

## ULTRASONİKASYON VE SOKSALET YÖNTEMLERİYLE EKSTRAKTE EDİLEN KETENCİK TOHUM YAĞLARININ OKSİDATİF ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

**Ceren Mutlu, Fatma Korkmaz\***

Balikesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Balikesir, Türkiye

Geliş/Received: 25.01.2022; Kabul /Accepted: 25.05.2023; Online baskı /Published online: 03.06.2023

Mutlu, C., Korkmaz, F. (2023). Ultrasonikasyon ve soksalet yöntemleriyle ekstrakte edilen ketencik tohum yağlarının oksidatif özelliklerinin belirlenmesi. *GIDA* (2023) 48 (3) 627-640 doi: 10.15237/gida.GD2030

*Mutlu, C., Korkmaz, F. (2023). Determination of the oxidation properties of camelina seed oils extracted by ultrasonication and soxhlet methods. GIDA (2023) 48 (3) 627-640 doi: 10.15237/gida.GD23020*

### ÖZ

Araştırmada ketencik tohumundan farklı sıcaklık (30, 45, 60°C), süre (15, 30, 45 dk) ve güç (%30, 65, 100) koşullarında ultrasonikasyon yöntemi ile yağ ekstraksiyonunun optimizasyonu amaçlanmıştır. Optimum koşullarda elde edilen yağ, soksalet ekstraksiyonu ile elde edilen yağ örneği ile verim, yağ asidi kompozisyonu ve oksidasyon özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Ultrasonikasyon yönteminde yağ verimi açısından optimum koşullar 38.16°C, 15 dk ve %30 ultrasonikasyon gücü ve bu koşullarda yağ verimi 24.44 g/100g olarak bulunmuştur. Oksidasyon analizleri sonuçlarına göre ise soksalet ve ultrasonikasyon yöntemleri ile elde edilen yağların peroksit değerlerinin sırasıyla 3.39-69.25 ve 2.15-54.19 meqO<sub>2</sub>/kg yağ, konjuge dien değerlerinin ise sırasıyla 2.14-9.71 ve 1.79-7.22 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca uygulanan ekstraksiyon yöntemleri ketencik yağının yağ asidi kompozisyonunda önemli bir farklılığa neden olmamıştır. Ketencik yağının ekstraksiyonunda ultrasonikasyon tekniğinin bir alternatif olabileceği ve bu yağın fonksiyonel gıdaların üretiminde kullanılma potansiyelinin bulunduğu değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Camelina sativa*, optimizasyon, peroksit, linolenik asit

### DETERMINATION OF THE OXIDATION PROPERTIES OF CAMELINA SEED OILS EXTRACTED BY ULTRASONICATION AND SOXHLET METHODS

#### ABSTRACT

In the study, it was aimed to optimize oil extraction from camelina with ultrasonication at different temperature (30, 45, 60°C), time (15, 30, 45 min) and power (30, 65, 100%) conditions. The oil obtained under optimum conditions was compared with the oil by soxhlet extraction for yield, fatty acid composition and oxidation properties. The ultrasonication optimum conditions were 38.16°C, 15 min, and 30% ultrasonication power, and oil yield was 24.44 g/100g. The peroxide values of the oils obtained by soxhlet and ultrasonication methods were 3.39-69.25 and 2.15-54.19 meqO<sub>2</sub>/kg oil, respectively. The conjugated diene values of oils obtained by soxhlet and ultrasonication methods were 2.14-9.71 and 1.79-7.22, respectively. Moreover, the applied extraction methods did not cause a significant difference in the fatty acid composition of camelina oil. Ultrasonication technique can be an alternative for the *Camelina sativa* oil extraction and this oil has potential for using in the functional food production.

**Keywords:** *Camelina sativa*, optimization, peroxide, linolenic acid

\* Yazışmalardan sorumlu yazar/ *Corresponding author*

✉:fatma.korkmaz@balikesir.edu.tr

☎: (+90) 266 612 6313

Ceren Mutlu; ORCID no: 0000-0003-4943-2798

Fatma Korkmaz; ORCID no: 0000-0002-6834-4833

## GİRİŞ

Ketencik [*Camelina sativa* (L.) Crantz], Brassicaceae familyasının bir üyesi olup, kökeni Doğu Avrupa ve Orta Asya bölgelerine dayanan önemli bir yağ bitkisidir (Vollmann ve Eynck, 2015; Sydor vd., 2022). Ülkemizde “yalancı keten”, “Alman susamı” veya “Sibirya yağlı tohumu” gibi farklı isimlerle de bilinmektedir (Kurt ve Seyis, 2008). Ketencik farklı iklim koşullarına ve toprak yapısına uyum sağlamasıyla beraber su, gübre ve ilaç ihtiyacının da az olması sebebiyle diğer yağlı tohum bitkilerine göre önemli bir potansiyele sahiptir (Mondor ve Hernández-Álvarez, 2021). Ketencik, başta omega-3 olmak üzere esansiyel çoklu doymamış yağ asitleri, tokoferoller ve fitosteroller gibi önemli biyoaktif bileşikler içerdiği için son yıllarda ilgi çeken bitkisel kaynaklardan biri haline gelmiştir (Abramovič vd., 2007; Piravi-vanak vd., 2022).

