

# MÜHENDİSLİK ALANINDA YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR - I (2023/1)

Editör:

**Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI**

ARTİKEL AKADEMİ: 303

*Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar - I (2023/1)*

Editör: Doç Dr. Gökhan ÇAYLI

ISBN 978-625-8088-94-6

Birinci Basım: Ekim - 2023

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 - 2023

Akademik etik kurallara

bağlı kalınarak yapılacak olan alıntılar ve tanıtım maksadıyla yapılacak olan kısa alıntılar dışında, yazılı izni alınmadan, tümünün veya bir kısmının 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: 19708

mail: [info@artikelakademi.com](mailto:info@artikelakademi.com)

[www.artikelakademi.com](http://www.artikelakademi.com)

# MÜHENDİSLİK ALANINDA YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR - I (2023/1)

Editör:

**Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI**

## **YAZARLAR**

Alev ER

Ayşen E. ÖZEL

Ayşe Ebra TEMUR

Elif ÇAKIR

Emin ÖZDEMİR

Gökhan ÇAYLI

Kemal ATA SARICA

Nihan ÜNLÜ

Sefa ÇELİK

Sevim AKYÜZ

Serdar KARABAY

Tuğba DEMİREL



# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	7
1. BÖLÜM	
<b>İŞ PARÇASININ İÇ VE DIŞ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNİN     GİDERİLMESİNDE MANYETİK AŞINDIRICILARLA İŞLEME     YÖNTEMİNİN ÖNEMİ: TÜRKİYE'DEKİ ÇALIŞMALARLA BAKIŞ .....</b>	<b>9</b>
- Tuba DEMİREL & Serdar KARABAY & Kemal ATA SARICA	
2. BÖLÜM	
<b>DİELS - ALDER REAKSİYONU VE     BİYOMEDİKAL UYGULAMALARI .....</b>	<b>27</b>
- Ayşe Ebra TEMUR & Gökhan ÇAYLI	
3. BÖLÜM	
<b>FONKSİYONEL GIDA ZEYTİNYAĞININ ÖNEMİ, SAĞLIK     ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE SPEKTROSKOPİK ANALİZİ .....</b>	<b>49</b>
- Sefa ÇELİK & Elif ÇAKIR & Alev ER & Ayşen E. ÖZEL & Sevim AKYÜZ	
4. BÖLÜM	
<b>ŞEKİL HAFIZALI POLİMERLER.....</b>	<b>65</b>
- Nihan ÜNLÜ	
5. BÖLÜM	
<b>TÜRKİYE'DE YETİŞTİRİLEN YAĞLI TOHUMLU     BİTKİLER VE KULLANIM ALANLARI.....</b>	<b>85</b>
- Emin ÖZDEMİR	



# ÖNSÖZ

Bu kitap, farklı mühendislik disiplinlerini ve bilimsel alanlarını kapsayan beş farklı başlık altında derlenmiş özgün çalışmaları içermektedir.

İlk bölümde, “İş Parçasının İç ve Dış Yüzey Pürüzlülüklerinin Giderilmesinde Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yönteminin Önemi: Türkiye’deki Çalışmalara Bakış” ile Türkiye’deki geleneksel olmayan talaş kaldırma MAİ yöntemine önem verilmesi gerektiğinin üzerinde durulmuştur.

“Diels-Alder Reaksiyonu ve Biyomedikal Uygulamaları” başlığını taşıyan ikinci bölümde Diels - Alder reaksiyonunun biyomedikal alanlardaki uygulama alanlarıyla alakalı çalışmalar incelenmiş ve gelecek için umut vaat eden sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Üçüncü bölümde “Fonksiyonel Gıda Zeytinyağının Önemi, Sağlık Üzerindeki Etkileri ve Spektroskopik Analizi” başlığı altında zeytinyağı, yan ürünleri ve artıkları doymuş yağların azaldığı sağlıklı yağların daha çok yer aldığı, protein-lipit oksidasyonunu engellendiği, organoleptik özellikleri güçlü, ucuz, katma değerli, fonksiyonel ürünlerin üretilmesine nasıl olanak sağladığı incelenmiştir.

“Şekil Hafızalı Polimerler” başlıklı bölümde tıp, biyomedikal, mühendislik, endüstri, savunma sanayi gibi birçok alana hizmet veren şekil hafızalı polimerlerin yapısı ve mekanizması hakkında bilgi verilmiştir.

Son olarak, “Türkiye’de Yetiştirilen Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Kullanım Alanları” başlığıyla, endüstride yağlı tohumlu bitkiler ve bitkisel yağlardan elde edilen hammadde kaynaklarının, çevre dostu özellikleri nedeniyle sentetik malzemelere karşı umut verici bir alternatif olduğu aktarılmıştır.

*Mühendislik Alanında Yenilikçi Çalışmalar - I (2023/1)* başlıklı bu kitabın mühendislik ve bilim dünyasındaki gelişmelere, yeni fikirlerin doğmasına ve uygulamalara ilham olmasını diliyorum.

Katkı sunan tüm bölüm yazarlarına teşekkür ederim.

- Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI





# 1. BÖLÜM

## İŞ PARÇASININ İÇ VE DIŞ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNİN GİDERİLMESİNDE MANYETİK AŞINDIRICILARLA İŞLEME YÖNTEMİNİN ÖNEMİ: TÜRKİYE'DEKİ ÇALIŞMALARA BAKIŞ

Dr. Öğr. Üyesi, Tuba DEMİREL

*Hasan Kalyoncu Üniversitesi*

*Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,*

ORCID: 0000-0002-5760-3705

tuba.demirel@hku.edu.tr

Serdar KARABAY

*Hasan Kalyoncu Üniversitesi*

<sup>2</sup>*Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,*

ORCID: 0009-0001-9052-1066

serdarkrby@outlook.com

Kemal ATA SARICA

*Hasan Kalyoncu Üniversitesi*

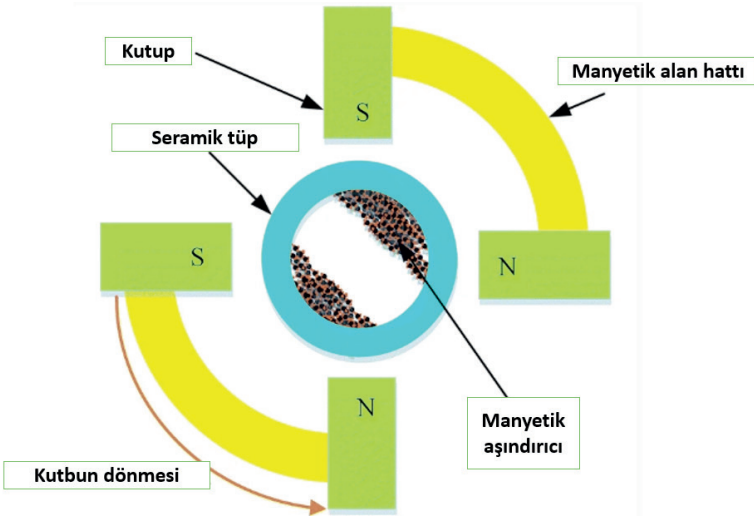
*Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,*

ORCID: 0009-0004-5055-5853

kemalsarica83@gmail.com



Manyetik aşındırıcı bitirme (MAF), süper alaşımları, kompozitleri ve seramikleri bitirmek için yüksek kaliteli yüzey elde etmede gelişmiş bir nano bitirme teknolojisi olarak büyük ilgi görmüştür. Manyetik aşındırıcıları etkileyen manyetik kuvvetin teğetsel bileşeni manyetik aşındırıcılar ile tüpün iç yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvvetinden büyük olursa ve aynı zamanda da iş parçası kendi ekseninde yüksek hızda döndürülürse manyetik aşındırıcılar tüpün iç yüzeyini pürüzsüzleştirici bağıl hareket göstermektedir. Bu bağıl hareketin sonucunda da manyetik aşındırıcı tarafından iş parçası tüpün iç yüzeyinden malzeme kaldırılır ve iç yüzey daha pürüzsüz bir hale getirilir. Ayrıca, kullanılan aşındırıcı partiküllerin boyutları, işlemin süresi, kullanılan yağlayıcının kimyasal özellikleri de genel olarak işlemin sonucunu belirlemektedir (Şekil 2) (12-14).



Şekil 2. Manyetik aşındırıcılar ile iç yüzey işleme (14)

Alkarkhi ve Naif, Alaşımlı pirinç ( $CuZn_{33}$ ) malzemenin yüzey pürüzlüğünün iyileştirilmesinde MAİ yönteminde; pirinç yüzeyinin daha parlak olduğu ve yüzey pürüzlülüğünü 1.046' den 0.131  $\mu m$ 'ye azalttığını belirlemişlerdir (15).

Yang ve ark., kalın duvarlı bir SUS304 çelik uçları kaynak yapılmış  $\varnothing 89 \times \varnothing 79.1 \times \varnothing 200$  mm tüpün iç yüzeyini işlemek için MAİ yöntemi kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarda boru içi yuvarlak olduğundan dolayı yüzey pürüzlülük değeri düz yüzeylerle karşılaştırıldığında istenildiği gibi giderilmemiştir (16).

Literatürde MAİ parametrelerinin farklı malzemelerin üzerinde farklı yüzey

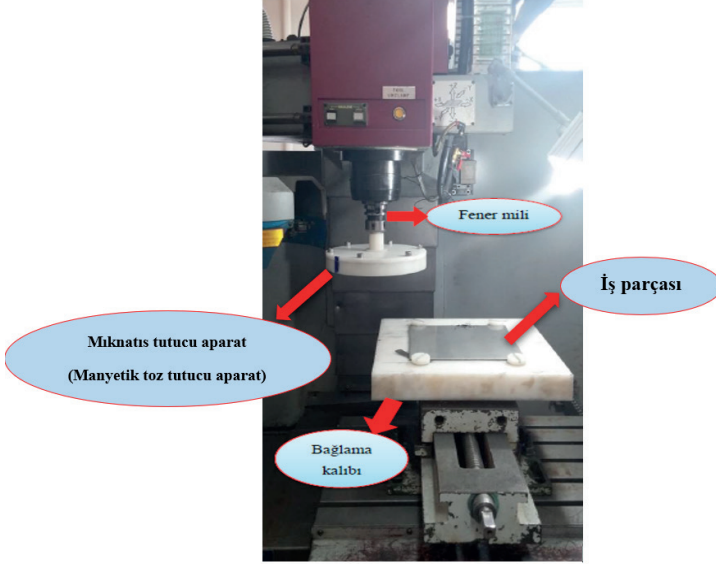
kaliteleri ortaya çıkarmıştır. AISI 304L östenitik paslanmaz çelik yüzeylerinin MAİ yöntemi kullanılarak işlenmesi üzerine çalışmaları sınırlıdır. Yurtdışında MAİ yöntemi ile deneysel çalışmalar yaygın olmasına rağmen Türkiye'de ise MAİ yöntemi ile yüzey pürüzlülüğü giderilme çalışmaları 2015 yılından bu yana yeni yeni başlamıştır. Burada asıl amaç literatürdeki belirtilen değerler ile Türkiye'de yapılan iç ve dış yüzeyin aşındırma yöntemi ile parlatılması çalışmalarının birbiri ile uyumlu olup olmamasının deneysel sonuçları araştırılmıştır. Literatürdeki deneysel çalışmalarda, MAİ yöntemi kullanılarak literatürden farklı şekilde iş parçası ile aşındırma aparatı arasındaki boşluk, devir sayısı, işlem süresi sabit tutulmuştur. Manyetik ( $Fe_2O_3$ ) ve aşındırıcı toz ( $Al_2O_3$  ve SiC) tane boyutları, toz karışım oranı AISI 304L malzemesinin yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ve iyileşme oran (%YPIÖ) değerlerinin etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. En etkili faktörlerin; manyetik alan kuvvetini arttıran mıknatıs sayılarının olduğu ve aşındırıcı toz boyutları olduğu görülmüştür.

## 2. İŞ PARÇALARININ İÇ VE DIŞ YÜZEYLERİNİN İŞLENMESİ

Türkiye'de MAİ (Manyetik Aşındırıcılarla İşleme) yöntemini kullanarak boru içi ve dış yüzeylerin CNC tezgahlarında işlenmede yüzey pürüzlülüklerinin giderilmesindeki sonuçların değerlendirilmesi alt başlıklar altında toplanarak bu kitap bölümünde derlenmiştir. Yurt dışında MAİ (Manyetik Aşındırıcılarla İşleme) yöntemi üzerine fazla çalışma yapılmasına rağmen Türkiye'de bu oranın az olduğu görülmüştür. *Bu derlemenin amacı ise* güncel konu olan MAİ yöntemini Türkiye'de bulunan bilim insanlarına tanıtarak onların yönlendirilmesini sağlamaktır. Aşındırıcı tozların boyutu ve devir sayısı iç ve dış işlemedeki sonuçlarla karşılaştırılmış ve etkilerinin önemli olduğu sonucuna yer verilmiştir. Freze ve tornanın da MAİ yönteminde ne kadar önemli olduğu gösterilmiştir. Çalışmalardaki kullanılan parametre değerleri dikkate alınmıştır ve literatürde ki çalışmalar farklı bir bakış açısı ile yorumlanmıştır.

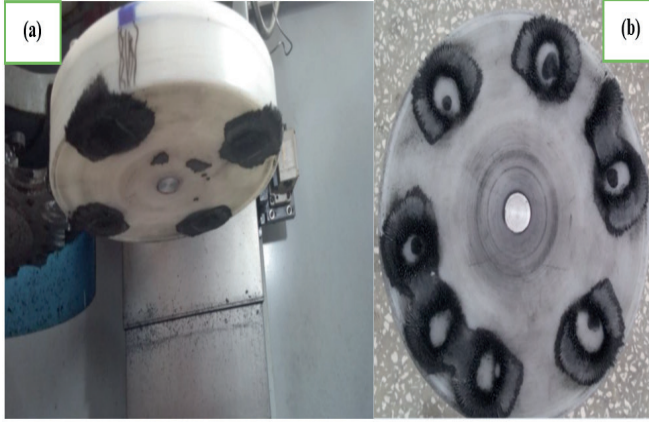
## 2.1. MAİ Yöntemini Kullanarak Dış Yüzeylerin İşlenmesi

Türkiye’de bu konu üzerinde Demirel ve Çaydaş’ın çalışması mevcuttur. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan deneysel tasarım ve sonuçlar aşağıda verilmiştir (17, 18): Manyetik toz tutma aparatını mıknatıs tutucu olarak da isimlendirilmiştir. CNC frezenin taretü üzerinde monte edilebilen şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3) (17, 18).



Şekil 3. Deneysel kurulum (17, 18)

Demirel ve Çaydaş’ın çalışmasında, alüminyum saplı aparatın aşındırıcı tozlar ile temas eden kısmı termoplastik türü olan polietilenden üretilmiştir. Mıknatıs tutucu malzemelerin ana hammaddeleri aynı zamanda titreşimi minimize kullanmışlardır (17, 18, 3, 6). 0.50 Tesla kuvvetinde ve Ø50 x 10 mm boyutunda mıknatısları tercih etmişlerdir. Mıknatıs tutucu aparatı iş parçası üzerinde 2 mm boşluk sabit yer ve 500 dev/dk dönme hızında kalarak 60 dk boyunca parlatma işlemi yapılmıştır. Şekil 4’te gösterilen mıknatıs tutucu aparat ile olduğu yerde dönme ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Esnek fırça şeklinde yapının oluştuğu gözlenmiştir (17, 18).



Şekil 4. MAİ işleminde mıknatıs tutucu aparatı görünümü:

(a) 4 adet, (b) 8 adet (17, 18)

Aşındırıcı tanelerin miktarı, demir tozlarından az ve fazla olmamalıdır. Mikron boyutta aşındırıcı toz tanecikleri bir arada tutması için SAE 30 yağlayıcı kullanılmışlardır. Mıknatıs tutucunun devir sayısı, işleme süresi ve iş parçası ile mıknatıs tutucu arasındaki işleme boşluğu sabit tutularak, mıknatıs sayısı ve toz boyutları değişken kabul edilmiştir. Manyetik toz olarak kullanılan Fe tozunu oksit bileşiği ( $Fe_2O_3$ ) tercih ederek mıknatıslanmaya olan etkisine bakmışlardır. Diğer tozlar ise geleneksel aşındırmada parlatma işlemlerinde kullanılan  $Al_2O_3$  ve SiC tozları seçilmiştir. Toz karışımını bir arada tutarak, tanecikler ile iş parçası yüzeyi arasında bir film oluşturduğu görülmüştür. İşleme boşluğu 2 mm parametrelerini seçmişlerdir. Geleneksel parlatma işleminde (taşlama) kullanılan aşındırıcı tozların geleneksel olmayan ve yeni bir yöntem olan MAİ işleminde yüzeye uygulanarak manyetik alan şiddeti ile aşındırıcı tanecik boyutlarının yüzeyin parlatma etkisini araştırmışlardır (17-19). % Yüzey Pürüzlülüğündeki İyileşme Oranı (% YPIÖ) önem arz etmektedir çünkü bu değer numunenin yüzeyini parlatmak için gereklidir. Ani bir pürüzlülük değeri düşmesinde ise numune yüzeyinde çatlaklar oluşabilmektedir. Malzemenin farklı bölgelerinden 5 ölçüm alınarak Denklem 1 ile ölçülen değerlerin aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_{aort}$ ) değerleri elde etmişlerdir (17, 18, 20, 21).

$$R_{a \text{ ort}} = \frac{1,\text{ölçüm} + 2,\text{ölçüm} + 3,\text{ölçüm} + 4,\text{ölçüm} + 5,\text{ölçüm}}{\text{ölçüm sayısı}} \times 100 \quad (1)$$

$R_{a \text{ ort}}$  değerlerinin bulunmasıyla Denklem 2'nin yardımıyla % Yüzey Pürüzlülüğündeki İyileşme Oranı (% YPİO) bulmuşlardır.

$$(\% \text{YPİO}) = \left( \frac{R_{ai \text{ ortalama}} - R_{as \text{ ortalama}}}{\text{İlk } R_{a \text{ ortalama}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$R_{ai \text{ ortalama}}$  : MAİ işlemi uygulanmayan yüzeyin ortalama yüzey pürüzlülüğü

$R_{as \text{ ortalama}}$  : MAİ işleminden sonra ortalama yüzey pürüzlülüğü

Demirel ve Çaydaş'ın çalışma sonucunda, MAİ işlemi sonrasında  $R_a$  değerinin artması ile % YPİO değeri de azaldığı görülmüştür. Literatürdeki bilgiler, yaptıkları deney sonuçlarını desteklemiştir. İşlem öncesi yüzey yapısı genellikle plakanın döküm sonucunda oluşan yüzeyinde pürüz tepelerinden oluşmaktadır. MAİ işlemi sonrasında pürüz tepelerinin ve yüzeyden kaldırılarak daha pürüzsüz parlak yüzeylerin elde edildiği tespit etmişlerdir. Bu durum 3. no'lu deneyde daha belirgin bir şekildedir. 3. no'lu numunede 8 miknatis kullanılarak  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (100  $\mu\text{m}$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (50  $\mu\text{m}$ ), SiC (150  $\mu\text{m}$ ) toz boyutları kullanılmıştır (Tablo 1). Bu numuneye ait işlem öncesi ve sonrası  $R_a$  değerleri birlikte incelendiğinde ortalama pürüz yüksekliklerinin düştüğü ve yüzey pürüzlülüğünün (% YPİO) iyileştiği de belirlemişlerdir (17, 18).

**Tablo 1.**  $R_a$  ve iyileşme oranı (% YPİO) (17, 18)

Deney No	MAİ öncesi	MAİ sonrası	%YPİO
5	0.83	0.68	18.03
2	0.70	0.57	18.57
4	0.61	0.47	22.80
1	0.59	0.45	23.57
3	0.60	0.43	27.81

Demirel ve Çaydaş'ın çalışmasında, toz boyutlarının (100 ve 150 µm aritmetik ortalama % YPİO değerleri alınmıştır. Tablo 2'de manyetik ve aşındırıcı tozların 100 µm boyutunun ortalama % YPİO oranına bakılmıştır. Manyetik ve aşındırıcı tozların 150 µm boyutunun ortalama % YPİO oranına bakılmıştır. Miknatis sayıları arttığından dolayı yüzey pürüzlülük azalarak yüzeyde parlaklık ve % iyileşme oranını arttırdığını öngörmüşlerdir (17, 18).

**Tablo 2.** Manyetik ve aşındırıcı tozların 100 µm'da % YPİO (17, 18)

Deney no	Miknatis sayısı	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (µm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (µm)	SiC (µm)	% YPİO
2	4	100	150	100	18.57
3	8	100	50	150	27.81
2-3	4-8	<b>100</b>	x	x	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Aritmetik ortalama: 23.19</b>
5	4	150	100	150	18.03
1	8	50	100	100	23.57
5-1	4-8	x	<b>100</b>	x	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Aritmetik ortalama: 20.80</b>
2	4	100	150	100	18.57
1	8	50	100	100	23.57
2-1	4-8	x	x	<b>100</b>	<b>SiC Aritmetik ortalama: 21.07</b>

Aynı şekilde Demirel ve Çaydaş'ın çalışması incelendiğinde, MAİ işleminde kullanılan tozların 100 µm'da Fe tozunun yüzey pürüzlülüğünü gidermede daha etkili olduğuna değinmişlerdir. Burada SiC tozunun Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozuna göre iyi bir yüzey kalitesi sağlamada etkili olurken sayısal değerlere bakıldığında ise arada fazla bir farkın olmadığına kanaat getirmişlerdir. Tozun boyutu 100'dan 150 µm'na çıktığındaki iyileşme oranlarına olan etkilerine bakmışlardır. 150 µm tane boyutunda SiC tozunun iyileşme oranına etkisinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve demir tozuna göre daha iyi olduğu görülmüştür. Toz boyutlarının ortalama % iyileşme oran etkileri birlikte değerlendirildiğinde: 100 µm tane-



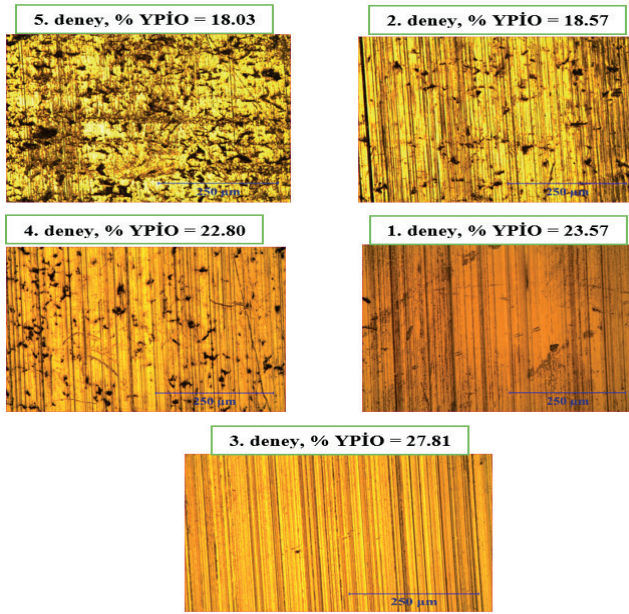
ciik boyutlarında; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%23.19), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%20.80), SiC (%21.07) olurken 150 µm tanecik boyutlarında ise; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%20.42), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%20.69), SiC (%22.92) elde etmişlerdir. Tozun tane boyutu arttıkça demir tozlarının %YPIÖ değerinde azalma olduğu görülerek Tanecik boyutu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozlarının % YPIÖ değerine fazla bir etki yapmadığını ön görmüşlerdir. SiC tozunun % YPIÖ değerine bir miktar artış etkisi sağlamışlardır. SiC tozları daha sert bir aşındırıcı olduğu için Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozuna göre boyutsal olarak biraz daha büyük seçilmesi yazarlar tarafından önerilmektedir. 100 µm Fe, 50 µm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 150 µm SiC ve 60 dk işleme süresinde 500 dev/dk kullanıldığında %27.81'e yakın yüzeyde iyileşme olurken yüzeydeki iyileşme oranının düşük çıkmasının nedeni de dönüş hızında tozların merkezkaç etkisi ile savrulmalarından dolayı olduğunu söylemişlerdir (Tablo 3) (17-19).

**Tablo 3.** Manyetik-aşındırıcı toz 150 µm'da % YPIÖ (17, 18)

Deney no	Mıknatıs sayısı	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (µm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (µm)	SiC (µm)	% YPIÖ
5	4	150	100	150	18.03
4	8	150	150	50	22.80
5-4	4-8	<b>150</b>	x	x	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Aritmetik ortalama: 20.42</b>
2	4	100	150	100	18.57
4	8	150	150	50	22.80
2-4	4-8	x	<b>150</b>	x	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Aritmetik ortalama: 20.69</b>
5	4	150	100	150	18.03
3	8	100	50	150	27.81
5-3	4-8	x	x	<b>150</b>	<b>SiC Aritmetik ortalama: 22.92</b>

Demirel ve Çaydaş'ın çalışmasında yüzey görüntüleri incelendiğinde, MAİ işlem sonrası yüzeydeki pürüzlülük çizgilerinin var olduğu görülmüştür. Yüzeyde bulunan yüzey pürüzlülük olan siyah lekelerin zamanla yok olduğunu

ve aşınma çizgilerinin de arttığını belirtmişlerdir. Aşınma çizgilerin sayısı; toz boyutu, miknatıs sayısı ve karışım oranı parametreleri yüzey üzerindeki aşınma çizgilerinin sayısını arttırdığı hipotezini doğrulamışlardır. Şekil 5'te % YPİO değerleri artması ile yüzey üzerindeki kara lekelerin kaybolduğu ve daha parlak yüzeyin oluştuğunu gözlemişlerdir. 5. ve 2. numunelerin yüzeylerindeki aşındırma çizgileri fazla olmazken 4. ve 1. numune yüzeylerindeki aşınma çizgileri artarak yüzey kara lekelerin kaybolduğu gözlenmiştir. Siyah şeklinde görülen aslında pürüz tepeleridir. Bu da yüzey pürüzlülüğünü ifade etmektedir. En iyi yüzey iyileştirmenin 3. deneyde meydana gelerek yüzey daha parlak ve MAİ öncesinde bulunan siyah lekelerin yok olduğunu belirtmişlerdir (17, 18).



Şekil 5. MAİ sonrası yüzey görüntüsü (200x büyütme) (17, 18)

Işık sapmasının yansımaya açısı miktarı önemli ölçüde numunelerin yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Ayna benzeri yüzeylerde yüzey pürüzlülüğünün çok düşük olması nedeniyle yoğun ışığı yansıtmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça yansımalar giderek daha fazla dağılır ve yüzey mat görünmektedir. Yansıtma dağılımı, tüm parlatılan yüzeyler için daha uzun bir dalga boyunda kademeli olarak arttığı da görülmüştür (1-18).

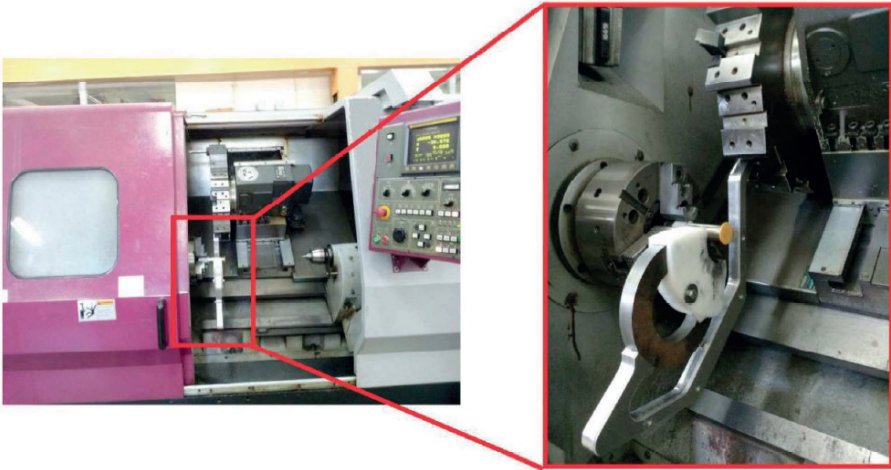
## 2.2. MAİ Yöntemini Kullanarak İç Yüzeylerin İşlenmesi

Türkiye’de bu konu üzerinde (boru içlerini MAİ yöntemi ile işleme) Çelik ve Çaydaş’ın çalışması mevcuttur. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan deneysel tasarım ve sonuçlar aşağıda verilmiştir (19-22): Deneysel olarak temin edilmiş AISI 304L östenitik paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 4’te verilmiştir (19).

**Tablo 4.** AISI 304L malzemesine ait kimyasal bileşimi (19)

Kalite	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
304L	%0.03	%2.0	%0.045	%0.03	%0.75	%18-20	%8
	max	max	max	max	max	max	max

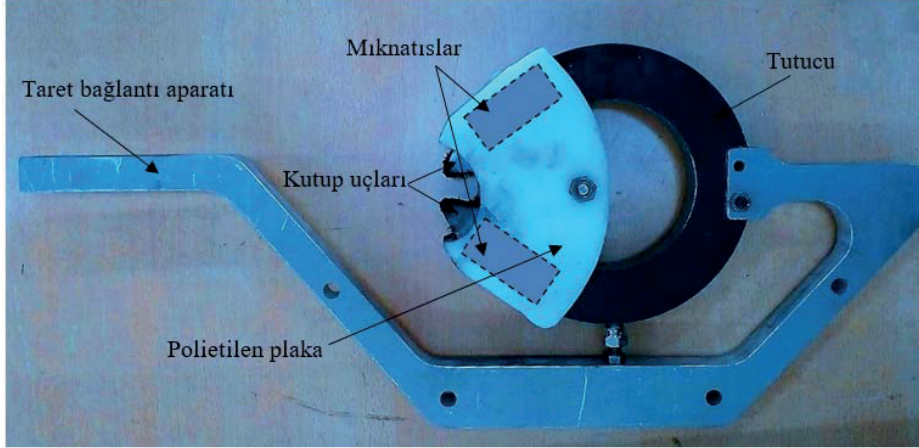
Çelik ve Çaydaş’ın çalışmasında, MAİ işleminde, borular, CNC tezgâhında 80 dev/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme miktarı, 0.5 mm kesme derinliği ile tornalama işlemi yapmışlardır (Şekil 6) (20, 21).



**Şekil 6.** Boru içi parlatmada deney düzeneği (19-21)

Çelik ve Çaydaş’ın çalışmasında, Şekil 7’de bulunan mıknatıs tutucu, yüzeyi parlatılacak boruyu kavrayacak şekilde taret üzerinde monte edilebilen şekilde tasarlanmışlardır. Tozların merkezkaç kuvvetinden dolayı dağılmadan boru

alt yüzeyinde belirli bir bölgede yoğunlaşarak iyi bir fırçalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Titreşimlerin ve deney alanının manyetikleşmesini engellemek için mıknatıs tutucuyu alüminyum aparata monte ederek torna tezgahının taretine bağlamışlardır (20, 21).



Şekil 7. Mıknatıs tutucu ve taret bağlantı aparatı (20, 21)

Çelik ve Çaydaş'ın çalışmasında, üç temel parametrelerin yanı sıra aşındırıcı ve ferro-manyetik demir tozlarının tanecik boyutları da belirli sınırlar içerisinde MAİ üzerindeki etkilerini araştırmışlardır (Tablo 5) (19-21).

Tablo 5. MAİ işlemindeki parametreler (19-21)

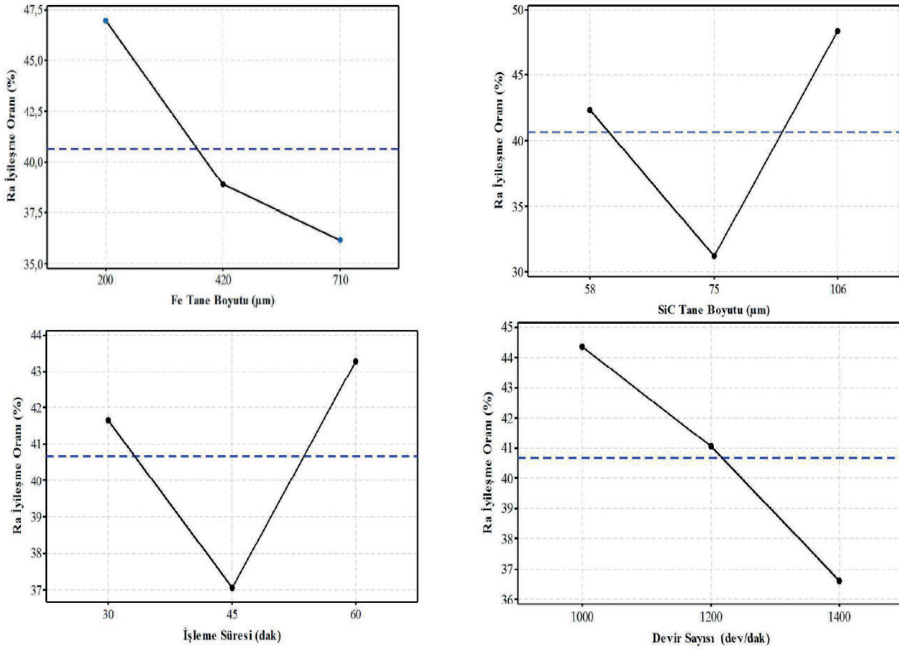
Deney no	Fe Tane Boyutu (µm)	SiC Tane Boyutu (µm)	İşleme zamanı (dk)	Dönüş hızı (dev/dk)
1	200	58	30	1200
2	200	75	45	1400
3	200	106	60	1000
4	420	58	45	1000
5	420	75	60	1200
6	420	75	30	1200
7	420	106	30	1400
8	710	58	60	1400
9	710	75	30	1000
10	710	106	45	1200

Çelik ve Çaydaş'ın çalışmasında, numuneler işlem öncesinde her numunenin  $R_a$  değerleri birbirinden farklı olduğu deney verilerinde görülerek % iyileşme oranlarını tespit etmişlerdir (Tablo 6) (19-21).

**Tablo 6.** İç boru işlemedeki % iyileşme oranı (19-21)

Deney no	$R_{ai}$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_{as}$ ( $\mu\text{m}$ )	% İyileşme oranı (%YPİO)
1	2.28	1.18	48.39
2	3.23	2.89	10.32
3	1.46	0.42	71.18
4	1.17	0.82	29.48
5	2.29	1.24	45.67
6	1.68	1.2	28.60
7	2.53	1.61	36.44
8	2.80	2.1	26.30
9	2.5	1.99	20.79
10	3.84	1.44	62.47

Çelik ve Çaydaş'ın çalışmasında, dönüş hızı 1400 dev/dk değerini geçtiğinde talaş kaldırmanın olmadığı sonucuna verilmiştir. Devirin miktarı arttıkça taneciklere etkileyen merkezkaç kuvvetini arttırdığı ve iş parçası yüzeyine tozların tutunamamıştır. Manyetik özelliği gösteren Fe tozlarının boyutu büyüdükçe yüzey pürüzlülük değerlerinde azalmalar olduğu gözlenmiştir. Aşındırıcı toz olarak kullanılan SiC tozları ise yüzey pürüzlülüğünün giderilmesinde verimli hali 106  $\mu\text{m}$  değerinde sağlamıştır. İşleme süresi, ideal olarak 1 sa şeklinde belirtmişlerdir (Şekil 8) (20).



Şekil 8. Parametrelerin % iyileşme oranına etkisi (20)

Çelik ve Çaydaş'ın iç boru yüzeylerinin işlenmesinde; 420 µm Fe, 58 µm SiC ve 45 dk işleme süresinde 1400 dev/dk kullanıldığında %10.32 oranında az miktarda iyileşme olurken 420 µm Fe, 106 µm SiC ve 30 dk işleme süresinde 1400 dev/dk kullanıldığında ise %71.18 oranında en fazla miktarda iyileşme görülmüştür. Boru içinde tozlar savrulmadığı için toz kayıpları yaşanmamaktadır bu da bir avantaj sağlamaktadır. 60 dk'dan daha uzun işleme sürelerinde iş parçası yüzeyinde derin çiziklere yol açmıştır, % YPIÖ değerinin azalması, aşınma izlerinin boyutlarının artması etkilemiştir. Devir sayısının artması sonucunda % YPIÖ değerinin azaldığı görülmüştür. İç boru ve düz yüzey işlemede verimin daha fazla arttığı gözlenmiştir. Nedeni de Fe tane boyutlarının daha büyük seçildiği için manyetik alanın içine girmesine bağlanılmıştır (20, 21). Çelik ve Çaydaş'ın düzlem yüzey üzerindeki MAİ ile yüzey parlatma işleminde ise; düzlem yüzey üzerindeki kelimeyi yansıtmalarını göstermişlerdir. Numunenin; merkez bölgesi için iyi ve net bir "FUTF" yansıması gözlemlenebilir ve bu numunenin yüzeyi ayna gibi kabul edilebilir. İşlenmemiş yüzey ise bulanık görünmektedir ve net bir "FUTF" yansımasını vermediği görülmektedir (Şekil 9) (22).



