159-166.
- Kuram, E., Ozcelik, B., & Demirbas, E. (2013b). Environmentally friendly machining: vegetable based cutting fluids. In *Green manufacturing processes and systems*. Springer, Berlin, Heidelberg. 23-47.
- Kuram, E., Ozcelik, B., Demirbas, E., & Sik, E. (2010, July). *Effects of the cutting fluid types and cutting parameters on surface roughness and thrust force*. In Proceedings of the world congress on engineering, 2, 978-988.
- Kuram, E., Simsek, B. T., Ozcelik, B., Demirbas, E., & Askin, S. (2010, June). *Optimization of the cutting fluids and parameters using Taguchi and ANOVA in milling*. In Proceedings of the world congress on engineering, 2, 1-5.
- Lawal, S. A., Choudhury, I. A., & Nukman, Y. (2012). Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals—a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 52(1), 1-12.
- Lawal, S. A., Choudhury, I. A., & Nukman, Y. (2014). Evaluation of vegetable and mineral oil-in-water emulsion cutting fluids in turning AISI 4340 steel with coated carbide tools. *Journal of cleaner production*, 66, 610-618.
- Li, F., Hanson, M. V., & Larock, R. C. (2001). Soybean oil–divinylbenzene thermosetting polymers: synthesis, structure, properties and their relationships. *Polymer*, 42(4), 1567-1579.
- Maleque, M. A., Masjuki, H. H., & Sapuan, S. M. (2003). Vegetable-based biodegradable lubricating oil additives. *Industrial lubrication and Tribology*.
- McCoy, J. C. (2006). *Introduction: Tracing the historical development of metalworking fluids*, in: Byers, J. P. (Ed.), *Metalworking fluids*, 2nd ed. CRC publishers, London, pp. 1-5.
- Meral, Ü. B. (2019). Ayciçeği (*Helianthus annuus L.*) bitkisinin önemi ve üretimine genel bir bakış. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2(2), 58-71.
- Merchant, M. E. (1945). Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip. *Journal of applied physics*, 16(5), 267-275.

- Merchant, M. E. (1951). *The Friction and Lubrication of Solids*. FP Bowden and D. Tabor. New York: Oxford Univ. Press, 1950. 337 pp. \$7.00. Science, 113(2938), 443-444.
- Mongkolwongrojn, M., & Arunmetta, P. (2002). Theoretical characteristics of hydrodynamic journal bearings lubricated with soybean-based oil. *Journal of Synthetic Lubrication*, 19(3), 213-228.
- Northcott, W. H. A. (1868). *A treatise on Lathes and turning*. Longmans Green and Company, London.
- Ojolo, S., Amuda, M., Ogunmola, O., & Ononiwu, C. (2008). Experimental determination of the effect of some straight biological oils on cutting force during cylindrical turning. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 13(4), 650-663.
- Ojolo, S. J., & Ohunakin, O. S. (2011). Study of rake face action on cutting using palm-kernel oil as lubricant. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 2(1), 30-35.
- Öndin, O. (2019). *PH 13-8 MO Çeliğinin Tornalanmasında MQL Sisteminde Kullanılan Bitkisel Esaslı Kesme Yağına Çok Duvarlı Karbon Nanotüp İlavесinin İşleme Çıktıları Üzerindeki Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Özçelik, B., Kuram, E., Demirbas, E., & Şik, E. (2011). Optimization of surface roughness in drilling using vegetable-based cutting oils developed from sunflower oil. *Industrial Lubrication and Tribology*, 63(4), 271-276.
- Özdemir, E. (2020). *Biyomedikal Endüstrisinde Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalat Sürecinde Yüzey Bütünlüğü Ve Fonksiyonel Performansının Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özdemir, G. (2013). Sıvıların İslatma Yetenekleri ve Temas Açılırları. *İnovatif Kimya Dergisi*, 2, 36-41.
- Paul, S., & Pal, P. K. (2011). Study of surface quality during high speed machining using eco-friendly cutting fluid. *Mach Technol Mater*, 11, 24-28.
- Pop, L., Puşcaş, C., Bandur, G., Vlase, G., & Nuşiu, R. (2008). Basestock oils for lubricants from mixtures of corn oil and synthetic diesters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(1), 71-76.
- Rahim, E. A., & Sasahara, H. (2011). A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys. *Tribology International*, 44(3), 309-317.
- Raj, A., Wins, K. L. D., & Varadarajan, A. S. (2016, September). Evaluation of the performance during hard turning of OHNS steel with minimal cutting fluid application and its comparison with minimum quantity lubrication. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 149, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.

- Raynor, P. C., Kim, S. W., & Bhattacharya, M. (2005). Mist generation from metalworking fluids formulated using vegetable oils. *Annals of Occupational Hygiene*, 49(4), 283-293.
- Schey, J. A. (1970). *Metal Deformation processes/friction and lubrication*. IIT RESEARCH INST CHICAGO IL., pp, 1-2.
- Sharif, S., Yusof, N.M., Idris, M.H., Ahmad, Z.B., Sudin, I., Ripin, A., Mat Zin, M.A.H. (2009). *Feasibility study of using vegetable oil as a cutting lubricant through the use of minimum quantity lubrication during machining*. Research VOT No. 78055, Department of Manufacturing and Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Shashidhara, Y. M., & Jayaram, S. R. (2010). Vegetable oils as a potential cutting fluid—an evolution. *Tribology international*, 43(5-6), 1073-1081.
- Shaw, M. C. (1942). *The chemico-physical action of a cutting fluid*. University of Cincinnati. 85-89
- Shaw, M. C. (1948). *Mechanical activation—a newly developed chemical process*. 37-44
- Shokrani, A., Dhokia, V., & Newman, S. T. (2012). Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. *International Journal of machine Tools and manufacture*, 57, 83-101.
- Singh, A. K., & Gupta, A. K. (2006). *Metalworking fluids from vegetable oils*. *Journal of synthetic lubrication*, 23(4), 167-176.
- Şahin, N. (1998). *Tesviyecilik Meslek Teknolojisi I*. Bayt Ltd Şti., Ankara.
- Şık, E. (2009). *Bitkisel Tabanlı Yağlardan Metal Kesme Sıvısı Eldesi ve Karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli.
- Şimşek, B.T. (2010). *Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının ve Takım Tutucularının Frezelemedeki Performansının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Taylor, F. W. (1907). *On The Art of Cutting Metals*. American Society of Mechanical Engineers, New York, pp. 138-143.
- Ulrich, K. (2002). Vegetable oil-based coolants improve cutting performance. *Journal of Cutting Fluids*. <http://www.blaser.com/download/Dec02.pdf>.
- Upadhyay, N. (2015). Environmentally Friendly Machining: Vegetable Based Cutting Fluid. *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, 7(02), 79-86.
- Valaki J.B., Vishak, M., Gautam, V., Vijay, P., and Pruthvirajsinh, R. (2014). Vegetable Oil Based Metal Cutting Fluids For Sustainable Machining Processes. *International Journal of Emerging Technologies And Applications in Engineering*,

Technology And Sciences (IJ-ETA-ETS), 7(1), 325-328.

- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). *Biodiesel production technology: August 2002--january 2004* (No. NREL/SR-510-36244). National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US).
- Vieira, J. M., Machado, A. R., & Ezugwu, E. O. (2001). Performance of cutting fluids during face milling of steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 116(2-3), 244-251.
- Xavior, M. A., & Adithan, M. (2009). Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of materials processing technology*, 209(2), 900-909.
- Wagner, H., Luther, R., & Mang, T. (2001). Lubricant base fluids based on renewable raw materials: their catalytic manufacture and modification. *Applied Catalysis A: General*, 221(1-2), 429-442.
- Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J. W., & Wakabayashi, T. (2004). Dry machining and minimum quantity lubrication. *CIRP Annals, Manuf. Technol*, 53(2), 511-537.
- Wessol, A.A., & Whitacre, B. (1993). Operating hydraulics on "green" fluids. *Machine Design*, 65(2), 73-77.
- Willing, A. (2001). Lubricants based on renewable resources—an environmentally compatible alternative to mineral oil products. *Chemosphere*, 43(1), 89-98.
- Woods, S. (2005). Going green. *Cutting Tool Engineering*, 57(2), 48-51.
- Zhang, J. Z., Rao, P. N., & Eckman, M. (2012). Experimental evaluation of a bio-based cutting fluid using multiple machining characteristics. *Wear*, 12, 13-14.
- Zeman, A., Sprengel, A., Niedermeier, D., & Späth, M. (1995). Biodegradable lubricants—studies on thermo-oxidation of metal-working and hydraulic fluids by differential scanning calorimetry (DSC). *Thermochimica Acta*, 268, 9-15.
- İnternet: Sönnichsen, N., (2021). *Global Lubricants Industry-Statistics & Facts* <https://www.statista.com/topics/5263/lubricants-industry/#dossierKeyfigures>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2022.

5. BÖLÜM

YOSUNLAR VE TİTREŞİM SPEKTROSKOPİSİ UYGULAMALARI

Doç. Dr. Alev ER

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-3190-5342

Doç. Dr. Sefa ÇELİK

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

ORCID NO: 0000-0001-6216-1297

GİRİŞ

Deniz yosunlarının günümüzde tüm yaşam türleri için tehlike olan iklim değişikliği, gıda güvenliği gibi sorunlara çözüm olarak kullanılması deniz yosunu yetiştiriciliğinin sürdürülebilirlik açısından olumlu ya da olumsuz etkilerini araştırmayı gerektirir. İklim değişikliğiyle mücadelede sıcaklık artışını belli bir sınırdan tutmak önemlidir ve kullandığımız kimyasallardan uzaklaşarak yenilenebilir ve sürdürülebilir kaynaklara yönelmemiz gerekir. Yenilenebilir deniz yosunları proteinler, mineraller, vitaminler, biyoaktif antioksidanlar açısından zengindir. Kırmızı, kahverengi ve yeşil deniz yosunlarının antikanser, antiobezite, antidiyabetik gibi özellikleri vardır ve bu tedavi edici özellikleri nedeniyle tıp alanında kullanılır. Ayrıca deniz yosunları gıdalarda jelleştirici ve kıvam arttırıcı olarak da kullanılmaktadır.