Yetiştirildiği çevre koşullarına, çeşidine ve ekstraksiyon yöntemine göre ketencik tohumları %30-49 aralığında yağ içeriğine sahip olup, yağ asitlerinin %30-40'ı  $\alpha$ -linolenik asit, %15-25'i linoleik asit, %10-25'i oleik asit ve yaklaşık %3'ü ise erusik asitten oluşmaktadır (Abramovič vd., 2007; Berti vd., 2016; Mondor ve Hernández-Álvarez, 2021). Kendine özgü bileşimi sayesinde ketencik yağı enerji, kimya (kozmetik, deterjan gibi) ve gıda sanayinde hammadde olarak kullanılmaktadır (Leclère vd., 2021; Sydor vd., 2022). Özellikle elzem yağ asitlerinden olan  $\alpha$ -linolenik ve linoleik asitleri yüksek düzeyde içermesi nedeniyle ketencik, insan beslenmesi için değerli bir yağ kaynağı olarak görülmektedir (Popa, 2017; Mondor ve Hernández-Álvarez, 2021). Genel olarak ketencik yağı yüksek sıcaklıkta kızartmaya uygun olmasa da salata veya yemeklik yağ olarak tüketilmektedir (Berti vd., 2016). Ayrıca ketencik, fonksiyonel gıda ve besin takviyesi olarak da kullanılabilir (Sydor vd., 2022). Ketencik yağının fonksiyonel özellikleri yapısında bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinden ve bu yağ asitlerinin de yarısından fazlasının omega-3 (%30-40) ve omega-6 (%15-20) yağ asitleri olmasından ileri gelmektedir (Terpinc vd., 2012; Sydor vd., 2022). Bununla birlikte ketencik yağında tekli doymamış yağ asitleri, bitki steroller, çeşitli fenolik bileşikler (rutin, kateşin ve

kuersetin) ve vitaminler (E, A ve B vitaminleri) olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşenler de bulunmaktadır (Terpinc vd., 2012; Sydor vd., 2022).

Genel olarak ketencik tohumundan mekanik presleme, enzimatik ve solvent ekstraksiyon yöntemleri ile yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilmektedir (Popa, 2017). Mekanik presleme yöntemi ile yüksek kalitede yağ elde edilebilse de ekstraksiyon verimi düşük ve enerji ihtiyacı yüksektir (Liu vd., 2009). Solvent ekstraksiyon yönteminde kullanılan hekzan, metanol, etanol ve petrol eteri gibi çözücülerin çevreye olası zararlı etkilerine ek olarak ekstraksiyon sıcaklığının yüksek ve süresinin uzun olması birtakım dezavantajlar oluşturmaktadır (Tian vd., 2013). Enzimatik ekstraksiyon yöntemi de çevre dostu ve uygulaması kolay bir yöntem olması sebebiyle yağ ekstraksiyonunda alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde hem ekstraksiyon uzun sürede gerçekleşmekte hem de düşük yağ verimi elde edilmektedir (Hu vd., 2020). Söz konusu bu yöntemlerin dezavantajları nedeniyle yağ ekstraksiyonunda alternatif yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur (Tian vd., 2013). Bu doğrultuda son yıllarda özellikle ultrason destekli yağ ekstraksiyonu üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır (Wang vd., 2020). Ultrason dalgalarının oluşturduğu akustik kaviteasyonlar sonucu açığa çıkan enerji ve basınç, bitkisel materyalin yüzeyinde yapısal değişimlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Böylece kullanılan çözücünün materyale transferi kolaylaşmakta ve ekstraksiyonun etkinliği artmaktadır. Sonuç olarak, bu yöntem ekstraksiyon süresinin ve solvent kullanımının azalmasını; enerji ve üretim verimliliğinin ise artmasını sağlamaktadır (Senrayan ve Venkatachalam, 2020; Wang vd., 2020; Oprescu vd., 2022). Ayrıca ultrasonikasyon uygulaması daha iyi kalitede yağ elde edilmesini de sağlamaktadır (Rajendran vd., 2021; Li vd., 2023).

Literatürde kanola (Jalili vd., 2018), ay çekirdeği (Moradi vd., 2018), kolza tohumu (Perrier vd., 2017), kabak çekirdeği (Hernández-Santos vd., 2016), nar çekirdeği (Goula vd., 2018; Rojo-Gutiérrez vd., 2021), fıstık (Haji Heidari ve

Taghian Dinani, 2018) ve kapok çekirdeği (Senrayan ve Venkatachalam, 2020) gibi farklı bitkisel materyallerden yağ ekstraksiyonu konusunda hem ultrasonikasyon gücü, çözücü-katı oranı, ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi gibi faktörlerin etkilerinin incelendiği hem de ultrasonikasyon destekli yağ ekstraksiyonun diğer yöntemlerle kıyaslandığı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak yapılan literatür araştırmasında ketencik tohumlarından ultrasonikasyon yöntemi kullanılarak yağ ekstraksiyonu konusunda bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmada, ketencik tohumundan ultrasonikasyon yöntemi ile yağ ekstraksiyonu parametrelerinin (ekstraksiyon sıcaklık ve süresi ve ultrason gücü) optimizasyonun yapılması ve belirlenen optimum koşullarda ekstrakte edilen yağın oksidasyon özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

### MATERYAL VE METOT

#### Materyal

Araştırmada materyal olarak kullanılan ketencik [*Camelina sativa* (L.) Crantz.] tohumları Denizli'de bulunan Tanoğlu Enerji ve Tarım Ürünleri firmasından temin edilmiştir. Yağ ekstraksiyon işlemlerinden hemen önce tohumlar bir öğütücü (Sinbo, SCM-2910, Çin) yardımıyla öğütülmüş ve 1 mm'lik elekten geçirilmiştir.

Araştırmada kullanılan kimyasallar ise Honeywell (Hessen, Almanya) ve Sigma-Aldrich (Taufkirchen, Almanya) firmalarından tedarik edilmiştir.

#### Metotlar

##### Ketencik tohumundan yağ ekstraksiyonu

Araştırmada, ketencik tohumundan yağ ekstraksiyonunda ultrasonikasyon destekli ekstraksiyon ve soksalet ekstraksiyon olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmıştır.