**Şekil 9.** Numunelerin elmas pastayla parlatma işleminden sonraki yansıma görüntüleri (22)

## SONUÇ

Literatür araştırmada, düzlemsel ve silindirik şekilli iş parçalarının bu yöntemle işlenmesi ile yüzey pürüzlülük değerlerinde ciddi oranlarda iyileşmelerin olduğu görülmüştür. Bu derleme çalışmasında amaç; Türkiye’deki geleneksel olmayan talaş kaldırma MAİ yöntemine önem verilmesi gerektiğinin üzerinde durulmuştur. Türkiye’de uygulanan çalışmalarda literatürden farkı ise mıknatıs kullanımı ile manyetiklik artırılmış olup manyetik ve aşındırıcı tozların mikron boyutları değiştirilmiştir. Literatürde bulunan AISI 304L malzemenin yüzeyinin aşındırma yoluyla parlatılması üzerinde durulmuştur. Bu malzeme ile yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde iç ve dış yüzeylerde işlenmesinin kolay olduğu sonucuna varılmıştır. MAİ yöntemi ise iç yüzey işlemede daha olumlu sonuçlar çıkarmıştır. Literatüre bakıldığında, Türkiye’deki deney sonuçlarla Yurt dışında yapılan deney sonuçlarının örtüştüğü ve MAİ yönteminin gelecekte taşlama konusunun yerini alacağı fikrini getirmiştir. Manyetik ve aşındırıcı tozlarının karışım oranları talaş kaldırma üzerinde önemlidir. Karışımındaki aşındırıcı oranının azalması sonucunda manyetik Fe tozları arasına yerleşen aşındırıcı tozlar yüzeye etkin bir şekilde temas etmeyerek basınç uygulayamadığında % YPIÖ değerlerini azaltmıştır. MAİ yönteminin boru içi yüzey parlatmasında daha etkili olduğu görüşüne kanaat getirilmiştir.

## KAYNAKÇA

1. Shinmura T, Takazawa K, Hatano E, Aizawa T (1985) Study on magnetic abrasive process-process principle and finishing possibility. *Bull JSPE*, 19(1):54 (in Japanese)
2. Shinmura T, Takazawa K, Hatano E, Matsunaga M (1990), Study on magnetic abrasive finishing. *Ann CIRP*, 39(1):325–328.
3. SinghDK, Jain V, RaghuramV (2006), Experimental investigations into forces acting during amagnetic abrasive finishing process. *Int J Adv Manuf Technol*, 30:652–662.
4. Kim JD, Choi MS (1995), Simulation for the prediction of surfaceaccuracy in magnetic abrasive machining. *J Mater Process Technol*, 53:630–642.
5. Yamaguchi H, Shinmura T, Kaneko T (1996), Development of a new internal finishing process applying magnetic abrasive finishing by use of pole rotation system. *Int J Japan Soc Prec Eng*, 30(4), 317.
6. Jain VK (2009), Magnetic field assisted abrasive based micro-/nano-finishing. *J Mater Process Technol*, 209(20), 6022–6038.
7. Zou Y, Shinmura T (2004), Study on magnetic field-assisted machining process for internal finishing using magneticmachining jig. *Key Engineering Materials*, 257-258:505–510 (The 6th International Symposium on Advances in Abrasive Technology)
8. Zou Y, Shinmura T (2009), Study on a new planemagnetic abrasive finishing process by application of a constant-pressure magnetic brush. *J Japan Soc Abrasive Technol*, 53(1):31–34.
9. Zou Y, Jiao A, Aizawa T (2010), Study on plane magnetic abrasive finishing process-experimental and theoretical analysis on polishing trajectory. *Adv Mater Res*, 126–128(1), 1023–1102.
10. Zou, Y., Xing, B., Sun, X., (2020), Study on the magnetic abrasive finishing combined with electrolytic process—investigation of machining mechanism, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108(1), 1675–1689.
11. Natsume M, Shinmura T (2008), Study on the mechanism of plane magnetic abrasive finishing process-elucidation of normal force characteristics. *Trans Jpn Soc Mech Eng*, 74(737), 212–218.



12. Ö. Salman, (2014) Manyetik Aşındırıcılar ile YüzeY İşleme, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11(1), 1-10.
13. Yamaguchi H., Shinmura T., Ikeda R., (2007), Study of Internal Finishing of Austenitic Stainless Steel Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129(5), 885-892.
14. Qian, C., Fan, Z., Tian, Y., Liu, Y., Han, J., Wang, J., (2021), A review on magnetic abrasive finishing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112(11), 619-634.
15. N. K. Alkarkhi, M. Naif, (2012), Study on The Parameter Optimization in Magnetic Abrasive Polishing for Brass CUZN<sub>33</sub> Plate Using Taguchi Method, *The Iraqi Journal for Mechanical and Materials Engineering*, 12(3), 596-615.
16. Yang, Y., Xue, Y., Li, B., (2022), A Magnetic Abrasive Finishing Process with an Auxiliary Magnetic Machining Tool for the Internal Surface Finishing of a Thick-Walled Tube, *Machines*, 10(7), 529-549.
17. Demirel T., (2017), Investigation of Flat Surfaces with Magnetic Abrasive Assisted Finishing Process, *Master's Thesis*, Firat University, Elazig.
18. Demirel, T., Çaydaş, U., (2017), Investigation of Flat Surfaces with Magnetic Abrasive Assisted Finishing Process, *8th International Advanced Technologies Symposium (IATS)*, 19-22 October 2017 Elazığ Turkey, 3899-3909.
19. Çaydaş, U., Çelik, M., (2017), AISI 304 L Östenitik Paslanmaz Çelik Boruların Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemiyle İşlenebilirliği, 2-4 November 2017, *8th International symposium on machining*, Antalya, Turkey, 406-420.
20. Çelik M., (2017), Investigation of Machinability of Inner Surface in Magnetic Abrasive Finishing Process, *Master's Thesis*, Firat University, Elazig, 85 pp.
21. Çaydaş U., Çelik M., Köklü U., (2019), Investigation of Material Removal Rate and Surface Roughness in Finishing of Internal Surfaces of AISI 304 L Austenitic Stainless Steel Pipes by Magnetic Abrasives, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (3), 1214-1225.
22. Çaydaş U., Çelik M., (2020), An Experimental Investigation into The Optimal Processing Conditions for The Diamond Paste Polishing of SKD 61 Mold Steel, *Manufacturing Technologies and Applications*, 1(1), 13-21.



## 2. BÖLÜM

### **DIELS - ALDER REAKSİYONU VE BİYOMEDİKAL UYGULAMALARI**

Ayşe Ebra TEMUR

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

*Mühendislik Bilimleri Bölümü*

ORCID: 0000-0001-9624-1586

Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI\*

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa*

*Mühendislik Bilimleri Bölümü*

gokhan.cayli@istanbul.edu.tr

ORCID: 0000-0002-3395-5642

### **GİRİŞ**

Diels – Alder reaksiyonu perisiklik reaksiyonların bir çeşidi olup kısaca 1-4 siklo katılma reaksiyonudur. Bu reaksiyonda dien ve dienofil adını verdiğimiz moleküller tandem bir reaksiyonla sübstitüe siklohekzenlere dönüşür. Dien molekülü, konjuge iki çift bağa sahip ve cis konfigürasyondadır. Dienofil ise bir çift bağa sahip ve bu çift bağa komşu elektron çeken veya elektron iten gruplara sahip bir moleküldür. Normal bir Diels - Alder reaksiyonunda dien elektronca zengin bir yapıya sahipse yani dien yapısında çift bağlara komşu gruplar elektronca zengin ve çift bağlara doğru elektron iten gruplar var ise Diels – Alder

reaksiyonu hızlanır. Yine benzer şekilde dienofil de çift bağa elektron çeken gruplar komşu ise benzer etki gözlenir. Bunun dışında ters elektron talepli Diels – Alder reaksiyonları da gözlemlenmektedir. Bu reaksiyonlarda dien molekülü elektron çeken gruplara sahip olup dienofil de elektronca zengin elektron iten gruplar içermektedir. (Cativiela, C., vd., 1997)

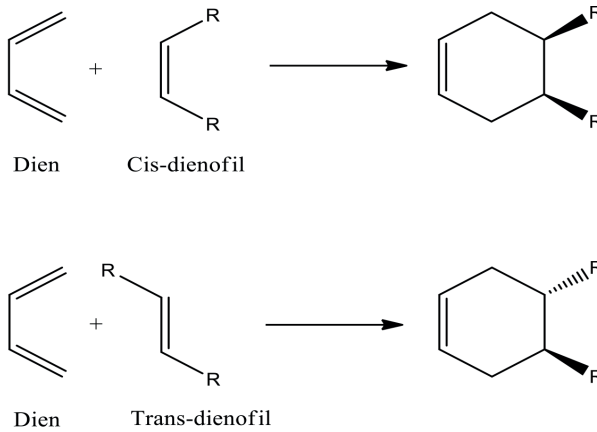
Günümüz toplumsal ihtiyaçları ve çevresel faktörler göz önünde bulundurulduğunda sürdürülebilir kalkınma modeli ve buna bağlı faaliyetler ön plana çıkmaktadır. Bu kalkınma modelinde yenilenebilir kaynaklar ve bu kaynaklardan elde edilen malzemeler oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Diels – Alder reaksiyonları özel bir katalist istememeleri, solvante ihtiyaç duymamaları gibi avantajlarından dolayı konvansiyonel sentez metotlarına göre daha çevreci bir reaksiyondur. Bu çevreci yönünün daha da artırılabilmesi için yenilenebilir kaynaklardan elde edilen malzemelerinde kullanıldığı Diels – Alder reaksiyonları ve bunların uygulamaları oldukça önemlidir. Bu konu üzerinde gittikçe artan sayıda çalışma yapılmaktadır. Mısır püskülünden elde edilen ve furan halkası içeren furfural, furfural alkol, 2-hidroksifuraldehit önemli ve ucuz dien kaynakları olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal kaynaklardan endüstriyel olarak saf dienofiller elde edilmemektedir. Bunun yerine sentetik olan akrilat ve maleat grubu içeren doğal kökenli maddeler mevcuttur. Akrillenmiş epoksida soya yağı endüstriyel olarak erişilebilen ve dienofil olarak etki edebilen bir üründür. Bu bileşiğe benzer şekilde maleik asidin monometil esterinin epoksida soya yağı kondenzatı da dienofil olarak kullanılabilir. (Davies, H.M.L., Dai, X., 2004)

Diels – Alder reaksiyonları stereo spesifik reaksiyonlardır. Reaksiyon sonunda birden fazla optikçe aktif ürün ortaya çıkmaktadır. Ortamın sıcaklığına ve kullanılan katalizöre bağlı olarak tek bir tür domine edilebilmektedir. Örnek olarak maleik anhidrit ve furan reaksiyonunu verebiliriz. Oda sıcaklığında ve daha düşük sıcaklıklarda endo reaksiyon ürünü baskın iken yüksek sıcaklıklarda ekzo ürün daha baskındır. Diels – Alder reaksiyonunun bu özelliklerinden faydalanılarak özellikle stereo spesifik uygulamalar yapılabilir. Stereo spesifiklikten kasıt Diels – Alder reaksiyonu sonucunda oluşan ürüne bağlı olarak oluşturulan sistem tek bir tip biyolojik ürüne izin vermektedir. Bu kitap bölümünde Diels – Alder reaksiyonlarının bu özelliklerinden faydalanılarak yapılan çalışmalar anlatılmıştır. (Minary, P., Tuckerman, M.E., 2004)

## 1. DİELS – ALDER REAKSİYONU

Alman kimyacı Otto Diels ve öğrencisi Kurt Alder, ilk kez 1928 yılında dienlerin 1,4-siklokatılma tepkimesini kendi isimlerini verdikleri bir tepkime ile tanımlamışlardır. Bu çalışma ile 1950 yılında Nobel Kimya Ödülü'ne layık görülmüşlerdir. (Kloetzel, M.C., 1948) Bu tepkimenin çok geniş uygulama alanı ve sentetik yararları mevcuttur. Diels – Alder tepkimeleri sikloheksen halkası hazırlamada kullanılan çok kullanışlı sentetik bir yöntemdir. (Nicolaou, K.C., vd., 2002)

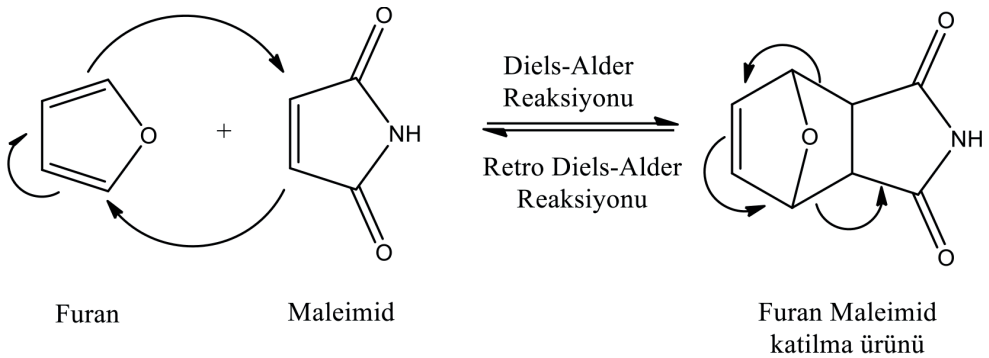
Diels – Alder tepkimesi, konjuge bir dien ( $4 \pi$  elektron sistemli) ve bir ikili bağ taşıyan dienofil ( $2 \pi$  elektron sistemli) arasında oluşan ve sikloheksen oluşturan tersinir bir perisiklik ilaveli tepkimedir. Bu tepkime sonundaki ürün katılma ürünü olarak adlandırılır. (Taşdelen, A., 2011)



**Şekil 1.** Diels – Alder reaksiyonu ve son ürünleri

Diels – Alder ve retro Diels – Alder tepkimelerinde yani hem ileri hem de geri reaksiyonda tüm fonksiyonel grupların konumu korunur. İleri reaksiyonda dien  $4 \pi$  elektronunu yani  $2 \pi$  bağı ve dienofil de  $2 \pi$  elektronunu yani  $1 \pi$  bağı içerir. Bu  $\pi$  bağları,  $(4+2)$  perisiklik geçiş sırasında kırılır ve yeni bir  $\pi$  bağı ve yeni 2 tane  $\alpha$  bağı olan 6 üyeli yeni bir halka içerir. Bu halka sikloheksan yapıya

sahiptir.  $\alpha$  bağları  $\pi$  bağlarından genellikle daha kuvvetli olduğundan ürünün oluşumu termodinamik açıdan tercih edilir. Fakat çoğu Diels – Alder tepkimesi tersinirdir. Diels – Alder reaksiyonu ürünü eğer yeteri kadar yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa tekrar kendini oluşturan dien ve dienofile parçalanır ve retro Diels – Alder reaksiyonu gerçekleşmiş olur. (Rickborn, B., 1998) Mekanik olarak, Diels – Alder reaksiyonu, dien ve dienofildeki  $\pi$  bağlarının özel düzenlenmesini gerektirir, bu da tüm bağ oluşturan elektron transferlerinin gerçekleşmesine eş zamanlı olarak izin verir. (Qiu, Y., 2015)

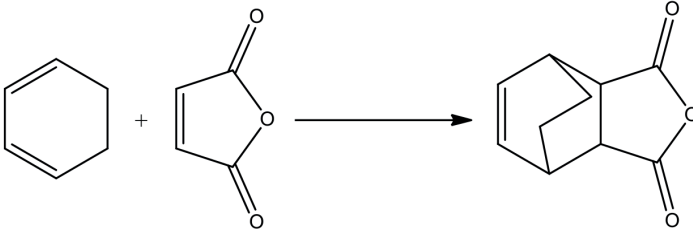


**Şekil 2.** Diels – Alder ve retro Diels – Alder reaksiyonları

### 1.1. Dienofil

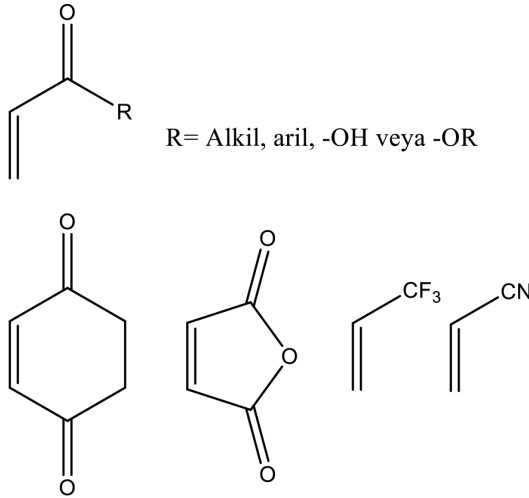
Diels – Alder reaksiyonunda birçok farklı dienofil türü mevcuttur. Bunlar çoğu durumda etilen veya asetilen türevleri olabilmekte iken bazı durumlarda ise reaksiyona giren atomlardan birinin ya da her ikisinin bir hetero atom olduğu reaktifler olabilmektedir. Reaksiyona giren dienofillerin hepsi eşit kolaylıkla reaksiyona girmez ve reaktivlikleri yapıya bağlı değişkenlik gösterir. Genel olarak, çift veya üçlü bağ üzerindeki elektron çeken sübstitüentlerin sayısı ne kadar fazla ise dienofilin en düşük boş moleküler orbitalinin enerjisinin sübstitüentler tarafından düşürülmesi nedeniyle dienofil o kadar reaktif olur. Bu nedenle, maleik anhidrit ve 1,3-bütadien kaynayan benzende veya oda sıcaklığında daha yavaş, tetrasiyanoetilende dört elektron çeken sübstitüentlerle  $0^{\circ}\text{C}$  bile son derece hızlı reaksiyona giren niceliksel bir ürün verimi sağlar. Asetilen, elektron bakımından zengin dienlerle yalnızca şiddetli koşullar altında reaksiyona girer. Ancak propiolik asit, fenilpropiolik asit ve asetilen karboksilik asit

kolayca reaksiyona girer ve sıklıkla Diels – Alder reaksiyonunda dienofiller olarak kullanılmıştır. (Holmes, H.L., 1948) (Fuks, R. ve Viehe, H.G., 1969) Bununla birlikte, genellenenin dışında elektron bakımından zengin bir dienofil ile elektron eksikliği olan bir dien arasında da birçok reaksiyon olduğu göz ardı edilmemelidir. (Sauer, J., 1967) Temel özellik, iki bileşenin tamamlayıcı elektronik karaktere sahip olmasıdır. Genellikle reaksiyonların büyük çoğunluğu elektron bakımından zengin bir dien ve elektron eksikliği olan dienofil arasında olur.



**Şekil 3.** Sikloheksadien maleik anhidrit katılma ürünü.

Diels – Alder reaksiyonu için en sık karşılaşılan aktive edici süstitüentler CO, CO<sub>2</sub>R, CN, NO<sub>2</sub> ‘dir. Bu gruplardan bir ya da daha fazlasını çift veya üçlü bir bağ ile konjugasyonda içeren dienofiller, dienlerle kolayca reaksiyona girer.



**ŞEKİL 4.** Bazı yaygın dienofiller

Alda- beta doymamış karbonil bileşikleri reaktif dienofillerdir ve muhtemelen sentezde en yaygın kullanılan dienofillerdir. Tipik örnekleri ise propenal, akrilik asit ve esterleri, maleik asit ve anhidridi, asetilen dikarboksilik asit ve çok sayıda 2-sikloheksenon türevidir. (Butz, L.W. ve Rytina, A.W., 1949)

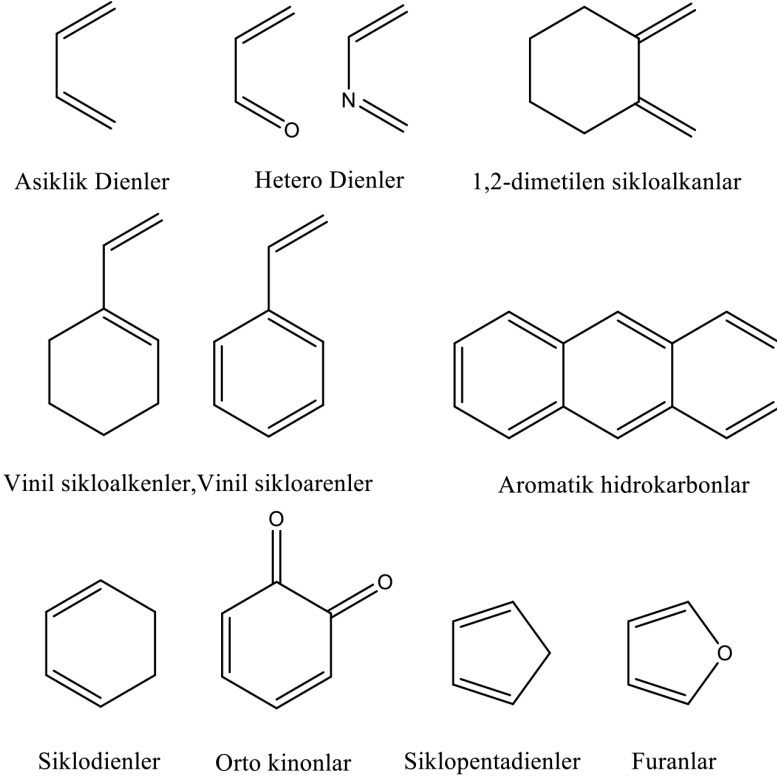
## 1.2. Dien

Diels – Alder reaksiyonunun bileşenlerinden biri olan dien, diolefin ya da alkadien olarak da adlandırılmaktadır. Bu bileşik iki çift bağ içeren kovalent bir bileşiktir. Buradaki bağlar genellikle karbon atomları arasında bulunmaktadır. Dien bileşiği, açık zincirli veya siklik yapıda olabilir ve birçok farklı türde süstitüent barındırabilir. Organik sentezlerde kullanılan dienlerin doğal olarak oluşan ya da sentetik kimyasal olarak bulunan türleri mevcuttur. Konjuge dienler, polimer endüstrisinde monomer olarak da yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Endüstriyel ölçekte bütadien, bütanların termal parçalanmasıyla hazırlanırken benzer şekilde seçici olmayan işlemde kömür katranlarından disiklopentadien elde edilir. Laboratuvarında ise dehidrohalojenasyonlar ve yoğunlaşmalar gibi daha yönlendirilmiş ve daha hassas işlemler kullanılır.

Bir sisoid ve transoid konformasyonunda birçok dien bulunabilir. Eğer dien sisoid konformasyona sahip değil ise veya benimsemiyorsa reaksiyon meydana gelmez. Bu durumu karşılayan dienlerin çoğu yapılarına bağlı olarak az çok kolayca reaksiyona girer. (Carruthers, W., 1971)





Şekil 5. Yaygın bulunan dienler

## 2. BİOMEDİKAL UYGULAMA ALANLARI

Diels – Alder reaksiyonu ve retro Diels – Alder reaksiyonu tersinir reaksiyonlar olup nano taneciklerin modifikasyonunda kolaylıkla kullanılabilirlerdir. Nano taneciklerin kullanıldığı biyomedikal uygulamalarda bu reaksiyonlardan faydalanmak olasıdır. Örnek olarak kontrollü ilaç salınım sistemlerinde, kendi kendini iyileştiren nano tanecikler içeren sistemlerde Diels – Alder reaksiyonunu kullanmak mümkündür. (Otto, S. ve Engberts, J.B.F.N., 2003)

Diels – Alder reaksiyonlarının kullanıldığı biyomedikal uygulama alanı da hidrojenlerdir. Hidrojenlerde, Diels – Alder reaksiyonunun ve retro Diels – Alder reaksiyonunun kullanılmasıyla kontrollü ilaç dağıtım sistemleri üretilebilmektedir. Bu sistemlerde yapının hasar gördüğü noktalarda bu reaksiyonlar

kullanılarak polimerin kendini iyileştirme özelliği görülmektedir. Bu sebeple bu maksatla kullanılan hidrojel­ler fizyolojik olarak stabildir. (Wei, Z. vd., 2013) Hidrojeller fiziksel ve kimyasal olarak çapraz bağlanabilmektedirler. Kimyasal olarak çapraz bağlı olan hidrojel­ler, fiziksel olarak çapraz bağlı olan hidrojel­lere göre mekanik açıdan (çekme-germe, şişme özelliği) daha iyi özelliklere sahiptir. Ancak kimyasal çapraz bağa sahip olan hidrojel­ler, içerdikleri fonksiyonel gruplar ve reaktif gruplar sebebiyle bazı biyomedikal uygulamalar için toksik etkiye sahiptir. Bu nedenle daha güvenli olanları tercih edilmelidir. Diels – Alder reaksiyonu ile elde edilen hidrojel­ler bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. (Shi, M. vd., 2007) Bu hidrojel­leri kullanarak ekstra selüler matriks üretimi, 3 boyutlu hücre kültürü için matriks elemanları ve hücre enkapsülasyonu için gerekli polimerik ajanlar sentezlenebilir. (Madl, C.M. ve Heilshorn, S.C., 2019)

Diels – Alder reaksiyonu her ne kadar siklokatılma reaksiyonu olarak tanımlansa da burada bir dien ve dienofil molekülüne ihtiyaç vardır. Ve molekül­ler tandem reaksiyonla yani aynı anda meydana gelen bir reaksiyonla birbirine bağlanmaktadır. Bu yönüyle klik (click) reaksiyonu olarak da kabul edilmektedir. Literatürde birçok klik reaksiyonu söz konusudur. Özellikle asetilen ve azid molekülünün asetilen ile verdiği reaksiyon yine bir halkalı katılma reaksiyonudur. Bu yönü ile de Diels – Alder reaksiyonu bir klik kimyası sentezidir. (Wei, Z. vd., 2012)

Diels – Alder reaksiyonunda spesifik bir katalizöre ihtiyaç yoktur. Uygun fonksiyonel gruplar birbirine denk geldiğinde oda sıcaklığında çok yüksek verimle ilerleyen bir reaksiyondur. Reaksiyona kaç atom girdiyse, reaksiyon sonunda ki molekülde de o kadar atom vardır ve dolayısıyla atom ekonomisine baktığımızda yüksek verimli reaksiyonlar olduğu görülmektedir. Konvansiyonel reaksiyonlar düşünüldüğünde, örneğin bir esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak su oluşmakta ve bu suyun ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Eğer su ortamdan uzaklaştırılmazsa reaksiyon ilerleyemeden bir noktada kalır. Veya reaksiyonu daha ileri taşımak için ortama konsantr­e sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ilavesi gereklidir. Buda dehidre edici bir madde olduğu için bulunduğu ortamda ki tüm molekül­lerden suyu uzaklaştırır yani kömürleştirmeye sebep olur. Bu sebeple sülfürik asitli bir esterleşme reaksiyonu, bir hücre kültüründe ekstra kullanılmaz çünkü kullanılırsa tüm hücreler yanar. Bunların dışında Diels – Alder reaksiyonu çok yüksek verimle gerçekleşen reaksiyonlardır. Ay-

rica stereospesifik reaksiyonlardır. Örneğin, oda sıcaklığında reaksiyon yapıldığında reaksiyon bir stereo tipe baskın olduğu reaksiyondur. Örnek vermek gerekirse furan ve maleik anhidritin oda sıcaklığında ki reaksiyonunda endo ürünü baskın iken, daha yüksek sıcaklıklarda ise ekzo tip baskın olmaktadır. Bu sebeple de saf bir maddenin elde edildiği reaksiyonlar olarak diğer konvansiyonel metotlara göre üstündür. (Olsen, B.A., Sreedhara, A., Baertschi, S.W., 2018) (Liu, K.T. ve Chen, C.H., 2019)

Tipik olarak biyomedikal uygulamalar için 3D yazıcılarda, doku mühendisliğinde kullanılmak üzere hücrelerinde bulunduğu yapılar elde edilmek istendiğinde UV ışık hücrelerin parçalanmasına, çekirdek ve çekirdekçiğin zarar görmesine, hücre ömürlerinin çok kısa olmasına sebep olmaktadır. Halbuki UV kullanmadan sadece Diels – Alder reaksiyonu kullanarak işlemi yapmak bu sakıncaları ortadan kaldırmaktadır. (Lording, W.J. vd., 2020)

Bu çalışmada Diels – Alder reaksiyonunun biyomedikal kullanım alanlarından hidrojeller ve nano tıp bazlı çalışmalarından bahsedilmiştir.

## 2.1. Hidrojeller

Jeller, fiziksel veya kimyasal olarak çapraz bağlanmış olan ve kendi ağırlıklarının birkaç katı solvent tutabilen malzemelerdir. Eğer bu solvent organik bir maddeyse organojeller elde edilir. Eğer bu solvent su ise hidrojeller elde edilir. Biyolojik olarak da önemli yapılardır. Canlı dokularının büyük kısmı hidrojeller gibi su tutabilen maddelerden oluşmuştur. Örnek olarak salatalık bitkisini verebiliriz. Salatalığın %90'dan fazlası sudur fakat katı haldedir. Sütte ise sıvı olmasına rağmen daha az su içermektedir. (Adzima, B.J., vd., 2008)

Hidrojeller, yüksek oranda suyu bünyesine alarak şişme özelliği gösterebilen çapraz bağlı homo ya da kopolimerik maddelerdir. Hidrojeller üç boyutlu yapıya sahip sistemlerdir, bu malzemelerin suda çözünmemelerinin sebebi yapısındaki kimyasal ya da fiziksel çapraz bağlardır. Hidrojeller doğal olarak bulunabildiği gibi laboratuvar ortamında da sentezlenebilir. Tıbbi uygulama açısından sahip olduğu üstün özellikleri ile son yıllarda araştırmacıların ilgi odağında olmakla birlikte günlük hayatta nem miktarını kontrol etmek için bebek bezlerinde, lenslerde vb. nesnelere kullanılmaktadır. En önemli kullanım alanları; kontrollü ilaç salınımları, yapay kan damarları, yumuşak doku substitüsyonu, kontak lenslerdir. Suda çözünmeyip şişebilen yani suyu yapıları içeri-

sine de alabilen, üç boyutlu polimerik şebekeler olup jelatin, açar ve aljinatlar gibi hem doğal hem de sentetik polimerleri kapsamaktadır. Suda bir denge hacmine kadar şişerler fakat şekillerini korurlar. Hidrojellerin absorpladığı su miktarı oldukça büyüktür ve hatta kendi ağırlığının 1000 katına kadar ulaşabilir. Bu nedenle son yıllarda çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. (Sop, E.S., 2013)

### 2.1.1. Hidrojellerin Sınıflandırılması

Hidrojeller kendisini oluşturan malzemenin türlerine göre, çapraz bağlanma mekanizmasına göre duyarlı oldukları ortamlara göre çok çeşitli şekilde sınıflandırılabilir. Ve bu sınıflandırmayı daha da artırmak mümkündür. Ancak konu bütünlüğünün dağılmaması açısından hidrojellerin sınıflandırılması sadece içerdiği polimerlerin türlerine ve bağlanma şekillerine göre bu bölümde anlatılmaktadır.

**Hopolimer Hidrojeller:** Bu hidrojeller tek bir hidrofilik monomerin çapraz bağlanmasıyla oluşmaktadır.

**Kopolimer Hidrojeller:** Bu hidrojeller iki monomerin çapraz bağlanmasıyla oluşmuş yapılardır. Fakat monomerlerden birinin hidrofilik yapıda olması gerekmektedir.

**Ter polimer Hidrojeller:** Bu hidrojeller ise iki ya da daha fazla sayıda komonomerin reaksiyonu ile oluşmuş yapılardır.

**IPN Hidrojeller:** Çapraz bağlı iki polimerik örgünün fiziksel olarak birleşmesiyle oluşurlar. Örneğin polioksietilen ve poliakrilik asitten hazırlanan IPN yapılar mevcuttur. Önce çapraz bağlı polioksietilen hazırlanır sonra bu örgü akrilik asit, başlatıcı ve çapraz bağlayıcı içeren karışımda şişirilirken polimerizasyon olur.

### 2.1.2. Fiziksel Çapraz Bağlı Hidrojeller

Hidrojellerin hidrojen bağları ve iyonik etkileşimler, koordinasyon bağları, hidrofobik etkileşimler gibi fiziksel etkileşimlerin sebep olduğu çapraz bağlanmalar sonucu oluşmasıyla elde edilen hidrojellerdir. Fiziksel çapraz bağlı bu hidrojeller sıcaklık, pH ya da çözücü bileşiminin değişmesi ile homojen bir çözücü oluşturuyorsa ve başlangıç koşullarına döndüğünde yeniden şekillenebiliyorsa bu isimle anılırlar. Bu özellikleri nedeniyle fiziksel çapraz bağlı hidrojeller jeller tersinir jeller olarak da adlandırılabilirler. Örnek olarak; kitosan ve aljinat iyonik

etkileşim ile birlikte çapraz bağlanan polimerik maddelerdir. Katyonik kitosan polimer kompleks oluşumu karboksimetil selüloz gibi negatif yüklü bir polimer eklenmesiyle elde edilmektedir. Negatif yüklü aljinatlarda ise iki değerlikli katyonlarla çapraz bağlanma yapabilmektedir. Amfifilik polimerlerde ise hidrofobik etkileşimler sayesinde fiziksel çapraz bağlar oluşturabilirler. (Shi, X., vd., 2008)

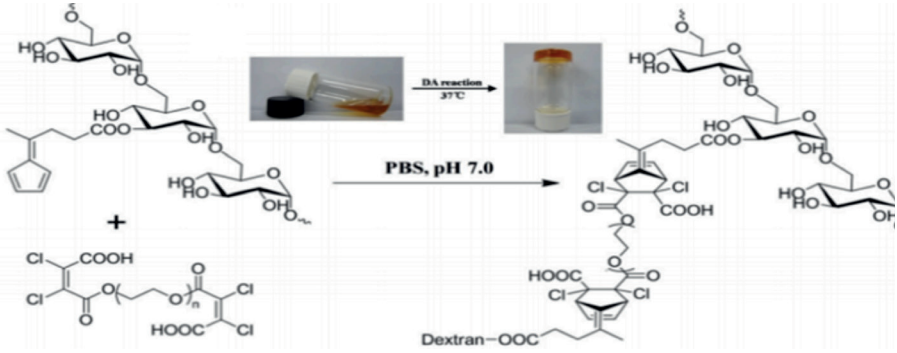
### 2.1.3. Kimyasal Çapraz Bağlı Hidrojeller

Kimyasal çapraz bağlı hidrojeller, zincirleri arasında kuvvetli kimyasal bağlarla çapraz bağlanmanın gerçekleştiği jeller olup sıcaklık, pH ya da çözücü bileşiminin değişmesi ile tekrar çözünmedikleri için tersinmez olarak adlandırılmaktadırlar. Kimyasal çapraz bağlı ağlar kalıcı birleşim noktalarına sahiptirler. Yaygın kullanım alanına sahip olan pHEMA (polihidroksi etil metakrilat) kimyasal çapraz bağlı bir hidrojeldir. Kimyasal çapraz bağlı hidrojellerin oluşması için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri suda çözünebilir monomerin uygun miktarda çapraz bağlayıcı (bis akrilatlar, bis akrilamid vb.) varlığında polimerizasyonu, diğeri ise yine çapraz bağlayıcı ajan kullanılarak hidrofilik polimerin çapraz bağlanmasıdır. Bunların dışında gama ve UV ışınları ile birlikte ışınlanma metodu ile de çapraz bağlanma gerçekleşebilmektedir. Eğer bir monomerde birden fazla işlevsellik var ise (sıcaklığa hassasiyet, artı veya eksi yük fazlalığı vb.) spesifik uygulamalar için üç boyutlu jel üretimi oldukça kolaylaşmaktadır. (Shi, X., vd., 2008) (Ulusoy, A. ve Dikmen, N., 2020)

### 2.2.4. Hidrojellerin Sentezi

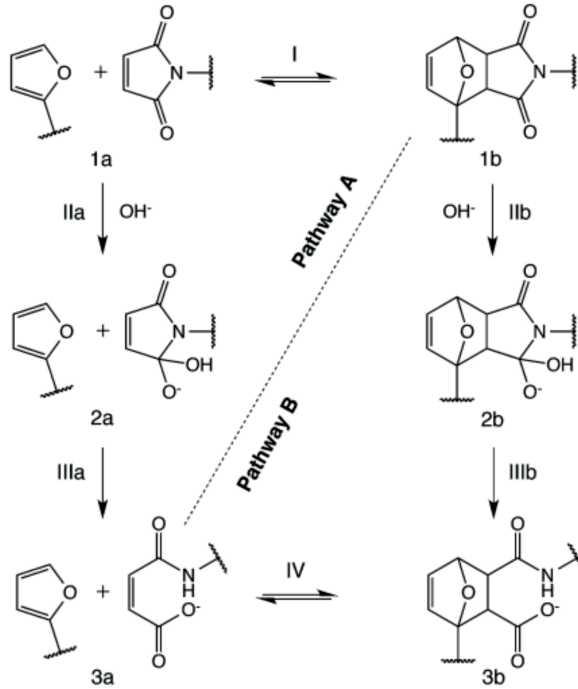
Literatür araştırması yapıldığında hidrojel sentezleriyle alakalı oldukça fazla çalışmaya rastlanmaktadır. Bunların arasında Diels – Alder reaksiyonu da kullanılarak yapılan sentezlerden önemli gördüklerimiz bu bölümde anlatılmaktadır.