En büyük yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle ve biyokütleden biyoyakıt üretimi, biyoyakıtların sahip olduğu ürün fiyatlarını artırmak, su kıtlığına ve kirliliğe neden olmak biyoçeşitliliği azaltmak ve ormansızlaşmayı hızlandırmak gibi ekonomik ve sürdürülebilirlik kısıtlamaları ile sınırlandırılmıştır. Üçüncü nesil biyoyakıt hammaddesi

olarak deniz yosunu, ekilebilir arazi, tatlı su veya gübre gerektirmediğinden bu zorlukların çoğunu aşabilir ve daha yüksek bir biyokütle verimi sergiler. Karbondioksiti (CO₂), ağır metal kirliliklerini kaldırarak doğrudan deniz çevresini geliştirmeye katkı sağlar.

1. YOSUNLAR VE TÜRLERİ

Algler, yeşil, kahverengi, kırmızı algleri içeren kıyı bölgesini işgal eden makroalgler (deniz yosunları) ve hem bentik hem kıyı habitatlarında, fitoplankton olarak okyanus sularında bulunan mikro algler olarak iki ana başlıkta toplanır (Garson, 1989; El Gamal, 2010).

Deniz yosunları veya makroalgler, denizlerde ve okyanuslarda yetişen çok hücreli fotosentetik bitki benzeri organizmalar olup deniz yosunlarının sürdürülebilir ekimi ve hasadı yapılabilir (Farmery vd., 2021). Bu nedenle deniz yosunları biyo-tabanlı malzemeler için yenilikçi bir hammadde olarak belirlenmiştir. Bu tür bir biyokütlenin, ilaç, gıda, yem, kozmetik ve biyoenerji gibi çeşitli alanlarda endüstriyel uygulamaları mevcuttur (Matos vd., 2021; Nakhate vd., 2021).

Deniz yosunları, yaklaşık 2000 türü olan kahverengi deniz yosunu (phylum Ochrophyta, Phaeophyceae sınıfı), yaklaşık 6700 tür içeren yeşil deniz yosunu (phylum Chlorophyta) ve yaklaşık 7300 türe sahip kırmızı deniz yosunu (phylum Rhodophyta) şeklinde tanımlanır. (Guiry vd., 2014; Peñalver vd., 2020).

Deniz yosunları ilkel, çiçeksiz, gerçek kök gövde ve yaprakları olmayan ticari açıdan önemli deniz canlılarından biri olarak yenilenebilir kaynaklardan birini oluştururlar (Abraham vd., 2018).

Kırmızı deniz yosunlarının et, yumurta ve süt gibi geleneksel protein kaynaklarına benzer protein seviyeleri ve kahverengi deniz yosunlarının yüksek miktarda çözünebilir karbonhidrat içerdiği bilinmektedir (Naseri vd., 2020; Ponce vd., 2003).

Yeşil deniz yosunlarından elde edilen sülfatlı polisakkaritler jelleşme ve koyulaştırma özelliklerine sahip olduğundan jelatin için vegan bir alternatif olarak kullanılabilir (Shannon vd., 2019).

Vietnam Denizi, Güney Çin Denizi'nin kuzeybatı kesiminde yer alır ve

iklimi kuzeyden güneye değişkenlik gösterir. Bu nedenle çok çeşitli deniz yosunu bitki örtüsüne sahip olan Vietnam kıyılarında, yaklaşık 1000 tür deniz yosunu olduğu tahmin edilmektedir (Hong vd., 2007).

2. YOSUNLARIN GIDA OLARAK KULLANIMI

Gelişmekte olan ve yoksul ülkelerde, yaşam kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi amacıyla yenilenebilir doğal kaynaklardan elde edilebilecek yeni maddeler araştırılmaktadır ve deniz yosunlarının sürdürülebilirliğinin doğal olduğu bilinmektedir. Kuzeydoğu Brezilya'da bol miktarda bulunan deniz yosunları pahalı olmasına rağmen karbonhidratlar, proteinler, vitaminler ve mineraller açısından zengin olduğundan gelecek vaat eden kaynaklardan biridir. Uzak Doğu ve Asya Pasifik'te, insanların beslenmelerinin bir parçası olarak deniz yosunu tüketme geleneği, uzun bir geçmişe sahipken batı ülkelerinde ise endüstriyel olarak kullanılmaktadır (Darcy-Vrillon, 1993; Mabeau vd., 1993; Jimenez-Escrig vd., 2000; Dawczynski vd., 2007).

Su ürünleri yetiştiriciliği deniz yosunlarını güvenilir ve sürdürülebilir bir seçenek haline getirir. Ancak deniz yosunları bir kaç kıyı bölgesinde nadiren tüketilmelerine rağmen batı diyetinde temel bir besin değildir. Günümüzde deniz yosunu bilimi ve teknolojisi, deniz yosunlarının gıdalar ile ilişkisi önemli araştırma konularıdır (Figuroa vd., 2021). Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşacağını öngörülmesi, sahip olduğumuz kaynakların dikkatli kullanılması gerekliliğini ortaya koymuş ve bu sürdürülebilirliğin günümüz araştırmalarında merkezi bir konu olmasının nedeni olmuştur (Dupont-Inglist vd., 2018). İklim değişikliği, kaynakların tükenmesi gibi sorunların çözümü için fosil bazlı kaynaklara olan bağımlılığımızı azaltmak, biyo-tabanlı bir ekonomiye geçiş yapmak gereklidir (Mengal vd., 2018).

Yosun tüketiminin en eski izlerine (yaklaşık 14.000 yıl önce) Şili'de ve Japonya'da rastlanır. (Dillehay vd., 2008; O'Connor, 2017). Kaynaklar, alglerin İskoçya ve İrlanda'da (MS 600), Çin'de (MS 300) gıda ve ilaç olarak tüketildiğini göstermektedir (Wiencke vd., 2012; Wells vd., 2017). Japonya, Çin ve Kore'de eski çağlardan beri deniz yosunları yiyecek olarak tüketilmektedir (Zava vd., 2011). Yosunların tadı genellikle, orijinal olarak deniz yosunu kombu'dan hazırlanan popüler Japon çorba malzemesi olan

dashi'deki umami tadıyla ilişkilendirilir. Dashi'ye atıfta bulunan en eski yazılı kayıt, 1550-1575 yılları arasında yazılmış bir Japon yemek kitabıdır (Osawa, 2012). Çin'de tüketilen başlıca deniz yosunu türleri *Undaria*, *Laminaria* ve *Porphyra*'dır. Japonlar deniz yosunlarını şeker, soya sosu, sirke gibi malzemeler ekleyerek soğuk olarak tüketirken Çinliler deniz yosunlarını pişirerek tüketir (Bangmei vd., 1987).

Deniz yosunları özellikle hızla büyüyen vegan ve vejetaryen pazarında bitkisel gıda tüketimini artırmak isteyen insanlara yönelik et ve et ürünlerine alternatiftir (Van der Weele vd., 2019). Deniz yosunu su ürünleri yetiştiriciliği için sürdürülebilir yem üretme fırsatı sağlar. Hayvan yemlerinde deniz yosunu yetiştiricilik ürünlerinin kullanımının, artan insan nüfusunu sürdürülebilir bir şekilde beslemek için gerekli ölçekte sürdürülebilir hayvan yetiştiriciliğinin geliştirilmesi için bir zorunluluk olduğu düşünülmektedir. Bazı deniz yosunlarının balık yemlerinde kullanılması balık büyümesi ve bağışıklık sistemleri üzerinde olumlu etkiler bırakmıştır. Deniz yosunlarının hayvan yemine dahil edilmesi hayvanların protein ve enerji gereksinimlerine katkıda bulunan faydalı biyoaktif bileşikler sağlar (Wan vd., 2019). Ayrıca deniz yosunları tekstüre edici ve stabilize edici maddeler olarak gıda endüstrisinde kullanılır (Nova vd., 2020).

Deniz yosunları (örneğin aljinatlar, agar ve karragenan), jelleşme ve koyulaştırma gibi reolojik özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde değerli katkı maddeleri olarak kullanılan zengin sülfatlı polisakkarit kaynaklarıdır (Pereira, 2011).

2009 yılında yapılan bir çalışmada, Brezilya Ceará kıyılarından alınan yıkanmış deniz yosunlarının toksik faktörler göstermesi, beslenme kalitesinin düşmesine katkıda bulunabilecek ağır metaller içermesi ve toksik metal kontaminasyonundan dolayı insan tüketimine uygun olmadığı belirlenmiştir (De Oliveira vd., 2009).

3. YOSUNLARIN ÇEVRESEL KATKILARI

Deniz yosunu biyokütlesi etanol, bütanol, biyogaz, biyodizel, biyo-yağ veya hidrojen üretmek için kullanılabilir. Şu anda deniz yosunu üretiminin yaklaşık %1'ini kullanan deniz yosunu bazlı biyoyakıtlara yönelik talebin ulaşım sektöründen gelen talepler doğrultusunda artması muhtemeldir. Hem havacılık hem denizcilik sektörlerinin yılda yaklaşık %6 oranında büyüyeceği düşünüldüğünden bu sektörlerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamak için sıfır karbonlu, enerji yoğun yakıt arayışı deniz yosununu umut verici bir kaynak haline getirmiştir (Mazarrasa vd., 2013; Guedes vd., 2019).

Yüksek maliyetle CO₂ yakalayan mikroalglerin aksine deniz yosunu yetiştiriciliği CO₂ yakalamada net bir fayda sağlayabilir. Makroalglerden biyoetanol ve biyogaz üretimi hızla büyümesine rağmen ekonomik olarak henüz uygun bir model mevcut değildir ve bu nedenle mavi biyoyakıtlar henüz bir tüketici seçeneği olarak görülmemektedir. Ancak gıda ürünlerini yakıt üretimine yönlendirerek gıda fiyatlarını artıran ve tropik bölgelerde ormansızlaşmanın ana itici gücünü temsil eden arazi biyoyakıtlarından çok daha sürdürülebilir bir seçenek olacaktır (Havlık vd., 2011; Mazarrasa vd., 2013). Deniz yosununun ithal edilen enerji üzerindeki önemli bir yükü ortadan kaldırma ve böylece küresel karbon yakalama ve kullanma çözümüne katkıda bulunma potansiyeli vardır (Laurens vd., 2020).

Deniz yosunları gıdaya, hayvan yemine, gübreye, kozmetik bileşenlere ve biyoyakıtlara kaynak olarak uygulanmalarının dışında çevre kirliliğini önlemek, kirliliğin biyolojik olarak iyileştirilmesi ve deniz ekosisteminin çevresel biyoindikasyonu için de kullanılabilir. Zehirli metalleri (örneğin arsenik, kadmiyum, krom, kobalt, bakır, kurşun, cıva, nikel, çinko) ve organik bileşikler kirlenmiş topraktan, endüstriyel atık sularından ve atık su arıtımından etkili bir şekilde uzaklaştırdıkları bilinmektedir. Kuru deniz yosunları tarafından toksik metal iyonlarının biyosorpsiyonu, kirliliğin bir tür biyolojik arıtımıdır (Michalak, 2020).