Ultrasonikasyon destekli yağ ekstraksiyonu Tontul vd. (2018)'in belirttiği yöntemle yapılmıştır. Ekstraksiyon 13 mm çapında prob kullanılarak ultrasonik homojenizatör (Bandelin, Sonopuls HD 2200.2, Almanya) vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ekstraksiyon sırasında hekzan kaybının en düşük düzeyde olabilmesi amacıyla kapağında ultrason probunun

girebileceği kadar açıklık bulunan vida kapaklı cam bir kap (250 mL) kullanılmıştır. Örnek (15 g), üzerine hekzan (90 mL) ilave edildikten sonra sıcaklığı ayarlanmış su banyosu (Jeio Tech, Water Bath BW-20B, Kore) içerisine alınmış ve ardından içerisine ultrason probu daldırılarak farklı ultrasonikasyon gücü ve sürelerde ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Araştırmada uygulanacak ekstraksiyon sıcaklığı, süresi ve ultrasonikasyon gücü, Design Expert 10 (Stat-Ease Co., Minneapolis, ABD) istatistik programı kullanılarak belirlenmiştir. Ekstraksiyon sonunda elde edilen misella (ketencik, yağ ve çözücü karışımı) 5800 rpm hızla 15 dakika santrifüj (Centurion, Benchtop centrifuges C2006, İngiltere) edilerek katı faz ayrılmıştır. Ardından üst fazda bulunan hekzan, rotary evaporatörde (Heildolph, Hei-VAP(EU), Almanya) uçurulmuş ve daha sonra elde edilen ketencik yağında mevcut olabilecek çözücü kalıntılarını uzaklaştırmak amacıyla örnekler 50°C sıcaklıktaki etüvde (Daihan, Wisecube WIG-105, Kore) 2 saat bekletilmiştir.

Soksalet yöntemi ile yağ ekstraksiyonu AACC Metot 30-25'te belirtilen yöntemle yapılmıştır (AACC, 2000).

##### Ketencik tohumundan yağ ekstraksiyonu deneme deseni

Araştırmada uygulanan ultrasonikasyon destekli ekstraksiyon yönteminde bağımsız değişkenler olarak ekstraksiyon sıcaklığı ( $X_1$ ), süresi ( $X_2$ ) ve ultrasonikasyon gücü ( $X_3$ ) seçilmiş olup, deneme planı ise yüzey merkezli merkezi kompozit tasarıma (face-centred central composite design, FCCD) göre oluşturulmuştur. Buna göre bağımsız değişkenlerin maksimum, minimum ve orta noktaları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Bağımsız değişkenlerin sınır değerlerine literatürde bildirilen çalışmalar göz önünde bulundurularak karar verilmiştir (Samaram vd., 2015; Tekin vd., 2015; Tontul vd., 2018). Üç faktör ile üç seviyeli oluşturulan tasarımın merkez noktasında yapılan üç tekrarla birlikte toplam 17 farklı ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Araştırmada yağ verimi, peroksit sayısı ve konjuge dien değerleri bağımlı değişkenler olarak seçilmiştir.

Çizelge 1. Ketencik yağının ultrason destekli ekstraksiyonunda kullanılan parametrelerin değerleri  
 Table 1. Values of parameters used in ultrasound assisted extraction of camelina oil

Bağımsız değişkenler <i>Independent variables</i>		En düşük (-1) <i>Minimum (-1)</i>	Merkez (0) <i>Center (0)</i>	En yüksek (+1) <i>Maximum (+1)</i>
Sıcaklık/ <i>Temperature</i> (°C)	$X_1$	30	45	60
Süre/ <i>Time</i> (dk/ <i>min</i> )	$X_2$	15	30	45
Güç/ <i>Power</i> (%)	$X_3$	30	65	100

### Yağ veriminin belirlenmesi

Yağ verimi, uygulanan ekstraksiyon işlemi sonunda elde edilen yağ ağırlığının başlangıçta kullanılan tohumun ağırlığına oranı şeklinde değerlendirilmiş ve tohumların kuru madde miktarı dikkate alınarak g/100g olarak hesaplanmıştır.

### Peroksit sayısı analizi

Ketencik yağı örneklerinin peroksit sayısı değeri, AOCS Metot Cd8-53'te belirtildiği şekilde 1 kg yağda bulunan peroksit oksijeninin mili eşdeğer oksijen cinsinden değeri (meqO<sub>2</sub>/kg yağ) olarak hesaplanarak verilmiştir (AOCS, 2004).

### Konjuge dien analizi

Ketencik yağı örneklerinin konjuge dien (K<sub>232</sub>) değeri AOCS Metot Ch5-91'de belirtildiği şekilde UV/VIS spektrofotometre (Shimadzu, UV-VIS Spektrofotometre, UV-1280, Japonya) kullanılarak 232 nm dalga boyunda belirlenmiştir (AOCS, 2004).

### Yağ asidi profili analizi

Örneklerin yağ asidi metil esterleri ISO metot 12966-2:2017'de belirtildiği şekilde hazırlanmıştır (ISO, 2017). Buna göre yaklaşık 0.1 g yağ örneği tartılarak üzerine 10 mL *n*-hekzan ve 0.5 mL 2N metanol ile hazırlanmış KOH çözeltisi eklendikten sonra karıştırılmıştır. Karışımın üst faz kısmı berrak bir görünüm alıncaya kadar karanlık bir ortamda oda sıcaklığında bekletilmiş ve berrak kısımdan alınan örnek analiz edilmiştir. Ketencik yağ asidi profili gaz kromatografisi sisteminde (Shimadzu, GC-2025, Japonya), kapiler kolon (60 m×0.25 mm×0.20 µm, Rtx-2330, USA) ve FID dedektör kullanılarak belirlenmiştir. Analizde kolon sıcaklığı 190°C, enjeksiyon bloğu sıcaklığı 230°C ve dedektör sıcaklığı 250°C olarak ayarlanmıştır. Ayrıca taşıyıcı

gazın (helyum) akış hızı 0.67 mL/dk ve split oranı 25:1 olarak uygulanmıştır.