İlk olarak Wei ve arkadaşlarının çalışmasını örnek verebiliriz. Wei ve arkadaşları kendi kendini iyileştiren tersinir Diels – Alder reaksiyonlarıyla hazırlanan ve yine kendi kendini iyileştiren dekstran bazlı bir hidrojel geliştirmişlerdir. Bu çalışmada bir Diels – Alder siklokatılma reaksiyonu ile çapraz bağlanma oluşumu gerçekleşmiş ve 37°C’de ilk hidrojinin oluşumu gözlemlenmiştir. Burada kullanılan dienofil, dikloromaleik asitle modifiye edilmiş polietilen glikoldür. Dien ise fulven ile modifiye edilmiş hidrolik dekstrandır. (Wei, Z., vd., 2013)



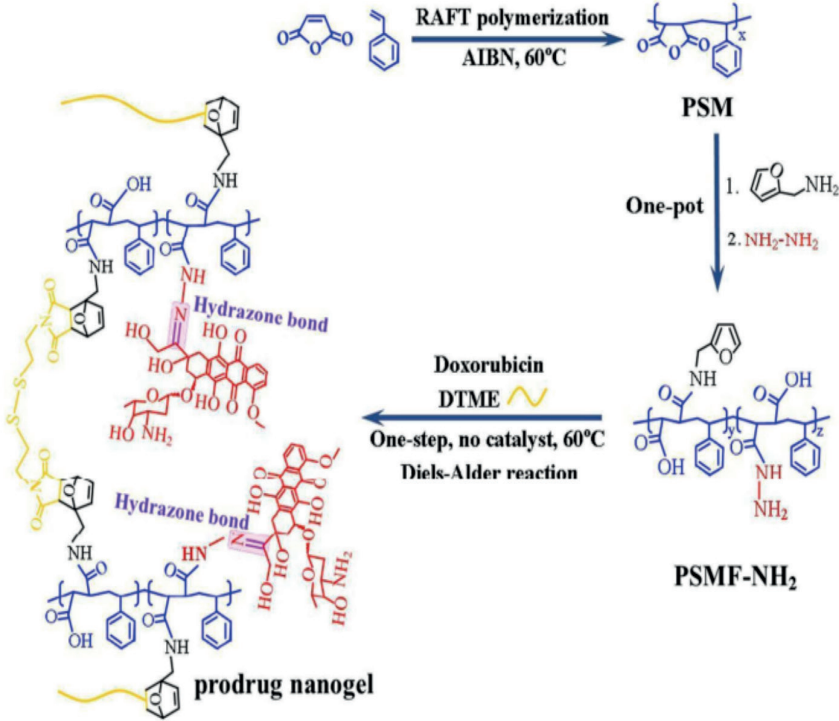
**ŞEKİL 6.** 37 °C’de hidrojel yapısının oluşumunu gösteren diyagram  
(Wei, Z., vd., 2013)

Kirchhof ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ortama fazla miktarda maleimid koyduklarında retro Diels – Alder reaksiyonunun daha kolay gerçekleştiğini ve daha kolay ayarlanabilen koşullarla dengenin reaktiflere doğru kaydığını göstermişlerdir. (Kirchlof, S., vd., 2013)



**Şekil 7.** Diels – Alder hidrojellerinin potansiyel bozunma yolları.  
(Kirchlof, S., vd., 2013)

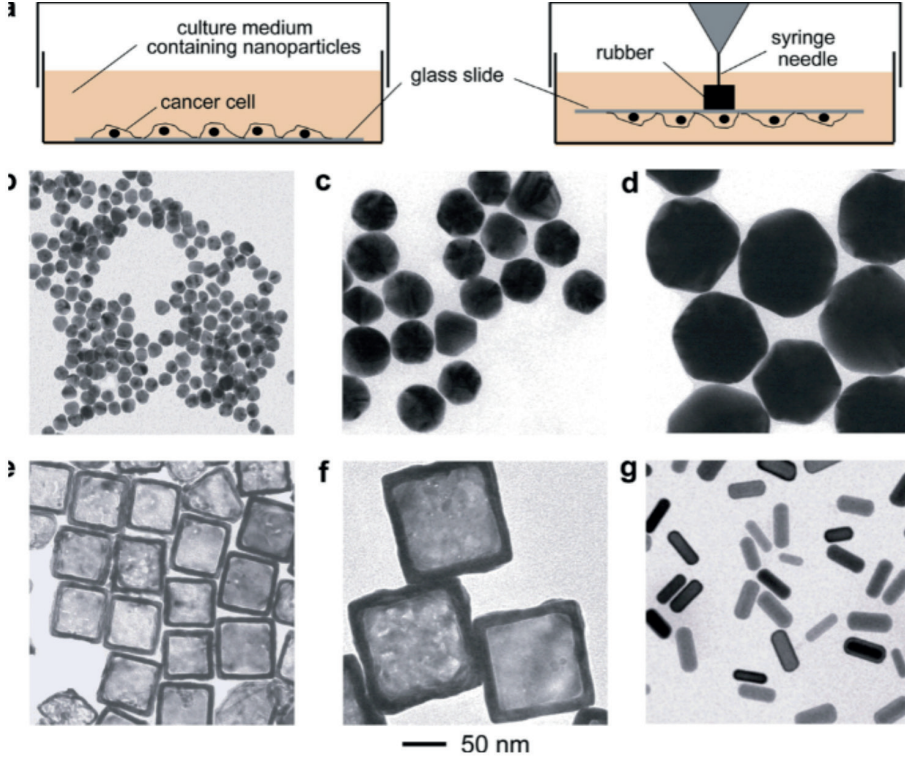
Cao ve arkadaşları toksik olmayan polistiren maleik anhidrit kopolimeri (PSM) kullanmışlardır. Bu polimeri furfirilamin ile modifiye etmişler ve Diels – Alder reaksiyonu verebilen çok ucuz bir malzeme elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu malzemeyi nanojellerin sentezinde kullanmışlardır. Bu nanojelleri kullanarak Doksorubisin'in kontrollü salınabilmesi için (DOX) yeni bir metodoloji önermişlerdir. (Cao, X.T., vd., 2021)



**Şekil 8.** Diels – Alder reaksiyonu yoluyla ön ilaç nanojellerinin tek adımlı hazırlanmasının gösterimi. (Cao, X.T., vd., 2021)

Cho ve arkadaşları, in vitro ortamlarda hücreleri Diels – Alder bazlı hidrojeller ile enkapsüle etmişler ve bu sayede in vivo koşulları taklit etmişlerdir. Bu çalışma ile kanser için yeni ilaçların ve yeni tedavilerin ideal koşullarda da bazı hidrojeller ile enkapsüle edilmiş hücre kültürleri kullanarak geliştirilmesine çalışılmıştır. Hücre kültürü şişeleri içinde bir hücre hattının büyümesine ve ardından bu hücrelerin plaka tabanına yapıştığı kültür plakalarını kolaylıkla transfer edebilmişlerdir. Ayrıca modifiye edilmiş Diels – Alder hidrojelleriyle

enkapsüle edilmiş hücrelerden oldukça iyi sonuçlar almışlardır. (Cho, E. C., vd., 2011)



**Şekil 9.** a, nanoparçacıkların hücresel alımını ölçmek için dik (sol) ve ters (sağ) konfigürasyonların şeması. Hücreler ölçüğe göre çizilmez ve 6 oyuklu bir kültür plakasının her bir oyukğu, üzerinde hücrelerin immobilize edildiği yalnızca bir cam lamel içerir. b-g, TEM görüntüleri, boyut, şekil ve yoğunluğun iki konfigürasyon arasındaki hücresel alımdaki eşitsizlik üzerindeki etkilerini incelemek için kullanılan altı tip altın nanopartikülünü gösterir: 15-nm (çap olarak) nanosferler (b), 54-nm nanosferler (c), 100-nm nanoküreler (d), 62-nm (dış kenar uzunluğunda) nanokafesler (e), 118-nm nanokafesler (f), nanoçubuklar (g, 16 nm×40 nm çapta uzunluk). 50 nm ölçek çubuğu tüm görüntüler için geçerlidir. (Cho, E. C., vd., 2011)



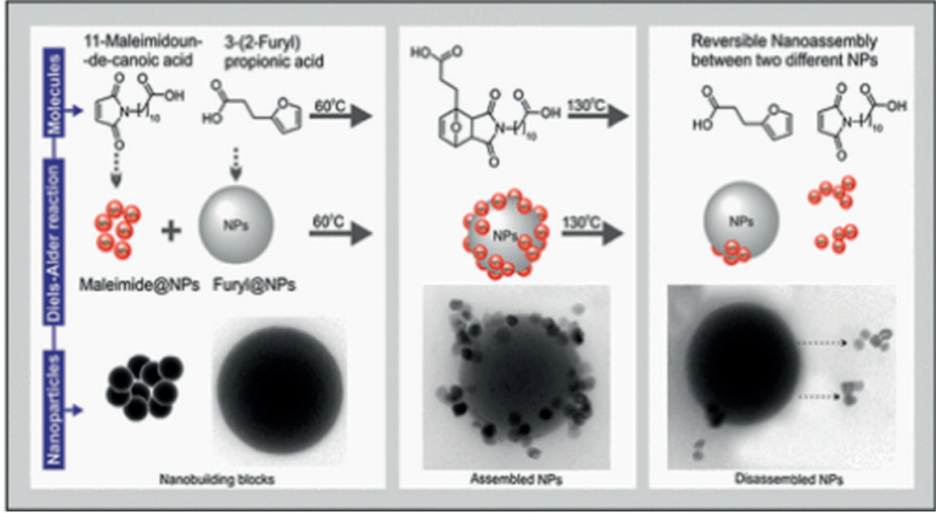
### 3.2. Nanotıp Bazlı Uygulama Alanları

Nano malzemelerin sentezleri, karakterizasyonları ve uygulamaları nispeten yeni bir alan olup günümüz itibariyle yaklaşık 30 yıllık bir geçmişe sahiptir. Nano malzemelerin en yoğun kullanıldığı alanlardan bir tanesi de tıp bilimidir. Tıpta nano malzemelerin kapsamı, birkaç isim vermek gerekirse, ilaç salınımı, yara iyileştirme, kanser tedavisi ve kontrast maddeler dahil teşhis ve tedavi konularına odaklanmıştır. (Shi, X., Sun, K., Baker, J.R., 2008) Diels – Alder reaksiyonunun da avantajlı özelliklerinden yararlanarak nano malzemelerin geliştirilmesi, biyomedikal alanlarında ki gelişmelerin daha da ilerlemesini sağlamıştır.

Diels – Alder reaksiyonu ve retro Diels – Alder reaksiyonları avantajlı özellikleri nedeniyle nanoteknolojide özellikle ilaç geliştirilmesi ve tasarımında kullanılabilir. Diels – Alder reaksiyonu ve retro Diels – Alder reaksiyonunun avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Atom korunumu sağlanması
- Sıcaklığa duyarlılık
- Tespiti kuvvetli süstitüentlerin eklenmesi
- Yüksek verimle gerçekleşmesi
- Herhangi zehirli bir katalizöre ihtiyaç duyulmaması

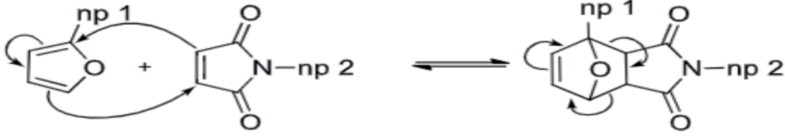
Bu nedenlerle ilaç geliştirmek için kullanılan Diels – Alder reaksiyonları sayesinde akıllı ilaç sistemlerinin üretimi yapılabilmektedir. (Schütz, M.B., Lé, K., Ilyas, S., Mathur, S., 2020) Vücut içine bu sistemler uygulandığında dolaşım sistemindeki özelliklere ve hedef bölgedeki dokuların özelliklerine göre ayarlama yapmak Diels – Alder ve retro Diels – Alder reaksiyonlarını kullanarak üretilen sistemlerde rahatlıkla tasarlanabilmektedir. Örnek vermek gerekirse kandaki akış hızı, pH ve iyonik şiddet bellidir ve mümkün olduğunca bu sınırlar dışına çıkmamaktadır. İlaç olarak kullanılan sistemler bu duruma dayanmak zorundadır. Ancak hedef dokuya gelindiğinde bu hedef dokudaki rahatsızlığa bağlı olarak iyonik şiddet, sıcaklık, pH'nın değişmesi gibi etkenler ile sentezlenmiş olan yapının parçalanması ve aktif olan ilacın bu dokuya kontrollü olarak salınımı istenir. Diels – Alder reaksiyonları kullanarak böyle bir dizayn yapmak mümkündür.



**Şekil 10.** Demir oksit nanoparçacıklarının (IONP'ler) maleimidler veya furanlarla yüzey işlevselleştirildiği süreci açıklayan diyagram (Schütz, M.B., Lé, K., Ilyas, S., Mathur, S., 2020)

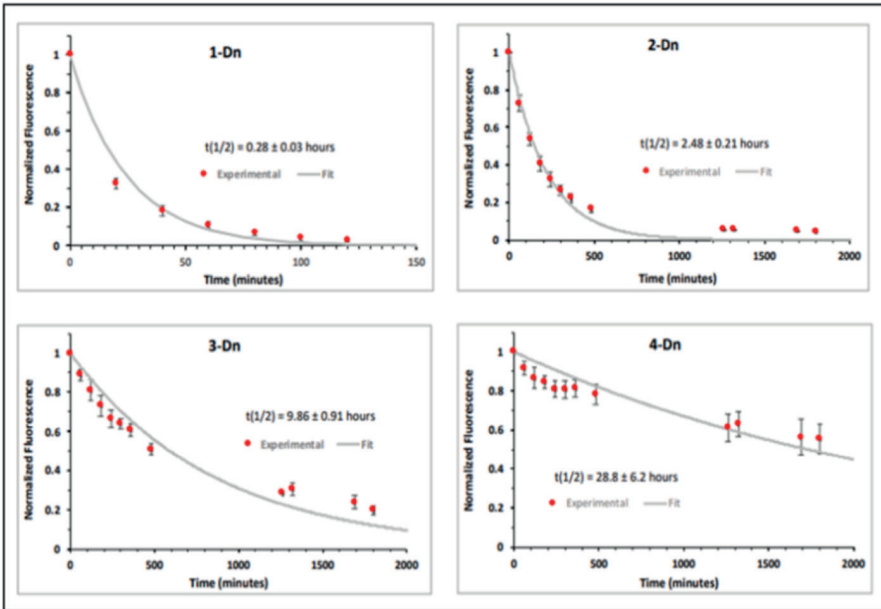
Vigderman ve Zubarev, kanser önleyici tedaviler mümkün olduğunda tümörlerde lokalize yüksek sıcaklık noktalarının oluştuğu ve bu sayede retro Diels – Alder reaksiyonu ile yapının parçalanabileceği, aktif maddelerin ortaya çıkacağı ve böylece hastanın da yaşam koşullarını olumsuz etkilemeyen bir tedavi metodunu ortaya koymuşlardır. (Vigderman, L., Zubarev, E.R., 2013)

Schütz ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, demir oksit vb. nanotancikleri Diels – Alder reaksiyonu kullanılarak modifiye etmektedir ve bu modifikasyonda maleimid grupları kullanılmakta olup uygun sıcaklığa maruz kalan bu nanotanciklerin retro Diels – Alder reaksiyonuyla parçalandığı ve bileşenlerine ayrıldığı gösterilmiştir. (Schütz, M.B., Lé, K., Ilyas, S., Mathur, S., 2020) Ayrıca kanserli dokuların daha sıcak olması sebebiyle Diels – Alder reaksiyonu ile modifiye edilmiş nanotanciklerin bu dokulara ulaşması ve bu dokulara geldiğinde retro Diels – Alder reaksiyonu ile parçalanması ve içlerinde ki aktif maddeleri ortaya çıkararak kanserli dokuların da tedavi edilmesi mümkün olabilmektedir. (Vigderman, L., Zubarev, E.R., 2013)



**Şekil 11.** Furan-maleimid reaksiyonunun mekanizması. Furan ve maleimid türevleri, ilgili nanoparçacıkların yüzeyine bağlanır. Furan-(dien) ve maleimid (dienofil) arasındaki tersine çevrilebilir (4+2) siklo katılması, altı üyeli bir karbon halkasına, dolayısıyla iki farklı parçacık tipinin kovalent birleşimine yol açar. (Vigderman, L., Zubarev, E.R., 2013)

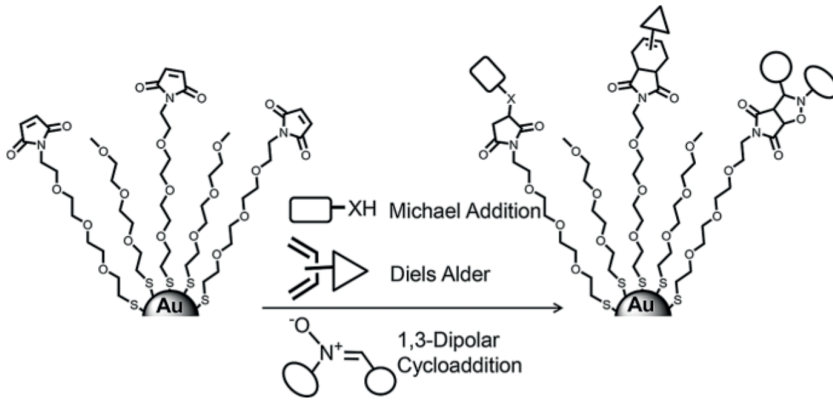
Diels – Alder siklokatılması, nanopartiküller ile birlikte sadece bağlayıcı olarak değil, aynı zamanda ilaç dağıtım araçlarının bileşenleri olarak da çeşitli amaçlar için kullanılabilen, tersine çevrilebilirliklerinin avantajı ile de kullanılabilir. (Schudel, A., vd.,2020)



**Şekil 12.** The cargo release profile via retro Diels Alder of various NP-OND-Dn variants (n = 3) (Schudel, A., vd.,2020)

Biyosensörlerin üretiminde Diels – Alder reaksiyonuyla modifiye edilmiş nanotanecekler de kullanılabilir. Amendola, Verma ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan araştırmalarda yüzey plazmon rezonansı kullanılarak biyosensörler üretilmiştir. Bu biyosensörler de ışığa maruz kalan yüzeylerde yüzey plazmon rezonansından dolayı enerjisi artan elektronlar kızılötesi bölgede ışımaya yaparlar. Bu sayede yüzey sıcaklığında bir artış olur. Sıcaklık artışı ile beraber retro Diels – Alder reaksiyonuyla birlikte yapıda bir değişim meydana gelir ve bu sayede analitin yapısına bağlı olarak tespit mümkün olabilmektedir. (Amendola, V., vd., 2017) (Verma, S., vd., 2012)

Altın nano tanecikleri gibi altın kaplı hibrit nano tanecikler de benzer uygulamalarda kullanılabilir. Eğer Diels – Alder reaksiyonu ile modifiye edilmişlerse yüzey plazmon rezonansına girerek retro Diels – Alder reaksiyonuna uğrayabilmektedir. Bu sayede analiz mümkün olmaktadır. (Ghiassian, S., vd., 2015) (Cadoni, E., vd., 2020)



**Şekil 13.** <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ejoc.201500685>

## SONUÇ

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen malzemeler ve bunların uygulamaları sürdürülebilir kalkınma için oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan özellikle furan ve türevleri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bunlar; furfural, furfurilamin, furfuril alkol, hidroksimetil furaldehit gibi maddelerdir. Bunlar genellikle pentozlar olarak adlandırılan karbohidrat polimerlerinden elde edilmektedir. Dünyada yaygın olarak tarımı yapılan mısır bitkisinden bu furan türevleri kolaylıkla üretilebilmektedir. 2020 yılında ABD’de 360 milyon ton mısır üretilmiştir. Mısır üretimi sırasında en az bu kadar silajik mısır da yan ürün olarak elde edilmektedir. ABD özelinde bakılırsa her yıl en az 360 milyon ton furan türevi elde edilebilecek silajik mısır üretilmektedir. Kaynak olarak bu kadar rahat elde edilebilen malzeme olması sebebiyle furan ve türevleri, gelecekte ucuz ve yaygın bir şekilde üretilmesi ön görülmektedir. Furan bileşiklerinin verdiği en karakteristik reaksiyonlarından bir tanesi Diels – Alder reaksiyonudur. Uygun bir dienofil ile çok kolay bir şekilde ve yüksek verimle bu reaksiyonu vererek sikloheksenler üretilebilmek mümkündür. Diels – Alder reaksiyonunun en önemli avantajlarından bir tanesi de uygun koşullar altında geri dönüşümlü olmasıdır. Bundan faydalanarak çok çeşitli ürünler elde edilebilmektedir. Akıllı polimerler buna örnektir. Diels – Alder reaksiyonunun ve retro Diels – Alder reaksiyonunun kullanılabileceği potansiyel uygulama alanlarından bir tanesi tıp ve biyomedikal bilimleridir. Kontrollü salınım sistemleri, akıllı tepkili sistemler, çeşitli tipte hidrojeller ve biyosensörler Diels – Alder reaksiyonu kullanılarak yenilenebilir kaynaklardan üretilebilmektedir. Bu kitap bölümünde Diels – Alder reaksiyonunun biyomedikal alanlardaki uygulama alanlarıyla alakalı çalışmalar incelenmiş ve gelecek için umut vaat eden sonuçlar ortaya çıkmıştır.

## KAYNAKÇA

- Adzima, B.J., Aguirre, H.A., Kloxin, C.J., Scott, T.F., Bowman, C.N., 2008. Rheological and Chemical Analysis of Reverse Gelation in a Covalently Cross-Linked Diels-Alder Polymer Network. *Macromolecules* 41, 9112–9117.
- Amendola, V., Pilot, R., Frascioni, M., Marago, O.M., Iati, M.A., 2017. Surface Plas-

- mon Resonance in Gold Nanoparticles: A Review. *J. Phys. Condens. Matter.* 29, 203002.
- Atilla Tasdelen, Mehmet (2011). "Diels–Alder "click" reactions: recent applications in polymer and material science". *Polymer Chemistry.* 2 (10): 2133–2145. doi:10.1039/C1PY00041A.
- Butz, L.W. ve Rytina, A.W., 1949. *Organic reactions*,5,136.
- Cadoni, E., Rosa-Gastaldo, D., Manicardi, A., Mancin, F., Madder, A., 2020. Exploiting Double Exchange Diels-Alder Cycloadditions for Immobilization of Peptide Nucleic Acids on Gold Nanoparticles. *Front. Chem.* 8, 1–4.
- Cao, X.T., Vu-Quang, H., Doan, V.-D., Nguyen, V.C., 2021. One-Step Approach of DualResponsive Prodrug Nanogels via Diels-Alder Reaction for Drug Delivery. *Colloid Polym. Sci.* 299, 1–9.
- Carruthers, W. 1971. *Some modern methods of organic synthesis.* ISBN 0 521 32234 0.
- Cativiela, C., García, J.I., Gil, J., Martínez, R.M., Mayoral, J.A., Salvatella, L., Urieta, J.S., Mainar, A.M., Abraham, M.H., 1997. Solvent Effects on Diels-Alder Reactions. the Use of Aqueous Mixtures of Fluorinated Alcohols and the Study of Reactions of Acrylonitrile. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2* (3), 653–660.
- Cho, E.C., Zhang, Q., Xia, Y., 2011. The Effect of Sedimentation and Diffusion on Cellular Uptake of Gold Nanoparticles. *Nat. Nanotechnol.* 6, 385–391.
- Davies, H.M.L., Dai, X., 2004. Lewis Acid Induced Tandem Diels-Alder Reaction/ Ring Expansion as an Equivalent of a (4 + 3) Cycloaddition. *J. Am. Chem. Soc.* 126, 2692–2693.
- Elif Suna Sop, Yüksek lisans Tezi, Doku Genişletme Amaçlı Hidrojel Sentezi, Karakterizasyonu Ve Şişme Kinetiği, Hacettepe Üniv. 2013
- Fuks, R. ve Viehe, H.G., 1969. In *chemistry of asetylenes* ed. H.G. Viehe, p.477. (New York: Marcel Deccer)
- Ghiassian, S., Gobbo, P., Workentin, M.S., 2015. Water-Soluble Maleimide-Modified Gold Nanoparticles (AuNPs) as a Platform for Cycloaddition Reactions. *Eur. J. Org. Chem.* 2015, 5438–5447.
- Holmes, H.L., 1948. *Organic Reactions*, 60.
- Kirchhof, S., Brandl, F.P., Hammer, N., Goepferich, A.M., 2013. Investigation of the Diels-Alder Reaction as a Cross-Linking Mechanism for Degradable Poly(Ethylene Glycol) Based Hydrogels. *J. Mater. Chem. B* 1, 4855–4864.

- Kloetzel, M. C. (1948). "The Diels–Alder Reaction with Maleic Anhydride". *Organic Reactions*. Vol. 4. pp. 1–59.
- Liu, K.-T., Chen, C.-H., 2019. *Determination of Impurities in Pharmaceuticals: Why and How? Quality Management and Quality Control - New Trends and Developments*. IntechOpen.
- Lording, W.J., Fallon, T., Sherburn, M.S., Paddon-Row, M.N., 2020. The Simplest DielsAlder Reactions Are Not Endo -Selective. *Chem. Sci.* 11, 11915–11926.
- Madl, C.M., Heilshorn, S.C., 2019. Rapid Diels-Alder Cross-Linking of Cell Encapsulating Hydrogels. *Chem. Mater.* 31, 8035–8043.
- Minary, P., Tuckerman, M.E., 2004. Reaction Pathway of the (4 + 2) Diels-Alder Adduct Formation on Si(100)-2x1. *J. Am. Chem. Soc.* 126, 13920–13921.
- Nicolaou, K. C.; Snyder, S. A.; Montagnon, T.; Vassilikogiannakis, G. (2002). "The Diels-Alder Reaction in Total Synthesis". *Angewandte Chemie International Edition*. **41** (10): 1668–1698.
- Olsen, B.A., Sreedhara, A., Baertschi, S.W., 2018. Impurity Investigations by Phases of Drug and Product Development. *Trends Anal. Chem.* 101, 17–23.
- Otto, S., Engberts, J.B.F.N., 2003. Hydrophobic interactions and chemical reactivity. *Org. Biomol. Chem.* 16, 2809–2820.
- Qiu, Y., 2015. Substituent Effects in the Diels-Alder Reactions of Butadienes, Cyclopentadienes, Furans and Pyroles with Maleic Anhydride. *J. Phys. Org. Chem.* 28, 370–376.
- Rickborn, B., 1998. The Retro-Diels-Alder Reaction Part II. Dienophiles with One or More Heteroatom. In: *Organic Reactions*. John Wiley & Sons Inc, Hoboken, NJ, USA
- Sauer, J., 1967. *Angew. Chem. Internat. Edn*, 6, 16.
- Schudel, A., Chapman, A.P., Yau, M.K., Higginson, C.J., Francis, D.M., Manspeaker, M.P., Avecilla, A.R.C., Rohner, N.A., Finn, M.G., Thomas, S.N., 2020. Programmable Multistage Drug Delivery to Lymph Nodes. *Nat. Nanotechnol.* 15, 491–499.
- Schütz, M.B., L<sup>ê</sup>, K., Ilyas, S., Mathur, S., 2020. Reversible Covalent Assembly of Nanoparticles through On-Surface Diels-Alder Reaction. *Langmuir* 36, 1552–1558.
- Shi, X., Sun, K., Baker, J.R., 2008. Spontaneous Formation of Functionalized Dendrimer-Stabilized Gold Nanoparticles. *J. Phys. Chem. C* 112, 8251–8258. pp. 223–629.
- Shi, M., Wosnick, J.H., Ho, K., Keating, A., Shoichet, M.S., 2007. Immuno-polyme-

- ric nanoparticles by Diels-Alder chemistry. *Angew. Chemie - Int. Ed.* 2007 (46), 6126–6131.
- Ulusoy, A , Dikmen, N . (2020). Hidrojellerin Tıpta Uygulamaları . *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi* , 29 (2) , 129-137 . DOI: 10.17827/aktd.603432
- Verma, S., Tirumala, Rao B., Rai, S., Ganesan, V., Kukreja, L.M., 2012. Influence of Process Parameters on Surface Plasmon Resonance Characteristics of Densely Packed Gold Nanoparticle Films Grown by Pulsed Laser Deposition. *Appl. Surf. Sci.* 258, 4898–4905.
- Vigderman, L., Zubarev, E.R., 2013. Therapeutic Platforms Based on Gold Nanoparticles and Their Covalent Conjugates with Drug Molecules. *Adv. Drug Deliver. Rev.* 65, 663–676.
- Wei, Z., Yang, J.H., Du, X.J., Xu, F., Zrinyi, M., Osada, Y., Li, F., Chen, Y.M., 2013. Dextran-Based Self-Healing Hydrogels Formed by Reversible Diels-Alder Reaction under Physiological Conditions. *Macromol. Rapid Commun.* 34, 1464–1470.
- Wei, H.L., Yao, K., Chu, H.J., Li, Z.C., Zhu, J., Shen, Y.M., Zhao, Z.X., Feng, Y.L., 2012. Click Synthesis of the Thermo- and PH-Sensitive Hydrogels Containing  $\beta$ -Cyclodextrins. *J. Mater. Sci.* 47, 332–340.



### 3. BÖLÜM

## FONKSİYONEL GIDA ZEYTİNYAĞININ ÖNEMİ, SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE SPEKTROSKOPİK ANALİZİ

Prof. Dr. Sefa ÇELİK

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü*

ORCID: 0000-0001-6216-1297

Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇAKIR

*İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,*

*Gıda Mühendisliği Bölümü*

ORCID: 0000-0003-4343-3706

Doç. Dr. Alev ER

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü*

ORCID: 0000-0002-3190-5342

Prof. Dr. Ayşen E. ÖZEL

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü*

ORCID: 0000-0002-8680-8830

Prof. Dr. Sevim AKYÜZ

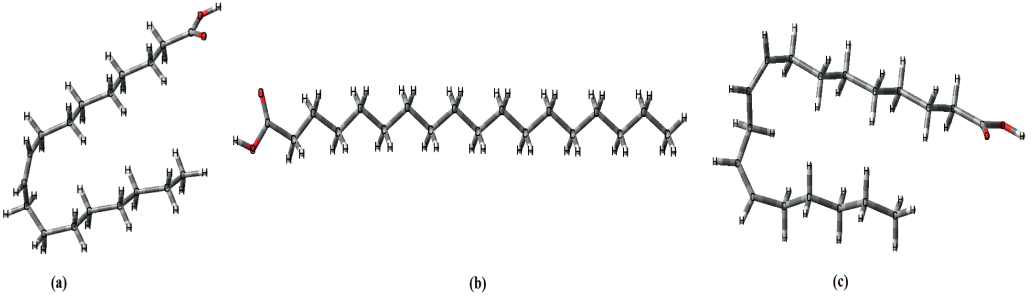
*İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü*

ORCID: 0000-0003-3313-6927

## GİRİŞ

Zeytin ağacı (*Olea europaea* L.), 24 cins ve 900 tür içeren Oleaceae familyasındaki bir ağaç türüdür (Komaki vd., 2003) ve diğer birçok bitki gibi sürekli olarak yüksek sıcaklık ve UV radyasyon gibi çevresel streslere maruz kaldığından bu duruma karşı savunma olarak fenolik asitler, fenolik alkoller, sekoiridoidler ve flavonoidler gibi çeşitli biyofenoller üretir. Flavonoidler, fenolik asitler ve alkoller çeşitli meyve ve sebzelerde, oleuropein gibi sekoiridoidler ise sadece Oleaceae familyasına ait bitkilerde bulunur. Zeytin yaprağı bol miktarda biyofenol kaynağıdır, yaprak ekstraktlarındaki değerli fenolik bileşikler kalp-damar hastalıkları ve kanser gibi birçok hastalığa karşı etkiye sahiptir (Şahin vd., 2018).

Tri-, di ve mono-gliseritlerin bir karışımı olan zeytinyağı, zeytin meyvesinin ekstraksiyon ürünüdür ve en iyi yağ asitleri ve doğal antioksidan kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Bitkisel yağlar arasında sızma zeytinyağı yüksek oleik asit içeriğine sahiptir ve kalp-damar hastalıkları ve kanser gibi hastalıkların önlenmesine katkıda bulunan fenolik bileşikler (hidroksil grubunun aromatik hidrokarbon grubuna bağlı olduğu bileşikler) açısından zengindir (Bendini vd., 2007). Besleyici özellikleri, mükemmel tadı ve aroması insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle çok değerli olan zeytinyağı, toplam içeriğinin %98'inden fazlasını oluşturan gliserol ile esterler halindeki tekli doymamış (Şekil 1a), doymuş (Şekil 1b) ve çoklu doymamış (Şekil 1c) yağ asitlerinden oluşur (Dais vd., 2013). Yağ asitleri, bir karboksilik fonksiyonla biten doğrusal hidrokarbon zincirlerinden oluşur. Bu moleküller çift sayıda karbon atomuna sahiptir (Bertrand vd., 2003). Yağların oksidasyona duyarlılıklarını belirleyen iki faktör, yağ asidi bileşimi ve doğal antioksidan bileşiklerdir. Bir yağda bulunan yağ asitlerinin türleri ve özellikle bunların çift bağlarının sayısı, depolama süresi boyunca meydana gelen kimyasal reaksiyonların türünü ve kapsamını belirler. Toplam yağ asitlerinin %56 ila %84'ü arasında değişen oleik bolluğu zeytinyağını diğer bitkisel yağlardan ayıran özelliktir (Morelló vd., 2004). Oleik asit, hayvansal ve bitkisel yağlarda bulunan simetrik olarak yerleştirilmiş bir çift bağa sahip tekli doymamış bir yağ asitidir (Keffler vd., 1935).



**Şekil 1.** Oleik asit (a), stearik asit (b) ve linoleik asit (c) moleküler yapısı

Sızma zeytinyağı, hem düşük çoklu doymamış yağ asitleri içeren triasilgliserol bileşimi hem de esas olarak polifenoller ve tokoferollerden oluşan bir grup fenolik antioksidan nedeniyle oksidatif bozulmaya karşı yüksek bir dirence sahiptir. Polifenoller, rafine etme işlemi sırasında elimine edilen veya büyük ölçüde azaltılan diğer rafine yağlarla karşılaştırıldığında, sızma zeytinyağı stabilitesinde daha büyük öneme sahiptir (Velasco vd., 2002). Sızma zeytinyağı, zeytin meyvesinden sadece mekanik ekstraksiyonla doğrudan elde edilebilen ve başka bir işleme gerek duyulmadan tüketilebilen bitkisel bir yağdır. Gliseroller içeren ana bileşenleri, toplam yağ ağırlığının %98'inden fazlasını temsil eder. Toplam yağ ağırlığının yaklaşık %2'sine karşılık gelen minör bileşenler, örneğin alifatik ve triterpenik alkoller, steroller, hidrokarbonlar, uçucu bileşikler ve antioksidanlar gibi 230'dan fazla kimyasal bileşik içerir. Temel antioksidanları karotenler ve lipofilik ve hidrofilik fenoller dahil fenolik bileşiklerdir. Tokoferollerin de aralarında bulunduğu lipofilik fenoller diğer bitkisel yağlarda bulunurken, sızma zeytinyağının bazı hidrofilik fenolleri genellikle diğer sıvı ve katı yağlarda bulunmaz (Boskou, 2006; Shahidi, 1997).

## 1. ZEYTİNYAĞI ÜRETİMİ VE ATIK

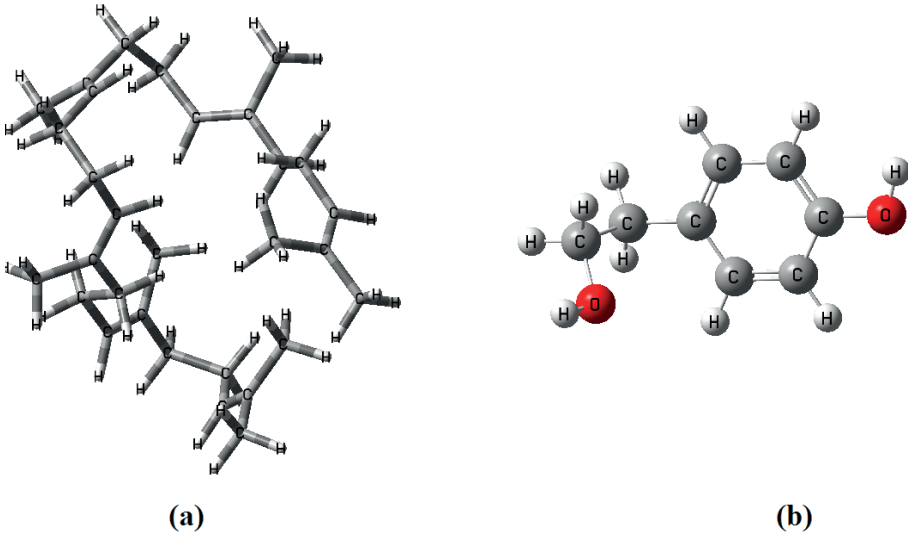
Zeytinyağı üretimi; geleneksel, çevresel ve yaşamsal ekonomik öneme sahip tarımsal- endüstriyel bir faaliyettir (Khdair & Abu-Rumman, 2020). Zeytinyağı, gıda endüstrisinde önemli bir yere sahip olmanın yanında ilaç, sabun, kozmetik gibi farklı endüstriyel alanlarda da yer almaktadır (Psaltopoulou vd., 2004). Dünyada bilinen en eski ağaçlardan biri olan zeytin ağacı (Liphshitz vd., 1991) iklim koşullarının Akdeniz ülkeleri kadar elverişli olduğu zeytinlik-

lerde üretilir ve günümüzde 10 milyonluk hektarlık bir alanı kaplayarak 900 milyona ulaşmıştır (2018 Yılı Zeytin ve Zeytinyağı Raporu, 2019). Zeytin ağacı gümüşü yaprakları ve küçük beyaz çiçekleri olan, nispeten küçük, yaprak dökmeyen bir ağaçtır (García-González vd., 2009). Uluslararası Zeytin Konferansı'na göre (IOC, 2019) zeytin üretimi en çok İspanya, İtalya, Türkiye, Yunanistan, Suriye, Mısır, Fas, Tunus, Ürdün ve Lübnan bölgelerinde yapılmaktadır. Dünya çapında yaklaşık %98'i Akdeniz havzasında üretilmesine rağmen Asya, Afrika ve Amerika'da da zeytin üretiminde artış görülmektedir (Khdair & Abu-Rumman, 2020). Zeytinyağı üretiminde İspanya (FAO, 2022) en büyük üretici konumundadır. İtalya ise Avrupa'nın en büyük ikinci zeytinyağı üreticisi olarak görülmektedir (Cedola vd., 2020). Zeytinyağı, zeytin meyvesinde mezokarpal hücrelerin vakuollerinde küçük damlalar halinde bulunmakta ve yağın ayrılması için ezilmesi büyük bir fiziki çaba gerektirmektedir (Kapellakis vd., 2008). Zeytinyağı genellikle zeytin meyvelerinin soğuk preslenmesi, ardından suyla yıkanması, süzülmesi ve santrifüjlenmesiyle elde edilir (Santos vd., 2013). Günümüzde modern yöntemler kullanılarak 1200 – 1500 rpm'de dönen sürekli bir yatay santrifüj, yağı, prina (sıkımdan sonra kalan posa) ve bitki suyundan ayrılarak gerçekleştirilmektedir. Natürel sızma zeytinyağı, kimyasal kullanılmadan ve az miktarda ısının uygulandığı soğuk sıkım yöntemiyle üretilir. Düşük kaliteli yağlar ise bir kez daha işlenerek rafine edilmiş sızma yağ elde edilir (Santos vd., 2013).