4. YOSUNLARIN TIPTA KULLANIMI

Çin halkının yaklaşık 2000 yıl önce deniz yosunlarını genellikle suda kaynatarak ve kaynatma yoluyla ilaç olarak toplayıp çeşitli tıbbi amaçlar için kullandığı Çin literatüründe mevcuttur (Chengkui vd., 1984).

Polisakkaritler, polimerik karbonhidrat yapılarına sahip makromoleküllerdir. Sargassum'daki polisakkaritler üç ana grupta verilir: fucoidan, aljinat ve laminaran. Genel olarak, sargassum daha fazla aljinat ve daha az fukodiyen ve laminaran içerir. Sargassumun inflamatuvar, alerji, alzheimer ve kanser gibi aktivitelere karşı, karaciğer, mide, kemik gibi yapılarda koruyucu ve cilt beyazlatıcı olduğu saptanmıştır (Liu vd., 2012). Deniz yosunları, antiinflamatuvar, antimikrobiyal, antiviral ve anti-tümör ilaçlar olarak büyük potansiyel gösteren biyoaktif madde içerikleri nedeniyle biyomedikal alanda yeni bir ilginin doğmasına neden olmuştur.

2014 yılında yapılan bir çalışmada üç kahverengi deniz yosununun antioksidan, anti-inflamatuvar ve antiproliferatif etkileri incelenmiştir (Mhadhebi vd., 2014). Aynı yıl yapılan başka bir çalışma Brezilya'da deniz yosunu biyoteknolojisinin genişlemekte olduğunu, yeşil deniz yosununun bir türü olan Chlorophyta'nın 20 türü, Heterokontophyta'nın 19 türü ve Rhodophyta'nın 64 türünü inceleyerek bu türlerin çeşitli biyolojik aktiviteleri test edilmiştir (Fernandes vd., 2014).

Literatürde deniz yosunu açısından zengin beslenmenin obezite, kanser, kalp ve beyin damar hastalıklarına yakalanma olasılığını azaltabileceği, antikanser etkileri olan deniz yosunlarının ve birçok deniz yosunu türevi bileşiğin antitümör aktivitelerini ortaya çıkaran pek çok çalışma mevcuttur. 2018 yılında yapılan bir çalışmada deniz yosunlarının kanseri önlemedeki rolü ve deniz yosunundan türetilen biyoaktif maddelerin kanserin önlenmesi ve tedavisindeki etkinliği gösterilmiştir (Jiang vd., 2018).

Deniz yosunları fitokimyasalların üretimi için muazzam bir kaynak olup 21. yüzyılın tıbbi gıdası olarak adlandırılırlar (Abraham vd., 2018).

5. YOSUN YETİŞTİRİCİLİĞİ

Deniz yosunlarının tanınmasına artan ilgi öncelikle ekonomik değerinin tanınmasından, agar, aljinatlar ve karragenan gibi ticari ürünlerin üretimi için hammadde olarak gıda kaynağı olmasından ve kıyı bölgelerinde yaşayan topluluklar için ek geçim kaynağı olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Abraham vd., 2018).

2019 yılında yapılan bir çalışmada deniz yosunu yetiştiriciliğinin ekonomik ve çevresel olarak sürdürülebilirliği için tarım alanlarının genişletilmesinin, karada deniz temelli tesislerin geliştirilmesinin, aynı tarlada çeşitli bitkilerin dönüşümlü ekimi ve bundan dolayı yeni deniz yosunu türlerinin yetiştirilmesinin gerekli olduğu belirtilmiştir (Hurtado vd., 2019). Deniz yosunlarının önemli bir potansiyele sahip olduğu fark edildikten sonra moleküler düzeyde deniz yosunu yetiştiriciliğine odaklanılmış olup deniz yosununun ticari olarak yetiştirilmesi dünya çapında oldukça büyük bir ölçekte gerçekleştirilmektedir. Yetiştirme yöntemleri çoğu durumda gelenekseldir, ekim alanları diğer sebzelere göre önemli ölçüde daha küçüktür (Xiu-geng vd., 1999).

Deniz yosunu özleri gibi doğal biyolojik uyarıcılar, hem model hem de ekin bitkilerinde bitki büyümesini ve gelişmesini teşvik edebilir. Tarımda kullanımları için artan talepler nedeniyle, üretildikleri kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması çok önemlidir. Ayrıca son zamanlarda bazı deniz yosunu özlerinin kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklıklar gibi olumsuz çevresel faktörlerin yanı sıra oksidatif strese karşı hazır olduğu ve koruduğu gösterilmiştir. Bu biyostimulantların moleküler etki şekli hala tam olarak aydınlatılamamıştır, ancak son yıllarda bu yönde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. 2022 yılında yapılan bir çalışma biyostimulant üretimi için hammadde olarak deniz yosunu kaynaklarının hasat edilmesinin sürdürülebilirlik yönlerini inceleyip deniz yosunu bazlı biyostimulantlarla ilgili düzenleyici ortama genel bir bakış sunmaktadır (Sujeeth vd., 2022).

Yosunlar gibi yeni gıdalar, gelecekteki küresel yiyecek eksikliklerinden kaçınmak ya da kaçınmaya katkıda bulunmak için gıda verimini artırma potansiyeline sahiptir. 2021 yılında yapılan bir çalışmada deniz yosunu tüketimiyle ilişkili mikrobiyolojik, kimyasal, fiziksel ve alerjik riskler değerlendirilmiş ve araştırılmıştır. Mikrobiyolojik, alerjik ve fiziksel riskler

açısından önemli bir tehlike tespit edilmemiştir. Kimyasal riskle ilgili olarak, algler özellikle kirli alanlarda hasat edildiğinde çeşitli ağır metaller biriktirir. Yosunların kontrollü bir ortamda yetiştirilmesi bu riskin önlenmesini sağlar. Ağır metal seviyelerini izlemek için bitmiş ürünlerde periyodik kontroller gerekli olacaktır. Yosun tüketimi artıyor gibi görüldüğü için her yerde gıda kontrol yetkililerinin yosun yemenin insan sağlığı için herhangi bir risk oluşturmadığı güvenlik seviyelerini belirlemesi acil olarak görülmektedir (Cavallo vd., 2021).

6. YOSUNLARIN TİTREŞİM SPEKTROSKOPİSİ UYGULAMALARI

Titreşim spektroskopisi, moleküler yapının aydınlatılmasında kullanılan önemli bir araçtır. Molekülün titreşim seviyeleri arasındaki geçişler, Infrared ve Raman spektroskopisi ile deneysel olarak gözlemlenir (Gupta, 2016).

Fikokolloidler birkaç deniz yosunu türü tarafından üretilen özel polisakkaritler olup karragenan ve agar Rhodophyceae'den elde edilen bazı sülfatlanmış polisakkaritlerdir (Craigie, 1990).

1996 yılında yapılan bir çalışmada, FTIR ve Raman spektroskopileri kullanılarak agar ve karragenan (carrageenan) tipi deniz yosunu galaktanları incelenmiş ve sırasıyla 800-700 cm^{-1} ve 1600-1000 cm^{-1} bölgelerinde çok sayıda bant gözlenmiştir (Matsuhira, 1996).

2003 yılında yapılan bir çalışmada 740, 770 ve 837 cm^{-1} de IR spektroskopi kullanılarak zayıf gözlenen önemli karakteristik bantlar FT-Raman spektroskopisi kullanılarak kolaylıkla gözlenmiştir (Pereira vd., 2003). 2013 yılında yapılmış başka bir çalışmada titreşim FTIR-ATR ve FT-Raman spektroskopilerinin hızlı ve tahribatsız bir yöntemle elde edilen yenilebilir kahverengi ve kırmızı deniz yosunları tarafından üretilen sülfatlı polisakkaritlerin gıda ilaç ve kozmetik endüstrilerinde ön tespit için kullanışlı bir araç olduğu belirtilmiştir (Pereira vd., 2013).

2009 yılında FTIR spektroskopisi kullanılarak karragenan türlerinin karşılaştırmalı bir çalışması yapılmış bununla birlikte, IR ve Raman spektroskopisinin tamamlayıcı kullanımının titreşim spektrumlarının daha iyi yorumlanmasına ve çeşitli kolloidlerin ve varyantların daha doğru

tanımlanmasına izin verdiği sonucuna varılmıştır (Pereira vd., 2009).

2011 yılında yapılan bir çalışma deniz yosunlarındaki polisakkaritlerin hızlı karakterizasyonu için gıda ve gıda dışı endüstrilerde kullanılmaya uygun olduğunu FTIR-ATR spektroskopisi yöntemi kullanılarak kanıtlamıştır (Gómez-Ordóñez vd., 2011).

2014 yılında kahverengi algler *Sargassum wightii* ve kırmızı algler *Gracilaria corticata* üzerinde spektroskopik analizler yapılmıştır. 3371, 2924 ve 2358 cm^{-1} deki bantlar aminler, hidroksil ve karboksilik gruplarında N-H/O-H, C-H ve C-O gerilme titreşimlerine karşılık gelmiştir (Kannan, 2014). Selmi vd. tarafından yapılan çalışmada iki kırmızı Tunus deniz yosununda (*Gymnogongrus griffithsiae* ve *Asparagopsis taxiformis*) mineral ve ağır metaller (arsenik, kadmiyum, bakır, demir, cıva, potasyum, manganez, sodyum, fosfor ve kurşun) incelenmiştir. FTIR analizi ile incelenen deniz yosunlarında bulunan ana fonksiyonel gruplar, metal tutma için mükemmel bağlanma bölgeleri olarak kabul edilen karboksil, hidroksil, sülfat ve fosfat gruplarıdır. Her iki deniz yosununun karmaşık doğasını gösteren karakteristik bantlar belirlenmiş ve tabloda verilmiştir. Spektrumlar karşılaştırıldığında genel olarak benzer profillere sahip olduğu gözlenmiş ancak *A. taxiformis* için 2348 cm^{-1} ve 1067 cm^{-1} de titreşim bantlarının yokluğuyla ilişkili farklılıklar olduğu gösterilmiştir (Selmi vd., 2021).

Devi vd. tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada üç Hint deniz yosununun (*Halimeda Tuna*, *Turbinaria conoides* ve *Gracilaria foliifera*) in vitro antioksidan aktiviteleri değerlendirilmiş ve FTIR analizi polifenolik sinyallerin varlığını ortaya çıkarmıştır. Deniz yosunu özlerinin, gallik asit standardı ile karşılaştırıldığında orta düzeyde antioksidan aktivite sergilediği gözlenmiştir (Devi vd., 2011).