### Hızlandırılmış oksidasyon analizi

Hızlandırılmış oksidasyon testi Kıralan vd. (2018) tarafından belirtilen yönteme göre 60°C sıcaklığındaki etüvde 10 gün süresince gerçekleştirilmiştir. Yağ örnekleri (yaklaşık 2.50 g) her bir depolama süresi için ayrı ayrı tüplere konulmuş ve ağızları hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Depolama süresince örneklerin peroksit sayısı ve konjuge dien değerlerindeki değişimleri takip edilmiştir.

### İstatistiksel analiz

Belirtilen deneme tasarımı kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında, her bir bağımlı değişken için doğrusal, 2FI, kuadratik ve kübik modellere göre Design Expert 10 (Stat-Ease Inc. USA) programı kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Modellerin değerlendirmesinde *p* değeri, uyum eksikliği değeri (lack-of-fit), R<sup>2</sup> ve düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerleri kullanılmış ve *p* değeri istatistiksel olarak önemli (*p*<0.05), uyum eksikliği değeri istatistiksel olarak önemsiz (*p*>0.05) ve R<sup>2</sup> değerleri 1'e ve birbirine yakın olan model en uygun model olarak belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen modelin tahmin gücünün artırılması amacıyla modelde bulunan ve istatistiksel olarak önemsiz (*p*>0.05) olan katsayılar modelden çıkarılmıştır. Optimum ultrasonikasyon destekli ekstraksiyon koşulu olarak; verimin maksimize, konjuge dien değerinin minimize olacağı ve uygulanacak sıcaklık değerinin deneme deseninde kullanılan aralıkta (30-60°C), sürenin ve ultrasonikasyon gücünün ise minimize olacağı şartlar belirlenmiştir. Belirlenen bu şartlarda ketencik yağı ekstrakte edilmiş ve verim ile konjuge dien değerleri deneysel olarak belirlenerek optimum koşula ait teorik değer ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmadaki tüm analizler en az 2 paralelli olarak yapılmış ve tutarlı bulunmayan tüm sonuçlar tekrarlanmıştır. Sonuçlar örnek kuru maddesi üzerinden hesaplanmış ve “ortalama  $\pm$  standart hata” olarak sunulmuştur.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Yağ ekstraksiyonu optimizasyonuna ait bulgular

Ketencik tohumundan ultrasonikasyon yöntemi ile yağ ekstraksiyonu için uygulanan merkezi

kompozit deneme deseni ve analiz verileri Çizelge 2’de verilmiştir. Deneme deseninin yanıtı olan ve Çizelge 2’de verilen verilere ait istatistiksel analiz sonuçları değerlendirildiğinde kuadratik modelin deneme şartlarında verim değerleri için istatistiksel olarak önemli ( $p<0.01$ ) olduğu, ancak örneklerle ait peroksit ve konjuge dien düzeylerinin uygulanan farklı koşullardan istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilenmediği ( $p>0.05$ ) tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Ketencik tohumundan ultrasonikasyon yöntemi ile yağ ekstraksiyonu için uygulanan merkezi kompozit deneme deseni ve analiz verileri

Table 2. Central composite trial design and analysis data applied for oil extraction from camelina seed by ultrasonication method

Deneme no Run	Sıcaklık/ $X_1$ (°C) Temperature/ $X_1$ (°C)	Süre/ $X_2$ (dk) Time/ $X_2$ (min)	Güç/ $X_3$ (%) Power/ $X_3$ (%)	Verim (g/100g) Yield (g/100g)	Peroksit (meqO <sub>2</sub> /kg yağ) Peroxide (meqO <sub>2</sub> /kg oil)	Konjuge dien Conjugated diene
1	30	45	100	29.21	3.19	1.81
2	60	45	100	20.48	4.28	2.21
3	60	30	65	25.84	2.47	1.91
4	45	30	100	30.80	2.85	1.84
5	30	45	30	27.56	3.58	1.83
6	30	15	100	26.97	2.85	1.30
7	45	30	65	29.65	3.19	1.94
8	60	15	30	27.61	3.20	2.00
9	45	15	65	28.78	3.19	1.83
10	45	30	65	28.95	3.18	1.92
11	30	30	65	27.74	2.14	1.86
12	45	30	65	29.10	3.21	1.90
13	45	45	65	28.43	2.49	2.12
14	45	30	30	27.53	2.11	2.03
15	30	15	30	27.43	1.40	1.78
16	60	15	100	23.86	2.47	2.10
17	60	45	30	27.40	2.30	2.00

Elde edilen analiz sonuçlarına göre; yağ ekstraksiyonu üretim veriminin 20.48-30.80 g/100g aralığında değiştiği ve en yüksek ekstraksiyon veriminin 45°C sıcaklıkta, 30 dakika süresince ve %100 güç ile gerçekleştirilen 4 numaralı deneme ile sağlandığı tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada nar çekirdeğinden ultrasonikasyon tekniği ile elde edilen en yüksek yağ veriminin %19.53-25.17 aralığında değiştiği ve en yüksek verimin 40°C ekstraksiyon sıcaklığı, 36 dakika ekstraksiyon süresi ve 140W ultrasonik

gücü koşullarında elde edildiği bildirilmiştir (Tian vd., 2013). Bir diğer çalışmada ise çiya tohumundan 45°C sıcaklık, 20 dakika ekstraksiyon süresi ve %80 ultrasonikasyon gücü uygulamasında %49.45 değeri ile en yüksek düzeyde yağ veriminin elde edildiği rapor edilmiştir (Tontul vd., 2018). Optimizasyon koşulları arasındaki farklılıkların örnekler arasındaki yapısal ve kimyasal farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ekstraksiyon veriminin sıcaklık, güç, süre gibi uygulanan farklı

koşulların yanı sıra örneğin nem içeriğine, örnek matrisinin doğasına, ekstrakte edilen analitin matris içindeki durumuna, örnek partikül boyutuna, örnek miktarına ve kullanılan cihaza bağlı olarak farklılık gösterebildiği belirtilmiştir (Büyüktuncel, 2012).