## 2. ZEYTİNYAĞININ SAĞLIK ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİ

Akdeniz ülkelerinin simgesi olan zeytinyağı, özellikle son yirmi yılda yapılan çalışmalarla sağlığa olumlu etkileri bilimsel kanıtlarla desteklenmiş ve üretimi ve tüketimi istikrarlı bir şekilde artmıştır (Nunes vd., 2018; Tresserra&Rimbau & Lamuela&Raventós, 2017). Zeytinyağı, doğal gıda ürünlerinin yüksek oranda tüketilmesini savunan Akdeniz diyetinin ayrılmaz bir parçası olarak görülmektedir. Kimyasal bileşimi ile ilgili sağlığa yararlı etkileri nedeniyle dünya çapında oldukça değerli ve takdir edilen bir üründür. Zeytinyağının bileşimi, başta oleik asit olmak üzere %98 trigliseritlerden (Pessoa vd., 2022) ve %2 oranında pigmentler, tokoferoller, fenolik bileşikler gibi değerli minör bileşenlerden oluşur (Kiritsakis vd., 2020; López-Salas vd., 2021). Bu minör bileşenler doğal antioksidan kaynağı olarak antikanser, östrojenik, anti-

diyabetik, antihipertansif, antitrombotik veya antiinflamatuvar etkileri sayesinde faydalı sağlık özellikleri ile önem kazanmıştır (López-Salas vd., 2021). Zeytinyağını oluşturan trigliseritlerin yapısında genel olarak oleik, palmitik, linoleik ve stearik asitler bulunmaktadır. Bunların dışında zeytinyağında serbest yağ asitleri, gliserol, fosfatitler, pigmentler, reçine, tat ve aroma veren bileşikler bulunur. Doymuş, doymamış ve çoklu doymuş yağ asidi içeriğine sahip zeytinyağında, zeytin ağacının çeşidine ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak, %55-%83 oranında oleik asit, %7,5-20 oranında palmitik asit ve %3,5-21 aralığında değişen linoleik asit bulunmaktadır (Owen vd., 2000). Omega 9 yağ asidi olan oleik asit, zeytinyağını oksidasyona karşı daha stabil yapmaktadır (Owen vd., 2000). Toplam fenolik bileşiklerin sadece %2'si meyve işleme sırasında yağ fazına geçtiğinden çiğ ve sofralık zeytinlerin polifenol fraksiyonu niceliksel ve niteliksel olarak sızma zeytinyağından yüksektir (Kailis & Kiritsakis, 2017). Natürel sızma zeytinyağı sahip olduğu eşsiz bileşimi ile biyolojik faaliyetlerden sorumludur (Pessoa vd., 2022). Zeytinyağı genellikle meyvemsiliği, acılığı ve keskinliği ile karakterize edilmektedir. Bu duyuşsal niteliklerinden büyük ölçüde oleacein, oleuropein aglycone ve oleocanthal sorumludur (Vitaglione vd., 2015). Natürel zeytinyağında bulunan fenolik bileşikler, fenolik asitler (kafeik asit, vanilik asit, siringik asit), fenolik alkoller (hidroksitirozol, tirozol), polifenoller (flavonoidler, apigenin, luteolin), lignanlar (pinoresinol, 1-asetokspinoresinol), secoiridoidler (oleuropein, aglycone, oleuropein, demethyloleuropein, ligstroside), hidroksi-izokromanlar (Bianco vd., 2002), flavonoidler, oleacein ve oleocanthal dahil olmak üzere aglikonlardır (Kiritsakis vd., 2020). Zeytinyağında lignanların (büyük bir polifenol grubu) varlığı ancak yakın zamanda keşfedildi. Skualen, zeytinyağında yüksek miktarda vardır (Şekil 2a) (Kiritsakis vd., 2020). Tirozol (Şekil 2b) ve hidroksitirozolün secoiridoid türevleri, taze zeytinyağındaki ana fenolik bileşiklerdir (Oliveras-López vd., 2007). Dünyanın dört bir yanında yapılan çalışmalarda araştırmacılar zeytinyağının nutrasötik, sağlığı geliştirici ve hastalık önleyici potansiyellerini rapor etmişlerdir (Psaltopoulou vd., 2004). Günümüzde artan kanser, kalp, diyabet, alzheimer gibi birçok hastalıklara etkisi üzerine çalışılmıştır. Günümüzde kanser gibi kronik hastalıkların oksidatif stres ve kronik iltihaplanma ile ilişkili olduğu kabul görmüştür. Aynı zamanda oksidatif stresin tümörün ilerlemesinde de etkili olduğu belirlenmiştir (Chikara vd., 2018; Khatami, 2009; Sharifi-Rad vd., 2020).



Şekil 2. Skualen (a), tirosol (b) moleküler yapısı

Deneysel ve klinik çalışmalar göstermiştir ki fitokimyasallar (bitkilerde bulunan besleyici olmayan kimyasallar); antitümör etkiyi önleme, oksidatif stres altında hareket etme, DNA onarımını destekleme, tümörü baskılama ve inhibe etme yeteneklerine sahiptir (Koh vd., 2020; Kotecha vd., 2016). Zeytinyağının DNA'ya yönelik oksidatif stres üzerindeki yararlı etkisinin, tekli doymamış yağ asidi içeriği ile ilgili olduğu belirlenmiştir. Zeytinyağının ve fenolik bileşiklerin tümör ve kanser oluşumunda rol oynayan oksidatif ve enflamatuar yolların modülasyonu üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik çalışmalara artan bir ilgi vardır. Sağlıklı yetişkinlerde zeytinyağı alımının kanser riski biyobelirteçlerinin modülasyonu ile ilişkili olup olmadığını değerlendirmek için yapılan randomize kontrollü çalışmada, düzenli olarak günde 25 ml'den fazla zeytinyağı alımının (<25 ml/gün), oksidatif DNA hasarını ve iltihabı azaltarak kansere karşı koruyucu olduğu belirlenmiştir (Pessoa vd., 2022). Zeytin meyvesi nutrasötik (hastalıkların tedavisinde kullanılan gıda maddeleri) kabul edilen maslinik asit bileşiği bakımından zengin bir kaynak olarak görülmektedir. Bu bileşiğin kanseri önleyici özelliğe sahip olduğu yapılan çalışmalarla desteklenmiştir (Juan & Planas, 2021). Günümüzde yaygın olan kardiyovasküler hastalıklarda risk faktörünün; polifenoller, triterpenler, steroller, oleasin, oleuropein ve tekli doymamış yağ asitleri gibi farklı bileşenlere sahip zeytinyağının Akdeniz diyeti ile des-

teklennesi ile azaldığı tespit edilmiştir (Suvarna & Sharma, 2021). Zeytinyağı, Akdeniz diyetinde birincil yağ kaynağıdır (Castañer vd., 2011). Zeytinyağında bulunan ana mikro bileşenlerden biri olan hidroksitirozolun, antiinflamatuvar, antimikrobiyal, nöroproteksiyon ve antitümöre etki gösterdiği tespit edilmiştir (Cano vd., 2021). Yapılan EPIC çalışmalarda hipertansiyon üzerine zeytinyağı etkisi araştırılmış ve Akdeniz diyetine bağlılık ve zeytinyağı tüketiminin kan basıncını azaltıcı yönde etki gösterdiği belirlenmiştir (Perona & Botham, 2013; Psaltopoulou vd., 2004). Zeytinyağı ilaç kullanımını azaltmıştır (Ferrara vd., 2000). Yapılan bir çalışmada zeytinyağı polifenollerinin oksitlenmiş LDL'ye karşı otoantikokorların oluşumunu fenolik içeriği yüksek zeytinyağlar arttırmıştır (Castañer vd., 2011). Ayrıca kanser hastalarında ölüme neden olan trombozun oluşumunda yapılan çalışmalarda yüksek oleikli zeytinyağı gibi yağların trombosit agregasyonunun azalmasını sağladığı belirlenmiştir (Furie & Furie, 2008; Perona & Botham, 2013). Zeytinyağı içeriğindeki antioksidan bileşikleri ile alzheimer hastalığının önlenmesi ve tedavisinde yararlı etkilere sahip olduğu öne sürülmüştür (Darvesh vd., 2010). Ayrıca zeytinyağı tüketiminde günlük 10 gr artışın, tip 2 diyabet riskini %9 oranında azalttığı belirlenmiştir (Foscolou vd., 2018; Schwingshackl vd., 2017). Zeytinyağı üretimi, çözünür polifenoller açısından zengin, kirletici bir atık su olan zeytin değirmeni atıksuyu (OMWW) olarak tanımlanan sulu bir fazın oluşumunu içerir. Akciğer kanseri hücre hatları üzerindeki aktivitesinin araştırıldığı başka bir çalışmada, saflaştırılmış bir OMWW (Olive mill wastewater, A009) ekstraktının kanseri önleyici özellikleri değerlendirilmiştir. İki farklı zeytinyağı çeşidinden OMWW ekstraktlar kullanılmış ve A009 ekstraktlarının akciğer kanseri hücre proliferasyonunu doza ve zamana bağlı bir şekilde sınırlandırdığı bulunmuştur (Gallazzi vd., 2020). Meme kanseri hücre hatları üzerine yapılan çalışmada oleuropeinin doza ve süreye bağlı olarak anti kanser aktivite gösterdiği ve apoptozisi indükleyerek tümör hücrelerinin canlılığını azaltabildiği bildirilmiştir (Bayat vd., 2019; Akpınar vd., 2022). Skualen uygulamalarının antikanserojenik aktivite gösterdiği (Thuy vd., 2001) ve fare deri tümörleri üzerine yapılan uygulamalarda tümör ilerlemesini baskıladığı gözlenmiştir (Murakoshi vd., 1992).

### 3. FONKSİYONEL GIDA OLARAK ZEYTİNYAĞI

Zeytinyağı günlük yaşamda kullanılmasının yanında gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan fonksiyonel gıda olarak görülmektedir (Owen vd., 2002).

Bu durum doğal ve benzersiz bileşenlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Demisli vd., 2022). Gıdaların zenginleştirilmesi ve yenilikçi fonksiyonel gıdaların üretiminde zeytinyağı, yan ürünleri, ve zeytin artıkları; antioksidanlar, karbonhidratlar, lif ve pigmentler gibi mükemmel düşük maliyetli biyoaktif kaynaklar olarak görülmektedir (da Rosa vd., 2019; Gullon vd., 2020). Zeytinyağının sağlıklı bir beslenme profili oluşturması, besleyici olması ve aynı zamanda lezzetli olması tüketicilerin beklentilerini karşılamada yeni ürünlere olanaklar sunmaktadır (Gullon vd., 2020). Yapılan bir çalışmada farklı oranlarda zeytinyağ-peynir altı suyu protein izolatu emülsiyonu ile zenginleştirilmiş cheddar peyniri üretilerek analiz edilmiştir. Kontrol örneğine kıyasla zeytinyağlı emülsiyonların daha yüksek antioksidan ve toplam fenolik, flavanoid aktivite ve antimikrobiyal etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Irfan vd., 2022). Yapılan başka bir çalışmada farklı soya fasulyesi ve zeytinyağı karışımlarına çeşitli miktarlarda zeytin yaprağı polifenolik özude eklenerek zenginleştirilmiş Fransız sosları üretim potansiyeli araştırılmıştır. Kontrol örneğine göre daha yüksek oranlarda (%75 ve %100) zeytinyağı ilavesi sosun fizikokimyasal özelliklerini etkileyebildiği ancak zeytinyağı ilavesinin %50'ye kadar kullanımının sos özelliklerini korumada etkili olduğu belirlenmiştir (Aliyari & Rezaei, 2021). Yapılan benzer bir çalışmada nar suyunu farklı oranlarda (%25, %35 ve %50 v:v) zeytinyağı ile emülsifiye ederek polifenolce zengin yeni bir marine sos üretimi amaçlanmıştır. Zeytinyağı-nar suyu soslarının hamsi marinatlarının kalitesi ve duyuusal etkisi incelenmiştir. Bu çalışma hamsi marinatlarının zeytinyağı-nar sosu ile soslanmasının istenmeyen kalite değişikliklerini geciktirebileceğini, lipid oksidasyonunu uzatabileceğini ve duyuusal özellikleri iyileştirebileceğini göstermiştir (Topuz vd., 2014). Et ürünlerinin besinsel ve ürün kalitesini arttırmak serbest radikal zincir reaksiyonlarının renk, tat ve besin değeri gibi kalite parametrelerinde bozulmalarını engellemek amacıyla hayvansal yağ ile zeytin yağ kısmen ikame edilerek et ve et ürünlerinde çalışmalar yapılmaktadır (Jalarama Reddy vd., 2015). Yağ ikame ajanı olarak zeytinyağı  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 yağ asidi oranlarını artırarak lipid profillerinin önemli değişiklikler yaptığı belirlenmiştir (Jalarama Reddy vd., 2015). Yapılan bir çalışmada yağ ikame amaçlı zeytinyağı ve ceviz yağı katılarak tavuk sosisi üretme olasılığı araştırılmıştır. Zeytinyağı kullanılan sosislerin lipid ve protein oksidasyonunu önlemede faydalı olduğu belirlenmiştir. Cevizli ve zeytinyağı sosisleri, daha yüksek stabilite göstererek pişirme kayıplarını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Nieto vd.,



2017). Günümüzde çoklu emülsiyonların gıda endüstrisinde önemli bir uygulama potansiyeline sahip olduğuna inanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada sığır yağının belirli oranlarda zeytinyağı ile ikame edilmesi sonucu önemli ölçüde tekli ve çoklu doymamış yağ asidi içeriğinin artışı ve doymuş yağ oranının azaldığı belirlenmiştir (Öztürk vd., 2017). Öte yandan, zeytinyağı yan ürünleri ve zeytin artıklarından elde edilen biyobileşikler, farklı biyoaktiviteleri ve tüketici sağlığına faydalı özellikleri, düşük maliyeti ve katma değerli fonksiyonel gıdaların formülasyonlarına giren çalışmalarda stratejik öneme sahip görülmektedir (Gullon vd., 2020). Tüm dünyada marketlerde yer alan ekmekek, bisküvi, kraker, galeta vb. unlu mamullerin zenginleştirilmesinde, fonksiyonel ürünlerin üretilmesinde önemli görülmektedir (Boubaker vd., 2016). Bu amaçla yapılan bir çalışmada zeytin atığı olan yağı alınmış pirina ile siyez unlarından yapılan bisküvi, geleneksel fermente ekmekek ve ekşi maya fermente ekmekeklerinin fenolik miktarında %100'ün üzerinde artış sağladığı ve tüketici tercihinde kabul gördüğü belirlenmiştir (Di Nunzio vd., 2020). Benzer bir çalışmada zeytin prinası ile güçlendirilmiş armut içeceklerin üretimi ile de güçlü antioksidan özelliklere sahip katma değerli içecekler yapılmıştır (Spizzirri vd., 2021).

Zeytinyağının kanıtlanmış sağlık yararları nedeniyle dünya çapında zeytinyağı tüketimi ve üretimi ciddi bir şekilde artmaktadır. Aynı zamanda yoğun talep, zeytinyağının safsızlığının korunmasını zorlaştırmaktadır; bu nedenle orijinal olmayan ürünler zeytinyağı endüstrisinde her zaman ciddi bir sorun oluşturmaktadır (Uncu vd., 2020). Zeytinyağının özellikleri ve sağlık açısından önemi saflığı ile ilişkilidir. Bu bağlamda saflık analizi ön plana çıkar. Geleneksel tekniklere göre daha düşük maliyetli, daha hızlı ve daha hassas olmaları nedeniyle, son yıllarda kırmızı altı (IR) ve Raman spektroskopi tekniklerinin gıda analizi alanındaki uygulamaları yoğun bir şekilde artmıştır (Baeten vd., 2000; Chavez-Angel vd. 2022). Kırmızı altı ve Raman spektroskopi yöntemleri ile moleküllerin titreşim enerjileri saptanır. Bu enerjiler, moleküler yapıdaki veya molekül içi/moleküller arası etkileşimlerdeki değişime duyarlı olduğu için, kırmızı altı ve Raman spektroskopi teknikleri ile gıda maddelerindeki safsızlığı veya oksitlenme bozunum gibi değişimleri saptamak mümkündür. Zeytinyağının kalitesi, oksitlenme durumu ile ilgili kırmızı altı (IR) ve Raman spektroskopik yöntemlerle yapılmış çalışmalar mevcuttur (Baeten vd., 2000). Üçüncüoğlu & Küçük (2019) taze ve 12 ay beklemiş zeytinyağını Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile incelemiş ve FTIR spektroskopisinin kemometrik

analiz ile birlikte zeytinyağını, bekleme süresine ve coğrafi kökene göre ayırt etmede hızlı bir araç olarak kullanılabilceğini önermiştir. Diğer yandan, Jiménez-Carvelo ve arkadaşları (2017), FTIR ve Raman spektroskopisi tekniklerinin kemometrik analiz teknikleri ile birlikte kullanıldığında, saf zeytinyağının diğer yemeklik yağlar ile karışımından ayırt edilebileceğini, zeytinyağının nitel ve nicel analizinin hassas olarak yapılabileceğini göstermiştir. Spektroskopik aletlerin son gelişmeleri bu tekniğin uygulamasını gıda araştırmaları alanına genişletmiş, özellikle yenilebilir sıvı ve katı yağlar üzerindeki çalışmaları kolaylaştırmış, FT-IR spektroskopisi etkili bir analitik araç olarak kullanılmıştır (Almoselhy vd., 2009). Bu çalışmada bitkisel yağların IR parmak izlerini içeren spektral bölgenin ( $1300-1000\text{ cm}^{-1}$ ) zeytinyağı safsızlığını tespit etmede faydalı olduğu bulunmuştur.  $1163\text{ cm}^{-1}$ 'de spektral bantların şiddetleri artan katkı maddesi konsantrasyonuyla arttığı tespit edilmiştir (-C-O gerilme titreşimine ve  $\text{CH}_2$  bükülme titreşimine atanır). Ayrıca, saf zeytinyağı için  $912.78\text{ cm}^{-1}$ 'de (-HC=CH- cis- çift bağa atanır, düzlemden dışarı doğru bükülür), artan katkı maddesi konsantrasyonuyla birlikte, daha yüksek dalga sayılarına belirgin bir kayma tespit edilmiştir. Barros ve arkadaşları (2021), zeytinyağları ve bileşik yağların Raman spektrumları kemometrik metotlarla incelenmiş yağlar arasındaki benzerlik derecesi belirlemek için kullanılmıştır. Bu sayede zeytinyağında bulunan katkıların tanımlanması sağlanmıştır. Gouvinhas ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı olgunlaşma aşamalarında üretilen zeytinyağları Raman spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. Spektrumlara uygulanan kemometrik metotlarla türü ve olgunlaşma süreci arasındaki istatistiksel farklılıklar değerlendirilmiştir (Gouvinhas vd., 2015).

## SONUÇ

Zeytinyağı, yan ürünleri ve artıkları doymuş yağların azaldığı sağlıklı yağların daha çok yer aldığı, protein-lipit oksidasyonunu engellendiği, organoleptik özellikleri güçlü, ucuz, katma değerli, fonksiyonel ürünlerin üretilmesine olanak sağlamıştır. Günlük yaşamımızda kullanılmasının yanı sıra gıda endüstrisinde ve sağlık alanlarında (nutrasötik) da yaygın olarak kullanılan çok önemli fonksiyonel bir gıdadır. Halis zeytinyağı, belirli iyi tanımlanmış fiziksel, kimyasal ve duyuşal parametrelere uymalıdır. Özellikle, zeytinyağının kalitesinin spektroskopik teknikler, kemometrik teknikler ile birlikte kullanılarak hızlı bir şekilde saptanması mümkündür.

## KAYNAKÇA

- 2018 Yılı Zeytin ve Zeytinyağı Raporu. (2019). Retrieved from Esnaf, Sanatkârlar ve Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü: <https://ticaret.gov.tr>
- Akpınar, Ş., & Akbulut, G. (2022). Oleuropein ve Kanser. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 50(2), 92-99.
- Aliyari, M. A., & Rezaei, K. (2021). Improving the biological value of olive and soybean oil blends with olive leaf extract obtained by ultrasound-assisted extraction towards the preparation of a sauce product. *Life*, 11(9), 974.
- Almoselhy, R. I., Magda, H. A., Kotb, A. A., & El-Sharkawy, A. A. (2009). Detection of Adulteration of Extra Virgin Olive Oil using FTIR Spectral Data Analysis. *Research Bulletin, Ain Shams Univ*, (13).
- Baeten, V., Aparicio, R., Marigheto, N., & Wilson, R. (2000). Olive oil analysis by infrared and Raman spectroscopy: methodologies and applications. *Handbook of olive oil: Analysis and properties*, 209-248.
- Barros, I. H., Paixão, L. S., Nascimento, M. H., Lacerda Jr, V., Filgueiras, P. R., & Romão, W. (2021). Use of portable Raman spectroscopy in the quality control of extra virgin olive oil and adulterated compound oils. *Vibrational Spectroscopy*, 116, 103299.
- Bayat, S., Mansoori Derakhshan, S., Mansoori Derakhshan, N., Shekari Khaniani, M., & Alivand, M. R. (2019). Downregulation of HDAC2 and HDAC3 via oleuropein as a potent prevention and therapeutic agent in MCF-7 breast cancer cells. *Journal of cellular biochemistry*, 120(6), 9172-9180.
- Bendini, A., Cerretani, L., Carrasco-Pancorbo, A., Gómez-Caravaca, A. M., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Lercker, G. (2007). Phenolic molecules in virgin olive oils: a survey of their sensory properties, health effects, antioxidant activity and analytical methods. An overview of the last decade. *Molecules*, 12(8), 1679-1719.
- Bertrand, Y., & Hoang, L. C. (2003, June). Vegetal oils as substitute for mineral oils. In *Proceedings of the 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (Cat. No. 03CH37417) (Vol. 2, pp. 491-494)*. IEEE.
- Bianco, A., Caccioli, F., Guiso, M., & Marra, C. (2002). The occurrence in olive oil of a new class of phenolic compounds: hydroxy-isochromans. *Food Chemistry*, 77(4), 405-411.
- Boskou, D. (2006). *Olive oil: chemistry and technology*. AOCS Publishing.

- Boubaker, M., Omri, A. E., Blecker, C., & Bouzouita, N. (2016). Fibre concentrate from artichoke (*Cynara scolymus* L.) stem by-products: Characterization and application as a bakery product ingredient. *Food science and technology international*, 22(8), 759-768.
- Cano, M., Muñoz, M., Ayala, A., Medina, R., & Argüelles, S. (2021). Hydroxytyrosol, olive oil, and use in aging. In *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention* (pp. 537-546): Elsevier.
- Castañer, O., Fitó, M., López-Sabater, M. C., Poulsen, H. E., Nyssönen, K., Schröder, H., . . . De la Torre, R. (2011). The effect of olive oil polyphenols on antibodies against oxidized LDL. A randomized clinical trial. *Clinical Nutrition*, 30(4), 490-493.
- Cedola, A., Cardinali, A., D'Antuono, I., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2020). Cereal foods fortified with by-products from the olive oil industry. *Food Bioscience*, 33, 100490.
- Chavez-Angel, E., Puertas, B., Kreuzer, M., Soliva Fortuny, R., Ng, R. C., Castro-Alvarez, A., & Sotomayor Torres, C. M. (2022). Spectroscopic and thermal characterization of extra virgin olive oil adulterated with edible oils. *Foods*, 11(9), 1304.
- Chikara, S., Nagaprashantha, L. D., Singhal, J., Horne, D., Awasthi, S., & Singhal, S. S. (2018). Oxidative stress and dietary phytochemicals: Role in cancer chemoprevention and treatment. *Cancer letters*, 413, 122-134.
- da Rosa, G. S., Vanga, S. K., Garipey, Y., & Raghavan, V. (2019). Comparison of microwave, ultrasonic and conventional techniques for extraction of bioactive compounds from olive leaves (*Olea europaea* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58, 102234.
- Dais, P., & Hatzakis, E. (2013). Quality assessment and authentication of virgin olive oil by NMR spectroscopy: A critical review. *Analytica Chimica Acta*, 765, 1-27.
- Darvesh, A. S., Carroll, R. T., Bishayee, A., Geldenhuys, W. J., & Van der Schyf, C. J. (2010). Oxidative stress and Alzheimer's disease: dietary polyphenols as potential therapeutic agents. *Expert review of neurotherapeutics*, 10(5), 729-745.
- Demisli, S., Chatzidaki, M. D., Xenakis, A., & Papadimitriou, V. (2022). Recent progress on nano-carriers fabrication for food applications with special reference to olive oil-based systems. *Current Opinion in Food Science*, 43, 146-154.
- Di Nunzio, M., Picone, G., Pasini, F., Chiarello, E., Caboni, M. F., Capozzi, F., . . . Bordoni, A. (2020). Olive oil by-product as functional ingredient in bakery products. Influence of processing and evaluation of biological effects. *Food Research International*, 131, 108940.
- FAO. (2022). Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

- Ferrara, L. A., Raimondi, A. S., d'Episcopo, L., Guida, L., Russo, A. D., & Marotta, T. (2000). Olive oil and reduced need for antihypertensive medications. *Archives of internal medicine*, 160(6), 837-842.
- Foscolou, A., Critselis, E., & Panagiotakos, D. (2018). Olive oil consumption and human health: A narrative review. *Maturitas*, 118, 60-66.
- Furie, B., & Furie, B. C. (2008). Mechanisms of thrombus formation. *New England Journal of Medicine*, 359(9), 938-949.
- Gallazzi, M., Festa, M., Corradino, P., Sansone, C., Albini, A., & Noonan, D. M. (2020). An extract of olive mill wastewater downregulates growth, adhesion and invasion pathways in lung cancer cells: involvement of CXCR4. *Nutrients*, 12(4), 903.
- García-González, D. L., Aparicio-Ruiz, R., & Aparicio, R. (2009). Olive oil. In *Gourmet and health-promoting specialty oils* (pp. 33-72): Elsevier.
- Gouvinhas, I., Machado, N., Carvalho, T., de Almeida, J. M., & Barros, A. I. (2015). Short wavelength Raman spectroscopy applied to the discrimination and characterization of three cultivars of extra virgin olive oils in different maturation stages. *Talanta*, 132, 829-835.
- Gullon, P., Gullon, B., Astray, G., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2020). Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods. *Food Research International*, 137, 109683.
- Irfan, S., Murtaza, M. A., Mueen ud Din, G., Hafiz, I., Murtaza, M. S., Rafique, S., . . . Mohamed Ahmed, I. A. (2022). Physicochemical, microbial, and functional attributes of processed Cheddar cheese fortified with olive oil–whey protein isolate emulsion. *Food Science & Nutrition*.
- Jalarama Reddy, K., Jayathilakan, K., & Pandey, M. (2015). Olive oil as functional component in meat and meat products: a review. *Journal of food science and technology*, 52, 6870-6878.
- Jiménez-Carvelo, A. M., Osorio, M. T., Koidis, A., González-Casado, A., & Cuadros-Rodríguez, L. (2017). Chemometric classification and quantification of olive oil in blends with any edible vegetable oils using FTIR-ATR and Raman spectroscopy. *LWT*, 86, 174-184.
- Juan, M. E., & Planas, J. M. (2021). Cancer chemopreventive activity of maslinic acid, a pentacyclic triterpene from olives and olive oil. *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*, 525-535.
- Kailis, S. G., & Kiritsakis, A. (2017). *Table Olives: Processing, Nutritional, and Health Implications*. *Olives and olive oil as functional foods: Bioactivity, chemistry and*

- processing, 295-324.
- Kapellakis, I. E., Tsagarakis, K. P., & Crowther, J. C. (2008). Olive oil history, production and by-product management. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 7, 1-26.
- Keffler, L., & MacLean, J. H. (1935). Homology in long-chain compounds. I. Oleic acid and the n-alkyl oleates. *J. Soc. Chem. Ind*, 54, 178-185T.
- Khatami, M. (2009). Inflammation, aging, and cancer: tumoricidal versus tumorigenesis of immunity: a common denominator mapping chronic diseases. *Cell biochemistry and biophysics*, 55, 55-79.
- Khdair, A., & Abu-Rumman, G. (2020). Sustainable environmental management and valorization options for olive mill byproducts in the Middle East and North Africa (MENA) region. *Processes*, 8(6), 671.
- Kiritsakis, A. K., Kiritsakis, K. A., & Tsitsipas, C. K. (2020). A review of the evolution in the research of antioxidants in olives and olive oil during the last four decades. *Journal of Food Bioactives*, 11.
- Koh, Y. C., Ho, C. T., & Pan, M. H. (2020). Recent advances in cancer chemoprevention with phytochemicals. *journal of food and drug analysis*, 28(1), 14-37.
- Komaki, E., Yamaguchi, S., Maru, I., Kinoshita, M., Kakehi, K., Ohta, Y., & Tsukada, Y. (2003). Identification of anti- $\alpha$ -amylase components from olive leaf extracts. *Food Science and Technology Research*, 9(1), 35-39.
- Kotecha, R., Takami, A., & Espinoza, J. L. (2016). Dietary phytochemicals and cancer chemoprevention: a review of the clinical evidence. *Oncotarget*, 7(32), 52517.
- Lipshitz, N., Gophna, R., Hartman, M., & Biger, G. (1991). The beginning of olive (*Olea europaea*) cultivation in the Old World: a reassessment. *Journal of Archaeological Science*, 18(4), 441-453.
- López-Salas, L., Cea, I., Borrás-Linares, I., Emanuelli, T., Robert, P., Segura-Carretero, A., & Lozano-Sánchez, J. (2021). Preliminary Investigation of Different Drying Systems to Preserve Hydroxytyrosol and Its Derivatives in Olive Oil Filter Cake Pressurized Liquid Extracts. *Foods*, 10(6), 1407.
- Morelló, J. R., Motilva, M. J., Tovar, M. J., & Romero, M. P. (2004). Changes in commercial virgin olive oil (cv Arbequina) during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. *Food chemistry*, 85(3), 357-364.
- Murakoshi, M., Nishino, H., Tokuda, H., Iwashima, A., Okuzumi, J., Kitano, H., & Iwasaki, R. (1992). Inhibition by squalene of the tumor-promoting activity of 1-2-O Tetradecanoylphorbol-13-acetate in mouse-skin carcinogenesis. *International journal of cancer*, 52(6), 950-952.

- Nieto, G., Martínez, L., Castillo, J., & Ros, G. (2017). Hydroxytyrosol extracts, olive oil and walnuts as functional components in chicken sausages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11), 3761-3771.
- Nunes, M. A., Costa, A. S., Bessada, S., Santos, J., Puga, H., Alves, R. C., . . . Oliveira, M. B. P. (2018). Olive pomace as a valuable source of bioactive compounds: A study regarding its lipid-and water-soluble components. *Science of the total environment*, 644, 229-236.
- Oliveras-López, M. J., Innocenti, M., Giaccherini, C., Ieri, F., Romani, A., & Mulinacci, N. (2007). Study of the phenolic composition of spanish and italian monocultivar extra virgin olive oils: Distribution of lignans, secoiridoidic, simple phenols and flavonoids. *Talanta*, 73(4), 726-732.
- Owen, R., Giacosa, A., & Hull, W. (2002). Olive-oil consumption and health: the possible role of antioxidants. *Alternative medicine review*, 7(3), 262-263.
- Owen, R., Giacosa, A., Hull, W., Haubner, R., Spiegelhalder, B., & Bartsch, H. (2000). The antioxidant/anticancer potential of phenolic compounds isolated from olive oil. *European Journal of Cancer*, 36(10), 1235-1247.
- Owen, R. W., Giacosa, A., Hull, W. E., Haubner, R., Würtele, G., Spiegelhalder, B., & Bartsch, H. (2000). Olive-oil consumption and health: the possible role of antioxidants. *The lancet oncology*, 1(2), 107-112.
- Öztürk, B., Urgu, M., & Serdaroglu, M. (2017). Egg white powder-stabilised multiple (water-in-olive oil-in-water) emulsions as beef fat replacers in model system meat emulsions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(7), 2075-2083.
- Perona, J. S., & Botham, K. M. (2013). Olive oil as a functional food: nutritional and health benefits. *Handbook of olive oil: Analysis and properties*, 677-714.
- Pessoa, H. R., Zago, L., Curioni, C. C., & da Costa, D. C. F. (2022). Modulation of biomarkers associated with risk of cancer in humans by olive oil intake: A systematic review. *Journal of Functional Foods*, 98, 105275.
- Psaltopoulou, T., Naska, A., Orfanos, P., Trichopoulos, D., Mountokalakis, T., & Trichopoulou, A. (2004). Olive oil, the Mediterranean diet, and arterial blood pressure: the Greek European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study. *The American journal of clinical nutrition*, 80(4), 1012-1018.
- Santos, C. S., Cruz, R., Cunha, S. C., & Casal, S. (2013). Effect of cooking on olive oil quality attributes. *Food Research International*, 54(2), 2016-2024.
- Schwingshackl, L., Lampousi, A., Portillo, M., Romaguera, D., Hoffmann, G., & Boeing, H. (2017). Olive oil in the prevention and management of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of cohort studies and intervention

- trials. *Nutrition & diabetes*, 7(4), e262-e262.
- Shahidi, F. (Ed.). (1997). *Natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications*. The American Oil Chemists Society.
- Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Zucca, P., Varoni, E. M., Dini, L., Panzarini, E., . . . Peluso, I. (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. *Frontiers in physiology*, 11, 694.
- Spizzirri, U. G., Carullo, G., Aiello, F., Paolino, D., & Restuccia, D. (2021). Valorisation of olive oil pomace extracts for a functional pear beverage formulation. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(11), 5497-5505.
- Suvarna, V., & Sharma, D. (2021). Overview of olive oil in vascular dysfunction. In *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention* (pp. 165-174): Elsevier.
- Şahin, S., & Bilgin, M. (2018). Olive tree (*Olea europaea* L.) leaf as a waste by-product of table olive and olive oil industry: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1271-1279.
- Thuy, N. T. T., He, P., & Takeuchi, H. (2001). Comparative effect of dietary olive, safflower, and linseed oils on spontaneous liver tumorigenesis in C3H/He mice. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 47(5), 363-366.
- Topuz, O. K., Yerlikaya, P., Ucak, I., Gumus, B., & Büyükbenli, H. A. (2014). Effects of olive oil and olive oil–pomegranate juice sauces on chemical, oxidative and sensorial quality of marinated anchovy. *Food Chemistry*, 154, 63-70.
- Tresserra&Rimbau, A., & Lamuela&Raventós, R. M. (2017). Olives and olive oil: A Mediterranean source of polyphenols. *Olives and olive oil as functional foods: Bioactivity, chemistry and processing*, 417-434.
- Uncu, O., & Ozen, B. (2020). Importance of some minor compounds in olive oil authenticity and quality. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 164-176.
- Üçüncüoğlu, D., & Küçük, V. A. (2019). A multivariate data approach for FTIR-ATR monitoring of virgin olive oils: Lipid structure during autoxidation. *OCL*, 26, 42.
- Velasco, J., & Dobarganes, C. (2002). Oxidative stability of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), 661-676.
- Vitaglione, P., Savarese, M., Paduano, A., Scalfi, L., Fogliano, V., & Sacchi, R. (2015). Healthy virgin olive oil: A matter of bitterness. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(13), 1808-1818.



## 4. BÖLÜM

### ŞEKİL HAFIZALI POLİMERLER

Dr. Öğr. Üyesi Nihan ÜNLÜ

*İstanbul Gelişim Üniversitesi,*

*Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu,*

*Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü*

nunlu@gelisim.edu.tr

ORCID: 0000-0001-5023-6888

### GİRİŞ

Akıllı malzemeler, içten veya dıştan kaynaklanan uyaranlara, çevresel değişikliklere tepki verme ve bu değişikliklere göre işlevlerini harekete geçirme konusunda fiziksel/kimyasal yeteneklere sahip malzemelerdir. Akıllı ve yenilikçi malzemeler sınıfında yer alan şekil hafızalı materyaller de (şekil hafızalı alaşım “SMA”, şekil hafızalı polimer “SMP”, şekil hafızalı seramik “SMC”,...), uyaranlara tepki vererek şekillerini, renklerini veya refraktif indekslerini değiştirebilmelerinden dolayı bilimsel ve teknolojik alanda önemli bir yere sahiptir.

L.B. Vernon, 1941 senesinde metakrilat monomeri ile hazırladıkları polimer ile aldıkları ABD patentinde ilk olarak ‘şekil hafıza’ özelliğinden bahsetmiştir Vernon, L. B., & Vernon, H. M. (1941). 1951 yılında ise Chang ve Reed, alaşımların da şekil hafıza özelliği gösterdiğini Altın-Kadmiyum (Au-Cd) alaşımı ile ispat ettiler (LIU, C., QIN, H., & Mather, P. T. (2007)). Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde, Nikel-Alüminyum (Ni-Al), Bakır-Çinko-Alüminyum-Nikel (Cu-Zn-Al-Ni) ve Bakır-Alüminyum-Nikel (Cu-Al-Ni) alaşım

sistemlerinin de şekil hafıza özelliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. 1960'lı yıllarda, elektrik kablolarının ve çeşitli boruların kaplanması için kullanılan ve ısı etkisiyle büzüşebilen kovalent çapraz bağlı polietilen film ve tüpler üretilmiştir. Bu keşif, şekil hafızalı polimerlerin geliştirilmesinde önemli bir dönüm noktası olmuştur.