2016 yılında yapılan çalışmada seçilen üç deniz yosununun (*Cladophora pellucida*, *Padina tetrastromatica* ve *Laurencia papillosa*) biyoaktif bileşikleri ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. FTIR analizi ile polisakkaritler bu üç deniz yosununda tanımlanmıştır. Ana polisakkaritler bileşimi, incelenen deniz yosunları arasında değişiklik göstermiştir. *Cladophora pellucida*'nın L-arabinoz, D-galaktoz, L-ramnoz ve sülfat gruplarını içeren *Cladophora* polisakkariti içerdiği bulunmuştur. *P. tetrastromatica*'da bulunan temel polisakkarit fucoidan'dır. Fucoidan, IR spektrumunda sülfat grubuna ait 1190 ve 1244 cm^{-1} civarında iki karakteristik bant gösterir. Spektrumlar,

P. Tetrastomatica için guluronik asitlerden daha yüksek mannuronik değerleri önermektedir. L. papillosa'da temel polisakkarit, 873, 1100 ve 1124 cm^{-1} bölgesinde bantlar veren sülfatlanmış galaktandır. Bu polimer, D ve L-Galaktoz birimlerinden oluşur (Ismail vd., 2016).

SONUÇ

Yosunlar çeşitli vitaminler, mineraller, protein vb. içeren önemli sürdürülebilir biyolojik kaynaklardır. Sürdürülebilir bir kaynak olan yosunların ve türevlerinin başta gıda ve sağlık alanları olmak üzere çok sayıda alanda kullanımının yaygınlaşması ticari değerini de artırmaktadır. Önemli kullanım alanlarına sahip olan yosunların özellikle FTIR ve Raman olmak üzere çeşitli spektroskopik teknikler kullanılarak yapılarının karakterize edilmesi yosunların kullanımlarının daha da artmasına katkıda bulunacaktır.

KAYNAKÇA

- Abraham, A., Afewerki, B., Tsegay, B., Ghebremedhin, H., Teklehaimanot, B., & Reddy, K. S. (2018). Extraction of agar and alginate from marine seaweeds in red sea region. *International Journal of Marine Biology and Research*, 3(2), 1-8.
- Bangmei, X., & Abbott, I. A. (1987). Edible seaweeds of China and their place in the Chinese diet. *Economic botany*, 41(3), 341-353.
- Cavallo, G., Lorini, C., Garamella, G., & Bonaccorsi, G. (2021). Seaweeds as a “palatable” challenge between innovation and sustainability: A systematic review of food safety. *Sustainability*, 13(14), 7652.
- Chengkui, Z., & Junfu, Z. (1984). Chinese seaweeds in herbal medicine. In *Eleventh International Seaweed Symposium* (pp. 152-154). Springer, Dordrecht.
- Craigie, J. S. (1990). Cell walls. *Biology of the red algae*, 5, 221-257.
- Darcy-Vrillon, B. (1993). Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 44, S23-S35.
- Dawczynski, C., Schubert, R., & Jahreis, G. (2007). Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food chemistry*, 103(3), 891-899.
- De Oliveira, M. N., Freitas, A. L. P., Carvalho, A. F. U., Sampaio, T. M. T., Farias, D. F., Teixeira, D. I. A., ... & Pereira, J. G. (2009). Nutritive and non-nutritive attributes

- of washed-up seaweeds from the coast of Ceará, Brazil. *Food Chemistry*, 115(1), 254-259.
- Devi, G. K., Manivannan, K., Thirumaran, G., Rajathi, F. A. A., & Anantharaman, P. (2011). In vitro antioxidant activities of selected seaweeds from Southeast coast of India. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 4(3), 205-211.
- Dillehay, T. D., Ramírez, C., Pino, M., Collins, M. B., Rossen, J., & Pino-Navarro, J. D. (2008). Monte Verde: seaweed, food, medicine, and the peopling of South America. *science*, 320(5877), 784-786.
- Dupont-Inglis, J., & Borg, A. (2018). Destination bioeconomy—The path towards a smarter, more sustainable future. *New biotechnology*, 40, 140-143.
- El Gamal, A. A. (2010). Biological importance of marine algae. *Saudi pharmaceutical journal*, 18(1), 1-25.
- Farmery, A. K., Allison, E. H., Andrew, N. L., Troell, M., Voyer, M., Campbell, B., ... & Steenbergen, D. (2021). Blind spots in visions of a “blue economy” could undermine the ocean’s contribution to eliminating hunger and malnutrition. *One Earth*, 4(1), 28-38.
- Fernandes, D. R. P., de Oliveira, V. P., & Yoneshigue Valentin, Y. (2014). Seaweed biotechnology in Brazil: six decades of studies on natural products and their antibiotic and other biological activities. *Journal of applied phycology*, 26(5), 1923-1937.
- Figuroa, V., Farfán, M., & Aguilera, J. M. (2021). Seaweeds as novel foods and source of culinary flavors. *Food Reviews International*, 1-26.
- Garson, M. J. (1989). Biosynthetic studies on marine natural products. *Natural Product Reports*, 6(2), 143-170.
- Gómez-Ordóñez, E., & Rupérez, P. (2011). FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds. *Food hydrocolloids*, 25(6), 1514-1520.
- Guedes, A. C., Amaro, H. M., Sousa-Pinto, I., & Malcata, F. X. (2019). Algal spent biomass—A pool of applications. In *Biofuels from algae* (pp. 397-433). Elsevier.
- Guiry, M. D., Guiry, G. M., Morrison, L., Rindi, F., Miranda, S. V., Mathieson, A. C., ... & Garbary, D. J. (2014). AlgaeBase: an on-line resource for algae. *Cryptogamie, Algologie*, 35(2), 105-115.
- Gupta, V. P. (2016). Principles and applications of quantum chemistry. Academic Press.
- Havlík, P., Schneider, U. A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., ... & Obersteiner, M. (2011). Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy policy*, 39(10), 5690-5702.
- Hong, D. D., Hien, H. M., & Son, P. N. (2007). Seaweeds from Vietnam used for

- functional food, medicine and biofertilizer. *Journal of Applied Phycology*, 19(6), 817-826.
- Hurtado, A. Q., Neish, I. C., & Critchley, A. T. (2019). Phyconomy: the extensive cultivation of seaweeds, their sustainability and economic value, with particular reference to important lessons to be learned and transferred from the practice of eucheumatoid farming. *Phycologia*, 58(5), 472-483.
- Ismail, M. M., Gheda, S. F., & Pereira, L. (2016). Variation in bioactive compounds in some seaweeds from Abo Qir bay, Alexandria, Egypt. *Rendiconti Lincei*, 27(2), 269-279.
- Jiang, J., & Shi, S. (2018). Seaweeds and cancer prevention. *Bioactive seaweeds for food applications*, 269-290.
- Jiménez-Escrig, A., & Sánchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: Chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition research*, 20(4), 585-598.
- Kannan, S. (2014). FT-IR and EDS analysis of the seaweeds *Sargassum wightii* (brown algae) and *Gracilaria corticata* (red algae). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(4), 341-351.
- Laurens, L. M., Lane, M., & Nelson, R. S. (2020). Sustainable seaweed biotechnology solutions for carbon capture, composition, and deconstruction. *Trends in Biotechnology*, 38(11), 1232-1244.
- Liu, L., Heinrich, M., Myers, S., & Dworjanyn, S. A. (2012). Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in Traditional Chinese Medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal of ethnopharmacology*, 142(3), 591-619.
- Mabeau, S. J., & Fleurence, J. (1993). Seaweed in food products: Biochemical and nutritional aspects. *Trends in Food Science and Technology*, 4, 103-107.
- Matos, G. S., Pereira, S. G., Genisheva, Z. A., Gomes, A. M., Teixeira, J. A., & Rocha, C. M. (2021). Advances in extraction methods to recover added-value compounds from seaweeds: sustainability and functionality. *Foods*, 10(3), 516.
- Matsuhiro, B. (1996). Vibrational spectroscopy of seaweed galactans. In *Fifteenth international seaweed symposium* (pp. 481-489). Springer, Dordrecht.
- Mazarrasa, I., Olsen, Y. S., Mayol, E., Marbà, N., & Duarte, C. M. (2013). Rapid growth of seaweed biotechnology provides opportunities for developing nations. *Nature Biotechnology*, 31(7), 591-592.
- Mengal, P., Wubbolts, M., Zika, E., Ruiz, A., Brigitta, D., Pieniadz, A., & Black, S. (2018). Bio-based Industries Joint Undertaking: The catalyst for sustainable bio-based economic growth in Europe. *New biotechnology*, 40, 31-39.
- Mhadhebi, L., Mhadhebi, A., Robert, J., & Bouraoui, A. (2014). Antioxidant,

- anti-inflammatory and antiproliferative effects of aqueous extracts of three mediterranean brown seaweeds of the genus *cystoseira*. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 13(1), 207.
- Michalak, I. (2020). The application of seaweeds in environmental biotechnology. In *Advances in botanical research* (Vol. 95, pp. 85-111). Academic Press.
- Nakhate, P., & Van Der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: a sustainable bio-based material. *Sustainability*, 13(11), 6174.
- Naseri, A., Marinho, G. S., Holdt, S. L., Bartela, J. M., & Jacobsen, C. (2020). Enzyme-assisted extraction and characterization of protein from red seaweed *Palmaria palmata*. *Algal Research*, 47, 101849.
- Nova, P., Martins, A. P., Teixeira, C., Abreu, H., Silva, J. G., Silva, A. M., ... & Gomes, A. M. (2020). Foods with microalgae and seaweeds fostering consumers health: A review on scientific and market innovations. *Journal of Applied Phycology*, 32(3), 1789-1802.
- O'Connor, K. (2017). *Seaweed: a global history*. Reaktion Books.
- Osawa, Y. (2012). Glutamate perception, soup stock, and the concept of umami: the ethnography, food ecology, and history of dashi in Japan. *Ecology of food and nutrition*, 51(4), 329-345.
- Peñalver, R., Lorenzo, J. M., Ros, G., Amarowicz, R., Pateiro, M., & Nieto, G. (2020). Seaweeds as a functional ingredient for a healthy diet. *Marine Drugs*, 18(6), 301.
- Pereira, L., Sousa, A., Coelho, H., Amado, A. M., & Ribeiro-Claro, P. J. (2003). Use of FTIR, FT-Raman and ¹³C-NMR spectroscopy for identification of some seaweed phycocolloids. *Biomolecular Engineering*, 20(4-6), 223-228.
- Pereira, L., Amado, A. M., Critchley, A. T., Van de Velde, F., & Ribeiro-Claro, P. J. (2009). Identification of selected seaweed polysaccharides (phycocolloids) by vibrational spectroscopy (FTIR-ATR and FT-Raman). *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1903-1909.
- Pereira, L. (2011). A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds. *Seaweed: Ecology, Nutrient Composition and Medicinal Uses*; Pomin, VH, Ed, 15-47.
- Pereira, L., Gheda, S. F., & Ribeiro-Claro, P. J. (2013). Analysis by vibrational spectroscopy of seaweed polysaccharides with potential use in food, pharmaceutical, and cosmetic industries. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2013.
- Ponce, N. M., Pujol, C. A., Damonte, E. B., Flores, M. L., & Stortz, C. A. (2003). Fucoidans from the brown seaweed *Adenocystis utricularis*: extraction methods, antiviral activity and structural studies. *Carbohydrate Research*, 338(2), 153-165.
- Selmi, A., Khiari, R., Snoussi, A., & Bouzouita, N. (2021). Analysis of minerals and heavy metals using ICP-OES and FTIR techniques in two red seaweeds