Peroksit ve konjuge dien değerleri yağlarda birincil oksidasyonun belirlenmesi amacıyla kullanılan parametreler olup (Pratap Singh vd., 2020), bu değerlerin oksidasyon düzeyindeki artışa bağlı olarak yükseldiği ifade edilmiştir (Kıralan vd., 2019). Farklı koşullarda gerçekleştirilen denemelere ait peroksit ve konjuge dien analiz sonuçlarının sırasıyla 1.40-4.28 meqO<sub>2</sub>/kg yağ ve 1.30-2.21 aralıklarında olduğu belirlenmiştir. En düşük peroksit sayısı ve konjuge dien değerlerinin en düşük sıcaklık ve süre uygulamalarında elde edildiği, ancak uygulanan parametrelerin peroksit sayısı ve konjuge dien değerleri üzerinde önemli bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiştir ( $p>0.05$ ).

Yapılan bir çalışmada ultrasonikasyon ile papaya çekirdeklerinden yağ ekstraksiyonunda peroksit değerinin sıcaklık, ultrasonikasyon gücü ve çözücü-örnek oranı ve bu değişkenlerin interaksiyonlarından etkilenmediği, yalnızca ekstraksiyon süresinin peroksit değeri üzerinde önemli bir etki gösterdiği bildirilmiştir. Ekstraksiyon süresinin kuadratik etkisinin peroksit değerlerini negatif yönde etkilediği ifade edilmiştir (Samaram vd., 2015). Bir diğer çalışmada ise *Pelvetia canaliculata* katkılanmış ayçiçeği yağlarına uygulanan ultrasonikasyon işlem süresinin konjuge dien değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir (Sousa vd., 2021).

Verim değerlerine uygun olarak belirlenen kuadratik modelin ve istatistiksel olarak önemli olan bağımsız değişkenlerin seçilmesi ile gerçekleştirilen varyans analizi ve çoklu regresyon istatistik değerlerine ait sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Bağımsız değişkenlerin yağ ekstraksiyon verimi üzerine etkisini gösteren varyans ve regresyon analizlerine ait bulgular

Varyasyon kaynağı/ <i>source</i>	Variation	KT/ Sum of <i>squares</i>	SD/ Standard <i>deviation</i>	KO/Mean <i>of squares</i>	p-değeri/ <i>p-value</i>
Model		68.63	4	17.16	0.0013**
X <sub>1</sub>		18.83	1	18.83	0.0083*
X <sub>3</sub>		3.87	1	3.87	0.1779
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>		17.57	1	17.57	0.0101*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>		28.36	1	28.36	0.0022**
Artık hata/ <i>Residual</i>		22.66	12	1.89	
Uyum eksikliği/ <i>Lack of fit</i>		22.39	10	2.24	0.0587
		Değer/ <i>Value</i>			
R <sup>2</sup>		0.75			
Düzeltilmiş R <sup>2</sup> /Adjusted R <sup>2</sup>		0.67			
Tahmin edilen R <sup>2</sup> /Predicted R <sup>2</sup>		0.42			
Yeterli hassasiyet/ <i>Adequate precision</i>		9.02			

X<sub>1</sub>: sıcaklık/temperature, X<sub>2</sub>: süre/time, X<sub>3</sub>: güç/power, KT: kareler toplamı, SD: serbestlik derecesi, KO: kareler ortalaması, \*:  $p<0.05$ , \*\*:  $p<0.01$

Çizelge 3'te verilen varyans analizi verilerine göre ekstraksiyon sıcaklığının, sıcaklık ve güç interaksiyonunun ve kuadratik olarak sıcaklığın yağ ekstraksiyon verimi üzerinde önemli düzeyde etkili ( $p<0.01$ ;  $p<0.05$ ) olduğu belirlenmiştir.

Kullanılan deneme deseninde yağ ekstraksiyon veriminin kuadratik model ile iyi bir uyum ( $R^2 = 0.75$ ) içerisinde olduğu değerlendirilmiştir. Modelin anlamlılığı ve kabul edilebilirliği için regresyon katsayısının 0.75 değeri ve üzerinde

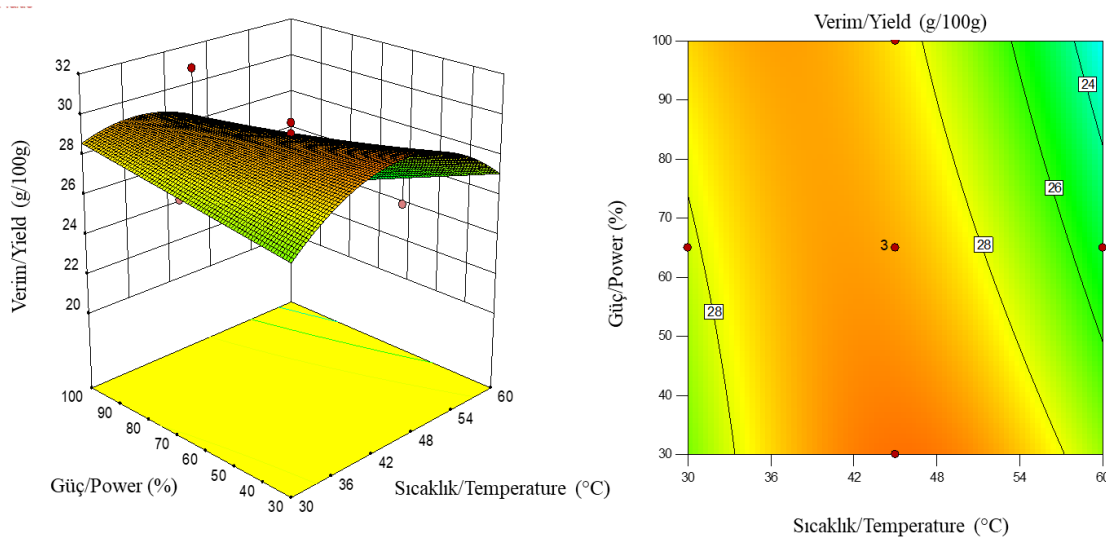
olması gerektiği bildirilmiştir (Mohammadpour vd., 2019). Yeterli hassasiyet değerinin 9.02 ile sınır değer olan 4 değerinden büyük olması da modelin uygunluğunu ve gürültüden etkilenmediğini ifade etmektedir. Deneme koşullarında önemsiz bulunan değişkenler ihmal edildikten sonra önemli bulunan bağımsız değişkenlere göre oluşturulan yağ verimi eşitliği ise Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\text{Verim (g/100g)} = 29.03 - 1.37X_1 - 0.62X_3 - 1.48X_1X_3 - 2.62X_1^2 \quad \text{Eşitlik 1}$$