SMP'ler üzerine yapılan araştırmalar, son yirmi yılda ilginç ve hayati bir boyuta ulaşmıştır. Bu malzemeler, kalıcı (orijinal) şekillerini hafızalarında koruyarak, belirli sıcaklık ve stres koşulları altında geçici (deforme) şekillerini sabitleyebilme ve daha sonra sabitlenen şekilden termal, elektriksel veya diğer çevresel uyaranlar etkisiyle kalıcı şekillerine tekrar dönebilme kabiliyetine sahiptirler. Stressiz duruma geçme, manipülasyon ve şekil sabitleme sırasında depolanan elastik deformasyon ile ilişkilidir. Şekil hafızalı polimerler, farklı koşullarda iki şekli hatırlama kapasiteleri, kolay işlenebilirliği, proses kolaylığı, esnekliği gibi bazı üstün avantajları nedeniyle bilim adamlarının ve mühendislerin büyük ilgisini çekmiştir. Dolayısıyla bu organik malzemeler, tıp, mühendislik, endüstri, savunma sanayi gibi günlük yaşamın çeşitli alanlarını kapsayan uygulamalara sahip, gelişmekte olan bir polimer sınıfıdır.

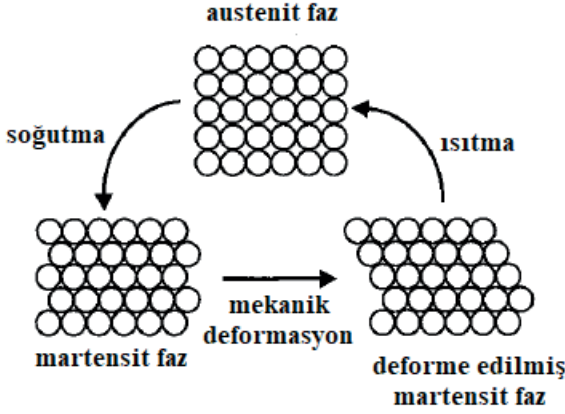
Sağlık sektöründe kullanılan biyouyumlu ve toksik olmayan şekil hafızalı polimerler, özellikle ilaç taşıma sistemlerinde, yapay kas, glikoz sensörleri gibi alanlarda önemli rol oynar. Bu alanlarda kullanılan akıllı polimerler, pH veya sıcaklığa karşı duyarlı malzemelerdir. Bu sayede vücudun istenilen bölgelelerinde, taşıdığı aktif maddenin salınımını gerçekleştirmek üzere, değişen pH ve sıcaklık gibi değerlere bağlı olarak ihtiyaca göre tepki vermektedirler. Hava-cılık alanında kullanılan şekil hafızalı polimerler, uçak kanadının çatlak veya hasar görmesi durumunda renk değiştirerek fark edilmesini ve kendi kendine bu olumsuz durumu gidermesini sağlar. Ayrıca otomobil camının güneşli bir günde kararıp bulutlu havalarda berraklaşması, akıllı bir tuğla ile inşa edilmiş bir evin dışarıdaki hava değişimi ile enerji tasarrufu imkânı sağlayabilmesi bu malzemelerin hayatı kolaylaştıran imkânlar sağladığını göstermektedir. Şekil hafızalı polimerlerin kullanım alanlarından biri de tekstil sektörüdür. Sıcaklık düzenleyen giysiler, kullanan kişinin rahat etmesine olanak tanımaktadır. Bu teknoloji ilk olarak NASA tarafından astronotların, uzayda ani hava değişiminden etkilenmemeleri için kullanılmıştır. Görünmezlik özelliği sağlayan ve daha çok savunma sanayisinde kullanılan kamuflaj giysileri ise ışığın kırılması mantığına dayanmaktadır. Işığı kıran bazı bileşenler, ışığı bükerek nesnelere veya

kişileri görünmez hale getirir Malekmohammadi, S.&Hadadzadeh, H.&Rezakhani, S., & Amirghofran, Z. (2019), Wang, N. X., & von Recum, H. A. (2011). SMP'ler insan hayatını kolaylaştıran bu imkânları küçük ortam farklılıkları ile sunmaktadır. Bu sebeple tıp, endüstri, hava ve savunma sanayi, tekstil sektörü dışında da ambalaj, elektronik, biyomedikal ve uzay uygulamaları gibi birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadırlar.

## 1. ŞEKİL HAFIZA ETKİSİ

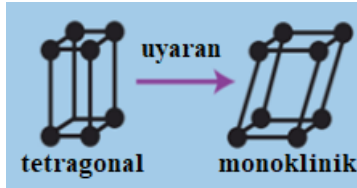
Şekil hafızalı malzemeler, çeşitli uyaranlara karşı duyarlı malzemelerdir. Sıcaklık, pH, ışık vb. gibi bir dış uyaran uygulandığında şekil değiştirme yeteneğine sahiptirler. Şekil hafıza etkisi gösteren malzemelere alaşımlar, polimerler, seramikler ve bunların kompozitleri örnek olarak verilebilir.

Şekil hafızalı alaşımlarda şekil hafızası etkisi, difüzyon olmadan gerçekleşen martensit faz geçişine dayanmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi martensit fazı oluşturmak için malzeme, yüksek sıcaklıktan veya kübik simetri (austenit faz) gösteren ana fazdan, daha düşük simetriye (martensit faz) sahip düşük sıcaklık fazına kadar soğutulur. Martensit fazda malzeme nispeten yumuşak olduğundan kolaylıkla deforme edilebilir. Malzemenin geçici şekli, malzemenin martensit fazda deformasyonu ile elde edilir. Numunenin faz geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtılmasıyla austenit faza ulaşılır ve %8'e varan deformasyonlar için orijinal şeklin geri kazanıldığı gözlemlenebilir. Tek veya çift yönlü şekil hafıza etkisine sahip alaşımlar üzerinde en çok çalışılanlar; demir bazlı, bakır bazlı ve NiTi (Nitinol) şekil hafızalı alaşımlardır. Bu alaşımlar içerisinde Nitinol, biyouyumluluğu nedeniyle cerrahi cihazların ve implantların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cu-Zn-Al alaşımları, avantajlı termal ve elektriksel iletkenlikleri nedeniyle genellikle tıbbi olmayan uygulamalarda kullanılır. Ayrıca bu malzemelerin diğer kullanım alanları elektronik aygıtlar, uzay araçları, gözlük çerçeveleri vb sıralanabilir (Wei, Z. G., Sandstrom, R., & Miyazaki, S. (1998).



**Şekil 1.** Alaşımlar için şekil hafızası mekanizmasının şematik gösterimi.

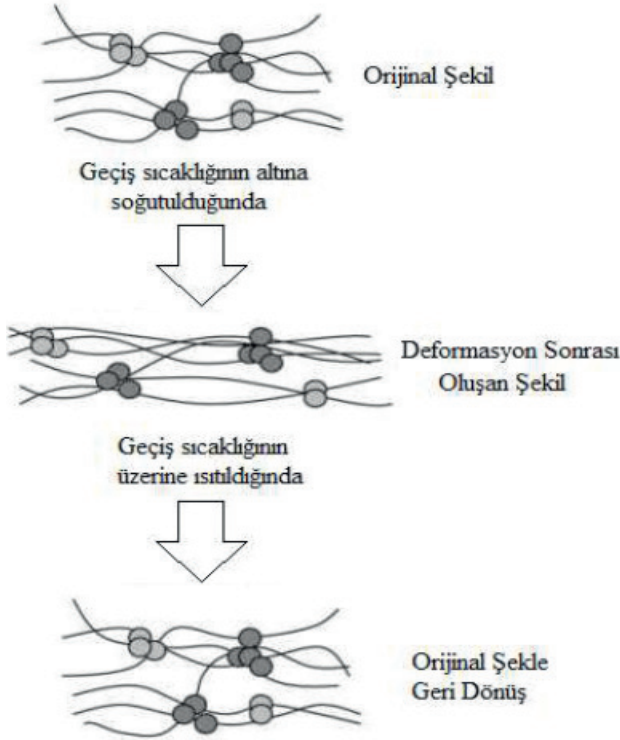
Bazı  $ZrO_2$  seramiklerinde, tetragonal kristal yapıdan monoklinik kristal yapıya geçiş, termal veya stres uygulamasıyla indüklenen martensit faz geçişi olarak gerçekleşir. Bu malzemelere martensit seramikler denir. Şekil 2’de şematize edilen tetragonal-monoklinik faz değişimi termoelastik olarak gerçekleşebilir, bu nedenle martensit seramikler ısıya duyarlı bir şekil hafızası etkisi gösterir. Bu malzemeler mühendislik alanında, biyomedikal ve cerrahi malzemeler üretimi aşamasında kullanılmaktadır (Wei, Z. G., Sandstrom, R., & Miyazaki, S. (1998).



**Şekil 2.** Tetragonal kristal yapının monoklinik kristal yapıya dönüşümü.

Şekil hafızalı polimerlerde ise şekil hafıza özelliği, polimerin yapısında bulunan iki segmentten ileri gelmektedir. Bunlar, orijinal şeklin hatırlanmasını sağlayan sabit noktalar ve deformasyon sonrası oluşan geçici şeklin sabitlenmesini sağlayan moleküler değişim bölgeleridir. Şekil hafızalı polimerler, daha

düşük maliyetli, biyoyumlu yapıda olmaları, kolay işlenebilirlikleri ve yüksek elastik özellikleri sayesinde şekil hafızalı alaşımlara göre avantajlıdır (Leng, J., Lan, X., Liu, Y., & Du, S. (2011), Behl, M., & Lendlein, A. (2007). Şekil 3'te şekil hafızalı polimer için şekil hafıza etkisinin aşamalarını gösteren şema verilmektedir Lam Po Tang, S., & Stylios, G. K. (2006).

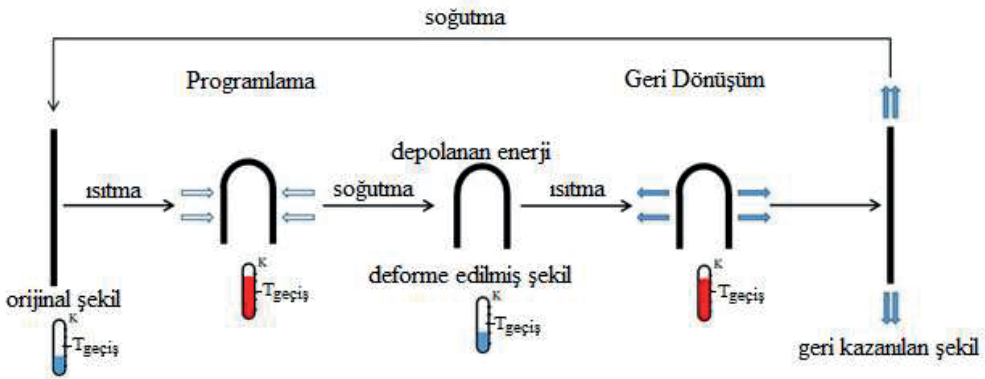


Şekil 3. Polimerler için şekil hafızası mekanizmasının gösterimi.

## 2. POLİMERLERDE ŞEKİL HAFIZA ETKİSİNİN MOLEKÜLER MEKANİZMASI

Şekil hafızası etkisi içsel bir özellik değildir, yani polimerler bu etkiyi kendi başlarına göstermezler. Şekil hafıza özelliği, malzemenin yapısı, morfolojisi, şekil hafıza testi sırasındaki uygulanan programlama işlemlerinin şartları gibi birçok özelliğe bağlılık gösterir. Şekil hafıza özelliği kazandırılacak polimer

malzemenin fonksiyonelleştirilmesi, programlama ve şekil hatırlama olmak üzere iki aşamadan oluşur (Şekil 4). Başlangıçta malzeme, üretim şekline bağlı olarak belirlenmiş orijinal şeklindedir. İlgili sıcaklık aralığında ağ zincirlerinin bir termal geçişi olan geçiş sıcaklığının ( $T_{trans}$ ) üzerine ısıtılan malzeme deforme edilir ve ona geçici bir şekil kazandırılır. Geçici şeklin sabitlenmesi amacıyla malzeme,  $T_{trans}$  değerinin altına soğutulur ve bir süre deformasyon için uygulanan kuvvet sabit tutulur. Programlama aşamasından sonra malzeme  $T_{trans}$ 'ın üzerine ısıtılır. Böylece şekil hafıza özelliği tetiklenen malzeme, kalıcı şekline geri döner. Şekil hafıza özelliğine sahip polimerler için  $T_{trans}$  değeri, malzemenin camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) veya erime sıcaklığı ( $T_m$ ) olarak seçilir (Leng, J., & Du, S. (2010)).



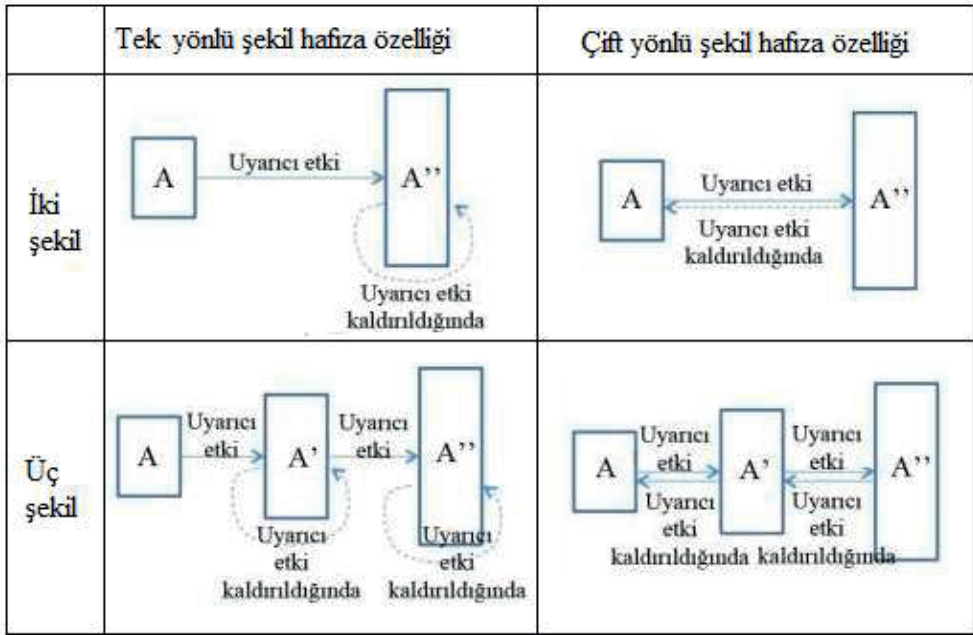
Şekil 4. Şekil hafıza özelliğinin iki temel aşaması.

Polimerlerin şekil hafıza özelliği gösterebilmeleri için öncelikle polimer yapısında, çapraz bağlanmanın (birincil çapraz bağlanmalar) olduğu sabit noktalar ve bu noktaları birbirine bağlayan polimer segmentler var olmalıdır. Bir diğer koşul ise, geçici şeklin sabitlenmesini sağlayan polimer segmentleri arasındaki güçlü tersinir (ikincil çapraz bağlanmalar) etkileşimlerdir. Dolayısıyla, geçici şekil uygun programlama koşulları altında, ikincil çapraz bağlanmaların oluşumu ile sabitlenir. Ardından kalıcı şekil, birincil çapraz bağlanmalara ve bunlar arasındaki polimer segmentlerin entropik özelliklerine bağlı olarak malzeme tarafından hatırlanır (Hu, J., Zhu, Y., Huang, H., & Lu, J. (2012)).

Şekil hafızalı polimerler, genellikle sert ve yumuşak kısım olmak üzere iki yapının birleşiminden oluşur. Yumuşak kısmı oluşturan polioller, polimer bileşiminde bulunan uzun zincirli yapıya sahiptir. Bu kısımlar, yapıda molekü-

ler değişim bölgelerini oluşturarak malzemenin şekil kararlılığı özelliğini ortaya koyar. Sert kısımlar ise, yumuşak kısımları kimyasal ve/veya fiziksel çapraz bağlar ile birbirine bağlar. Ayrıca sert kısımlar, sabit faz gibi davranır ve malzemenin kalıcı (orijinal) şeklini hatırlamasını sağlar (10). Sert kısımlarda, yumuşak kısımların erime sıcaklığına göre seçilen geçiş sıcaklığı ( $T_{trans}$ ), yumuşak kısımlara kıyasla daha yüksek değerdedir. Polimer malzeme,  $T_{trans}$  üzerine ısıtıldığı zaman, yumuşak kısımların yapısında var olan kristaller erir. Böylece, polimer esnek bir yapı kazanır. Elastik yapıya geçen polimer, bu aşamadan sonra dışarıdan uygulanan kuvvet ile kolayca deforme edilerek geçici şeklini alır. Daha yüksek geçiş sıcaklığına sahip olan sert kısımlar, bu sıcaklık değerinde erimeden yapıyı bir arada tutar. Dolayısıyla sert kısımlar, malzemenin şekil kararlılığı performansını olumlu yönde etkiler. Daha sonra polimer malzeme, geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklık değerine soğutulur ve yumuşak kısımlardaki kristal yapıdaki bölgeler eski haline döner. Geçici şeklini almış durumda olan polimer son olarak, tekrar geçiş sıcaklığı üzerine ısıtıldığında ise malzeme kalıcı yani üretim aşamasındaki orijinal şekline geçiş yapar Behl, M., & Lendlein, A. (2007).

Şekil hafıza özelliği, tek veya çift yönlü olabilir. Şekil hafıza özelliği tek yönlü ise, malzeme ekstüzyon, enjeksiyon gibi üretim prosesi ile belirlenmiş orijinal şeklindedir. Malzeme programlama aşamasından sonra uyarılır, fakat uyarıcı kaldırıldıktan sonra kalıcı şekline geri dönemez. Çift yönlü şekil hafıza özelliğine sahip malzemeler, uyarıcı etki kaldırıldıktan sonra da kalıcı şekline dönerler. Polimerler, genellikle çift yönlü şekil hafıza özelliğine sahip malzemelerdir. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda polimerlerin, üç şekli birden hatırlayabilme yeteneğine sahip olduğu ispatlanmıştır. Bu özelliklere sahip olan polimerlerin, programlama aşaması daha zordur. Bu sebeple iki yönlü şekil hafızalı polimerler, programlama aşamalarının daha kolay olması, daha esnek ve çeşitli uygulamalara daha kolay uyum sağlayabilme gibi özelliklerinden dolayı daha tercih edilir malzemelerdir. Tek ve çift yönlü şekil hafıza özelliği, iki ve üç şekil hatırlama performansına sahip polimerler için Şekil 5'te gösterilmiştir Hu, J., Zhu, Y., Huang, H., & Lu, J. (2012).



Şekil 5. Tek ve çift yönlü şekil hafıza özelliği.

### 3. ŞEKİL HAFIZALI POLİMERLERİN SINIFLANDIRILMASI

Polimer veya polimer kompozitlerin mikroyapısı, malzemelerin şekil hafıza özelliğini belirleme açısından önemli bir faktördür. Şekil hafızalı polimerler, fiziksel çapraz bağlı camı ağlar, fiziksel çapraz bağlı yarı-kristalin ağlar, kimyasal çapraz bağlı camı ağlar ve kimyasal çapraz bağlı yarı-kristalin ağlar olmak üzere dört farklı sınıfta incelenebilir.

#### 3.1. Fiziksel Çapraz Bağlı Camı Ağlar

Bu grupta şekil hafıza etkisi, faz ayırma morfolojisinin oluşumu ile incelenir. İki faz arasında düşük geçiş sıcaklığına sahip olan faz, moleküler anahtarlama görevi görürken yüksek geçiş sıcaklığına sahip olan faz ise kalıcı şekli sabitlemekten sorumludur. Bu tip polimerler, malzemeye mukavemet özelliği kazandıran kimyasal çapraz bağların yokluğu sebebiyle çok daha kolay bir şekilde işlenebilir yapıdadır. Bu sınıftaki en önemli grup, faz ayırma özelliklerinden dolayı lineer blok kopolimerlerdir. Yine bu gruptan olan poliüretan



(PU), yumuşak alanları keskin bir camısı geçiş özellik gösteren örnektir. Poli (laktik asit), polistiren, poli (1,4 bütadien) ve eriyik halde karışabilen poli (vinil asetat) fiziksel çapraz bağlı camısı ağlara örnek verilecek diğer polimerlerdir Behl, M., & Lendlein, A. (2007)).

### 3.2.Fiziksel Çapraz Bağlı Yarı-Kristalin Ağlar

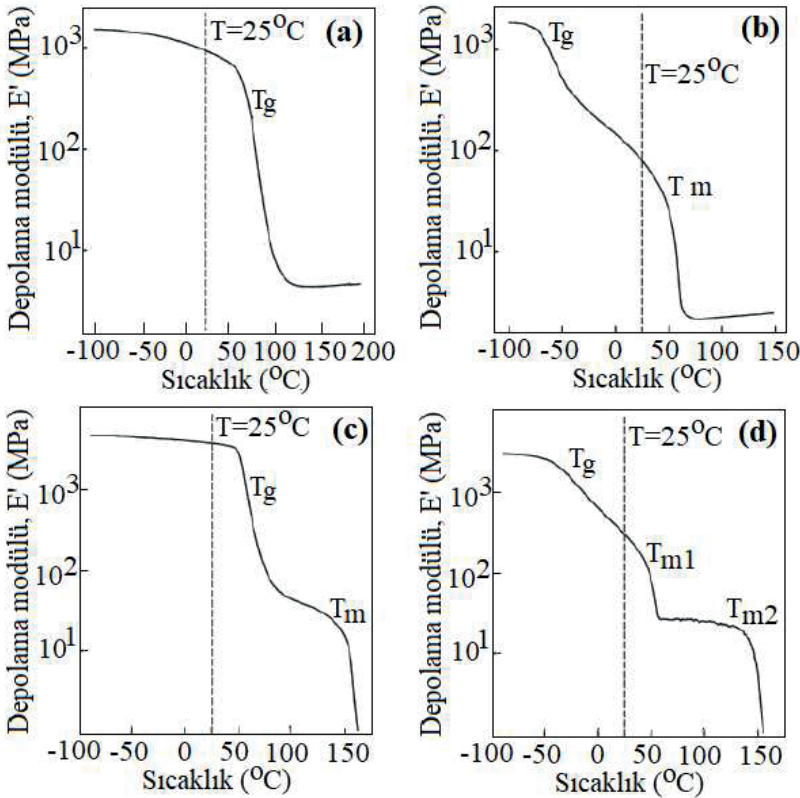
Yumuşak segment blok kopolimerler, bu gruba dâhil olan örnekler arasındadır. Bu malzemeler, geçiş ve erime sıcaklıklarının altındaki sıcaklık değerlerinde kristalize olurlar. Erime sıcaklığı, camısı geçiş sıcaklığının yerine bir geçiş sıcaklığı gibi davranır. Bu sınıfa verilecek örnekler arasında striren-trans-butadienstiren (STBS) üç bloklu kopolimer ve polietilen oksit (PEO) bazlı multiblok poliüretan yer alır Behl, M., & Lendlein, A. (2007). Kim ve arkadaşları 1998 yılında, ön polimerizasyon yöntemi ile poliester-üretan sentezi yapmışlardır. Üretilen bu polimerde, metilen bis (4-feniizosiyonat) bloktan oluşan sert segmentler ve poli ( $\epsilon$ -kaprolakton)'dan oluşan yumuşak segmentler bulunmaktadır. Sert segmentler, 200-240 °C aralığında bir erime sıcaklığına sahiptir ve kalıcı ağları ayarlama görevini üstlenirler. Kristalin yapıda olan yumuşak segmentler ise 44-55 °C aralığındaki bir sıcaklık değerinde erimekte dirler ve anahtarlama fazı gibi hareket ederler. Bu sınıfta yer alan polimerlerde, yumuşak segmentin molekül ağırlığının değiştirilmesiyle geçiş sıcaklığı, istenilen değere göre ayarlanabilir. Sert segmentlerin kristalin alanlarının var olmasının dışında hidrojen bağları ve iyonik etkileşimleri gibi etmenler, fiziksel çapraz bağ ağlarını oluşturur ve kalıcı şeklin ayarlanabilmesine yardımcı olur. Moleküler arası bu tür etkileşimler, faz ayırım derecesini artırır. Dolayısıyla, kalıcı sağlam bir ağa sahip polimer oluşumu kolaylaşır Nahid, M. N. H., Wahab, M. A., & Lian, K. (2011).

### 3.3. Kimyasal Çapraz Bağlı Camısı Ağlar

Bu sınıfa dâhil olan polimerler, geçiş sıcaklığının üzerinde keskin bir geçiş ve kauçuk elastisiteye sahiptir. Yapının çapraz bağa sahip olabilmesi için polimerizasyon, polikondenzasyon veya poliadisyon gibi yöntemler kullanılır. Geçiş sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklık değerinde polimere bir dış kuvvet uygulanarak malzemenin ikincil şekle geçmesi sağlanır. Malzeme, geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklık değerine soğutulur. Bu sayede geçici şekil olarak

da tanımlanabilen ikincil şekil, sabitlenmiş olur. Malzeme, Tgeçiş sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılır ise tekrar orijinal şeklini geri kazanır. Bu tip polimer malzemeler, keskin camsı geçiş sıcaklığına sahip olduklarından vitrifikasyon (camlaştırma) içinde tam şekil sabitleme ve hızlı bir şekilde şekil kazanım özelliklerine sahiptirler. Polistiren kopolimeri, poli (alkil metakrilat) kopolimerleri, kimyasal çapraz bağlı amorf poliüretanlar ve biyobozunur kopolierler üretan ağları, kimyasal çapraz bağlı camsı ağlar grubundaki polimerlere örnek olarak verilebilir.

Farklı sınıflardan olan şekil hafızalı polimerlerin viskoelastik davranışlarına ait diyagramları, Şekil 6'da verilmiştir. Bu diyagramlar, 1 Hz için küçük deformasyon ile ölçülen çekme depolama modül-sıcaklık grafikleridir ve sırasıyla kimyasal çapraz bağlı camsı ağlar (a), kimyasal çapraz bağlı yarı kristalin ağlar (b), fiziksel çapraz bağlı camsı ağlar (c) ve fiziksel çapraz bağlı yarı kristalin ağlara (d) aittir Behl, M., & Lendlein, A. (2007), Shi, Y. (2013).



Şekil 6. Farklı gruplara ait şekil hafızalı polimerlerin viskoelastik davranışı.

### 3.4. Kimyasal Çapraz Bağlı Yarı-Kristalin Ağlar

Kimyasal çapraz bağlı yarı-kristalin ağlar grubundaki şekil hafızalı polimerlerin yarı-kristalin ağlarının erime noktası, geçiş sıcaklığı ( $T_{trans}$ ) gibi hareket eder. Bu sınıfta şekil hafıza etkisi, diğerlerinden farklıdır. Camlaşma yerine, kristalizasyon ile ikincil şekil sabitlenir.

Şekil hafıza sürecinde erime geçişi, camsı geçişe kıyasla daha hızlı gerçekleşir. Bu olay sonucunda, malzemeye keskin şekil geri kazanımı verilir. Bu gruba kimyasal çapraz bağlı yarı kristalin kauçuk ve trans-poliizopren örnek olarak verilebilir. Bu malzemeler daha güçlü kalıcı ağlara sahiptirler. Bu avantajlarının dışında, geniş erime sıcaklık aralığına sahip olmaları ve tekrar şekillendirme hususunda yaşanan zorluklar gibi bazı dezavantajlara da sahiptirler. Kimyasal çapraz bağların varlığı, kristal oluşumunu engeller. Dolayısıyla, bu özellik malzemede düşük kristaliteye sebep olur. Düşük ve geniş erime sıcaklığına sahip olan polimerlerde şekil geri kazanım, eksiksiz olmayacağı gibi hızı da yavaştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, kristalin kısımlardan ziyade amorf kısımların çapraz bağlanmasıyla malzemeye keskin bir geçiş kazandırma üzerine yoğunlaşmıştır (14).

## 4. ŞEKİL HAFIZALI POLİMERLERİN UYGULAMALARI

Budun ve arkadaşları, üç farklı voltaj değerinde elektrostatik çekim yöntemiyle şekil hafızalı blok kopolimer poliüretan (PU) lifleri üretmişlerdir. Bu liflerin üretimi için hacimce %50-50 tetrahidrofur (THF)/dimetil formamid (DMF) ile %5, %10, %15 ve %20 olmak üzere dört farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada, viskozite ve elektrik iletkenliği açısından çözeltiler özellikleri incelenmiştir. Artan polimer konsantrasyonu ile iletkenliğin azaldığı tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile üretilen şekil hafızalı liflerin morfolojik özellikleri incelenmiştir. Bu analiz sonucu yapının, polimer konsantrasyonu ve voltaj değerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) sonuçlarına göre, elektrostatik çekim sonrasında polimer zincirlerinin oryantasyonunun arttığı belirlenmiştir. Üretilen malzemelerin şekil hafıza performansı, liflerin

şekil sabitleme ve şekil geri kazanım oranları hesaplanarak yorumlanmıştır. Bu analizlerin dışında, malzemelerin mukavemet ve uzama gibi mekanik özellikleri, çekme testiyle değerlendirilmiştir. Bu testler sonucunda liflerin %80 civarında şekil sabitleme ve %100 oranında şekil geri kazanım özelliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca üretilen liflerin mekanik özellikleri, yapısal karakteristik özelliklerine ve lif çapına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır Budun, S., İşgören, E., Erdem, R., & Yüksek, M. (2016).

Kumar ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada şekil hafıza özelliğine sahip bir polimeri, yeni keşfedilmiş bir yaklaşım ile kullanarak fonksiyonel akıllı bir bandaj tasarlamışlardır. Bu ürün üretimi için hafızalı filament (segmente poliüretan) ve naylon filamentlerinin bir karışımı kullanılmıştır. Şekil hafızalı poliüretan polimeri yığın polimerizasyonu ile hafızalı filamentler ise eriyik çekim yöntemiyle üretilmiştir. Şekil hafızalı filament/naylon karışımlarından üretilen bandajların sıcaklığa bağlı iç gerilim değişimleri ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda sarılmış haldeki bandajların iç gerilimlerinin, basit bir sıcaklık uygulamasıyla kontrol edilebilir ve yönetilebilir olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple basıncın, harici olarak tekrar ayarlanmasının mümkün olduğu ortaya konulmuştur. Hafızalı bandajların, yara bakım ve tedavisinde basıncın ayarlanabilmesinden dolayı mevcut konvansiyonel ürünlere göre daha büyük bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir (Kumar, B., Hu, J., & Pan, N. (2016)).

Safranski ve arkadaşları, şekil hafıza performansını etkileyen proses parametrelerini belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, şekil hafızalı poliüretan polimerinin dokusuz yüzeylerindeki mekanik ve şekil geri kazanım davranışının, hava basıncı ve kolektör hızına bağlı değişimini incelemişlerdir. Şekil hafızalı polimer ile üretilen şekil hafızalı dokusuz yüzeyler için eriyik püskürtme yöntemi kullanılmıştır. Mekanik analiz ve çekme testleriyle bu yüzeylerin mekanik davranışları, zorlamalı ve zorlamasız geri dönüş testleriyle ise şekil geri kazanım davranışları ölçülmüştür. Ayrıca şekil hafıza döngüsü süresince meydana gelen mikroyapısal değişikliklerin incelenmesi için mikro bilgisayarlı tomografi yöntemi kullanılmıştır. Uygulanan test ve analiz sonuçlarına göre kolektör hızının artmasıyla, şekil hafızalı dokusuz yüzeylerin elastik modülü ve şekil geri kazanım gerilimi de artmıştır. Fakat diğer taraftan, dokusuz yüzeylerin kopma uzaması ve zorlanmasız geri kazanım oranı, kolektör hızına bağlı olarak değişmemiştir. Kopma uzama oranı hava basıncıyla ters, kauçuk modül ve zorlamasız geri kazanım oranı ise hava basıncıyla

la doğru orantılı olacak şekilde değişmiştir. Ancak hava basıncındaki değişim, şekil geri kazanım gerilimini etkilememiş ve şekil hafıza döngüsü esnasında şekil geri kazanımının tamamen gerçekleşmediği görülmüştür. Birbirleriyle olan ilişkileri incelenen parametrelerin belirlenmesiyle şekil hafızalı dokusuz yüzeylerin üretiminin kolay ve uygun uygulamalar için kullanılabilir yapıda olacağı belirtilmiştir Safranski, D. L., Boothby, J. M., Kelly, C. N., Beatty, K., Lakhera, N., Frick, C. P., Lin, A., Guldberg, R. E., & Griffis, J. C. (2016).

Şekil hafızalı polimer nanoliflerin ve kompozitlerin gelişimini, Zhang ve arkadaşları inceleyerek bu konuda kapsamlı bir çalışma yayınlamışlardır. Yaptıkları bu çalışmada polimerler, nanolif üretimi için kullanılan elektrostatik lif çekim yöntemi, nanolif malzemelerin yapıları, şekil hafıza ve mekanik performansları ve kullanım alanları üzerinde durmuşlardır. Elektrostatik lif çekim yönteminin birkaç döngü sonrasında üstün termal, mekanik ve şekil hafıza performansına sahip ve aynı zamanda farklı türlerde şekil hafızalı nanolif üretimi için uygun bir yöntem olduğu yapılan değerlendirmeler sonucunda belirtilmiştir. Bu malzemelerin ilaç salınım sistemleri, iskele ve hücre büyüme ortamları olmak üzere özellikle biyomedikal uygulamalardaki kullanımının avantajlı olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda şekil hafıza özelliğine sahip nanoliflerin yüksek tepkime hızı, esnek, hafif, kolay işlenebilir ve çok fonksiyonlu özelliklere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır Zhang, F., Zhang, Z., Zhou, T., Liu, Y., & Leng, J. (2015).

Eceiza ve arkadaşları, biyokütleden elde edilen farklı kitin nanokristal özelliğine sahip, akıllı poliüretan biyananokompozit sentezi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Üretilen bu malzemelerin termal olarak aktifleştirilmiş şekil hafıza davranışlarını incelemek amacıyla, bu malzemelere termomekanik döngüsel testler uygulanmıştır. Atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) kullanılarak izole nanokristal ve sentezlenen biyananokompozitlerin içerisindeki dağılım tayin edilmiştir. Poliüretan ve biyananokompozitlerin termal davranışlarını incelemek için diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) kullanılmıştır. Petrokimyasal bazlı olan kompozitlere kıyasla, hint yağı ve kitin nanokristallerden sentezlenen poliüretan biyananokompozitlerin daha kullanılabilir özellikte olduğu belirtilmiştir. Bu kompozit malzemeye nanokristal eklenmesiyle, elde edilen biyananokompozitin şekil geri kazanım performansının arttığı ifade edilmiştir. Tüm bu bulgular doğrultusunda, toksik özellik göstermeden doğal kaynaklardan sentezlenen biyananokompozitlerin biyomedikal uygulamalar için iyi bir

aday olduğu sonucuna varılmıştır Saralegi, A., Rueda, L., Martin, L., Arbelaiz, A., Eceiza, A., & Corcuera, M. A. (2013).

Liu ve arkadaşları, farklı şekil hafızalı poliüretan lif içeriklerine sahip şekil hafızalı poliüretan kumaşları öreerek bu kumaşların torbalanma davranışlarını incelemişlerdir. Sentez için pamuk, likra ve şekil hafızalı poliüretan liflerinin farklı oranlardaki karışımlarından oluşan 7 çeşit iplik hazırlamışlardır. Şekil hafızalı poliüretan ile örülen kumaşların, torbalanma deformasyonu ve şekil geri kazanım özellikleri farklı sıcaklıklarda ölçülerek sıcaklığa karşı duyarlılığı değerlendirilmiştir. Mukavemet test cihazı (Instron5566) kullanılarak bu kumaşların, şekil hafıza özelliklerinin belirlenmesi için torbalanma davranışları incelenmiştir. Elde edilen verilere göre, torbalanma davranışının şekil hafızalı poliüretan liflerinin transfer sıcaklığına ve şekil hafızalı liflerin kumaş içerisindeki oranına bağlı olarak değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Anahtar sıcaklığı yaklaşık 60 °C olan şekil hafızalı lifler kullanılmıştır ve bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda, torbalanmış örme kumaşların daha iyi şekil geri dönüşüm özelliği gösterdiği gözlenmiştir Liu, Y., Lu, J., Hu, J., & Chung, A. (2013).

Pieczyska ve çalışma arkadaşları, SMP Technologies Inc. Firmasının ürettiği şekil hafızalı poliüretan polimerleri, deneysel yöntemlerle incelemişlerdir. Bu malzemeler, oda sıcaklığında farklı uzama oranlarında gerilim testine tabi tutulmuş ve şekil hafızalı polimer numunelerinin sıcaklık değerine bağlı olarak mekanik özelliğindeki değişimler değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, sıcaklık değiştikçe malzemelerin uzama oranının, kalıcı uzamayı hangi yönde etkilediği üzerinde durulmuştur. Materyal parametreleri, şekil hafızalı poliüretan polimerinin tek boyutlu reolojik modeli için belirlenmiştir. Dinamik mekanik analiz (DMA) sonuçlarına göre, polimerin camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) 19 °C, cam elastik modülü ( $E_g$ ) 1500MPa ve kauçuk modülü ( $E_r$ ) 15 MPa olarak belirlenmiştir. Şekil hafızalı poliüretan polimerlerine, farklı koşullardaki gerilme testleri uygulanmıştır. Bu numunelerin mekanik özellikleri ve sıcaklık değişimleri, yüksek kalitede bir mukavemet cihazı ve hızlı bir kızılötesi kamerası yardımıyla ölçülmüştür Pieczyska, E. A., Maj, M., Kowalczyk-Gajewska, K., Staszczak, M., Gradys, A., Majewski, M., Cristea, M., Tobushi, H., & Hayashi, S. (2015).