- (*Gymnogongrus griffithsia* and *Asparagopsis taxiformis*) from Tunisia. *Biological Trace Element Research*, 199(6), 2342-2350.
- Shannon, E., & Abu-Ghannam, N. (2019). Seaweeds as nutraceuticals for health and nutrition. *Phycologia*, 58(5), 563-577.
- Sujeeth, N., Petrov, V., Guinan, K. J., Rasul, F., O'Sullivan, J. T., & Gechev, T. S. (2022). Current Insights into the Molecular Mode of Action of Seaweed-Based Biostimulants and the Sustainability of Seaweeds as Raw Material Resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(14), 7654.
- Van der Weele, C., Feindt, P., van der Goot, A. J., van Mierlo, B., & van Boekel, M. (2019). Meat alternatives: an integrative comparison. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 505-512.
- Wan, A. H., Davies, S. J., Soler-Vila, A., Fitzgerald, R., & Johnson, M. P. (2019). Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 458-492.
- Wiencke, C., & Bischof, K. (2012). Seaweed biology. *Ecological studies*, 219.
- Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., ... & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29(2), 949-982.
- Xiu-geng, F., Ying, B., & Shan, L. (1999). Seaweed cultivation: traditional way and its reformation. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 17(3), 193-199.
- Zava, T. T., & Zava, D. T. (2011). Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: a literature-based analysis. *Thyroid research*, 4(1), 1-7.

6. BÖLÜM

OMEGA-3, OMEGA-6 YAĞ ASİTLERİ VE SPEKTROSKOPİ UYGULAMALARI

Doç. Dr. Sefa ÇELİK

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

ORCID NO: 0000-0001-6216-1297

Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇAKIR

İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Gıda Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0003-4343-3706

Doç. Dr. Alev ER

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-3190-5342

GİRİŞ

Çoklu doymamış yağ asitleri olan omega-3 ve omega-6 (PUFA'lar) beslenmenin temel taşlarından biri olarak görülmektedir. Esansiyel olan bu yağ asitlerini sağlıklı bir yaşam sürdürebilmemiz için beslenmemizin bir parçası haline getirmemiz gerekmektedir. Omega-3 (ω -3) yağ asitleri gıdalara fonksiyonel özellik katmak ve yenilikçi fonksiyonel ürünler geliştirmek amacıyla biyoaktif bileşen olarak yer almaktadır. Ürünlerde raf ömrünü artırmak amacıyla oksidatif bozulmalara karşı yeni ve yenilikçi teknikler araştırılmaktadır. Kardiyovasküler hastalıklar, inflamatuvar hastalıklar, hipertansiyon, otoimmün bozuklukları, sedef hastalığı, romatoid artrit ve bazı kanser türleri gibi hastalıkların önleminde çeşitli sağlık yararları mevcuttur. Tuzlu su balıkları omega-3 yağ asidi bakımından, tatlı su balıkları

ise daha çok omega-6 (ω -6) yağ asidi bakımından zengin kaynaklar olarak görülmektedir. Bunların dışında omega-3 ve omega-6 yağ asitleri kabuklu yemişler, baharatlar, baklagiller ve semizotu gibi yeşil sebzelerde mevcuttur. İklim değişiklikleri, doğal kaynakların kirlenmesi, aşırı avlanma, kuraklık, nüfusun artması beraberinde beslenme problemlerine ve sürdürülebilirlik endişelerine yol açmaktadır.

1. OMEGA-3 VE OMEGA-6 YAĞ ASİTLERİ

Beslenmemizin önemli bir parçası olarak yer alan yağ asitleri, bitki ve hayvan kaynaklarından elde edilmekte olup bağ sayısı, uzunluk, zincir yapısına bağlı olarak tek C-C bağına sahip doymuş yağ asitleri, tek bir çift bağ içeren tekli doymamış yağ asitleri (MUFA), iki çift bağ ve üzeri doymamış yağ asitleri (PUFA) içeren çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşur (Christie vd., 1995; Gunstone, 1996). Omega-3 ve omega-6 yağ asitleri ise çoklu doymamış yağ asitleri ailesinde yer almaktadır. Alfa-linolenik asit, eikosapentaenoik asit (C20:5n-3); ve dokosaheksaenoik asit (C22:6n-3) omega-3 yağ asitleri (Simopoulos vd., 1999) iken araşidonik asit (ARA) ise omega-6 yağ asitidir. En basit omega-3 yağ asidi olan alfa-linolenik asit desatürasyon yoluyla linoleik asitten sentezlenmekte ve EPA ve DHA'nın sentezinde görev almaktadır. Araşidonik asit (AA) gibi bazı omega-6 yağ asitleri, başlangıç noktası olarak linoleik asit ve eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) gibi diğer yağ asitlerini kullanarak vücutta üretilir (Fontani vd., 2005). Ayrıca balık tüketim alışkanlıklarının yetersiz olması, sağlık problemleri, balık yağlarının tat olarak beğenilmemesi gibi nedenler omega-3 yağ asitlerinin alımını kısıtlamaktadır. Optimum tüketim için alternatif yollara ihtiyaç vardır. Günümüzde omega-3 ve omega-6 yağ asitleri ile zenginleştirilmiş gıdaların üretimine yönelik çalışmalar olumlu sonuçlara ulaşmıştır. Bu yağ asitlerinin tavsiye edilen oranlarda tüketilmemesi de sağlık üzerinde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır (Kolanowski vd., 2006).

2. OMEGA YAĞ ASİTLERİ KAYNAKLARI

Çoklu doymamış yağ asitlerinden olan omega-3 ve omega-6 yağ asitlerini beslenmemizin bir parçası olarak dışarıdan almamız gerekir. Haftada en az iki porsiyon balık tüketimi veya balık yağı takviyeleri alınması önerilmektedir (Lovegrove vd., 1997; Metcalf vd., 2003). Omega-3 yağ asitleri kaynaklarından biri olan α -linolenik asit hem bitki hem de hayvan kaynaklı bir yağ asitidir. Bitkisel kaynaklar açısından kanola, soya fasulyesi, mısır, ayçiçek yağlarını içeren bitkisel yağlar ve mahsül tohumları ω -6 kaynakları olup ω -3 bakımından fakirdir. Tüm bunların aksine chia , keten tohumları ve perilla alfa linoleik asit bakımından oldukça zengindir (Kim vd., 2018; Saini vd., 2014; Saini vd., 2016). Omega-3 kaynakları omega-6 kaynaklarına göre daha sınırlı olduğundan ω -3 alımı daha düşüktür (Moghadasian, 2008). EPA ve DHA doğal deniz kaynaklarından üretilir ve bu nedenle insan tüketimi için DHA ve EPA'nın ana kaynakları yağlı deniz balıkları, kabuklu deniz ürünleri ve alglerdir (Barta vd., 2021; Fewtrell, 2006; Ruxton vd., 2004; Tocher vd., 2019). Algler, fitoplankton ve bitkiler tatlı su balıkları tarafından tüketilen ω -6 yağ asitleri kaynağı olarak iyi bilinmektedir. Deniz suyu balıkları özellikle zengin bir ω -3 yağ asidi kaynağı olan zooplanktonla beslenmektedir (Sun vd., 2020). Su ürünleri yetiştiriciliğinin büyümesi için en büyük sınırlama, omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) açısından zengin balık yağlarının yetersizliğidir (Scherr vd., 2016). Mikroalg hücrelerinin, EPA ve DHA gibi değeri yüksek yağ asitleri için hayati önem taşıyan ve yağ asitlerini içeren lipidleri hızla biriktirme yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir (Jones vd., 1999). Deniz balıkları bol miktarda fitoplankton ve zooplanktonla beslendiği için ω -6 bakımından zengin tahıl ve bitkisel yağlardan yapılan yemlerle beslenen çiftlik balıklarından daha fazla ω -3 içermektedir. Deniz suyu balıkları yüksek miktarda ω -3 yağ asidi içerirken, tatlı su balıklarının ω -6 ve ω -3 açısından zengin olduğu belirlenmiştir (Hamilton vd., 2014). Soğuk su balıklarının soğuk sulara uyum sağlayabilmeleri için sıcak sularda yaşayanlara göre daha yüksek oranda ω -3 biriktirdiği belirlenmiştir (Parmentier vd., 2007; Saini vd., 2018). Bununla birlikte yetiştikleri bölgeye, balık türlerine göre farklı miktarlarda EPA/DHA oranları içermektedir (Calder vd., 2009). ω -3 PUFA'ların en yaygın kaynaklarından biri olan balık yağı, esas olarak yağlı balıklar olan morina, sardalya, ringa balığı, hamsi, kum yılan balığı, kril

gibi balıklardan ve benzeri yağ bakımından zengin midye, istiridye, karides, tarak ve yengeç gibi kabuklu çeşitlerinden üretilir. Bu türlerden elde edilen balık yağı, toplam yağ asitlerinin %0,2-%15'i arasında değişen esansiyel ω -3 PUFA'lar EPA ve DHA açısından zengindir. (Ackman, 2000). Ağırlıklı olarak deniz kaynaklı gıdalarda bulunan omega-3 baklagiller, kabuklu yemişler, baharatlar, zeytinyağı, keten tohumu yağı, semizotu gibi gıdalarda mevcuttur (Ganesan vd., 2014).