### Bağımsız değişkenlerin yağ ekstraksiyon verimi üzerine etkileri

Ultrasonikasyon yönteminde ekstraksiyon etkinliğinin, çözücünün türü ve konsantrasyonu ile işlem sıcaklığı, süresi ve ultrason dalgalarının frekansı gibi faktörlere bağlı olabileceği bildirilmiştir (Mwaurah vd., 2019). Uygulanan

deneme koşullarında ise yağ ekstraksiyon verimi üzerine ekstraksiyon sıcaklığının, sıcaklık-güç interaksyonunun ve sıcaklığın karesinin istatistiksel olarak önemli ( $p < 0.01$ ;  $p < 0.05$ ) bir etkisinin olduğu, ancak ekstraksiyon süresinin ekstraksiyon verimini etkilemediği tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada ultrasonikasyon süresinin 5 dakikadan 15 dakikaya çıkarılmasının *Moringa oleifera* çekirdeklerinden yağ ekstraksiyon verimini artırdığı ancak verim değerinin 5 dakikadan sonra önemli bir oranda değişmediği belirtilmiştir (Zhong vd., 2018). Bir diğer araştırmada ise 20 dakika ultrasonikasyon uygulama süresinden sonra perilla yağı ekstraksiyon veriminin yaklaşık aynı olduğu rapor edilmiştir (Li vd., 2015). Önemli bulunan bağımsız değişkenlerin yağ ekstraksiyon verimi üzerine etkisi Şekil 1'de verilen grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 1. Bağımsız değişkenlerin yağ ekstraksiyon verimi üzerine etkisi  
Figure 1. Effect of independent variables on oil extraction efficiency

Yağ ekstraksiyon veriminin sıcaklık artırıldıkça yaklaşık orta nokta değerine doğru arttığı ancak bu değerden sonra azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca sadece güç değişimi ile önemli düzeyde farklılık göstermeyen yağ ekstraksiyon veriminin, ortalama sıcaklık değerinde uygulanan ultrasonikasyon gücünün yükseltilmesi ile artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Sıcaklığın verim üzerindeki bu değişen etkisinin akustik kavitasyonun yoğunluğunu etkileyen buhar basıncındaki değişim ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ultrasonikasyon düşük sıcaklık değerlerinde daha az kabarcık ve buhar basıncı oluşumuna neden olurken, bu durumun sonucunda kabarcık ara yüzeylerinde oluşan yüksek basınç farkı nedeniyle kabarcıklarda daha

büyük bir kuvvetle patlama gerçekleşerek bozulan hücre dokularından daha fazla yağ ekstrakte edilebilmektedir. Ancak daha yüksek sıcaklık değerlerinde kabarcıkların içi ve dışı arasında küçük bir basınç farkı meydana geldiğinden kabarcıklar daha az kuvvetle patlamakta ve hücre dokusunun daha düşük düzeyde tahrip edilmesi ile yağ ekstraksiyonu azalmaktadır (Mohammadpour vd., 2019). Yapılan bir çalışmada ultrasonikasyon işlem sıcaklığının 20°C değerinden 40°C değerine artırılması ile ekstraksiyon veriminin yükseldiği, ancak 40°C değerinden 60°C değerine yapılan artış ile yağ ekstraksiyon veriminde azalma meydana geldiği rapor edilmiştir (Li vd., 2015).

Ultrasonikasyon gücündeki artışın yağ ekstraksiyon verimini arttırmasının, ultrason probunun mekanik titreşimi ile katı ve sıvı fazlar arasında daha geniş temas yüzey alanının oluşmasının sonucu olabileceği rapor edilmiştir (Samaram vd., 2015). Ultrasonikasyon ile meydana gelen titreşim, çözücünün numune matrisine daha fazla ve daha kolay nüfuz etmesine neden olmakta ve artan hidrodinamik kuvvet etkisiyle hücre duvarı kolayca bozularak yağ

ekstraksiyon veriminde artış olmaktadır (Pan vd., 2012; Samaram vd., 2015). Yapılan bir çalışmada ultrasonikasyon gücünün 300W değerinden 400W değerine artırılması ile ekstraksiyon veriminin yükseldiği, ancak 400W değerinden 500W değerine yapılan artış ile yağ ekstraksiyon veriminde bir miktar azalma ile birlikte önemli bir farklılık olmadığı bildirilmiştir (Li vd., 2015). Bir diğer çalışmada ise papaya çekirdeklerinden yağ ekstraksiyonunda ultrasonikasyon gücünün 700W değerine kadar yükseltilmesinin ekstraksiyon verimini artırdığı rapor edilmiştir (Samaram vd., 2015).