Yuan ve arkadaşları, içerisinde N,N-bi (2-hidroketil) izonikotinamid (BINA) ve izoforon diizosiyanat (IPDI)'dan sentezlenmiş, piridin bulunduran şekil hafızalı poliüretan polimerinin nem absorpsiyon ve nem duyarlı şekil hafıza davranışlarını incelemişlerdir. Bu malzemenin TGA analizi ile nem absorpsiyonu,

DSC ve DMA analizleri ile nem absorpsiyonunun termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre IPDI-BINA şekil hafızalı poliüretanın nem absorpsiyon özelliğine sahip olduğu ve aynı zamanda nem absorpsiyon oranına bağlı olarak termal ve mekanik özelliklerinin değiştiği belirtilmiştir Yuan, H., Chen, S., Chen, S., & Ge, Z. (2013).

Poliüretanın şekil hafıza etkisi ile viskoelastik özellikleri arasındaki ilişkiyi, Farzaneh ve arkadaşları incelemişlerdir. Bu polimer malzemeye gerilme testleri, %100 deformasyon uygulamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kuvvet-relaksasyon deneyleri yapılarak bu deformasyon altında kalıcı yükler ortadan kaldırılmıştır. Uygulanan deformasyon, soğutma işlemi ile sabitlenmiştir. 30 °C ile 60 °C arasındaki izotermal sıcaklıklarda, şekil geri kazanım testleri gerçekleştirilmiştir. Bir biparabolik model ve Cole-Cole yöntemi ile numunenin viskoelastik davranışı incelenmiştir. Dinamik mekanik termal analiz (DMTA) ve geri kazanım testi uygulanmış polimer ile herhangi bir işleme tabi tutulmayan ham polimer kıyaslanmıştır. Analiz ve testlerden geçen polimerin ilk şeklini kazandığı, fakat başlangıçtaki özelliklere sahip olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuç, aynı örneğe üç defa daha şekil hafıza testi uygulanarak teyit edilmiştir Farzaneh, S., Fitoussi, J., Lucas, A., Bocquet, M., & Tcharkhtchi, A. (2013).

Han ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, pellet tipi MM-3520 şekil hafızalı poliüretan nano yapısındaki kalınlık ve gözeneklerin, çevresel faktörler karşısındaki tepkileri üzerinde incelemeler yapmışlardır. Elektrostatik lif çekim yöntemi ile üretilen farklı kalınlıklardaki nano yapılardan, çeşitli gözenek çaplarına sahip membranlar elde edilmiştir. Alan emisyon taramalı elektron mikroskopu (FE-SEM) ile nano yapıların üniformite ve lif çapları karakterize edilmiştir. Porometre cihazı ile gözenek boyutu ve dağılımları, üç farklı aşamada (germe öncesi, %50 uzama sonrası ve numuneler orijinal şekillerine döndükten sonra) ölçülmüştür. Ayrıca, ölçüm ve analizleri yapılan numunelerin şekil hafıza performansı, hava ve su geçirgenlik oranları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler ile bütün numunelerin en az %99 şekil geri kazanım oranına ve %94 şekil tutma özelliğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Kalınlık ile şekil tutma özelliği doğru orantılı, şekil geri kazanım özelliği ise ters orantılı olacak şekilde değişmiştir. Aynı zamanda kalınlık artarken gözenek boyutunun azaldığı gözlenmiştir. Dolayısıyla hava ve su buharı geçirgenliği değerinde de bir düşüş yaşanmıştır. Üzerinde çalışılan bu numune orijinal nano yapılar ile kıyaslandığı zaman, gerilmiş nano yapıların 10 °C %90 bağıl nem ve 15 °C %90

bağlı nem şartlarındaki su buharı geçirgenlik değerlerinde büyük farklılıklar olduğu belirtilmiştir Han, H. R., Chung, S. E., & Park, C. H. (2013).

Şekil hafızalı polimerlerle ilgili gerçekleştirdiğimiz bir çalışmada, matris olarak poli (vinil alkol) (PVA) polimeri kullanılmıştır. Hummers yöntemi ile üretilen indirgenmiş grafen oksit (rGO) ve grafen oksit (GO) dolgu maddesi olarak kullanılarak yeni tip şekil hafızalı nanokompozit malzemeler elde edilmiştir. Üretilen nanokompozitlerin, şekil hafıza performanslarını iyileştirmek ve geliştirmek için farklı dolgu maddeleri farklı oranlarda kullanılarak nanokompozit malzemeler üretilmiş ve dolgu maddelerinin, nanokompozit malzemelerin şekil hafıza özelliğini, yapısal, termal ve morfolojik özelliklerini nasıl etkilediği yönünde çalışmalar yapılmıştır. Malzemelerin termal karakterizasyonunu incelemek için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) cihazları kullanılmıştır. Yapısal karakterizasyon analizi, X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektrometresi (FT-IR) ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, malzemelerin kimyasal karakterizasyonu enerji dağılım spektrometresi (EDS) ile yüzey morfolojisi ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Üretilen nanokompozit malzemelerin şekil hafıza performansları, bükülme testi ile belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, şekil kararlılığı ve şekil hatırlama oranlarının katkı maddesi oranı arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ortalama %90 üzerinde şekil hafıza performansına sahip polimer nanokompozitlerin, özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımı için uygun olduğu belirtilmiştir Canbay, C. A., & Ünlü, N. (2021).

## SONUÇ

Şekil hafızalı polimerlerin avantajları, hızlı gelişimi ve geniş çaplı araştırılması nedeniyle oldukça fazladır. Şekil hafızalı polimerlerde farklı uyarıların kullanılabilmesi bu avantajlardan biridir. Bu malzemelerde şekil geri dönüşüm için tetikleyici olarak ısı haricinde ışık, manyetik alan, elektrik alanı ve kimyasal madde gibi birçok alternatif dış kuvvet kullanılabilir. Bu malzemelerde programlama, tek ve çoklu adım süreçleri ile yapılabildiğinden dolayı yapıları oldukça esnektir. Ayrıca bu malzemelerin yapısal tasarımlarının



yelpazesi de geniştir. Farklı türdeki şekil hafızalı polimerlerin, ağ noktası ve anahtar tasarımları için birçok yaklaşım mevcuttur. İhtiyaca bağlı olarak farklı şekil hafıza etkisi oluşturmak için farklı polimerler ve yabancı dolgu malzemeleri de kullanılabilir. Şekil hafızalı polimerler, ayarlanabilir özelliktedirler. Yani farklı karıştırma ve sentezleme metotları ile çok kolay bir şekilde düzenlenip ayarlanabilen doğru kompozit malzemeler üretilebilir.

Bu malzemelerin bir diğer avantajı ise tıbbi, biyolojik ve konfeksiyon entegre cihazlar için son derece uygun yapıda olmasıdır. Yüksek derece biyoyumlu, akıllı cihazlar yapmak için esnek ve yumuşak materyaller olan şekil hafızalı polimerler kullanılmaktadır. Şekil hafızalı polimerler, hem kontrol edilebilir bozunma oranına sahip hem de ilaç taşıyıcıları olarak biyoyumlu ve geri dönüşümlü malzemelerdir. Genellikle bu malzemeler termo/kemo duyarlı şekil hafıza özelliğine sahip polimerlerdir. Dolayısıyla bazı şekil hafızalı polimerler (poliüretan, polistiren gibi), geleneksel şekil hafıza özelliği ile sınırlı değildir. Özellikle biyomedikal mühendisliği alanında kullanılan polimerler içerisinde yüksek ölçüde şekil hafıza etkisi sağlamak mümkündür. Örneğin, yumuşak ve esnek vinil asetat ile etilenin bir kopolimeri olan etilen vinil asetat (EVA) ve geri dönüşümlü polilaktik asit (PLA), biyomedikal mühendislik uygulamalarında kullanılan ideal malzemelerdir. Yüksek derecede şekil hafıza özelliğine sahip olan bu iki polimer, ameliyat dikiş ipliği ve stent gibi implantlar içerisinde kullanılarak ikinci operasyon ihtiyacını ortadan kaldırmaktadırlar.

Büyük hacme sahip olup da yer işgal eden ve aynı zamanda hafif olan şekil hafızalı polimerler, özellikle havacılık alanında (hava kuvvet ürünleri, uçak parçaları) avantajlara sahiptir. Şekil hafızalı polimerler hafifliği nedeniyle NASA ve ABD Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı tarafından, şekil hafızalı alaşımlara kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Çünkü bu uygulama alanında, sürekli ve kontrollü bir şekil geri kazanım süreci gerekmektedir. Aşırı hızlı gerçekleşen şekil geri dönüşüm olayı, uzayda uydu titreşimine ve dolayısıyla da hasara sebebiyet verebilir.

Sunulan bu çalışmada, tıp, biyomedikal, mühendislik, endüstri, savunma sanayi gibi birçok alana hizmet veren şekil hafızalı polimerlerin yapısı ve mekanizması hakkında bilgi verilmiştir. Şekil hafızalı polimerler arasında biyobozunur, toksik olmayan, biyoyumlu, çevre dostu gibi birçok üstün özelliğe sahip malzemelerin var olduğu göz önüne alınarak, bu malzemeler üzerine yapılan çalışmaların detaylandırılmasının bilimsel açıdan önem arz ettiği düşünülmektedir.

**KAYNAKÇA****KAYNAKÇA**

- Vernon, L. B., & Vernon, H. M. (1941). U.S. Patent No. 2,234,993. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- LIU, C., QIN, H., & MATHER, P. T. (2007). *Review of progress in shape-memory polymers*. Journal of Materials Chemistry, 17(16), 1543-1558. <https://doi.org/10.1039/b615954k>
- Malekmohammadi, S., Hadadzadeh, H., Rezakhani, S., & Amirghofran, Z. (2019). *Design and synthesis of gatekeeper coated dendritic Silica/Titania mesoporous nanoparticles with sustained and controlled drug release properties for targeted synergistic chemo-sonodynamic therapy*. ACS Biomaterials Science & Engineering, 5(9), 4405-4415. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.9b00237>
- Wang, N. X., & von Recum, H. A. (2011). *Affinity-based drug delivery*. Macromolecular Bioscience, 11(3), 321-332. <https://doi.org/10.1002/mabi.201000206>
- Wei, Z. G., Sandstrom, R., & Miyazaki, S. (1998). *Shape-memory materials and hybrid composites for smart systems. part I shape-memory materials*. Journal of Materials Science, 33(15), 3743-3762. <https://doi.org/10.1023/A:1004692329247>
- Wei, Z. G., Sandstrom, R., & Miyazaki, S. (1998). *Shape memory materials and hybrid composites for smart systems: Part II Shape-memory hybrid composites*. Journal of materials science, 33, 3763-3783.
- Leng, J., Lan, X., Liu, Y., & Du, S. (2011). *Shape-memory polymers and their composites: Stimulus methods and applications*. Progress in Materials Science, 56(7), 1077-1135. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.03.001>
- Behl, M., & Lendlein, A. (2007). *Shape-memory polymers*. Materials Today (Kidlington, England), 10(4), 20-28. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(07\)70047-0](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(07)70047-0)
- Lam Po Tang, S., & Stylios, G. K. (2006). *An overview of smart technologies for clothing design and engineering*. International Journal of Clothing Science and Technology, 18(2), 108-128. <https://doi.org/10.1108/09556220610645766>
- Leng, J., & Du, S. (2010). *Overview of shape-memory polymers*. In J. Leng, & S. Du (Eds.), Shape-memory polymers and multifunctional composites (pp. 11-30). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420090208-5>

- Hu, J., Zhu, Y., Huang, H., & Lu, J. (2012). *Recent advances in shape–memory polymers: Structure, mechanism, functionality, modeling and applications*. Progress in Polymer Science, 37(12), 1720-1763. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.06.001>
- Behl, M., & Lendlein, A. (2007). *Actively moving polymers*. Soft Matter, 3(1), 58-67. <https://doi.org/10.1039/B610611>
- Nahid, M. N. H., Wahab, M. A., & Lian, K. (2011). *Degradation of shape memory polymer due to water and diesel fuels*. Mechanics of time-dependent materials and processes in conventional and multifunctional materials, volume 3 (pp. 37-48). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0213-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0213-8_7)
- Shi, Y. (2013). *High temperature shape memory polymers & ionomer modified asphalts*. The University of Akron.
- Budun, S., İşgören, E., Erdem, R., & Yüksek, M. (2016). *Morphological and mechanical analysis of electrospun shape memory polymer fibers*. Applied Surface Science, 380, 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.235>
- Kumar, B., Hu, J., & Pan, N. (2016). *Memory bandage for functional compression management for venous ulcers*. Fibers, 4(1), 10. <https://doi.org/10.3390/fib4010010>
- Safranski, D. L., Boothby, J. M., Kelly, C. N., Beatty, K., Lakhera, N., Frick, C. P., Lin, A., Guldberg, R. E., & Griffis, J. C. (2016). *Thermo-mechanical behavior and structure of melt blown shape-memory polyurethane nonwovens*. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 62, 545-555. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.05.038>
- Zhang, F., Zhang, Z., Zhou, T., Liu, Y., & Leng, J. (2015). *Shape memory polymer nanofibers and their composites: Electrospinning, structure, performance, and applications*. Frontiers in Materials, 2https://doi.org/10.3389/fmats.2015.00062
- Saralegi, A., Rueda, L., Martin, L., Arbelaiz, A., Eceiza, A., & Corcuera, M. A. (2013). *From elastomeric to rigid polyurethane/cellulose nanocrystal bionanocomposites*. Composites Science and Technology, 88, 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2013.08.025>
- Liu, Y., Lu, J., Hu, J., & Chung, A. (2013). *Study on the bagging behavior of knitted fabrics by shape memory polyurethane fiber*. Journal of the Textile Institute, 104(11), 1230-1236. <https://doi.org/10.1080/00405000.2013.790581>
- Pieczyska, E. A., Maj, M., Kowalczyk-Gajewska, K., Staszczak, M., Gradys, A., Majewski, M., Cristea, M., Tobushi, H., & Hayashi, S. (2015). *Thermomechanical*

- cal properties of polyurethane shape memory polymer-experiment and modelling.* Smart Materials and Structures, 24(4), 45043-16. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/24/4/045043>
- Yuan, H., Chen, S., Chen, S., & Ge, Z. (2013). *Studies on moisture-sensitive shape memory behavior of IPDI–BINA based polyurethane.* International Journal of Chemical Engineering and Applications (IJCEA), , 191-193. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2013.V4.292>
- Farzaneh, S., Fitoussi, J., Lucas, A., Bocquet, M., & Tcharkhtchi, A. (2013). *Shape memory effect and properties memory effect of polyurethane.* Journal of Applied Polymer Science, 128(5), 3240-3249. <https://doi.org/10.1002/app.38530>
- Han, H. R., Chung, S. E., & Park, C. H. (2013). *Shape memory and breathable waterproof properties of polyurethane nanowebs.* Textile Research Journal, 83(1), 76-82. <https://doi.org/10.1177/0040517512450757>
- Canbay, C. A., & Ünlü, N. (2021). *Production and characterization of shape memory polymeric nanocomposite materials.* Journal of Molecular Structure, 1227, 129708. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129708>

## 5. BÖLÜM

### TÜRKİYE’DE YETİŞTİRİLEN YAĞLI TOHURLU BİTKİLER VE KULLANIM ALANLARI

Öğr. Gör. Dr. Emin ÖZDEMİR

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,*

*Mühendislik Bilimleri Bölümü*

emin.ozdemir@iuc.edu.tr,

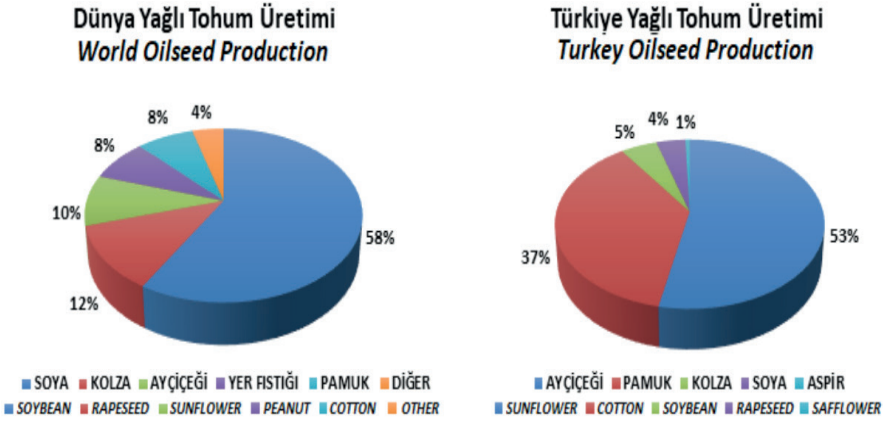
ORCID:0000-0002-6517-9270

#### GİRİŞ

Tarih boyunca bitkiler, özelliklerine göre birçok alanda kullanılmışlardır. Çeşitli sanayilerde işlenerek kullanıma hazır hale getirilen bitkisel ürünlerin elde edildiği bitkilere “endüstriyel bitkiler” denir. Endüstriyel bitkiler; lif bitkileri, orman bitkileri, boya ve tanen bitkileri, lateks (kauçuk ve benzeri ürünler) veren bitkiler, yağ, mum, şeker, nişasta ve selüloz ürünleri elde edilen bitkiler şeklinde sıralanabilir. Bunlardan günümüzde önemi daha da artan yağlı tohumlu bitkiler; tıp, gıda, kozmetik, boya endüstrisi ve biyodizel gibi sanayiinin birçok alanında kullanılmaktadır. Türkiye, sahip olduğu iklim şartları ve toprak çeşitliliğinden dolayı yağlı tohum bitki üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir. (Yurtvermez ve Gıdık, 2021). Dünyada ve ülkemizde nüfus artışına paralel artan ihtiyaçların tetiklediği ekonomik büyümeden dolayı enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Verilere göre 2016 yılında ülkemizdeki yenilenebilir enerji gücünün yaklaşık 35 GW olduğu ve toplam elektrik enerjisinin %35’inin yenilenebilir kaynaklarından karşılandığı tespit edilmiştir. Mevcut durum ve 2023 yılına kadar geçen sürede elektrik tüketiminin ikiye katlanacağı düşünül-

düğünde, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin giderek artması beklendiğinden, bu konuda yeni yatırımların gerekliliği görülmüştür. Bu yüzden, biyoenerji üretimine kaynak olacak bitki türlerine yeterli önem gösterilerek biyokütleden gereğince faydalanılmalıdır. Ülkemizin sahip olduğu potansiyel göz önüne alındığında, biyogaz ve biyodizel gibi yenilenebilir enerji elde etmek için çok elverişli koşullara sahip olduğu görülmüştür (Sezek, 2018).

Yeryüzünde yabani ve tarımsal faaliyet sonucu yetişen, meyve kısmında veya çoğunlukla tohumlarında yağ bulunduran birçok bitki vardır. Bunlardan yağlı tohumlu bitkiler, yağ üretimi için yetiştirilerek, dünya ham yağ üretiminin %92’lik kısmı karşılanır. Genel olarak tohumlarından ham yağ elde edilen bitkiler; soya, ayçiçeği, çığit (pamuk tohumu), kolza, yer fıstığı, susam, aspir, hintyağı, haşhaş, keten, kenevir, jojoba, mısır (mısır özünden), zeytin, hurma (palm) ve hindistan cevizi (coco) şeklinde sıralanabilir. 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 yağlı tohum üretimi 554 milyon ton ve ham yağ üretimi ise 187 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl Türkiye’de 2,9 milyon ton yağlı tohum üretimi ve 786 bin ton ham yağ üretimi gerçekleşmiştir. 2017 yılında ise dünyada 575 milyon ton yağlı tohum üretimi yapılırken, 194 milyon ton ham yağ üretimi yapılmıştır. Aynı yıl Türkiye’de ise 3,8 milyon ton yağlı tohum üretimi ve akabinde 850 bin ton ham yağ üretimi yapılmıştır (Arioğlu, 2014; Onat vd., 2017; Kılılı ve Beycioğlu, 2019). Diğer yandan ülkemizde üretilen yağlı tohum ve ham yağ miktarının yeterli olmamasından dolayı 2015-2017 yıllarını kapsayan 3 yıllık ortalamaya göre 1,4 milyon ton bitkisel yağ ithalatına karşılık 1,5 milyon dolar ödenmiştir (Kılılı ve Beycioğlu, 2019). 2019-2020 verilerine göre dünyada üretilen 595 milyon ton saf yağın %65’lik oranı soyadan üretilmiştir. Aynı yıllarda Türkiye’de üretilen bitkisel ham yağ toplam 3,5 milyon ton civarındadır (Yurtvermez ve Gıdık, 2021). Genel olarak, Türkiye’nin ihtiyacı olan yağlı tohumun %53’ü ayçiçeği ekiminden karşılarken, dünya yağlı tohum ihtiyacının %58’i soya tarımından karşılamaktadır (Şekil 1) (Yılmaz vd., 2021).

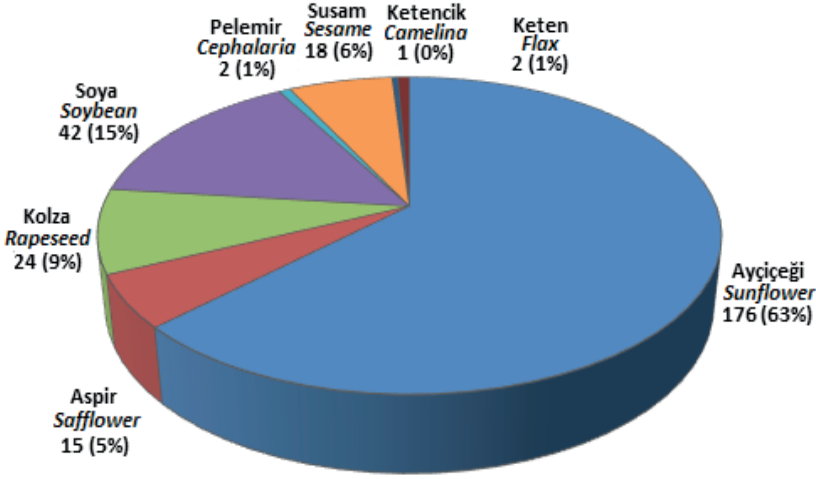


**Şekil 1.** Dünyada ve Türkiye’de yağlı tohum üretim oranları  
(Yılmaz vd., 2021)

Farklı iklim koşulları gereksiniminden dolayı, jojoba, hurma ve hindistan cevizi dışındaki yağlı tohumlu bitkilerin hepsinin yetişebildiği Türkiye’de bitkisel yağlar, ayçiçeği, soya, zeytin, aspir, haşhaş, kolza, susam, çiğit, yerfıstığı ve mısır bitkilerinden elde edilmektedir (Gulluoglu vd., 2017). Ülkemizde yağlı tohum üretiminin yaklaşık %81,6’sı ayçiçeği ve çiğit bitkilerinden sağlanmaktadır (Onat, 2017). 2019 yılı verilerine göre ülkemizde, yaklaşık 1,9 milyon ton ayçiçeği, 1,32 milyon ton pamuk (çiğit), 180 bin ton kolza, 150 bin ton soya, 21,9 bin ton aspir ve susam 16,9 bin ton susam üretimi yapılmıştır. Bu verilere göre 2019 yılında yaklaşık 3,6 ton yağlı tohumlu bitki üretilmiştir (TÜİK, 2020; Yılmaz vd., 2021).

Ülkemizde ekilen alternatif yağ bitkilerinden, aspir, keten, ketencik, susam ve pelemir bitkilerinin üretimi, yoğun olarak üretilen başta ayçiçeği olmak üzere pamuk, soya ve kolza bitkileri ile karşılaştırıldığında oldukça yetersiz kaldığı görülmektedir (Şekil 2) (Yılmaz vd., 2021). Türkiye’de yağlı tohum üretiminin yetersizliğinden dolayı her sene ciddi miktarlarda yağlı tohum ve yağ, küspe vb. türevleri ithal edilmektedir. Özellikle son yıllarda, petrolden sonra en fazla döviz ödemesi ayçiçeği, soya, pamuk, kanola ve aspir bitkilerinin yağlı tohum ve türevlerinin ithalatına yapılmıştır. AB ülkeleri ve ABD’ de tarım alanlarının %30’u yağlı tohum üretimine ayrılırken ülkemizde bu oranın %4’lerde kalması dışa bağımlılığımızın temel nedeni olup, bu oranın %15 düzeylerine ulaşması,

üretiminde 7-8 milyon ton civarında olması gerekmektedir. Ayrıca günümüzde en çok yağlı tohum ithalatı yaptığımız Rusya ve Ukrayna, artık tohum yerine bitkisel yağ ihracına başlamışlardır. Ülke olarak gelecekte yetersiz tohumdan dolayı yağ üretim ve işleme tesislerinin durması, bitkisel yağ üretiminin azalması gibi sıkıntılar yaşamamak için ülkemizdeki mevcut potansiyeli değerlendirilerek, gerekli yağlı tohum bitkilerini yetiştirmek zorundayız (Onat 2017).



Şekil 2. Türkiye’de yağ bitkileri tescilli çeşit sayısı (Yılmaz vd., 2021)

Türkiye’de ham bitkisel yağ, yağlı tohum küspesi, çeşitli endüstriyel hammaddeler ve biyodizel hammadde ihtiyacını karşılamanın yolu, yağlı tohum bitkisi tarımını, Trakya bölgesinin yanında, İç Anadolu, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde de başlatıp, genişletmekten geçmektedir. Diğer yandan Türkiye’de başta ayçiçeği ve soya fasulyesi olmak üzere yağlı tohum bitkilerinin yetiştiriciliğinde birincil etken sulama olduğundan, yeterli düzeyde yağışın olduğu bölgelerde daha çok yetiştirilmektedir. Yeterli yağış alan tarım alanlarımızın azlığı ve verim artışı ile de mevcut bitkisel yağ açığının kapatılması mümkün görülmediğinden, tek çözüm, alternatif yağ bitkilerinin yaygınlaştırılması görülmektedir. Ayrıca Türkiye’nin her bölgesinde yağ bitkisi yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapılabilmesi için alternatif yağ bitkilerinin tarımının geliştirilmesi gerekir (Arıoğlu vd., 2010; Katar vd., 2011; Arslan vd., 2012; Katar vd., 2012; Arslan vd., 2014; Subaşı vd., 2021; Yılmaz vd., 2021).



Bunların dışında ülkemizin yerli bitkilerinden olan, fakat nadiren yağı için yetiştirilen, yağ şalgamı, ızgım, hardal ile kenevir ve hintyağı değerli yağ bitkilerindendirler. Ülkemizde henüz üretilmeyen fakat dünya genelinde üretimi yapılan çufa ve jojoba gibi bitkiler diğer bitkisel yağ kaynaklarıdır. Bunların yanında, çay tohumu, tütün tohumu, domates çekirdeği ve üzüm çekirdeği gibi meyveden arta kalan yan ürünler, gıda dışı alanlarda kullanılabilecek yağ kaynakları olarak dikkate alınmalıdır (İlisulu, 1974; Serim & Akgül). Bu çalışmanın amacı; sürdürülebilir üretim açısından dünyada ekonomik ve ekolojik bakımından kritik bir öneme sahip olan yağlı tohumlu bitkiler ve onların başta ham yağ olmak üzere diğer türevleri ile endüstriyel kullanım alanları ile ilgili yapılan çalışmaları inceleyerek derlemektir.

## 1. TÜRKİYEDE YETİŞTİRİLEN YAĞLI TOHURLU BİTKİLER

### 1.1. Ayçiçeği

Türkiye’de yağlı tohumlu bitkileri arasında, gerek ekim alanı, gerekse yağ üretim ve tüketimi açısından ilk sırayı ayçiçeği bitkisi (Resim 1) alır (Yılmaz vd., 2021). Ayçiçeği, içerdiği yüksek orandaki (% 40-52) yağ miktarı nedeniyle dünyada genelinde uygun iklime sahip birçok ülkede yetiştirilen, ham yağ bakımından önemli bir yağ bitkisidir. Tohumları yüksek düzeyde karbonhidrat, protein, vitamin ve mineral maddeler içerir (Meral, 2019). Ayçiçeği bitkisi ülkemizin değişik bölgelerinde, günebakan, gündöndü ve gün çiçeği adları ile anılmaktadır. Son yıllarda dünya ayçiçeği üretimi 23 milyon ton civarında olup, Türkiye gerek üretim, gerekse ekim alanı bakımından dünyada ilk on ülke arasındadır. Ülkemizde genel olarak Trakya ve Marmara Bölgesinde yoğunlaşan yağlık ayçiçeği üretiminin %47’lik kısmı ile Edirne ve Tekirdağ illerinde elde edilmektedir. Günümüzde dünya bitkisel ham yağ üretiminin %12,6’sı ayçiçeğinden karşılanmaktadır. Türkiye’de ise bitkisel ham yağ üretiminin %46,7’si ayçiçeğinden karşılanmaktadır. Ülkemizde yıllık ortalama 220-380 bin ton ayçiçeği yağı üretilmektedir (MEB, 2016).



**Resim 1.** Ayçiçeği bitkisi ve tohumları

Ayçiçeğinin çekirdeklerinden elde edilen açık sarı renkli ayçiçeği yağı; bol miktarda doymamış yağ asitlerini içeren ve genelde gıda maçlı kullanılan, hafif bir tadı olan bitkisel yağdır. Dünyada üretilen ilk dört bitkisel yağ içindedir. Bitkisel yağlardaki yağ asitleri genel olarak trigliserit’e bağlanmış gliserin’den meydana gelir. Genel olarak ayçiçek yağı, %85 doymamış, %15 doymuş yağ asidi içerir. Doymamış yağ asitleri, %14-43’ü oleik asit (omega-9), %44-75’i linoleik asit (omega-6) ihtiva ederler. Bitkisel yağlarda kaliteyi yükselten linoleik asit; ayçiçek yağının doyunluğunu düşürüp, kana geçmesini ve hazmını kolaylaştırırken, hücre zarı yapısına geçtiğinde ise kolesterolü düşürür. Ayrıca ayçiçek yağı maksimum % 0.7 linolenik asit (omega-3) içermektedir (Kolsarıcı vd., 1995; Meral, 2019).

Tohumlara göre farklılık göstermekle beraber, geleneksel tohumlardan elde edilen ayçiçek yağları % 48-74 arasında doymamış yağ asidi içerir. Yapısında %1,8’den az serbest yağ asitleri ihtiva eden ayçiçeği yağı yüksek düzeyde E vitamini içerir. Bununla beraber %10 civarında doymamış yağ asidi içeren ‘‘yüksek oleik ayçiçeği’’ bitkisinden elde edilen yağdaki doymamış yağ asitlerin oranı geleneksel olandan çok daha düşüktür. Fakat yüksek oleik yağ içeriğinden dolayı yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır. Ayrıca düşük donma derecesi (-17 ila -18 C) ayçiçeği yağına önemli avantajlar sağlar (Kolsarıcı vd., 1995; Anjum vd., 2012). Ayçiçek yağında; %0.025-0.31 hidrokarbonlar, % 0,542-0,584 steroller, %0,008-0,044 vakslar şeklinde bulunan, mikrop ve iltihap önleyici, böcek öldürücü gibi biyolojik özellikleri olan sekonder metabolitler ekolojik ve tıbbi bakımdan önemli sabunlaşmayan maddelerdir (Aschenbrenner, 2016; Meral, 2019).

## 1.2. Soya Fasulyesi

Baklagillerden olan soya fasulyesinin (Resim 2), özellikle insan sağlığı ve beslenmesi açısından önemli bir yeri olduğunun anlaşılması ile başta ABD olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde üretimi ve tüketimi yaygınlaşmıştır (Bayar ve Mutlu, 2005). Muhteşimiyatında %18-24 oranında yağ, %35-45 oranında protein, %13 su, %10 serbest N-ekstraktı, %6 lif, %5 kül bulunan soya fasulyesi, %30 karbonhidrat ve %5 oranında mineral ve çok sayıda vitamin içerir (Bockisch, 1997). Çoklu doymamış yağ asitleri, omega-3, B vitamini, demir, çinko, anti-oksidanlar, fotokimyasallar ve lif bakımından zengin bir bitkidir. Linolenik yağlar arasında bulunan soya yağının, %4-11 linolenik asit (omega-3), %17-30 oleik asit (omega-9), %44-62 oranında linoleik asitten (omega-6) mürekkep doymamış yağ asidi içeriğinin yanı sıra, %8-13,5 palmitik asit ve %4,5-11 stearik içeriği ile toplam doymuş yağ asidi oranı %9-20 civarındadır (Tosun 2003; Hoşgün, 2015). Soya yağı, yüksek orandaki linoleik ve linolenik asit içeriğinden dolayı doymamış yağ asidi bakımından diğer yağlara nazaran zengin olduğundan en iyi bitkisel yağlardan biridir (Bockisch 1997). İnsan vücudu tarafından üretilemediğinden dolayı besinler ile alınabilen temel yağ asitlerinden linoleik (omega-6) ve linolenik (omega-3) asitleri bakımından önemli besin kaynağıdır (Hoşgün, 2015).



**Resim 2.** Soya fasulyesi bitkisi ve tohumları

Diğer bitkisel yağlar gibi kolesterol içermeyen soya yağı, önemli düzeyde de protein içerir. Soya proteinlerinin kanser ve kalp hastalıkları gibi kronik birçok hastalıkla mücadelede önemli bir yeri olduğu uzmanlarca belirtilmektedir

(Tosun 2003). Araştırmalar sonucunda soya fasulyesinin, kollesterolü düşürdüğü ve kronik kalp hastalıklarına faydalı olduğu (Lucas vd., 2001), kanser hücrelerinin büyümesini engellediği ve osteoporoz (kemik erimesi) riskini düşürdüğü (Arjmandi vd.,1998), kronik böbrek rahatsızlıklarına iyi geldiği (Ranich vd., 2001) açıklanmıştır (Bayar ve Mutlu, 2005).

### 1.3. Pamuk

Ülkemizde pamuk, öncelikle lif elde etmek için yetiştirilmekle birlikte tohumlarından önemli bir miktarda yağ elde ettiğimiz bir bitkidir (Resim 3). Türkiye’de orta lifli pamuklar yetirilmekte olup, ortalama lif randımanının %35-40 civarında olmasından dolayı toplanan kütlünün %60’ı, içeriğinde %17-24 civarında yağ içeren çiğittir (pamuk tohumu). Pamuk tohumu (çiğit), çevresi sert bir kabukla sarılı yağ içeren bir çekirdeğe sahiptir (Kolsarıcı vd., 2005). Ülkemizde; Çukurova, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Antalya ve Ege Bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen pamuk, geçmişi 5000 yıl öncesine dayanan ve tarihte lifi işlenen ilk bitkidir. Dünyada genelinde Türkiye, pamuk ekiminde yedinci; pamuk üretim ve tüketiminde altıncı, lif verimi ve pamuk ithalatında ise dördüncü sıradadır. Ülkemizde yetiştirilen yerel çiğitler % 30-40 oranında yağ içerirken, bu durum çeşit ve bölgeye göre farklılıklar gösterir. Kabuklu durumda, havlı tohumlar % 17-24, havsız tohumlar % 20-30; iç ise % 33-42 oranlarında yağ ihtiva eder. Tohumların içerdiği protein ise; kabuklu durumda % 20-40 ve iç olarak %40-50 oranlarında değişirken, embriyo ortalama %38-39 civarında protein içerir. (Buser ve Abbas, 2001; Saraç, 2011).



**Resim 3.** Pamuk bitkisi ve tohumları (çiğit)

Kendine has kokusu ve tadı olan pamuk yağı (çiğit yağı), çiğitlerin (pamuk tohumları) sıkılması ile elde edilen kırmızı-kahverengi tonunda koyu renkli yemeklik bir yağdır. Çin'in %32'lik oran ile ilk sırada yer aldığı pamuk yağı üretiminde, Türkiye % 3 oran ile dünyada dördüncü sıradadır. Çiğit yağı, dünya bitkisel yağ üretimi açısından beşinci sırada yer alırken, protein kaynağı olarak, soyadan sonra ikinci sıradadır. Yanma derecesi yüksek olan çiğit yağı, soğuk ortamlarda ve buzdolabında saflık derecesine göre farklı sıcaklıklarda donarak katılaşır. Çiğit yağı, % 13-44 oleik (omega-9) ve % 33-58 linoleik asit (omega-6) oranlarında yüksek miktarda doymamış yağ asidi içerirken, % 17-29 palmitik asit oranında doymuş yağ asidi içerir. Ayrıca çiğit yağı % 0,1-2,1 civarında linolenik asit (omega-3) ihtiva eder (Saraç, 2011).

Antioksidan içeriği yüksek ve besleyici özelliği olan çiğit yağı, diğer yağlara kıyasla daha az kolesterol ve trans yağ ihtiva ettiğinden dolayı insan vücudunun total kolesterol seviyesini dengelenmesine yardımcı olan sağlığa faydalı bir yağdır. Bağışıklık sistemini güçlendiren antioksidanlar, kanser ve diğer hastalıklara karşı bağışıklık sisteminin güçlenmesini sağlar. Çiğit yağındaki yüksek linoleik asit (omega-6), LDL kolesterolünün sağlığa zararlı etkilerine karşı kalp sağlığını muhafaza ederken, oleik asit ise, iyi kolesterol olarak bilinen HDL oluşumuna katkı sağlar. Yüksek E vitamini içeriğinden dolayı, hafızanın güçlenmesi, sinir sisteminin işleyişinin düzenlenmesi, yaraların ve hücre hasarlarının tedavisinde etkilidir. Ayrıca 100 gramında yaklaşık 882 kalori ihtiva eden yüksek kalorili çiğit yağı, potasyum, sodyum ve kalsiyum mineralleri de içerir. Yüksek kalori içeriğine rağmen trans yağ içermemesinden dolayı kilo vermeye yardımcı olur. Diğer yandan çiğit yağı bünyesinde yüksek sıcaklığa duyarlı gossipol maddesi içerir. Pamuk bitkisini böcek hasarlarına karşı koruyan, koyu renkli toksik bir madde olan gossipol, rafine işlemi ile açık renkli çiğit yağından uzaklaştırılır.