3. OMEGA-3 VE OMEGA- 6 YAĞ ASİTLERİNİN ÖNEMİ

Günlük kalori ihtiyacımızın %20-%35'i olan yağların %0,5-%1'i için DHA ve EPA alımının yapılması gerektiği belirtilmiştir. Düşük yağlı diyet uygulamalarında %3-%10'a kadar ω -3 yağ asitleri eklenmesi sağlık açısından önemli görülmektedir (Hamilton vd., 2020; Madore vd., 2020; Patel vd., 2022). Yağ asitleri enerji kaynakları olmalarının yanı sıra hücreler, dokular ve organlar için yapısal fizyolojik işlevlere sahiptir ve çeşitli biyoaktif bileşenler için yapı taşları sağlar (Hulbert vd., 2005; Saini vd., 2018). Özellikle omega-3 yağ asitleri sağlık için hastalıklara karşı korumada çok önemli yağ asitleridir (Kang, 2011). İnsanlar alfa-linoleik asit sentezleyemediğinden omega yağ asitlerini zorunlu olarak çeşitli diyet kaynaklarından almaları gerekir (Ganesan vd., 2014). Yapılan çalışmalarda ω -3 yağ asidinin enflamasyon, diyabet, koroner kalp hastalıkları, alzheimer, obezite, romatoid artrit, sedef hastalığı, ülseratif kolit ve kanser dahil olmak üzere bir çok hastalığı önleyici etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Augustsson vd., 2003; Barnett vd., 2004; Kapoor vd., 2021; Kidd, 2007). Alfa linolenik asit, EPA ve DHA yağ asitleri ruh hali üzerine olumlu etkiler oluşturarak stres, kaygı ve depresyon gibi olumsuz psikolojik belirtileri azalttığı belirlenmiştir (Godos vd., 2019; Mou vd., 2019). Omega yağ asitlerinin sağlık üzerine yararlı etkileri olsa da ω -3 ve ω -6 PUFA'ların vücuttaki metabolik fonksiyonlar üzerinde zıt etkileri olduğu da görülmüştür (Dennis vd., 2015). Yapılan çalışmalarda ω -3 ve ω -6 yağ asitleri oranındaki dengesizliğin birçok sağlık problemine yol açtığı belirlenmiştir (Kaliannan vd., 2019; Simopoulos, 2016). Yüksek oranda ω -6 tüketiminin kronik inflamatuvar hastalıklar, kardiyovasküler hastalıklar, obezite, romatoid artrit ve alzheimer hastalığı ile ilişkisi olduğu belirlenmiştir (Patterson vd., 2012). Düşük oranda ω -3 ve yüksek oranda ω -6 tüketimi depresyon ve

anksiyete gibi nöropsikiyatrik bozukluklarla ilişkilendirilmiştir (Hibbeln vd., 1995). İnsan sağlığı açısından değerli olabilmesi için omega-3/omega-6 oranının 0,2'den yüksek olması gerekmektedir (Rubio-Rodriguez vd., 2010). Omega-6 ve omega-3 yağ asidi oranının sağlanmasının beyin, kalp ve göz sağlığı için önemli olduğu belirlenmiştir (Shetty vd., 2020; Trebatická vd., 2020). Pek çok kronik bozukluğu önlemek için omega-6 ve omega-3 oranı birebir ya da iki kat olacak şekilde tüketilmelidir (Patel vd., 2022; Simopoulos, 2016).

4. GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ DURUMU

Omega-3 eksikliğini karşılamak için günlük omega-3 PUFA açısından zengin gıda alımının artırılması amacıyla omega-3 yönünden zengin ürünler üretilmiştir. Son yıllarda ω -3 çoklu doymamış yağ asitleri içeren yağlarla zenginleştirilmiş fonksiyonel gıdaların pazar payı artmaktadır (Genot vd., 2013) Sığır eti, balık, süt ürünleri, tahıllar, tahıl barları, ekmek, makarna gibi unlu mamüller, sürülebilir yağlar, süt ürünleri, soslar, bebek mamaları dahil olmak üzere birçok ω -3 ile zenginleştirilmiş gıda ürünleri geliştirilmiştir. Gıda ürünlerinde balık yağının kokusunun ve tadının tüketiciler için kabul edilememesi, oksidasyon ve hidroliz gibi olumsuz etkenler yağın kalitesinde problemlere neden olmaktadır (Anderson vd., 2011, Jang vd., 2020; Reinders vd., 2015). Bu durumun engellenmesi amacıyla saflaştırma, nötralizasyon, renk ve oksidasyon ürünlerini gideren ağartma, balık aromasını gideren koku giderme, PUFA konsantrasyonunu artıran kışlama ve/veya moleküler damıtma ve son olarak oksidasyonu önleyen antioksidanların eklenmesi, raf ömrü kısa olan gıdalara ilave edilmesi ve mikroenkapsülasyon yoluyla balık yağının toza dönüştürülmesi gibi işlemler uygulanmaktadır. Son 20 yıldır peynir, süt, tereyağı, dondurma, milkshake gibi süt ve süt ürünleri ω -3 yağ asitleri ile zenginleştirilmiştir (Bermúdez vd., 2011; Gumus vd., 2021; Kolanowski vd., 2007; Rasti vd., 2017; Ullah vd., 2017). %57 DHA ve %12 EPA içeriğine sahip nano-kapsüllü balık yağı ile zenginleştirilmiş yoğurtlarda en yüksek ω -3 oranı bulunmuştur (Ghorbanzade vd., 2017). Yapılan çalışmalarda yoğurtlar ω -3 açısından zengin doğrudan bitkisel yağlarla (ahududu, keten tohumu, yalancı keten, siyah frenk üzümü) zenginleştirildiği gibi mikro/nano-emülsiyon yapıları ile balık yağları ile de zenginleştirilmiştir (Dal Bello vd.,

2015; Gumus vd., 2021). Temel gıda maddesi olmayan dondurma ve yoğurt birçok ülkede omega-3 takviyesi potansiyeli göstermektedir (Gumus vd., 2021; Ullah vd., 2017).

Ekmeklerde omega-3 lipidlerinin zenginleştirilmesine izin veren stratejiler geliştirilmiştir. Ekmek ve unlu mamüllerin chia, keten tohumu, algler kullanılarak zenginleştirilmesi gibi mikrokapsülenmiş omega-3 yağ asidi katılarak geliştirilen stratejilerle ekmek ve tahıl ürünleri omega-3 ile zenginleştirilmiştir (Costantini vd., 2014; Gökmen vd., 2011; Hall vd., 2008). Yapılan bir çalışmada omega-3 alfa-linolenik asit açısından zengin chia tohumu unu karabuğday unu ile belirli oranlarda karıştırılarak ürettikleri ekmeklerde chia tohumundaki 1:3 omega-6/omega-3 oranının 90:10 buğday ekmeğinde korunduğunu belirlemişlerdir (Costantini vd., 2014). *Spirulina*'da bulunan en yaygın lipidlerden bazıları, EPA ve DHA'nın öncüsü olan omega-6 ailesinden γ -linolenik asit ve palmitik asidi içermesi (Ljubic vd., 2018) fonksiyonel gıdaların üretimi için alternatif bir kaynak olması bakımından önemlidir. Buğday ununa ağırlıkça %2 ve %4 oranında eklenen *Spirulina platensis* biyokütlesi ile zenginleştirmenin ekmekteki doymuş ve doymamış yağ asitleri içeriğini değiştirdiği saptanmıştır. *Spirulina platensis* ekmekte α -linolenik asit içeriğini artırmıştır (Zlateva vd., 2022). Yapılan diğer bir çalışmada omega-3 ve omega-6 yağ asitleri ile zenginleştirmek amacıyla %5, %10 ve %15 semizotu içeren makarnalar üzerine yaptıkları araştırmada yüksek linoleik ve α -linolenik asit içeriği belirlenmiştir (Melilli vd., 2020). Potansiyel sağlık etkileri nedeniyle vejetaryenlerin ve veganların omega-3 alımlarına gıda bazlı çözümler sağlamak için yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmektedir. Omega-3 takviyeli çikolatalar ve içecekler de yenilikçi ürünler olarak geliştirilmiştir (de Oliveira vd., 2022). Yapılan bir çalışmada kırmızı somon yağını içeren emülsiyonlar ticari bebek mamasına katılarak içeriğinde yüksek oranda omega-3 tekli doymamış DHA ve EPA'ya sahip olduğu belirlenmiştir. DHA ve EPA içeriklerinin saflaştırılmamış kırmızı somon yağı ve/veya mikroenkapsüle kırmızı somon yağı ilavesiyle üç kattan fazla artırdığı belirlenmiştir (Wan vd., 2012). Yenilikçi formülasyonlar ve teknolojiye ilerlemeler, omega-3'ün daha iyi tat ve daha uzun raf ömrü ile gelecek vaat eden fonksiyonel bileşenlerden biri olacağını göstermektedir. (Panse vd., 2019). Ketan tohumu ve algler gibi ω -3 kaynakları kullanılarak damlacık boyutlarına sahip nanoemülsiyonlar geliştirilerek biyo-yararlanımı

artırılmış fonksiyonel gıda ürünlerine entegre sistemler geliştirilmiştir (Lane vd., 2016).

5. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Günümüzde balık kaynağının sürdürülebilirliği konusunda endişeler bulunmaktadır. Nüfus artışı, doğal kaynakların kirlenmesi, aşırı avlanma, iklim değişiklikleri ve kuraklık omega yağ asitleri kaynaklarını da etkilemektedir (Davodi vd., 2011; Erdogru vd., 2005; Hadaruga vd., 2020; Jirsa vd., 2008; Jürgens vd., 2013; Visnjic-Jeftic vd., 2010). Bu nedenle sürdürülebilirliği sağlamak için bazı stratejiler geliştirilmiştir. Deniz ürünleri ve balık yetiştiriciliği, doğal popülasyonların aşırı avlanmalarını azaltmada alternatif bir kaynak olarak görülmektedir. Yetiştiricilikte zengin yağ asidi içeren yem formülasyonlarının geliştirilmesi, sürdürülebilirlik adına önemli bir adım sayılabilir (Ruiz-Lopez vd., 2012). Son yıllarda yağlı tohumlar ve mikroalgler üzerine yapılan çalışmalar alternatif ve sürdürülebilir omega-3 yağ asitleri kaynaklarına ışık tutmaktadır. Sürdürülebilirlik bakımından bazı ülkelerde tatlı ve tuzlu su kaynakları genişletilerek mikroalg üretimi artırılmaktadır (de Oliveira vd., 2022).