#### Optimum yağ ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi, doğrulanması ve analiz sonuçları

Ketencik tohumundan ultrasonikasyon ile yağ ekstraksiyonu için bağımsız değişkenler olarak kullanılan sıcaklık, süre ve ultrasonikasyon gücünün yağ verimi üzerine etkileri ve en yüksek istenebilirlik değeri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde elde edilen optimum ekstraksiyon koşulları ile elde edilmesi tahmin edilen ve denemeler sonucunda elde edilen yağ verimleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Optimum yağ ekstraksiyon koşulları ve elde edilmesi tahmin edilen ve denemeler sonucunda elde edilen yağ verimleri

Table 4. Optimum oil extraction conditions and estimated oil yields and obtained oil yields as a result of experiments

Koşullar	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Güç (%)	Yağ verimi (g/100g)	Peroksit (meqO <sub>2</sub> /kg yağ)	Konjuge dien	İstenebilirlik (%)
Run	Temperature (°C)	Time (min)	Power (%)	Yield (g/100g)	Peroxide (meqO <sub>2</sub> /kg oil)	Conjugated diene	Desirability (%)
Optimum	38.16	15.00	30.00	29.06	2.18	1.83	92.80
Deneme	38.16	15.00	30.00	24.44	2.15	1.79	-

Yağ verimi açısından optimum koşulların 38.16°C sıcaklık, 15 dakika ekstraksiyon süresi ve %30 ultrasonikasyon gücü olduğu belirlenmiştir. Bitkilerden ultrasonikasyon tekniği ile yağ ekstraksiyonunun cevap-yüzey metodu ile optimize edildiği farklı çalışmalarda papaya çekirdek yağı için optimum ultrasonikasyon sıcaklık, güç ve süresinin sırasıyla 62.5°C, 700W ve 38.5 dakika olarak belirlendiği (Samaram vd., 2015), perilla bitkisinden %36.27 verimle elde edilen yağ için optimum ekstraksiyon koşullarının

41.26°C sıcaklık ve 17.11 dakikalık bir ekstraksiyon süresi olduğu (Li vd., 2015), *Moringa peregrina* bitkisinden yağ ekstraksiyonunun optimizasyonunda en uygun sürenin 26.3 dakika olduğu (Mohammadpour vd., 2019) ve kapok tohumlarından yağ ekstraksiyonu için ise %82.6 genlik seviyesinde, 43.50°C sıcaklığında ve 9.8 dakika süresince yağ ekstraksiyonunun optimum şekilde gerçekleştirilebileceği bildirilmiştir (Senrayan ve Venkatachalam, 2020).



Optimum koşullarda gerçekleştirilen denemelerden elde edilen yağ veriminin tahmin edilen değerden biraz daha düşük, konjuge dien ve peroksit değerlerinin ise tahmin edilen değerlere yakın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca belirlenen

optimum koşullarda ekstrakte edilen yağ, sokslet ekstraksiyonu ile elde edilen yağ örneği ile verim, peroksit, konjuge dien ve yağ asidi profili özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırma bulguları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Sokslet ve ultrasonikasyon yöntemleri ile ekstrakte edilen ketencik tohumu yağına ait bazı özellikler

Table 5. Some properties of camelina seed oil extracted by soxhlet and ultrasonication methods

Analizler/Analyses	Sokslet/ Soxhlet		Ultrasonikasyon/ Ultrasonication		
Verim (g/100g)/Yield (g/100g)	38.83 <sup>a</sup>	± 2.81	24.44 <sup>b</sup>	±	4.39
Peroksit (meqO <sub>2</sub> /kg yağ)/Peroxide (meqO <sub>2</sub> /kg oil)	3.39 <sup>a</sup>	± 0.19	2.15 <sup>b</sup>	±	0.01
Konjuge dien/Conjugated diene	2.14 <sup>a</sup>	± 0.01	1.79 <sup>b</sup>	±	0.03
Yağ asidi profili (%)/Fatty acid profile (%)					
Miristik asit/Miristic acid	0.07 <sup>Ha</sup>	± 0.00	0.07 <sup>Ha</sup>	±	0.00
Palmitik asit/Palmitic acid	6.60 <sup>Ea</sup>	± 0.01	6.42 <sup>Ea</sup>	±	0.02
Palmitoleik asit/Palmitoleic acid	0.11 <sup>Ha</sup>	± 0.00	0.11 <sup>Ha</sup>	±	0.00
Heptadekanoik asit/Heptadecanoic acid	0.05 <sup>Ha</sup>	± 0.00	0.05 <sup>Ha</sup>	±	0.00
cis-10-heptadekanoik asit/cis-10-heptadecanoic acid	0.04 <sup>Ha</sup>	± 0.00	0.04 <sup>Ha</sup>	±	0.00
Stearik asit/Stearic acid	2.80 <sup>Fa</sup>	± 0.00	2.77 <sup>Fa</sup>	±	0.00
Oleik asit/Oleic acid	20.89 <sup>Ca</sup>	± 0.07	20.84 <sup>Ca</sup>	±	0.03
Linoleik asit/Linoleic acid	23.95 <sup>Ba</sup>	± 0.09	23.61 <sup>Ba</sup>	±	0.00
Araşidik asit/Arachidic acid	1.74 <sup>Ga</sup>	± 0.01	1.75 <sup>Ga</sup>	±	0.00
Linolenik asit/Linolenic acid	28.56 <sup>Aa</sup>	± 0.11	28.78 <sup>Aa</sup>	±	0.03
cis-11-eikosenoik asit/cis-11-eicosenoic acid	15.19 <sup>Da</sup>	± 0.07	15.55 <sup>Da</sup>	±	0.02

Verilerde aynı sütunda yer alan ortalamalar arasındaki farklılıkları belirtmek için büyük harfler (A, B, C vd.), aynı satırda yer alan ortalamalar arasındaki farklılıkları belirtmek için ise küçük harfler (a, b, c vd.) kullanılmıştır.

Capital letters (A, B, C, etc.) were used to indicate the differences between the means in the same column, and small letters (a, b, c, etc.) were used to indicate the differences between the means in the same row in the data.