#### 1.4. Haşhaş

Anavatani ön Asya'dan dünyaya yayılan haşhaş, uyuşturucu madde üretiminde binlerce yıldır kullanılan stratejik bir kültür bitkisidir (Resim 4). Haşhaşın kapsül kabuğu ve tohumları, ekonomik değeri olan en önemli iki kısmıdır. Bitkinin meyvesi olan kapsülü başta olmak üzere, dalları ve yaprakları uyuşturucu madde içeren alkaloidleri içerirken, kapsül içindeki tohumları hiç alkaloid içermez. Türkiye'de en fazla, sarı, beyaz ve mavi olmak üzere üç farklı renkte

haşhaş tohumu ekimi yapılmaktadır (İpek ve Arslan, 2012; MEB, 2016). Tohumları yaklaşık %50 civarında yağ içeren ve ülkemizde alkaloid üretimi için tarımı yapılan haşhaşın ekimi için izin alınması gerekmektedir (Kolasarıcı vd., 2005).



**Resim 4.** Haşhaş bitkisi ve kapsülü içindeki tohumları

Haşhaş, alkolit içeren kapsülü ve yağ içeren tohumlarından dolayı hem tıbbi, hem de önemli bir yağ bitkisi olmasından dolayı rekabet gücü yüksek, milli bir servetimizdir. Tohumları % 45-54 arasında yağ, %20-30 arasında protein içeren ve önemli bir E vitamini kaynağı olan haşhaş, lif ve lesitin bakımında da zengin bir bitkidir (İpek ve Arslan, 2012). Haşhaş bitkisinin kapsülünden “afyon” adı verilen uyuşturucu elde edilirken, kapsül içindeki tohumlarından da haşhaş yağı olarak anılan yenilebilir bir yağ elde edilir. Haşhaş yağı, %60-75 gibi yüksek seviyedeki linoleik asit (omega 6) içeriğinin yanında zengin oleik asit (omega 9) içeriğine sahiptir (Kolasarıcı vd., 2005; İpek ve Arslan, 2012). Yüksek oranda E vitamini (alfa-tokoferol) içeriği yanı sıra tokoferolce zengin olan ve antioksidan etkiye sahip olan haşhaş yağı, magnezyum, potasyum ve kalsiyum içerir. Bozan ve Temelli, 100 gr haşhaş yağında 30,9 mg gama-tokoferol ile alfa ve gama tocotrienols içeriği raporlamıştır (Bozan ve Temelli, 2008; İpek ve Arslan, 2012)

### 1.5. Yerfıstığı

Ülkemizde genellikle Çukurova Bölgesinde yetiştirilen, baklagillerden olan yerfıstığı (Resim 5), yağ bitkisi olmasının yanında çeşitli sanayi kolları

için hammadde kaynağıdır. Üretim miktarı açısından dünyada, soya, pamuk ve kolzadan sonra dördüncü sıradadır (Parlakay ve Alemdar, 2011). Kabuk ile çevrelenmiş iki tane kotiledon ve bir tane embriyodan oluşan yerfıstığı tohumunun, ağırlıkça ortalama % 93'ü kalitedonlardan oluşurken, % 4'ü tohum kabuğundan ve % 3'ü embriyodan oluşur. Tohumlarında yüksek düzeyde yağ (%44-56), protein (% 22-30), karbonhidrad (%18-20), vitaminler ve madensel maddeler içermesinin yanında proteinleri oluşturan amino asitlerin sindirimi kolaylaştırmasından dolayı beslenmede önemli bir yere sahiptir (Kolsarıcı vd., 2005). Zengin protein içeriği olan tohumların en çok içerdiği, aspaktik asit, glutamik asit ve arginin gibi yerfıstığı proteinleri, metionin vb. kükürt ihtiva eden amino asitler bakımından fakirdir (Kadiroğlu, 2008). Ortalama % 18 oranında karbonhidratın yanında çok miktarda potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfor, kükürt, çinko ve demir gibi minerallerle beraber A, B, K ve E vitaminleri bakımından da oldukça zengindir (Kadiroğlu, 2008). Yüksek miktarda E vitamini ile birlikte riboflavin, nikotinik ve tiyamin asit ihtiva eder (Kolsarıcı vd., 2005; MEB, 2016).



**Resim 5.** Yer fıstığı bitkisi ve tohumları

Dünyada bitkisel yağ üretiminde önemli bir yere sahip olan ve ülkemizde de potansiyeli olan yerfıstığı bitkisinin tohumlarından, zeytinyağının tadına benzeyen bir sıvı yağ elde edilir (Serim ve Akgül). Çeşitlerine göre farklılık göstermekle beraber ortalama %50 civarında yağ içeren yerfıstığındaki yağın yaklaşık tamamının kotiledonlarda olduğu söylene de tohum kabuğu ve embriyoda da az miktarda yağ bulunduğu bilinmektedir. Genel olarak yerfıstığı yağı; %45-60 oleik asit (omega-9) ve %20-40 linoleik asit (omega-6) gibi doymamış yağ asitlerinin yanı sıra, %5-10 palmitik asit, %3-7 stearik asit, %1-3 behenik

asit ve %0.5-2 arasında araşidik asit gibi doymuş yağ asitleri içerir (Kadiroğlu, 2008). Yüksek oranda oleik asit (omega-9) içerdiğinden, fiziksel özellikleri ve besin değeri açısından bitkisel yağlar arasında zeytinyağına en yakın yağ olarak bilinmesinin yanında yüksek yanma sıcaklığına sahiptir. Yerfıstığı yağının içerdiği antioksidan bir madde olan tokoferol (E vitamini), yağın oksitlenerek bozulmasını önleyerek, stabilitesini ve raf ömrünü artırır (Kolsarıcı vd., 2005; Arıoğlu vd., 2014).

### 1.6. Aspir

Geniş bir iklim yelpazesinde yetişebilen ve yazlık/kışlık formları olan aspir (Resim 6), ülkemizde buğday tarımında kullanılan mekanizasyona uygunluktan dolayı geniş bir ekim potansiyeline sahiptir. Dünya bitkisel yağ üretiminde önemi gittikçe yükselmesine rağmen ülkemizde üzerinde yeterince durulmadığı ve yeterince bilinmediği için üretiminde önemli bir gelişme görülmemiştir (Uysal vd., 2006).



**Resim 6.** Aspir çiçeği ve tohumu

Türkiye’nin aspir ekimi için ideal olması, son yıllarda aspir bitkisinin ve yağının öneminin artması ve aspir yağının kullanım alanının artmasıyla birlikte ilerleyen yıllarda ülkemizin aspir yetiştiriciliğinde söz sahibi bir pozisyona geleceği tahmin edilmektedir (Şahin ve Taşlıgil, 2016). Ayrıca ayçiçeği işleyen tesislerde herhangi bir değişiklik yapmaya gerek olmadan aspir işlenebilmektedir. Anadolu’da yabani türü de bulunan, kuraklığa dayanıklı ve yağmur sularını verimli kullanan bitkinin, Ankara, Konya, Aksaray, Nevşehir ve Muş illerinde



ekimi yapılmaktadır. Safran bitkisine benzerliğinden dolayı karıştırıldığından ülkemizde, yalancı safran, amerikan safranı veya boyacı safranı gibi isimlerle anılmaktadır. Kalın, sert ve lifli meyve kabuğuna sahiptir. Aspir tohumu, ayçiçeği tohumuna benzese de beyaz renkli olmasından dolayı kolayca ayırt edilebilir. 200'den fazla türü olan ve bunların içerdiği yağ oranları % 38 ~ % 71,7 arasında değişen aspir bitkisinin (Rojas vd., 1993), Türkiye'de ekilen türlerinin yağ oranları % 22 ~ % 40 arasında değişir (Şahin ve Taşlıgil, 2016). Dikenli türleri, dikensizlere kıyasla daha fazla yağ içeren aspir, oleik ve linoleik yağ asitlerine sahiptir. Dikenliler %30-40 civarında yağa sahipken, dikensizlerin yağ oranı % 25-28 arasındadır. Aspir yağı, besin açısından değerli olan yüksek seviyede E vitamini ve doymamış yağ asitleri (%78 linoleik asit) içermektedir (Arslan vd, 1999; Öztürk vd., 2007; MEB, 2016; Yılmaz, 2021).

### 1.7. Kolza (Kanola)

Kolza, bitkisel yağ üretimi için dünyada soyadan sonra en fazla tarımı yapılan bitkidir (Resim 7). 2019/2020 USDA raporuna göre dünyada yağlı tohum üretiminin yaklaşık %12'si kolza bitkisinden elde edilirken, bu durum ülkemizde %5 seviyesindedir (Yılmaz vd., 2021). Kolza yağında bulunan yüksek miktardaki erusik asit oranı (%45-50) ve glukosinolat, insan ve hayvan sıhhatine zararlı etkisinden dolayı yapılan ıslah çalışmaları sonucu erusik asit oranı (%2'den az) ve glukosinolat değeri (30µmol/gramın altında) düşük olan 'Kanola' olarak adlandırılan türleri geliştirilmiştir (Raymer, 2002). Önemi hızla artan kanolanın iki önemli türü olup, her iki türünde yazlık ve kışlık formları bulunmaktadır. Tohumları % 40-50 yağ, % 15-24 protein, %15-23 karbonhidrat, %4.0-7.0 selüloz ve %4-6 maddesel madde içeren kolza, en önemli yağ bitkilerinden biridir. Genel olarak 1 kg kolza tohumdan, 450 gram civarında ham yağ elde edilir. Oleik asit miktarı yüksek olan, omega-3 ve omega-6 içeren kolza yağı, yüksek E vitamini oranına ve kaynama noktasına (238 °C) sahiptir (Bayramin, 2006; Gizlenci vd., 2007; MEB, 2016; Yılmaz vd., 2021).



**Resim 7.** Kolza (kanola) bitkisi ve tohumları

### 1.8. Susam

Susam bitkisi dünyada kültüre alınmış en eski yağlı tohum bitkilerinden biridir (Resim 8). Dünyada ve Türkiye’de susam yetiştiriciliği ikinci ürün ekimi şeklinde yapıldığından ve üretimi yoğun el emeği istediğinden dolayı en düşük verimin alındığı yağlı tohumlu bitkilerden biridir. Tohumlarında % 50-60 civarında yağ ve % 25 civarında protein içerir. Susam yağı yaklaşık %35-45 oranında linoleik ve oleik asitleri içermektedir (Liu vd., 1992; Baydar, 2005). Ayrıca içerdiği sesamolin (%0,3-0,5) ve sesamin (%0,5-1,5) gibi sekonder metabolitlerden dolayı oksitlenmeye ve bozulmaya karşı oldukça dayanıklıdır. (Salunkhe vd., 1991; Baydar, 2005). Genel olarak tohumlarının rengi koyu olan susamların yağ oranı, açık renkli olanlara nazaran daha azdır. Yağı çıkarılan tohumlardan arta kalan küspesinde, % 40-43 civarında ham protein bulunur (Şahin, 2014; MEB, 2016; Yılmaz vd., 2021).



**Resim 8.** Susam bitkisi ve kapsülü içindeki tohumları

### 1.9. Ketencik

Çiçekli bir bitki olan ketencik (Resim 9), dünya genelinde camelina, zevk altını, sahte keten, yabani keten, Alman susamı ve Sibiryaya yağlı tohumu olarak adlandırılır (Kurt ve Seyis, 2008). Yazlık ve kışlık olarak yetiştirilebilmesi, soğuğa toleransı, verimi düşük yarı kurak ve tuzlu topraklarda yetişebilmesi gibi özelliklerinden dolayı sıra dışı bir yağlı tohum bitkisidir (Sevilmiş vd., 2019). Son yıllarda, özellikle yağının içerdiği önemli seviyedeki (% 35)  $\alpha$ -linolenik asit (omega-3) ve maliyeti düşük bir biyoyakıt kaynağı olması nedeniyle ketenciğe gösterilen ilgi artmıştır (Fröhlich ve Rice, 2005). Yazlık formları %42, kışlık formları 45 civarında yağ içeren ketencik tohumlarından elde edilen ketencik yağı, yüksek oranda (%15-20) linoleik (omega-6) ve  $\alpha$ -linolenik (omega-3) asitlerini içerir (Umarov vd., 1972; Zubr, 1997; Katar vd., 2012). Ayrıca yaklaşık %3 civarında erusik asit içerir (Zubr, 1997; Zubr ve Matthaus, 2002). Ketencik yağı yüksek linolenik asit konsantrasyonuna sahip olması nedeni ile önemli bir omega-3 yağ asidi kaynağıdır (Ruxton, 2004). Ketencikteki linoleik ve  $\alpha$ -linolenik yağ asitlerinin kandaki LDL-kolesterol seviyesini azaltarak, kalp ve kalp damar sağlığı için faydalı oldukları bilinmektedir (Kurt ve Seyis, 2008). Bunların dışında ketencik yağı, gıdaların raf ömrünü uzatan, yüksek seviyede  $\gamma$ -tokoferol (E vitamini) içerir (Zubr ve Matthäus, 2002). Örneğin 100 gram ketencik yağında 10 mg E vitamini bulunur (Zubr, 1997). İçerdiği özel yağ asitlerinden dolayı yakın gelecekte, önemli bir bitkisel yağ kaynağı olabilir (Kurt ve Seyis, 2008).



Resim 9. Ketencik bitkisi ve tohumları

### 1.10. Pelemir

Ülkemizde daha önce buğday tarlalarında yetişen yabancı ot olarak bilinen pelemir bitkisi (Resim 10), 2017 yılından itibaren kültür bitkisi olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Biri yağlık tohum (Karahan), diğeri gıda katkısı maddesi amacıyla (Ziya) üretilen tescil edilmiş iki türü vardır (TTSM, 2017; Subaşı vd., 2021). Nispeten soğuğa, kuraklığa ve tuzluluğa dayanıklı olan pelemir, tohumlarının içerdiği yağ nedeniyle son yıllarda potansiyel bir alternatif yağ bitkisi olarak ön plana çıkmaktadır (Subaşı vd., 2021). Bitkinin tohumları % 22-28 oranında yağ, % 14-21 oranında ise protein içerir (Sezgin vd., 2017). Fakat pelemir yağında bulunan %7-8 oranındaki epoksi asit bu bitkinin yemeklik olarak kullanımını engellemektedir (Yazıcıoğlu vd., 1977). Yaygın şekilde üretilen diğerk yağlı tohumlu bitkilerine kıyasla, pelemir tohumları daha yüksek linoleik ve miristik asit içeriğine sahiptir (Baydar ve Turgut, 1999).



**Resim 10.** Pelemir bitkisi ve tohum kapsülleri

### 1.11. Keten

Doğal formları da olan keten, tohumu ve lifi için yetiştirilen, bilinen en eski kültür bitkilerindendir (Resim 11), Dünya genelinde 9 cins ve 150 türü bulunan keten bitkisinin (Endes, 2010; Sadou, 2016), ülkemizde ise 12 tanesi endemik bitkilere dahil olan 38 türü bulunmaktadır (Davis, 1965; Seçmen vd., 1991). Gıda ve endüstriyel sahada ham madde kaynağı olarak kullanılan, önemli bir yağlı tohum bitkisi olan ketenin günümüzde sadece üç tipinin ekimine izin verilmektedir. Kimyasal yapısı; %80 selüloz, %10 su ve %3 pektin içerir. Potasyum bakımından zengin olup, yüksek düzeyde çözünür-çözünemeyen liflere sahiptir. Ayrıca az miktarda Mg ve Fe gibi mineralleri bünyesinde barındır-

maktadır. Keten bitkisi tohumlarında yaklaşık %30-45 yağ ve %20-25 protein, %3-10 müsilaj maddesi bulunur (Oomah ve Mazza, 2000; Endes, 2010; Dumanoglu, 2020). Genel olarak keten yağı, linolenik (omega-3), linoleik (omega-6), oleik (omega-9), stearik ve palmitik asit ile tokoferollerin içerir (Evans, 2000; Przybylski, 2005; Bayrak vd., 2010). Keten yağında %45-55 oranında bulunan linolenik asit (omega-3), hızlıca oksitlenip acılaşmasına neden olur. Bu yüzden linoleik asit oranı %3'ü aşan türlerin yağ kalitesi düşük olduğundan, yemeklik olarak kullanımları sınırlıdır (John, 1992; Salunkhe vd., 1992; Yıldırım, 2005).



**Resim 11.** Keten bitkisi ve tohumları

### 1.12. Krembi (*Crambe Abyssinica*)

Türkiye’de fazla tanınmayan fakat ülkemizin doğal florasında yer alan bir bitki olan krembi, tohumlarında % 35-60 civarında yağ içermektedir (Seyis vd., 2013). Krembi yağının yağ asidi kompozisyonu; % 78,4 gibi önemli bir kısmı çoklu doymamış yağ asitlerinden meydana gelen % 90’dan fazla doymamış yağ asitleri ve % 4 civarı doymuş yağ asitleri şeklindedir. Doymamış yağ asitleri; % 57 civarı erusik asit, % 17,2 oleik asit (omega-9), % 8,2 linoleik asit (omega-6), % 5,4 linolenik asit (omega-3), % 3,4 arakidik (eicosanoic) asit oranlarındadır. Doymuş yağ asitleri ise; % 0,7 stearik asit ve % 1,8 palmitik asit oranlarında yer alır (Schuster, 1992). Krembi yağının çoklu doymamış yağ asidi muhtevası, ayçiçeği, pamuk, soya, kolza, keten, yarfıstığı ve ketencikten daha az iken tekli doymamış yağ asidi muhtevası ise daha fazladır (Seyis vd., 2013).

Tohumlarından elde edilen yağın %57’si erusik asitten meydana gelen krembi, endüstriyel alanda ümit verici yeni bir bitkidir (Seyis vd., 2013). İnsanlarda sağlık sorunlarına neden olan yüksek erusik asit içeriğinden dolayı (Parke ve

Parke, 1999; West vd., 2002) insan gıdası olarak kullanılmayan krembi yağı endüstriyel amaçlar için tercih edilir. Çünkü yüksek yağ ve erusik asit oranı bu bitkiyi sürdürülebilir üretim açısından endüstride önemli bir hammadde kaynağı haline getirmektedir (Seys vd., 2013). Bu amaçla başta İngiltere, A.B.D, Kanada, Avustralya gibi ülkeler olmak üzere dünyada krembi yetiştiriciliğine ilgi artmış ve krembi tarımı ve ıslahı için araştırmalar yapılmaktadır (Bayramin ve Arslan, 2007). Su ihtiyacı az olan krembi, ülkemizde yağış oranı düşük olan İç ve Orta Anadolu bölgelerinde alternatif bir yağ bitkisi olarak yetiştirilebilme potansiyeline sahiptir (Arslan vd., 2015).



**Resim 12.** Krembi bitkisi ve tohumları

## 2. YAĞLI TOHURLU BİTKİLERİN KULLANIM ALANLARI

### 2.1. Ayçiçeğinin Kullanım Alanları

Ayçiçeği tohumlarından elde edilen ayçiçeği yağı, öncelikle yemeklik sıvı yağ olarak yaygın olarak tüketilmekle beraber oldukça değerli maddeler içerdiği için tıbbi amaçlar içinde kullanılmaktadır. Antioksidan seviyesi yüksek olan ayçiçeği yağı, hücre yenileyici, kolesterol dengeleyici bir kalp dostu olmakla beraber, kanser, iltihap, mantar ve mikrop önleyicidir (Meral, 2019). Yapılan araştırmalar sonucunda ayçiçeği tohumlarının; bağışıklığı kuvvetlendirmek, kalbi korumak, cilt elastikiyetini artırmak gibi özelliklerinin yanında prostat ve kolon kanserini önleyerek kansere karşı yüksek koruyuculuk özelliğinin olduğu görülmüştür (De Leonardis vd., 2003). Diğer yandan endüstride, kimya, boya, plastik, sabun, kozmetik, ilaç, deri, gıda, motor yağı, hidrolik yağ ve biyodizel

üretiminde ham madde olarak kullanılmaktadır. Çabuk kuruma özelliğinden dolayı, özellikle ressamların kullandığı boyalar ve duvar boylarının üretiminde kullanılır. Yüksek oleik asit, düşük çoklu doymamış yağ asidi ve düşük stearik asit içeriği, ayçiçeği yağını, ilaç, kozmetik, yüzey aktif madde, deterjan ve kimyasal sentez gibi endüstriyel uygulamalar için uygun hale getirir (Mohamed vd., 2006; Smith vd., 2007). Bunların dışında bazı Avrupa Birliği ülkelerinde çevre dostu ekolojik yakıt olarak araçlarda kullanılan ayçiçeğinin biyodizel üretimine çok elverişli bir enerji kaynağı olduğu belirtilmektedir (Bawadi vd., 2005)

Muhteviyatındaki yüksek düzeydeki tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri, mineraller ve vitaminlerden dolayı yemeklik yağ olarak kullanılmasının yanında yüksek proteinli bir hayvan yemi olarak da tercih edilir. Yağı alındıktan sonra arta kalan ve yüksek oranda (kabuklu %32,3 kabuksuz %46,8) protein içeren küspesi, karma yem üretiminde kullanılmaktadır. Hasattan geriye kalan sapsarı ile tohum kabukları yakacak olarak değerlendirilir. İçinde yüksek oranda (%36–40) potasyum içeren yanmış ayçiçeği sapı külü gübre olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ayçiçeğinin sap ve tablası kâğıt üretiminde kullanılır (Al-Shamma vd., 2010; MEB, 2016).

## 2.2. Soya Fasulyesi Kullanım Alanları

Gıda ve diğer sanayii alanları için önemli bir hammadde kaynağı olan soya fasulyesinin dünyadaki önemi gün geçtikçe artmaktadır (Bayar ve Yılmaz, 2005). Soya fasulyesi tanesinin %60'ı ticari olarak önemli olan yağ ve proteinden oluştuğundan dolayı dünyada genelinde yemeklik yağların yaklaşık 1/3'ü ile tüketilen proteinin 2/3'ü soya fasulyesinden sağlanmaktadır (Golbitz, 2004). Protein açısından zengin bir yağ bitkisi olan soya fasulyesi, ham olarak tüketilebilmesinin yanında işlenerek yağ ve protein ürünleri olarak da tüketilebilmektedir (Bayar ve Yılmaz, 2005). Çünkü soya, % 18-20 yağ oranı ile dünya yemeklik bitkisel yağ kaynağı olmasının yanında, % 35-45 civarındaki zengin protein içeriği ile de dünyadaki insan gıdalarının ve hayvan yemlerin ana kaynağı durumundadır. Bu zengin içeriğinden dolayı dünyada en çok üretilen ve tüketilen yağ, soya yağıdır. Ekstre edilmiş protein bakımından zengin (%40-50) soya küspesi insan gıdası yanında, önemli bir hayvan yemidir (Bockisch 1997; Hoşgün, 2015).

Günümüzde soya, içerdiği yüksek protein oranı sebebi ile süt, peynir ve et

gibi hayvansal ürünlere alternatif oluşturmaktadır. Örneğin; soya sütü, hayvan sütüne, soya peyniri, hayvan sütü peynirine ve soya köftesi, içerdiği protein ve aminoasit yapısı ile hayvan etine benzer özellikler gösterdiğinden et köftesinin alternatifidir. Bunların yanında un, makarna, ekmek, çocuk maması, yoğurt, dondurma, kahve kreması, margarin, dolgu yağı, salça ve mayonez gibi gıda ürünleri üretilmektedir. Araştırmalar neticesinde, 900 gram hayvan etinin, 6 büyük şişe inek sütünün ve 31 tavuk yumurtasının içerdiği protein miktarının, 453 gram soya ununda bulundurduğu tespit edilmiştir (Anaç ve Ertürk 2003; Hoşgün, 2015).

Dünyada soya fasulyesi tüketiminin hızlı bir şekilde artışı, sadece insan sağlığına yararlı bir gıda olmasından kaynaklanmamaktadır. Gıda sanayi dışında soya fasulyesi, biyoyakıt, kauçuk, makine yağı, anti korozyon maddeler, iplik, kalem, mum, macun bileşikleri, beton katkıları, inşaat malzemeleri, elektrik izolasyon malzemeleri, anti statik maddeler, dezenfektanlar, tarım ilaçları, yeşil gübre, plastik gübre, matbaa mürekkebi, baskı maddeleri, yapıştırıcı, sabun, kozmetik boyalar, cam macunu, antibiyotik, muşamba, kumaş boyaları, kontraplak, mukava, maya, sünger, insektisid, antibiyotik, farmasötik, tıbbi ilaç, alkol ve analitik kimyasallar gibi birçok endüstriyel ürünün üretiminde kullanılmaktadır (Arıoğlu, 2003; Bayar ve Yılmaz, 2005). Özellikle 1980’lerde ABD’de yapılan araştırmalar neticesinde, fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir bir enerji olan biodizel yakıt üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir (Kinney, ve Clemente, 2005).

### **2.3. Pamuk Kullanım Alanları**

Dünya nüfus artışına paralel doğal ürünlere olan ilginin giderek artması ve insanların yaşam standardının yükselmesi, pamuğa olan talebi artırmıştır (Ok-tay, 1999). Lif ve yağ üretimi için önemli bir hammadde kaynağı olan pamuk, sanayinin birçok sektörüne kaynak teşkil eden ekonomik açıdan değerli bir endüstriyel bitkidir. Lifleri tekstil ve selüloz sanayisinde, tohumları bitkisel yağ sanayisinde ve küspesi ile kapçığı yem sanayisinde hammadde olarak kullanılmaktadır (Özer, 1999, Saraç, 2011)

Pamuk bitkisi öncelikle bir gıda maddesi kaynağından ziyade liflerinden dolayı tekstil sektöründe kullanılmak üzere yetiştirildiğinden dolayı birçok kimyasal madde ve zararlı zirai ilaçlara maruz kalır. Bu yüzden gerek pamuk tarımında kullanılan zararlı ilaçlar, gerekse çiğit yağında bulunan gossipol



maddesinden dolayı birtakım rafine işlemlerden sonra elde edilen çiğit yağı yemeklik yağ olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde genellikle margarin vb. katı yağ üretiminde kullanılan çiğit yağı (Saraç, 2011), ayrıca yanma derecesinin yüksek olmasının yanında ucuz ve uzun ömürlü olmasından dolayı özellikle cips, fast-food, tatlı üretimi gibi gıda sektörlerinde kızartma işlemlerinde kullanılır. Ayrıca çözücü özelliğinden dolayı diğer bitkisel yağların içine katılır.

Diğer yandan özellikle tekstil sanayiinde yaygın kullanılan çiğit yağı, endüstride, kadın pedi ve hazır çocuk bezi imalatlarında kullanılır. Cilt pürüzsüzlüğünde ve bakımında çok etkili olan yüksek E vitamini içeriğinden dolayı cilt bakımında kullanılan kozmetik ürünlerin üretiminde kullanılır. Yaraların iyileşmesini hızlandıran çiğit yağı, neosporin gibi yara tedavisinde kullanılan merhemlerin yapısında da yer alır. Ayrıca kimya sanayinde sabun üretiminde kullanılan çiğit yağı dizel yakıtı olarak da kullanılır (Saraç, 2011).

## 2.4. Haşhaş Kullanım Alanları

Haşhaş, kapsülü ve tohumlarından dolayı ülkemizde ve dünyada oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tohumları, başta yağ elde etmek olmak üzere gıda maddesi olarak kullanılırken, kapsülünden elde edilen 20 kadar alkaloid (morfin, kodein, tebain vb.), birçok önemli tıbbi ilacın üretiminde hammadde olarak kullanılır (Kolsarıcı vd., 2005; İpek & Arslan, 2012). Afyon türevleri olan bu alkaloidler; morfin, narkotin, kodein, papaverin vb. uyuşturucu maddelerin, ağrı kesici ilaçların ve uyku verici ilaçların yapımında yer alan maddelerdir. Görüldüğü üzere ülkemizde haşhaş, esas olarak ilaç sanayiinde hammadde kaynağı olarak kullanılmaktadır (Kolsarıcı vd., 2005). Haşhaş yapraklarından yapılan merhemler, haricen ağrı kesici olarak tatbik edilir. Tohumlardan elde edilen haşhaş yağı, yüksek E vitamini içeriğinin sağladığı doku ve hücreleri yenileyici etkisinden dolayı bazı merhemlerin bileşiminde kullanılır. Ciltte daha bir genç görünüme ve hücre işlevlerinin düzenlenmesine yardım eder. Aromaterapide masaj yağı olarak kullanılan haşhaş yağı, mesane iltihabına, raşitizme ve sıracı rahatsızlığının tedavisinde faydalıdır (İpek ve Arslan, 2012)

Yemeklik, kaliteli bir bitkisel yağ olan haşhaş yağının, günümüzde yemeklik yağ olarak tüketimi son derece azdır. Yağı çıkartıldıktan sonra %20-30 oranında iyi seviyede protein içeren tohumlardan geriye kalan küspesi, hayvan sütündeki yağ oranını artıran önemli bir hayvan yemidir (İpek & Arslan, 2012; MEB, 2016). Ayrıca haşhaş tohumları, çerez olarak veya ezilmek suretiyle ha-

mur işi gıdalara çeşni vermek amacıyla kullanılmaktadır (Kolsarıcı vd., 2005). Bunların yanında çabuk kuruma özelliği olan yarı kuruyan yağlardan olan haşhaş yağı, kıymetli boyaların üretimi başta olmak üzere boya, vernik ve sabun sanayi ve diğer endüstri kollarında kullanılmaktadır (Kolsarıcı vd., 1987; MEB, 2016).

## **2.5. Yerfıstığı Kullanım Alanları**

Yerfıstığının zengin besleyici özelliği ve çerezlik kalitesinden dolayı, dünyada yaklaşık %41’i ve Kuzey Amerika’da yaklaşık %74’ü insan gıdası şeklinde değerlendirilir (Kadiroğlu, 2008). Yerfıstığı, tohumlarındaki yüksek yağ oranından dolayı bitkisel yağ üretimi açısından önemli bir yere sahiptir. Yüksek oleik asit içeriğinden kaynaklı yüksek yanma sıcaklığından dolayı dünyada daha çok kızartma yağı olarak tercih edilen yerfıstığı yağı, ihtiva ettiği antioksidan maddelerin sağladığı dayanıklılık sayesinde ise kızartıldıktan sonra saklanacak gıdalarda tercih edilir. Katı ve sıvı yemeklik yağ olarak kullanılan yerfıstığı yağı, ayrıca gıda sanayiinde, mayonez, margarin, sos, şekerleme, tatlı, pasta, bisküvi, çikolata, gevrek üretiminde ve balık konserveçiliğinde kullanılır. Yerfıstığındaki proteinleri oluşturan amino asitlerin kolay sindirilebilir olmasından dolayı yerfıstığı tohumlarının taze-kuru veya kavrulmuş çerez olarak tüketimi de oldukça yaygındır. Ayrıca ezilen tohumlara çeşni veren madde ilaveleri ile fıstık ezmesi üretilir (MEB, 2016; Kadiroğlu, 2008).

Yağ elde edildikten sonra tohumundan geriye kalan küspesi, yaklaşık olarak % 45 ham protein, % 24 azotsuz öz maddeler ve % 5,5 madensel maddeleri içerir. Yüksek protein içeren küspenin besin değeri çok yüksek olduğundan, çocuk maması üretimi ve çeşitli gıda maddelerine protein takviyesi şeklinde insan gıdası olarak kullanımının yanı sıra, gelişmiş ülkelerde karma yem yapımında değerlendirilir. Bunun yanında baklagillerden olan bitkinin sap ve yaprakları da kıymetli bir hayvan yemi kaynağıdır. Diğer yandan dünya genelinde gıda sektöründe değerlendirilemeyen ikinci kalite yerfıstığı yağları, endüstride, sabun, boya, kozmetik ve farmasötik ürünlerin imalatı ile biyodizel yakıt ve makine yağı üretiminde kullanılır (Kadiroğlu, 2008; Arıoğlu vd., 2014).

## **2.6. Aspir Kullanım Alanları**

Aspir, önceleri tıbbi amaçların yanında sarı, beyaz, krem, kırmızı ve turuncu gibi değişik renkli çiçeklerinin içerdiği doğal boya maddesinden dolayı gıda ve

kumaş boyacılığı için yetiştirilmiştir. Sanayi devriminden sonra önemini yitiren aspir boyası, son yıllarda sağlığa zararsız organik ürünlere verilen değerin artmasıyla tekrar gündeme gelmiş olup, zamanla daha popüler hale geleceği düşünülmektedir (Şahin ve Taşlıgil, 2016). Aspir yağının, ayçiçeği, soya ve mısır yağına kıyasla daha üstün özellikte olduğu belirtilmiştir (Yazıcıoğlu ve Karaali, 1983; Bayrak, 1997). Tohumları % 30-45 arasında yağ içerdiğinden dolayı daha sonra yemeklik yağ için yetiştirilmeye başlanmıştır. Yağı, linoleik (Omega-6) ve oleik (Omega-9) yağ asitleri içerdiğinden dolayı kaliteli bir yemeklik yağ bitkisidir. Zengin protein içeren (% 22-24) küspesi oldukça nitelikli olup, hayvan yemi olarak değerlendirilir (Babaoğlu, 2005). Ayrıca kozmetik, sabun, vernik, boya ve cila üretiminde kullanılan aspir, geniş bir kullanım alanına sahip olan önemli bir endüstriyel bitkidir (Corleto vd., 1997; Zhang vd., 1997; Esendal, 1988; Esendal, 2001; MEB, 2016; Yılmaz, 2021). Aspir yağı çabuk kurduğundan dolayı özellikle boya sanayisinde tercih edilir. Diğer taraftan enerji sektörü açısından önemi giderek artan aspir bitkisinin, 100 kg yağdan 45 kg. mazot ve 15 kg. benzin elde edilebilir (Kıraç, 1938). Bu yüzden aspir, son yıllarda biyodizel üretiminde aranan bir enerji bitkisi haline gelmiştir (Şahin ve Taşlıgil, 2016). Ülkemizde yetiştirilen aspir türlerinden “Dinçer” (Eryılmaz vd., 2014) ve “Remzibey-05” (Karabaş, 2013) çeşitlerinin tohumlarından elde edilen ham yağlardan üretilen biyodizel yakıtların analiz sonuçlarının, TS EN 14214 standardına uygun oldukları belirtilmiştir. Yüksek yağ oranı ve yeterli oleik asit içeriği nedeniyle aspir yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir (Karabaş, 2013; Eryılmaz vd., 2014).

## 2.7. Kolza (Kanola) Kullanım Alanları

Kolza yağı, sabun yapımında ve aydınlatma için evlerde, tren yollarında, 19 yy'nin ortalarına kadar kullanılmıştır (Appelqvist, 1972). Fakat petrol esaslı daha ucuz olan mineral yağlardan dolayı 19. yy'nin ikinci yarısında kolza yağına rağbet sona ermiştir. Islak metalik yüzeylere yüksek yapışma özelliğinden dolayı, 2. Dünya Savaşında kullanılan gemilerin suyla temas halindeki makine parçalarının yağlanması amacı ile kullanılmıştır (Doğru, 2020). Kanola yağı ise nötr özelliği nedeni ile gıda sanayiinde kızartma veya konserve yağı olarak değerlendirilir. Yemeklik olarak kullanılabilmesi için “erusak asit” içeriğinin çok düşük seviyelerde olması gerekir (%5.0'ın altında). İçerdiği % 38-40 oranın-

daki protein ile küspesi, hayvan yemi olarak oldukça önemlidir (MEB, 2016). Yemeklik yağın haricinde fosil yakıtların sürdürülebilirlik probleminin yanında insan ve çevre sağlığına olan zararları ve petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar nedeniyle alternatif yakıt (biyodizel) hammaddesi olarak ön plana çıkan kolza bitkisinin gelecekte önemin daha da artacağı tahmin edilmektedir (Gizlenci ve ark., 2007;). Bunun yanında, mum, ruj, sanayi yağları, gazete mürekkebi gibi ürünlerin üretiminde ve petrol bazlı endüstriyel yağların yerine çevre dostu yağlayıcıların üretiminde kullanılabilir. Eldeki verilerden, bitkisel yağ üretiminde kullanılan diğer 350 bitki çeşidine kıyasla, dünyada üretilen biyodizelin %84~86’sının yabancı kolza bitkisinin türlerinden sağlandığı anlaşılmaktadır (Çalışır vd., 2005; Gizlenci vd., 2012). Örneğin Almanya başta olmak üzere birçok AB ülkesinde yaygın olarak ekimi yapılan kolzanın yağından üretilen biyodizel yakıt, araçlardaki dizel motorlarda kullanılmaktadır.

## 2.8. Susam Kullanım Alanları

İnsanoğlu tarafından 5000 yıldır çok çeşitli alanlarda kullanılan susam bitkisinin en önemli yanı tohumlarından elde edilen kıymetli yağıdır. Geçmişte tıbbi açıdan ve aydınlatmada kullanılan susam yağı günümüzde gıda saklamada yaygın olarak tercih edilmektedir. Bunun yanında ilaç yapımında, sabun üretiminde ve kozmetik sanayiinde kullanılmaktadır. Susam insan beslenmesi için ideal ve kaliteli bir yemeklik bir yağ olmasına karşın, hasat ve harmanının zahmetli ve maliyetli oluşundan dolayı ülkemizde bu alanda pek kullanılmamaktadır. Daha çok tahin ve tahin helvası üretiminde, kuru pasta ve simit gibi unlu gıdaların imalatında, kullanılmaktadır. Ayrıca zengin protein içeriğine sahip küspesi kaliteli bir hayvan yemidir. Bunların yanında bozulmaya karşı dayanıklı olduğundan patetes cipsi gibi uzun raf ömrü istenen gıdalarda kullanılır (Şahin, 2014).