6. TİTREŞİM SPEKTROSKOPİSİ UYGULAMALARI

Titreşimsel spektroskopi, organik kimyacılar tarafından yaygın olarak kullanılan bir spektroskopik tekniktir. En önemli avantajlarından biri sıvılar, çözeltiler, macunlar, tozlar, filmler, lifler, gazlar gibi örneklerle çalışabilme imkanı sağlamasıdır. Gelişmiş enstrümantasyonun bir sonucu olarak, zorlu örnekleri incelemek için çeşitli hassas teknikler geliştirilmiştir. Titreşim spektroskopisi (özellikle Fourier transform yöntemi kullanıldığında) farmasötik katıların fiziksel karakterizasyonu için yararlı olan güçlü bir tekniktir (Bunaciu vd.,2017).

Peng vd. tarafından α -linolenik asit üzerine yapılan Raman spektroskopi çalışmasında 1660 ve 1440 cm^{-1} 'de Raman titreşim modlarının güçlü bir şiddete sahip olduğu ve bu modların komşu titreşim modlarından zayıf bir şekilde etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca 1660 cm^{-1} 'deki modun $\text{C}=\text{C}$ çift

bağ titreşimi ve 1440 cm^{-1} deki modun C-H titreşimi ile ilişkili olduğu gözlenmiştir (Peng vd., 2021).

2010 yılında 5,8,11,14,17-eicosapentaenoic asit üzerine yapılan çalışmada FTIR spektrumunda bu bileşiğe ait C-H bağ gerilmesi titreşimleri $3013\text{-}2874\text{ cm}^{-1}$ aralığında ve C=O bağ gerilmesi 1708 cm^{-1} de gözlenmiştir (Kiefer vd., 2010).

Holser tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada dokosaheksaenoik asit ve linolenik asit gibi yüksek oranda doymamış yağ asitleri, biyoaktivite kaybı ve bozunma bileşiklerinin oluşumuyla sonuçlanan oksidasyona eğilimlidir. Bu çalışmada FTIR spektroskopi bozunmayı saptamak için kullanılmıştır. Numune yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak spektrumlar elde edilmiştir. Isıtma işlemi sonrasında $703.6, 3013\text{ cm}^{-1}$ ' de bantların kaybolması ve $972.8, 2934, 3498\text{ cm}^{-1}$ ' de yeni bantların ortaya çıkması gözlenmiştir. Bulunan sonuçlar, çoklu doymamış yağların oksidatif bozunmasını hızlı bir şekilde tespit etmek için bir yöntem sağlamıştır (Holser, 2014).

Martini vd. tarafından linoleik asitin C-H bağ gerilmesi titreşimleri $3012\text{-}2854\text{ cm}^{-1}$ aralığında gözlenmiştir. C=C bağ gerilmesi ve C-H açılı bükülmesi sırasıyla 1658 cm^{-1} ve 1440 cm^{-1} de gözlenmiştir (Martini vd., 2018).

Gocen vd. tarafından araşidonik asitin FTIR spektrumunda C-H bağ gerilmesi titreşimleri $3013, 2957, 2926, 2872$ ve 2857 cm^{-1} de gözlenmiştir. C=O bağ gerilmesi 1708 cm^{-1} de çok şiddetli olarak gözlenmiştir. Bu bant teorik olarak monomer yapı için 1740 cm^{-1} ve dimerik yapı için 1720 ve 1674 cm^{-1} hesaplanmıştır (Gocen vd., 2018).

2020 yılında yapılan çalışmada dört kapsüllenmiş omega-3 çoklu doymamış yağ asidi ürünlerinin Raman spektrumları elde edilmiştir. Analiz sonucunda karbonil bağ gerilmesi, alken bağ gerilmesi ve H-C-H açılı bükülmesi sırasıyla $1746\text{ cm}^{-1}, 1660\text{ cm}^{-1}$ ve 1441 cm^{-1} de gözlenmiştir (Killeen vd., 2020).

SONUÇ

Diyabet, alzheimer, obezite ve kardiyovasküler hastalıklar gibi pek çok hastalıkla ilişkili olan omega yağ asitlerine yönelik araştırmaların sayısı son yıllarda katlanarak artmış ve omega-3 ile omega-6 yağ asitlerinin dengeli alınmasının önemi anlaşılmıştır. Sağlık ve gıda gibi alanlarda kullanımına bağlı

olarak bu yağ asitlerinin karakterizasyonu önem kazanmış, FTIR ve Raman spektroskopilerin bu alandaki kullanımı artmıştır.

KAYNAKÇA

- Ackman, R. G. (2000). Fatty acids in fish and shellfish. Fatty acids in foods and their health implications, 153-174.
- Anderson, J. S., Nettleton, J. A., Hundley, W. G., Tsai, M. Y., Steffen, L. M., Lemaitre, R. N., . . . Herrington, D. (2011). Associations of plasma phospholipid omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acid levels and MRI measures of cardiovascular structure and function: the multiethnic study of atherosclerosis. *Journal of nutrition and metabolism*, 2011.
- Augustsson, K., Michaud, D. S., Rimm, E. B., Leitzmann, M. F., Stampfer, M. J., Willett, W. C., & Giovannucci, E. (2003). A prospective study of intake of fish and marine fatty acids and prostate cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 12(1), 64-67.
- Barnett, M. H., & Prineas, J. W. (2004). Relapsing and remitting multiple sclerosis: pathology of the newly forming lesion. *Annals of neurology*, 55(4), 458-468.
- Barta, D. G., Coman, V., & Vodnar, D. C. (2021). Microalgae as sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids: Biotechnological aspects. *Algal Research*, 58, 102410.
- Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2011). Quality of selected cheeses fortified with vegetable and animal sources of omega-3. *LWT-Food Science and Technology*, 44(7), 1577-1584.
- Bunaciu, A. A., & Aboul-Enein, H. Y. (2017). Vibrational spectroscopy applications in drugs analysis. *Encyclopedia of Spectroscopy and spectrometry*, 575-581.
- Calder, P. C., & Yaqoob, P. (2009). Understanding omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Postgraduate medicine*, 121(6), 148-157.
- Christie, W., & Fox, P. (1995). *Advanced dairy chemistry 2 Lipids*. Chapman and Hall, London, 1-36.
- Costantini, L., Lukšič, L., Molinari, R., Kreft, I., Bonafaccia, G., Manzi, L., & Merendino, N. (2014). Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chemistry*, 165, 232-240.
- Dal Bello, B., Torri, L., Piochi, M., & Zeppa, G. (2015). Healthy yogurt fortified with n-3 fatty acids from vegetable sources. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8375-8385.
- Davodi, M., Esmaili-Sari, A., & Bahramifarr, N. (2011). Concentration of

- polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in some edible fish species from the Shadegan Marshes (Iran). *Ecotoxicology and environmental safety*, 74(3), 294-300.
- de Oliveira, A. P. F., & Bragotto, A. P. A. (2022). Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods*, 6, 100157.
- Dennis, E. A., & Norris, P. C. (2015). Eicosanoid storm in infection and inflammation. *Nature Reviews Immunology*, 15(8), 511-523.
- Erdogrul, Ö., Covaci, A., & Schepens, P. (2005). Levels of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in fish species from Kahramanmaraş, Turkey. *Environment International*, 31(5), 703-711.
- Fewtrell, M. S. (2006). Long-chain polyunsaturated fatty acids in early life: effects on multiple health outcomes. *Primary Prevention by Nutrition Intervention in Infancy and Childhood*, 57, 203-221.
- Fontani, G., Corradeschi, F., Felici, A., Alfatti, F., Migliorini, S., & Lodi, L. (2005). Cognitive and physiological effects of Omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation in healthy subjects. *European journal of clinical investigation*, 35(11), 691-699.
- Ganesan, B., Brothersen, C., & McMahon, D. J. (2014). Fortification of foods with omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), 98-114.
- Genot, C., Kabri, T.-H., & Meynier, A. (2013). Stabilization of omega-3 oils and enriched foods using emulsifiers. *Food enrichment with omega-3 fatty acids*, 150-193.
- Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S., & Hadavi, R. (2017). Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food Chemistry*, 216, 146-152.
- Gocen, T., Bayari, S. H., & Guven, M. H. (2018). Conformational and vibrational studies of arachidonic acid, light and temperature effects on ATR-FTIR spectra. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 203, 263-272.
- Godos, J., Castellano, S., Galvano, F., & Grosso, G. (2019). Linking omega-3 fatty acids and depression. In *Omega fatty acids in brain and neurological health* (pp. 199-212): Elsevier.
- Gökmen, V., Mogol, B. A., Lumaga, R. B., Fogliano, V., Kaplun, Z., & Shimoni, E. (2011). Development of functional bread containing nanoencapsulated omega-3 fatty acids. *Journal of food engineering*, 105(4), 585-591.
- Gumus, C. E., & Gharibzahedi, S. M. T. (2021). Yogurts supplemented with lipid emulsions rich in omega-3 fatty acids: New insights into the fortification, micro-

- encapsulation, quality properties, and health-promoting effects. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 267-279.
- Gunstone, F. (1996). *Fatty Acid and Lipid Chemistry*, Blackie Academic and Professional, . OH O COOMe I.
- Hădăruță, N. G., Szakal, R. N., Chirilă, C. A., Lukinich-Gruia, A. T., Păunescu, V., Muntean, C., . . . Hădăruță, D. I. (2020). Complexation of Danube common nase (*Chondrostoma nasus* L.) oil by β -cyclodextrin and 2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin. *Food Chemistry*, 303, 125419.
- Hall, C., & Tulbek, M. (2008). Omega-3-enriched bread. In *Technology of Functional Cereal Products* (pp. 362-387): Elsevier.
- Hamilton, M. L., Haslam, R. P., Napier, J. A., & Sayanova, O. (2014). Metabolic engineering of *Phaeodactylum tricornutum* for the enhanced accumulation of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids. *Metabolic engineering*, 22, 3-9.
- Hamilton, H. A., Newton, R., Auchterlonie, N. A., & Müller, D. B. (2020). Systems approach to quantify the global omega-3 fatty acid cycle. *Nature Food*, 1(1), 59-62.
- Hibbeln, J. R., & Salem Jr, N. (1995). Dietary polyunsaturated fatty acids and depression: when cholesterol does not satisfy. *The American journal of clinical nutrition*, 62(1), 1-9.
- Holser, R. A. (2014). Docosahexaenoic Acid Ester Degradation Measured by FTIR-ATR with Correlation Spectroscopy. *American Journal of Analytical Chemistry*, 2014.
- Hulbert, A. J., Turner, N., Storlien, L., & Else, P. (2005). Dietary fats and membrane function: implications for metabolism and disease. *Biological Reviews*, 80(1), 155-169.
- Jang, H., & Park, K. (2020). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition*, 39(3), 765-773.
- Jirsa, F., Leodolter-Dvorak, M., Krachler, R., & Frank, C. (2008). Heavy metals in the nase, *Chondrostoma nasus* (L. 1758), and its intestinal parasite *Caryophyllaeus laticeps* (Pallas 1781) from Austrian rivers: Bioindicative aspects. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 55(4), 619-626.
- Jones, P. J., & Kubow, S. (1999). Lipids, sterols, and their metabolites. *Modern nutrition in health and disease*, 9, 71.
- Jürgens, M. D., Johnson, A. C., Jones, K. C., Hughes, D., & Lawlor, A. J. (2013). The presence of EU priority substances mercury, hexachlorobenzene, hexachlorobutadiene and PBDEs in wild fish from four English rivers. *Science of the total environment*, 461, 441-452.