Goering ve arkadaşları, diğer bitkisel yağlara nazaran susam yağının bazı özelliklerinin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Goering vd., 1982). Susam yağının motorine alternatif olarak araştırıldığı güncel bir çalışmada, % 75 susam yağı ve % 25 motorin karışımından elde edilen yakıtın motor elemanları ve performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Motorine nazaran susam yağı esaslı karışım yakıtın, motor elemanlarında normalden fazla is ve kuruma neden olduğu tespit edilmiş olsa da elde edilen sonuçların, diğer bitkisel yağlarla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara paralellik gösterdiği belirtilmiştir (Altun ve Öner, 2005).

## 2.9. Ketenciğin Kullanım Alanları

Ketencik yağı; sabun, vernik, kandil yağı, mum ve kozmetik üretimi gibi gıda dışı kullanım alanlarına sahiptir (Putnam vd., 1993). Zengin antioksidan içeriği ve çoklu doymamış yağ asitlerinin özel dermatolojik etkilerinden dolayı özellikle kozmetik üretimi için çok elverişlidir. Biyolojik olarak soya ununa benzeyen ketencik unu %45-47 ham protein ve %10-11 lif içerir (Korsrud vd., 1978). Yüksek miktarda glukosinolat içeren kolza ununa kıyasla ketencik ununda sıfır veya eser miktarda uçucu izotisiyanat tespit edilmiştir (Korsrud vd., 1978; Sang ve Salisbury, 1987). Küspesinin %10 yağ ve %45 protein içermesinden dolayı kümes hayvanı yemi bitkisi olarak değerlendirilir (Kurt ve Seyis, 2008). Ketencik yağındaki yüksek erusik asit içeriği (%2.3 ila 4.5), gıdası olarak tüketimini engellemektedir (Zubr ve Matthäus, 2002; Pavlista vd., 2012). Gıda üretiminin sürdürülebilirliği için, biyoyakıt üretiminde kullanılacak bitkisel yağların insan gıdası olmayan kaynaklarından tedarik edilmesi gerekmektedir. Bu minvalde, yağ içeriği yüksek (kuru ağırlık bazında > %30), biyo-yakıt üretimi için uygun ve gıda olarak tüketilmesi uygun olmayan ketencik tohumları ön plana çıkmaktadır (Obour vd., 2015). Özellikle tohumlarının içerdiği yüksek yağ oranı sayesinde dizel ve jet yakıtı gibi kaliteli yakıtların üretiminde kullanılabilir (Kurt ve Seyis, 2012). Ayrıca üretim maliyeti kolzadan daha düşük olduğu için bazı bölgelerde biyodizel üretiminde alternatif bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Kuzey ABD eyaletlerinde biyo-yakıt üretimine hammadde kaynağı sağlamak için yetiştirilmektedir (Moser ve Vaughn, 2010). Örneğin Montano eyaletinde buğday ile nöbetleşe ekimi yapılan ketencikten üretilen yıllık 800 milyon galon yağ, biyodizel üretiminde kullanılmaktadır (Shonnard vd., 2010).

Araştırmalar, transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretimi için ketencik yağının iyi bir kaynak hammadde olduğunu (Fröhlich ve Rice, 2005; Soriano ve Narani, 2012) ve hidrdeoksijenasyon / hidro hidrokraking yoluyla yenilenebilir bir jet yakıtı üretimi için uygun olduğunu bildirmiştir (Moser, 2010). ABD’de, Accelergy Corp., Altair, Inc., Biojet Corp. Ve Sustainable Oils LLC gibi bazı şirketler ketencik esaslı jet yakıtı üretimini başarı ile gerçekleştirmişlerdir (Moser, 2010). Soriano ve Narani (2012), ketencik yağı esaslı biyodizelin; kinematik viskozite (40 °C gibi), yağ stabilite indeksi, bulutlanma noktası, parlama noktası ve soğuk filtre tıkama noktası gibi özelliklerinin ayçiçek yağı

esaslı biyodizel ile benzer değerlere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Moser ve Vaughn (2010), Ketencik yağı esaslı biyodizel yakıtın, soya yağı esaslı biyodizel yakıt ile benzer özelliklere (kinematik viskozite, asitik değer, kayganlık, düşük sıcakta çalışabilirlik ve setan sayısı gibi) sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ketencik yağındaki yüksek n-3 yağ asidi içeriğinden dolayı, üretilen biyodizelin oksidatif stabilitesinin düşük olduğu ve yanma esnasında kok oluşumu için yüksek potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Bernardo vd. (2003) tarafından yapılan araştırmada, soğuk preslenmiş ve filtrelenmiş ketencik yağının modifiye edilmemiş dizel motorlarda tek başına yakıt olarak uygulanabilirliği, mineral dizel yakıt ile karşılaştırmalı olarak ilk kez incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mineral dizel yakıtın sağladığı maksimum güç çıkışı değerine (38,5 Kw) kıyasla ketencik yağı maksimum güç çıkışını 43,25 kW değerine yükseltirken, yakıt tüketiminin 14.03 km/l değerinden 12.57 km/l değerine düşmesini sağlamıştır. Ayrıca duman opaklığı ve egzozdan yayılan CO, mineral yakıtta göre %50 daha az meydana gelmiştir (Sevilmiş vd., 2019).

Genellikle dünyada, bir bölgede en fazla ekilen yağlı tohum bitkisi, biyodizel üretimi için birincil bitkisel yağ kaynağıdır. Bu sebeple, Avrupa ülkelerinde kolza yağı, tropik ülkelerde palm (hurma) yağı, ABD ise soya yağı ve hayvansal yağlar biyodizel üretiminde birincil kaynak olarak kullanılmaktadır (Mittelbach ve Remschmidt, 2004). Fakat bu yağların birçoğu hem pahalı hem de insan gıdası olarak kullanılmaktadır. Örneğin ABD’deki soya yağı gibi bitkisel yağların nispeten yüksek maliyeti, biyodizel endüstrisinin ekonomik sürdürülebilirliği açısından ciddi endişe oluşturmaktadır (Retka-Schill, 2008). 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 yetiştirilebilen alternatif bitkisel yağ kaynaklarına ihtiyaç vardır (Moser ve Vaughn, 2010; Sevilmiş vd., 2019).

## 2.10. Pelemir Kullanım Alanları

Yeşil-sarı renge ve hoş bir kokuya sahip olan pelemir yağı, doğrudan yemeklik olarak kullanımının yanında diğer yağlarla karışım yapılarak da kullanılmıştır. Ancak pelemir yağındaki %7-8 oranında epoksi asit içeriğinden dolayı, bu haliyle yemeklik olarak kullanımı uygun değildir (Yazıcıoğlu vd., 1978). Pelemir yağının içerdiği %19-20 oranındaki miristik asit sabun üretimi

için oldukça iyi elverişlilik sağlarken, epoksi asit içeriği ise deri ve tekstil sanayilerinde de kullanımını sağlamaktadır (Yazıcıoğlu vd., 1978). Epoksi asit içeriğinden dolayı pelemir yağı yemeklik olarak kullanılamamaktadır. Ayrıca pelemir tohumlarından elde edilen un ve yağ, düşük oranlarda (% 0,5-3) buğday ununa karıştırılarak zayıf unların kuvvetlendirilmesinde kullanılarak, ekmeğin bayatlamasını geciktirme ve hamurun daha iyi kabarmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır (Altınığne ve Saygın, 1985). Bitkinin yağı çıkarıldıktan sonra arta kalan küspesi, protein içeriği bakımından önemli bir hayvan yemi kaynağıdır (Çiller, 1977; Yazıcıoğlu vd., 1978; Katar vd., 2012). Ayrıca pelemir tohumlarından elde edilen yağ biyodizel üretiminde kullanılabilir. Ayrıca pelemir yağının biyodizel üretimi için uygun özelliklere sahip olması (Öğüt vd., 2014) pelemir bitkisinin ve yağının yenilenebilir çevre dostu alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir (Altunbaş, 2015).

## 2.11. Keten Kullanım Alanları

Önceleri liflerinden, halat, keten kumaşı ve çadır bezi yapımı, tohumlarından ise yağ (bezir yağı) üretimi için ekilen keten bitkisinin günümüzde kullanım alanı genişleyerek, birçok sanayi sektörü için kaynak hammadde olarak kullanılmaktadır (Tunçturk, 2007; Dumanoglu, 2020). Keten yağının acılaştırılan linoleik asitin, ıslah işlemleri sonucu %3'ün altına düşürüldüğü türler yemeklik yağ üretiminde kullanılabilir (Schuster 1992; Sahi ve Leitch 1994). Bünyesine çok hızlı oksijen aldığından dolayı çabuk kuruma özelliğine sahip olan keten yağı, boya ve vernik üretiminde kullanılmaktadır (İncekara, 1979; Endes, 2010). Mükemmel lif kalitesi ile keten, tekstil sektörü için çok önemli bir hammaddedir. Fakat hızlı kuruma özelliğinden dolayı keten lifi içeren kumaş ve dokumaların buruşma miktarı, diğerlerine kıyasla daha fazladır (Endes, 2010). Ayrıca saplarındaki yüksek selüloz içeriği ve mükemmel lif kalitesinden dolayı sigara kâğıdı üretiminde kullanılmaktadır (Gencer, 2000). Un, kraker, ekmek, hazır çorba ve diyet ürün gibi insan gıdaları için kullanılırken, küspe ve kuşyemi olarak hayvan gıdası için kullanılmaktadır. Ketenin yapısındaki prusik asidin zehirlenmeye sebep olacağı belirtildiğinden, hayvanlar tarafından yeşil formda tüketilmemelidir. Genel olarak, küspesinde %25-30 protein, %5-6 yağ bulunduran keten kaliteli bir hayvan yemidir (Özüstün, 2001; Dumanoglu, 2020). Keten yağı zengin içeriğinden dolayı tıp alanında da tercih edilmektedir. Antioksidan ve antimikrobiyal etkilerine ilave olarak kemik yoğunluğunu art-

tırması (Konuklugil ve Bahadır, 2004), linolenik (omega-3), linoleik (omega-6) ve oleik (omega-9) asitleri içermesinden dolayı ise (Özütün, 2001) kroner kalp rahatsızlıkları ve damar sertliği gibi hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Thomson vd., 1996).

## 2.12. Krembi (Crambe) Kullanım Alanları

Boya, deterjan, biyoplastik ve biyodizel gibi farklı kullanım alanı potansiyeline sahip olan krembi bitkisinin, ıslah çalışmaları sonucunda tespit edilecek yüksek erusik asit içeren türleri endüstri ham maddesi kaynağı olarak ülke ekonomisine katkı sağlayabilir (Arslan vd., 2015). Krembi yağı, makine yağlarının üretiminde kullanılan değerli bir endüstriyel ham maddedir (Leonard, 1993). Krembi yağında yüksek miktarda bulunan (% 57) ve uzun zincirli, çift bağlı bir yağ asidi olan erusik asit, bu özelliğinden dolayı içinde bulunduğu yağlara yüksek kaynama ve buharlaşma noktası (299 °C) özelliği katar. Bu özellikler sayesinde yüksek ve düşük sıcaklıklarda kararlı kalan yağın, iyi bir yağlayıcı ve transfer aracı olarak çalışabilmesi sağlanır (Grombacher vd., 1993). Mineral yağlara kıyasla biyolojik olarak daha kolay parçalanabilen, çevre dostu ve özelliklerinden dolayı çok etkili bir yağlayıcı olan krembi yağı, tek başına veya katkı maddesi olarak tekstil, çelik, lastik ve gemi sanayinde kullanılabilir (Seyis vd., 2013).

Ayrıca krembi yağı gibi yüksek erusik asit içeren yağlar, plastik ve köpük engelleyici üretiminde kullanılır (Princen, 1983). Genel olarak erusik asit, gıda ambalajı, plastik torba, stretch-film gibi poliolefin malzemelerde kullanımının yanında PA1313 (naylon1313) ve behenik aside dönüştürülerek de kullanılabilir. Hidrojenasyon ile dönüşüm sonucu elde edilen behenik asit; kozmetik, parfüm, saç boyaları ve şekillendiricileri, ilaç, peştitit, doku yumuşatıcı, lastik ve ısı transfer sıvısı üretimlerinde kullanılır (Carlson ve Van Dyne, 1992).

Diğer yandan yüksek selüloz muhteva eden krembi tohumu kabuklarının, kâğıt ve kâğıt hamuru üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir (Tittonel, 1995). Bütün bu sıralanan kullanım alanlarına ek olarak krembi, fosil yakıtların alternatif biyoyakıtların ve özellikle biyodizel üretimi için alternatif bir bitkidir (Xu vd., 2010). Sonuç olarak, kâğıt, kozmetik, yakıt, biyoyakıt, kayganlaştırıcı, endüstriyel (makine) yağ sanayi, plastik ve biyoplastik gibi birçok endüstriyel alanda kullanım potansiyeli olan krembi bitkisinin, yağı alındıktan sonra geriye kalan küspesi de hayvanlar için önemli bir besin kaynağıdır (Seyis vd., 2013).



## SONUÇ

Endüstride yağlı tohumlu bitkiler ve bitkisel yağlardan elde edilen hammadde kaynakları, çevre dostu özellikleri nedeniyle sentetik malzemelere umut verici bir alternatif olarak görülmektedir. Özellikle içilebilir su kaynaklarının ve çevrenin kirlenmesine ilişkin ciddi endişelerin, biyolojik olarak parçalanabilen ve toksik olmayan bitkisel esaslı kaynaklar ile en aza indirilebileceği ve hatta bertaraf edilebileceği tahmin edilmektedir. Bu bitkiler, hali hazırda çeşitli endüstriyel uygulamalarda biyolojik olarak parçalanabilen çevre dostu hammaddeler olarak kullanılmaktadır. Gıda, tekstil, boya, kozmetik, ilaç, kimya, sabun, makine yağları ve dezenfektan yapımı, inşaat ve elektrik gibi endüstrinin çeşitli kollarının yanında biyo yakıt gibi farklı kullanım sahaları olduğu ve bunların giderek genişlediği görülmüştür.

Dünyada ve ülkemizde nüfus artışına paralel artan ihtiyaçların tetiklediği ekonomik büyümeden dolayı enerji tüketiminin her geçen gün katlanarak artacağı düşünüldüğünde, yenilebilir enerji kaynaklarına olan talebin giderek artması beklenmektedir. Ülkemizin mevcut potansiyeli göz önüne alındığında, biyogaz ve biyodizel gibi yenilenebilir enerji elde etmek için çok elverişli koşullara sahip olduğu görülmüştür. Bu yüzden, biyoenerjide kullanılacak bitki ve bitki türlerine yeterli önem gösterilerek, yeni yatırımlar yapılmalı ve biyokütleden yeterince faydalanılması tavsiye edilmelidir.

Bitkisel yağ, yağlı tohum küspesi, çeşitli endüstriyel hammaddeler ve biyodizel hammadde ihtiyacının karşılamak, yeterli düzeyde yağlı tohum bitkilerinin ekilmesinden geçmektedir. Türkiye’de yağlı tohum üretiminin yetersizliğinden dolayı her yıl önemli miktarlarda yağlı tohum, ham yağ ve küspe gibi türevlerin ithal edilmesinden dolayı petrolden sonra en fazla döviz ödemesi yağlı tohum ve türevlerinin ithalatına yapılmaktadır. Özellikle AB ülkeleri ve ABD ile kıyaslandığında yağlı tohum üretimine ayrılan tarım alanlarımızın yetersizliği, dışa bağımlılığımızın temel nedeni olarak görülmekte olup, tarım alanlarımızın ve buna paralel yağlı tohum üretimimizin artırılması tavsiye edilmektedir. Fakat ülkemizde başta ayçiçeği ve soya fasulyesi olmak üzere yağlı tohum bitkilerinin yetiştiriciliğinde birincil etkenin sulama olduğu ve yağış alan tarım alanlarımızın yetersizliğinden dolayı verim artışı ile de mevcut yağlı tohum ve bitkisel yağ açığının kapatılması mümkün görülmediğinden, etkili

çözüm, soya, kolza (kanola), aspir, keten, ketencik, susam, yerfıstığı, haşhaş, pelemir ve krembi gibi alternatif yağ bitkilerinin yaygınlaştırılmasında görülmektedir. Bunların dışında ülkemizde nadiren yağı için yetiştirilen, yağ şalgamı, ızgın, hardal, kenevir ve hintyağı ile ülkemizde henüz üretilmeyen çufa ve jojoba gibi bitkiler, bitkisel yağ kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Diğer yandan endüstride kullanılan bitkisel yağların genelde yemeklik yağlar olduğu görülmüştür. Özellikle gıda endüstrisinde kullanılmayan yağlı tohum bitkilerin ve bitkisel yağların endüstride hammadde kaynağı olarak kullanılması, sürdürülebilir gıda zinciri üzerinde minimum etkiye, mükemmel biyolojik bozunabilirliğe ve minimum sağlık tehlikesine sahip olacaktır. Ülkemizde henüz üretilmeyen çufa ve jojoba gibi gıda olarak tüketilmeyen bitkiler, endüstriyel bitki ve bitkisel yağ kaynağı olarak değerlendirilebilir. Bunların yanında, çay tohumu, tütün tohumu, domates çekirdeği ve üzüm çekirdeği gibi meyveden arta kalan yan ürünler, boya, vernik, sabun vb gıda dışı endüstriyel alanlarda kullanılabilecek yağ kaynaklarıdır.

## KAYNAKÇA

- Al-Shamma, L. M., Bu-risha, R., & Al-Shamma, N. M. (2010). Effect of some sunflower (*Helianthus annuus* L) genotypes oil on some pathogenic bacterial species. *Iraqi Journal of Science*, 51(4).
- Altınığne, N., & Saygın, E. (1985). Pelemir Katımlı Undan Yapılan Ekmeklerde Bayatlama Süresi. *Gıda*, 10(5).
- Altun, Ş., & Öner, C. (2005). Susam Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motor Performansı Ve Motor Elemanları Üzerindeki Etkileri. *Teknoloji*, 8(3).
- Altunbaş, O. (2015). *Pelemir Bitkisininin Pirolyzi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Anaç, H., & Ertürk, Y. E. (2003). Soya fasulyesi. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü (TEAE) Bakış*, (2).
- Anjum, F. M., Nadeem, M., Khan, M. I., & Hussain, S. (2012). Nutritional and therapeutic potential of sunflower seeds: a review. *British Food Journal*. 111, 544-552.
- Appelqvist, L.A., & Ohlson, R. (Eds.) 1972. *Historical background, in Rapeseed: Cultivation, Composition, Processing and Utilization*. Elsevier, Amsterdam, 1-8.
- Arıoğlu, H. (2003). Çukurova Bölgesinde Soya Yetiştirme Tekniği.

- Arıoğlu, H. (2014). *Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı Ders Kitabı*. ÇÜ Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayın No: A-70, Genel Yayın, (220).
- Arıoğlu, H.H., Kolsarıcı, Ö., Göksu, A.T., Güllüoğlu, L., Arslan, M., Çalışkan, S., Söğüt, T., Kurt, C., Arslanoğlu, F. 2010. *Yağ bitkileri üretiminin artırılması olanakları*. Türkiye Ziraat Müh. Bir. VII. Teknik Kong. Bildiri Kitabı I, Ankara, 361-377.
- 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.
- Arslan, B., Eryiğit, T., & Ekin, Z. (1999). *Farklı Hasat zamanlarının aspir (Carthamus tinctorius L.)'in verim ve kalite özelliklerine etkileri*. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, Cilt: II, Adana, 132-133.
- Arslan, Y., Katar, D., Subaşı, İ., & Kodaş, R. (2012). *Farklı azot ve fosfor dozlarının pelemir bitkisi (Cephalaria syriaca L.)'nin verim ve yağ oranı üzerine olan etkisinin belirlenmesi*. I. Uluslararası Iğdır Sempozyumu, Iğdır.
- Arslan, Y., Subaşı, İ., Kodaş, R., & Katar, D. (2014). Farklı Azot ve Fosfor Seviyelerinin Kuru Şartlarda Yetiştirilen Pelemir (Cephalaria syriaca L.) Bitkisinin Verim ve Verim Özellikleri Üzerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2), 3-41.
- Arslan, Y., Subaşı, İ., & Keyvanoğlu, H. (2015). Determination of some plants characteristics of Crambe (Crambe hispanica subsp. abyssinica) genotypes. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 16-23.
- Aschenbrenner, A. K., Kwon, M., Conrad, J., Ro, D. K., & Spring, O. (2016). Identification and characterization of two bisabolene synthases from linear glandular trichomes of sunflower (Helianthus annuus L., Asteraceae). *Phytochemistry*, 124, 29-37.
- Babaoğlu, M. (2005). *Aspir Tarımı (Carthamus tinctorius L.)*. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, (s 7).
- 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.
- Bayar, R., & Yılmaz, M. (2005). Türkiye'de soya fasulyesi ve önemi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-12.

- Baydar, H. (2005). Susamda (*Sesamum indicum* L.) verim, yağ, oleik ve linoleik tipi hatların tarımsal ve teknolojik özellikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 267-272
- Baydar, H., & Turgut, İ. (1999). Yağlı tohumlu bitkilerde yağ asitleri kompozisyonunun bazı morfolojik ve fizyolojik özelliklere ve ekolojik bölgelere göre değişimi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(supp1), 81-86.
- Bayrak, A. (1997). Ankara ve Şanlıurfa’da denenen yazlık-kışık aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşit ve hatlarının yağ asitleri bileşiminin araştırılması. *Gıda*, 22(4).
- Bayrak, A., Kiralan, M., Ipek, A., Arslan, N., Cosge, B., & Khawar, K. M. (2010). Fatty acid compositions of linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes of different origin cultivated in Turkey. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(2), 1836-1842.
- Bayramin, S. (2006). Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) / Kolza (*Brassica napus* spp. oleifera L.) Tarımı ve Islahı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15(1-2), 74- 85.
- Bayramin, S., & Arslan, Y. (2007) Endüstriyel Yağ Bitkisi, Crambe. *Biyoyakıt Dünyası Dergisi*, 18-22.
- Bernardo, A., Howard-Hildige, R., O’Connell, A., Nichol, R., Ryan, J., Rice, B., ... & Leahy, J. J. (2003). Camelina oil as a fuel for diesel transport engines. *Industrial crops and products*, 17(3), 191-197.
- Bockisch, M. (1997). *Fats and oils handbook*. AOCS Press, USA.
- Bozan, B., & Temelli, F. (2008). Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresource Technology*, 99(14), 6354-6359.
- Buser, M. D., & Abbas, H. K. (2001). *Update on the Impact of Dry Extruding Cottonseed to Reduce Aflatoxin and Gossypol Levels*. In Proceedings of the Beltwide Cotton Conference, 2, 1392-1403.
- Corleto, A., Alba, E., Polignano, G. B., & Vonghio, G. (1997, June). *Safflower: A multi-purpose species with unexploited potential and world adaptability*. In Proceedings of the IVth International Safflower Conference, Bari, Italy, 23-31.
- Carlson, K. D., & Van Dyne, D. L. (1992). Industrial uses for high erucic acid oils from crambe and rapeseed. MP/(USA).
- Çalışır, S., Marakoğlu, T., Ögüt, H., Öztürk, Ö., 2005. Physical properties of rapeseed

- (*Brassica napus oleifera* L.). *Journal of Food Engineering*, 69: p. 61-66.
- Çiller, M. (1977). *Pelemir Tohumu Yağı Üzerine Bir Araştırma*.
- Davis, P. H. (1965). *Flora of Turkey and East Aegean Islands*. Volum IX Edinburg Universty Press.
- 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.
- Doğru, A. (2020). Kolza Bitkisine (*Brassica napus* L.) Genel Bir Bakış. *UAZİMDER Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 8, 30-36.
- Dumanoğlu, Z. (2020). Keten Tohumlarının Bazı Fiziksel ve Fizyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Bütünleyici ve Anadolu Tıbbi Dergisi*, 2(1), 3-9.
- Endes, Z. (2010). *Konya Şartlarında Bazı Yağlık Keten (Linum usitatissimum L.) Çeşit ve Popülasyonlarında Farklı Ekim Zamanlarının Verim ve Kalite Üzerine Etkisinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- 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.
- Esental, E. (1988). Aspir türleri üzerine bir monografi, coğrafi dağılışı, türler arası ilişkiler, genetik ve sitogenetik özellikler. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fak. Dergisi*, 3(1), 139-150.
- Esental, E. (2001). *Safflower production and research in Turkey*. In Proceedings of the 5th International Safflower Conference, Montana, USA, 203-206.
- Evans, W. C. (2009). *Trease and Evans' pharmacognosy*. Elsevier Health Sciences.
- Fröhlich, A., & Rice, B. (2005). Evaluation of Camelina sativa oil as a feedstock for biodiesel production. *Industrial crops and products*, 21(1), 25-31.
- Hoşgün, E. Z. (2015). *Farklı Yöntemlerle Soya Yağı Ekstraksiyonu ve Karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Gencer, O. (2000). *Genel Tarla Bitkileri*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Yayınları, 36-47.
- Gizlenci, M. Acar, M., & Kayaoğlu, Y. (2007). *Türkiye'de Kolza Gerçeği*. 1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, Samsun.
- Gizlenci, Ş., Acar, M., & Şahin, M. (2012). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakla-

- rının (Biyodizel, biyoetanol ve biyokütle) projeksiyonu. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(3), 337-344.
- Goering, C. E., Schwab, A. W., Daugherty, M. J., Pryde, E. H., & Heakin, A. J. (1982). Fuel properties of eleven vegetable oils. *Transactions of the ASAE*, 25(6), 1472-1477.
- Golbitz, P. (2004). *Soya & Oilseed Bluebook*. Soyatech Inc., Bar Harbor, Maine.
- Grombacher, A., Nelson, L., Baltensperger, D. 1993. *Crambe Production. Field Crops: Miscellaneous Crops*. Institute of Agriculture and Natural Resources, Nebraska, USA.
- Gulluoglu, L., Bakal, H., Onat, B., Kurt C., and Arioglu, H. (2017). Comparison of agronomic and quality characteristics of some peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties grown as main and double crop in Mediterranean region. *Turkish Journal of Field Crops*, 2, 166-177.
- Hoşgün, E. Z. (2015). *Farklı yöntemlerle soya yağı ekstraksiyonu ve karakterizasyonu* (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Ilisulu, K. (1973). *Yağ bitkileri ve Islahı*. Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 254-255.
- İncekara, F. (1979). *Endüstri Bitkileri ve Islahı*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 65.
- İpek, G., & Arslan, N. (2012). Gıda Maddesi Olarak Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Tohumunun Değerlendirilmesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 99-101.
- John, P. (1992). *Biosynthesis of the major crop products*. John Wiley & Sons Ltd..
- 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.
- Katar, D., Arslan, Y., & Subaşı, İ. (2012). Ankara Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarının Ketencik (*Camelina Sativa* (L) Crantz) Bitkisinin Yağ Oranı ve Bileşimi Üzerine Olan Etkisinin Belirlenmesi, *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 9(3)
- Kıllı, F., & Beycioğlu, T. (2019). Türkiye’de ve Dünyada Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretim Durumu Türkiye Yağlı Tohum Üretimine İlişkin Önemli Sorunlar. *Ulusal-rarası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 1(5), 17-33.
- Kinney, A. J., & Clemente, T. E. (2005). Modifying soybean oil for enhanced perfor-

- mance 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., Geçit, H. H., & Elçi, Ş. (1987). *Tarla Bitkileri*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayın, (1008), 103-118.
- Kolsarıcı, Ö., Gür, A., Başalma, D., Kaya, M. D., & İşler, N. (2005). *Yağlı Tohumlu Bitkiler Üretimi*.
- Konuklugil, B., & Bahadır, Ö. (2004). Linum usitatissimum L.'nin kimyasal bileşikleri ve biyolojik aktiviteleri. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 63-84.
- 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.
- Kurt, O., & Seyis, F. (2008). An alternative oilseed crop: Camelina (Camelina sativa L. Crantz). *Anadolu Journal of Agricultural Sciences (Turkey)*.
- Kurt, O., & Seyis, F. (2012). Alternatif yağ bitkisi: ketencik (Camelina sativa (L.) Crantz). *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(2), 116-120.
- Leonard, E.C. 1993. High-erucic vegetable oils. *Industrial Crops And Products*, 1:119-123.
- Liu, J.R., Zheng, Y.Z., & Xu, R.Q. (1992). Analysis of nutrient quality of seed and screening for prominent germplasm in sesame. *Oil Crops of China*, 1, (24-26).
- 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.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2016). *Tarım-Yağ Bitkileri*. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 73 s.
- 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.
- Mittelbach, M., & Remschmidt, C. (2004). *Biodiesel: the comprehensive handbook*. Martin Mittelbach (Publisher), Gratz, Austria.
- Mohamed, S. H., Boehm, R., & Schnabl, H. (2006). Stable genetic transformation

- of high oleic *Helianthus annuus* L. genotypes with high efficiency. *Plant Science*, 171(5), 546-554.
- Moser, B. R. (2010). Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope?. *Lipid technology*, 22(12), 270-273.
- 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.
- Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E., & Jeliaskov, D. V. (2015). Oilseed camelina (*Camelina sativa* L Crantz): Production systems, prospects and challenges in the USA Great Plains. *Adv. Plants Agric. Res*, 2(2), 1-10.
- Oktay, A.R. (1999). Dünya Tekstil ve Konfeksiyon Üretimi ve Ticaretindeki Eğilimler. *Hedef*, 5 (Temmuz), 56-59.
- 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.
- Oomah, B. D., & Mazza, G. (2000). Bioactive Components of Flax Seed: Occurrence and Health Benefits. *Phytochemicals and Phytopharmaceuticals*, 106-121.
- Öğüt, H., Oğuz, H., Bacak, S., Aydın, F., Uygun, S., Arslan, Y., & Subaşı, İ. (2014). Pelemin biyodizelinin teknik özelliklerinin incelenmesi. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar*, 4, 28-29.
- Özer, A. (1999). *Pamuklu Tekstil Sektör Raporu*. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş., Haziran.
- Öztürk, Ö., Akınerdem, F., Bayraktar, N., & Ada, R. (2007). *Konya koşullarında bazı aspir çeşitlerinin verim, verim unsurları ve yağ oranlarının incelenmesi*. I. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, Samsun, 191-202.
- Özüstün, M. (2001). Çukurova Koşullarına Uygun Keten (*Linum Usitatissimum* L.) Çeşitleri Ve Ekim Zamanlarının Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Adana, Türkiye.
- Parke, D.V. & Parke, A.L. (1999). Rape seed oil. An autoxidative food lipid. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 26(2), 51-61.
- Parlakay, O., & Alemdar, T. (2011). Türkiye’de Yerfıstığı Tarımında Teknik Ve Ekonomik Etkinlik. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 17(1 ve 2), 47-53.
- Pavlista, A. D., Baltensperger, D. D., Isbell, T. A., & Hergert, G. W. (2012). Compara-



- tive growth of spring-planted canola, brown mustard and camelina. *Industrial crops and products*, 36(1), 9-13.
- Princen, L.H. (1983). New oilseed crops on the horizon. *J. Economic Botany*, 37(4), 478-492.
- Przybylski, R. (2005). Flax oil and high linolenic oils. *Bailey's industrial oil and fat products*. 6, 281-301.
- Putnam, D. H., Budin, J. T., Field, L. A., & Breene, W. M. (1993). Camelina: a promising low-input oilseed. *New crops*, 314-322.
- 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.
- Raymer, P.L. (2002). *Canola: An Emerging Oilseed Crop*. In: J. Janick and A. Whipkey (Eds.), *Trends in New Crops and New Uses* (122-126). Alexandria, VA: ASHS Press.
- Retka-Schill, S. (2008). Walking a tightrope. *Biodiesel Mag*, 5(3), 64-70.
- Rojas, R., Ruso, J., Osorio, J., Haro, A., & Fernandez-Martinez, J. M. (1993). Variability in protein and hull content of the seed of a world collection of safflower. *Sesame Safflower Newsl*, 8, 122-126.
- Ruxton, C. H. S., Reed, S. C., Simpson, M. J. A., & Millington, K. J. (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.
- Sadou, O. (2016). *Agrobacterium tumefaciens aracılığıyla herbisitlere toleranslı keten (Linum usitatissimum L.) genotiplerinin geliştirilmesi üzerine araştırmalar*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara.
- Sahi, F. H., & Leitch, M. (1994). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L)-products and uses. *Journal of the Agricultural Society-University of Wales (United Kingdom)*.
- Salunkhe, D.K., Chavan, J.K., Adsule, R.N., & Kadam, S.S. (1991). *Sesame in world oilseeds: Chemistry, technology and utilization*. Van Nostrand and Reinhold, New York.
- Salunkhe, D. K., Chavan, S. K., Adjuke, R. N., & Kadam, S. S. (1992). Nonedible oilseeds. *World Oilseeds. Chemistry, Technology and Utilization*.
- Sang, J. P., & Salisbury, P. A. (1987). Wild Crucifer species and 4-hydroxyglucobrassicin. *Cruciferae Newsl*, 12, 113.
- Saraç, M. (2011). *Enzimatik Ekstraksiyon Yöntemi İle Pamuk Yağı Eldesi*. Doctoral

- dissertation, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schuster, W. H. 1(992). Ölpflanzen in Europa. DLG-Verlags-GmbH, S. 240
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L., & Leblebici, E. (1991). *Tohumlu Bitkiler Sistematigi*. Ege Üniversitesi Fen Fak. Kitaplar serisi, Ege Üniversitesi Basımevi, 4, 262-264.
- 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). Kentencik (*Camelina sativa*) Tarımı. *International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research*, 2(2), 36-62.
- Seyis, F., Aydın, E., & Çopur, M. (2013). An alternative oilseed crop: crambe (*Crambe abyssinica* hochst. Ex re Fries). *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(2), 108-114.
- Sezek, M. (2018). Endüstri Bitkileri ve Bitki Artıklarının Biyoyakıt Olarak Kullanımı. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 33(1), 105-111.
- Sezgin, M., Tezcan, H., Şahin, M., Arslan, Y., Subaşı, İ., Demir, İ., & Hasan, Koç. (2017). Bazı Pelemir (*Cephalaria syriaca* L.) Çeşitlerinin Türkiye’nin Farklı Ekolojik Koşullarında Verim ve Kalite Değerlerinin Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 192-195.
- Shonnard, D. R., Williams, L., & Kalnes, T. N. (2010). Camelina-derived jet fuel and diesel: Sustainable advanced biofuels. *Environmental progress & sustainable energy*, 29(3), 382-392.
- Smith, S. A., King, R. E., & Min, D. B. (2007). Oxidative and thermal stabilities of genetically modified high oleic sunflower oil. *Food Chemistry*, 102(4), 1208-1213.
- 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.
- Subaşı, İ., Arslan, Y., Aydın, O., Baloch, F., Çamlıca, M., & Çiftçi, V. (2021). Pelemir (*Cephalaria syriaca* L.) Bitkisinin Bazı Bitkisel Özelliklerinin ve Tohum Yağı Kompozisyonlarının Belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 7(1), 90-95.
- Şahin, G. (2014). Türkiye’de Üretimi Azalan Önemli Bir Yağ Bitkisi Susam. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 3(2), 404-433.
- Şahin, G., & Taşlıgil, N. (2016). Stratejik önemi artan bir endüstri bitkisi: Aspir (*Carthamus tinctorius* L.). *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 51-62.

- 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.
- Tittonel, E. D. (1995). Crambe abyssinica—general outline. AIR3-CT94-2480 Crambe abyssinica: A comprehensive programme. Wor shop Part 4-Utilization, USA.
- Tosun, M. (2003). *Bitkisel Sıvı Yağlar Sektör Araştırması*. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., GA/03-1-2, Ankara.
- TTSM. (2017). *Milli çeşit listesi*. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=85>. Erişim tarihi: 23 Aralık 2020.
- Tunçtürk, M. (2007). Van koşullarında bazı keten *Linum usitatissimum* L. çeşitlerinin verim ve bazı verim öğelerinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(04), 365-371.
- TÜİK (2020). *Statistical data of FAO*. Retrieved from: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>.
- Umarov, A. U., Chernenko, T. V., & Markman, A. L. (1972). The oils of some plants of the family Cruciferae. *Chemistry of Natural Compounds*, 8(1), 20-22.
- Uysal, N., Baydar, H., & Erbaş, S. (2006). Isparta popülasyonundan geliştirilen aspir (*Carthamus tinctorius* L.) hatlarının tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(1), 52-63.
- West, L., Tsui, I., Balch, B., Meyer, K., & Huth, P. J. (2002). Determination and health implication of the erucic acid content of broccoli florets, sprouts, and seeds. *Journal of food science*, 67(7), 2641-2643.
- 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.
- Yazıcıoğlu, T., Karaali, A., & Gökçen, J. (1977). Pelemin Tohumu Yağı ve Küspesi Üzerinde Bir Araştırma. *TBTAK Marmara BAE, Beslenme ve Gıda Teknik Ünitesi, Proje Raporu*, (2807).
- Yazıcıoğlu, T., Karaali, A., & Gökçen, J. (1978). *Cephalaria syriaca* seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 55(4), 412-415.
- Yıldırım, M. (2005). *Seçilmiş alternatif keten (Linum usitatissimum L.) hatlarının verim ve verim öğeleri bakımından karşılaştırılması*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Yılmaz, A., Yılmaz, H., Arslan, Y., Çiftçi, V., Baloch, F.S. (2021). Ülkemizde Alternatif Yağ Bitkilerinin Durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 93-100.
- Yurtvermez, B., Gıdık, B. (2021). Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Kullanım Alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 139-145.
- Zhang, L. P., Yan, J., & Chai, Q. (1997, June). *Pharmacological study of safflower*. In IVth International Safflower Conference, 339-346.
- Zubr, J. (1997). Oil-seed crop: Camelina sativa. *Industrial crops and products*, 6(2), 113-119.
- Zubr, J., & Matthäus, B. (2002). Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in Camelina sativa oil. *Industrial crops and products*, 15(2), 155-162.