- Kaliannan, K., Li, X.-Y., Wang, B., Pan, Q., Chen, C.-Y., Hao, L., . . . Kang, J. X. (2019). Multi-omic analysis in transgenic mice implicates omega-6/omega-3 fatty acid imbalance as a risk factor for chronic disease. *Communications biology*, 2(1), 1-18.
- Kang, J. X. (2011). The omega-6/omega-3 fatty acid ratio in chronic diseases: animal models and molecular aspects. In *Healthy Agriculture, Healthy Nutrition, Healthy People* (Vol. 102, pp. 22-29): Karger Publishers.
- Kapoor, B., Kapoor, D., Gautam, S., Singh, R., & Bhardwaj, S. (2021). Dietary polyunsaturated fatty acids (PUFAs): Uses and potential health benefits. *Current Nutrition Reports*, 10(3), 232-242.
- Kidd, P. M. (2007). Omega-3 DHA and EPA for cognition, behavior, and mood: clinical findings and structural-functional synergies with cell membrane phospholipids. *Alternative medicine review*, 12(3), 207.
- Kiefer, J., Noack, K., Bartelmess, J., Walter, C., Dörnenburg, H., & Leipertz, A. (2010). Vibrational structure of the polyunsaturated fatty acids eicosapentaenoic acid and arachidonic acid studied by infrared spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, 965(1-3), 121-124.
- Killeen, D. P., Card, A., Gordon, K. C., & Perry, N. B. (2020). First use of handheld Raman spectroscopy to analyze omega-3 fatty acids in intact fish oil capsules. *Applied Spectroscopy*, 74(3), 365-371.
- Kim, D.-E., Shang, X., Assefa, A. D., Keum, Y.-S., & Saini, R. K. (2018). Metabolite profiling of green, green/red, and red lettuce cultivars: Variation in health beneficial compounds and antioxidant potential. *Food Research International*, 105, 361-370.
- Kolanowski, W., & Laufenberg, G. (2006). Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *European Food Research and Technology*, 222(3), 472-477.
- Kolanowski, W., & Weißbrodt, J. (2007). Sensory quality of dairy products fortified with fish oil. *International dairy journal*, 17(10), 1248-1253.
- Lane, K. E., Li, W., Smith, C. J., & Derbyshire, E. J. (2016). The development of vegetarian omega-3 oil in water nanoemulsions suitable for integration into functional food products. *Journal of Functional Foods*, 23, 306-314.
- Ljubic, A., Safafar, H., Holdt, S. L., & Jacobsen, C. (2018). Biomass composition of *Arthrospira platensis* during cultivation on industrial process water and harvesting. *Journal of Applied Phycology*, 30(2), 943-954.
- Lovegrove, J., Brooks, C., Murphy, M., Gould, B., & Williams, C. (1997). Use of manufactured foods enriched with fish oils as a means of increasing long-chain n-3 polyunsaturated fatty acid intake. *British Journal of Nutrition*, 78(2), 223-236.
- Madore, C., Leyrolle, Q., Morel, L., Rossitto, M., Greenhalgh, A., Delpech, J., . . .

- Rani, B. (2020). Essential omega-3 fatty acids tune microglial phagocytosis of synaptic elements in the mouse developing brain. *Nature communications*, 11(1), 1-19.
- Martini, W. S., Porto, B. L., de Oliveira, M. A., & Sant'Ana, A. C. (2018). Comparative study of the lipid profiles of oils from kernels of peanut, babassu, coconut, castor and grape by GC-FID and Raman spectroscopy. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29, 390-397.
- Melilli, M. G., Pagliaro, A., Scandurra, S., Gentile, C., & Di Stefano, V. (2020). Omega-3 rich foods: Durum wheat spaghetti fortified with *Portulaca oleracea*. *Food Bioscience*, 37, 100730.
- Metcalf, R., James, M., Mantzioris, E., & Cleland, L. (2003). A practical approach to increasing intakes of n-3 polyunsaturated fatty acids: use of novel foods enriched with n-3 fats. *European journal of clinical nutrition*, 57(12), 1605-1612.
- Moghadasian, M. H. (2008). Advances in dietary enrichment with n-3 fatty acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5), 402-410.
- Mou, J., Fang, E., & Xiao, C. J. (2019). In adults with major depression, does omega-3 fatty acid supplementation improve mood? *Evidence-Based Practice*, 22(8), 18-19.
- Panse, M. L., & Phalke, S. D. (2019). Omega-3 beverages. In *Value-Added Ingredients and Enrichments of Beverages* (pp. 353-382): Elsevier.
- Parmentier, M., Mahmoud, C. A. S., Linder, M., & Fanni, J. (2007). Polar lipids: n-3 PUFA carriers for membranes and brain: nutritional interest and emerging processes. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 14(3-4), 224-229.
- Patel, A., Desai, S. S., Mane, V. K., Enman, J., Rova, U., Christakopoulos, P., & Matsakas, L. (2022). Futuristic food fortification with a balanced ratio of dietary ω -3/ ω -6 omega fatty acids for the prevention of lifestyle diseases. *Trends in Food Science & Technology*.
- Patterson, E., Wall, R., Fitzgerald, G., Ross, R., & Stanton, C. (2012). Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated fatty acids. *Journal of nutrition and metabolism*, 2012.
- Peng, H., Hou, H. Y., & Chen, X. B. (2021). Dft calculation and raman spectroscopy studies of α -linolenic acid. *Química Nova*, 44, 929-935.
- Rasti, B., Erfanian, A., & Selamat, J. (2017). Novel nanoliposomal encapsulated omega-3 fatty acids and their applications in food. *Food Chemistry*, 230, 690-696.
- Reinders, I., Song, X., Visser, M., Eiriksdottir, G., Gudnason, V., Sigurdsson, S., . . . Harris, T. B. (2015). Plasma phospholipid PUFAs are associated with greater muscle and knee extension strength but not with changes in muscle parameters in older adults. *The Journal of nutrition*, 145(1), 105-112.

- Rubio-Rodríguez, N., Beltrán, S., Jaime, I., Sara, M., Sanz, M. T., & Carballido, J. R. (2010). Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 1-12.
- Ruiz-López, N., Haslam, R. P., Venegas-Calderón, M., Li, T., Bauer, J., Napier, J. A., & Sayanova, O. (2012). Enhancing the accumulation of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids in transgenic *Arabidopsis thaliana* via iterative metabolic engineering and genetic crossing. *Transgenic research*, 21(6), 1233-1243.
- Ruxton, C., Reed, S. C., Simpson, M., & Millington, K. (2004). The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence. *Journal of human nutrition and dietetics*, 17(5), 449-459.
- Saini, R., Shetty, N., & Giridhar, P. (2014). GC-FID/MS analysis of fatty acids in Indian cultivars of *Moringa oleifera*: potential sources of PUFA. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(6), 1029-1034.
- Saini, R. K., Shang, X. M., Ko, E. Y., Choi, J. H., Kim, D., & Keum, Y.-S. (2016). Characterization of nutritionally important phytoconstituents in minimally processed ready-to-eat baby-leaf vegetables using HPLC-DAD and GC-MS. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(2), 341-349.
- Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance—A review. *Life sciences*, 203, 255-267.
- Scherr, R., & Chellino, M. (2016). Nutrition and Health Info Sheet: Omega-3 Fatty Acids.
- Shetty, S. S., & Shetty, P. K. (2020). ω -6/ ω -3 fatty acid ratio as an essential predictive biomarker in the management of type 2 diabetes mellitus. *Nutrition*, 79, 110968.
- Simopoulos, A. P., Leaf, A., & Salem, N. (1999). Essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *Annals of nutrition & metabolism*, 43(2), 127-130.
- Simopoulos, A. P. (2016). An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients*, 8(3), 128.
- Sun, S., Ren, T., Li, X., Cao, X., & Gao, J. (2020). Polyunsaturated fatty acids synthesized by freshwater fish: A new insight to the roles of *elovl2* and *elovl5* in vivo. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 532(3), 414-419.
- Tocher, D. R., Betancor, M. B., Sprague, M., Olsen, R. E., & Napier, J. A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11(1), 89.
- Trebatická, J., Hradečná, Z., Surovcová, A., Katrenčíková, B., Gushina, I., Waczulíková, I., . . . Ďuračková, Z. (2020). Omega-3 fatty-acids modulate

- symptoms of depressive disorder, serum levels of omega-3 fatty acids and omega-6/omega-3 ratio in children. A randomized, double-blind and controlled trial. *Psychiatry research*, 287, 112911.
- Ullah, R., Nadeem, M., & Imran, M. (2017). Omega-3 fatty acids and oxidative stability of ice cream supplemented with olein fraction of chia (*Salvia hispanica* L.) oil. *Lipids in health and disease*, 16(1), 1-8.
- Visnjic-Jeftic, Z., Jaric, I., Jovanovic, L., Skoric, S., Smederevac-Lalic, M., Nikcevic, M., & Lenhardt, M. (2010). Heavy metal and trace element accumulation in muscle, liver and gills of the Pontic shad (*Alosa immaculata* Bennet 1835) from the Danube River (Serbia). *Microchemical journal*, 95(2), 341-344.
- Wan, Y., Li, J., Solval, K. M., Stine, J. J., Bechtel, P. J., & Sathivel, S. (2012). Physicochemical properties of red salmon oil (*Oncorhynchus nerka*) and microencapsulated red salmon oil added to baby food. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(4), 727-734.
- Zlateva, D., Chochkov, R., & Stefanova, D. (2022). Effect of *Spirulina platensis* and kelp biomass addition on the fatty acid composition of wheat bread. *Ukrainian Food Journal*, 11(1).