Sokslet yöntemi ile elde edilen yağın verim, peroksit ve konjuge dien değerlerinin, ultrasonikasyon ile elde edilen yağa ilişkin değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ultrasonikasyon ekstraksiyonundan elde edilen papaya tohumu yağının maksimum ekstraksiyon veriminin, uygulanan farklı ekstraksiyon koşullarının bir sonucu olarak solvent ekstraksiyonundan elde edilen verimden daha düşük olduğu bildirilmiştir (Samaram vd., 2013; Samaram vd., 2015). Ayrıca yapılan bir araştırmada ultrasonikasyon yöntemi ile elde edilen *Moringa peregrina* yağının peroksit değerinin, sokslet yöntemi ile elde edilen yağa göre nispeten daha düşük olduğu ve bu durumun ultrasonikasyon ile ekstrakte edilen yağın antioksidan aktivitesinin ve toplam fenolik madde

içeriğinin de daha yüksek olması ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir (Mohammadpour vd., 2019).

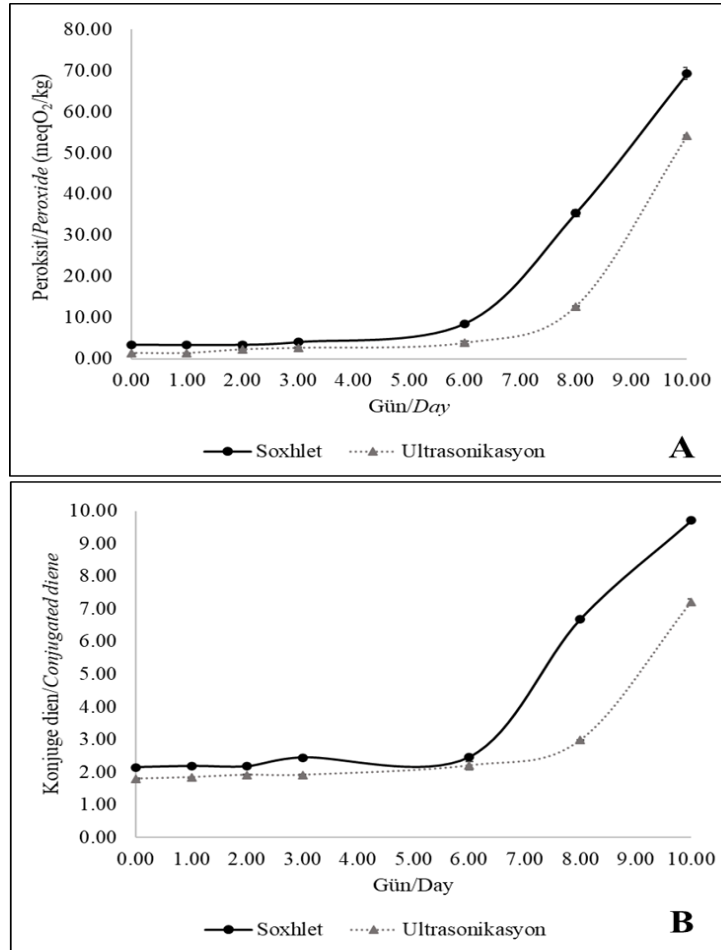
Yağ asidi profiline ait sonuçlar incelendiğinde ultrasonikasyon yöntemi ile ekstrakte edilen ketencik tohumu yağında miristik (%0.07), palmitik (%6.42), palmitoleik (%0.11), heptadekanoik (%0.05), cis-10-heptadekanoik (%0.04), stearik (%2.77), oleik (%20.84), linoleik (%23.61), araşidik (%1.75), linolenik (%28.78) ve cis-11-eikosenoik (%15.55) asitlerin bulunduğu ve hakim yağ asitlerinin ise sırasıyla linolenik, linoleik, oleik ve cis-11-eikosenoik asitlerin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca her iki ekstraksiyon yöntemi arasında ise yağ asidi kompozisyonu ve bu asitlerin oranları arasında önemli bir farklılık olmadığı ( $p>0.05$ ) tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada ketencik yağının soğuk sıkım ve hekzan

ekstraksiyonu yöntemleri ile ayrılması sonucu yağ asidi kompozisyonunda bir değişiklik olmadığı, ketencik yağının  $\alpha$ -linolenik (%32.50), linoleik (%18.10) ve oleik (%14.80) asitler açısından zengin olduğu ve linolenik asitçe zengin olması nedeniyle ketencik yağının sağlığı geliştirici özellikler açısından bir potansiyel taşıdığı bildirilmiştir (Kıralan vd., 2018).

### Oksidasyon analiz sonuçları

Soksalet ve ultrasonikasyon yöntemleri ile ekstrakte edilen ketencik tohumu yağına ait oksidasyon sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre 6. güne kadar her iki yöntem ile elde edilen yağların oksidasyon seviyelerinde önemli bir farklılık meydana gelmezken, 6.

günden sonraki günlerde yağ örnekleri hızlı bir şekilde oksidasyona uğramıştır. Ketencik tohumu yağının oleik, linoleik ve linolenik asitler gibi doymamış yağ asitleri açısından zengin olması nedeniyle oksidasyona karşı hassas olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca soksalet yöntemi ile ekstrakte edilen yağların oksidasyon seviyelerinin, ultrasonikasyon yöntemi ile elde edilen yağ örneklerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ekstrakte edilen yağlar arasındaki oksidasyon farklılıklarının yağ ekstraksiyonu sırasında yağ ile birlikte ayrılan polar lipidler, steroller, tokoller ve fenolik bileşikler gibi antioksidatif etkiye sahip biyoaktif bileşiklerin miktarlarındaki farklılıklar ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Kıralan vd., 2018).



Şekil 2. Soksalet ve ultrasonikasyon yöntemleri ile ekstrakte edilen ketencik tohumu yağına ait oksidasyon sonuçları

Figure 2. Oxidation results of camelina seed oil extracted by soxhlet and ultrasonication methods

Soksalet yöntemi ile elde edilen yağların peroksit ve konjuge dien değerlerinin sırasıyla 3.39-69.25 meqO<sub>2</sub>/kg yağ ve 2.14-9.71 ve ultrasonikasyon metodu ile elde edilen yağların peroksit ve konjuge dien değerlerinin ise sırasıyla 2.15-54.19 meqO<sub>2</sub>/kg yağ ve 1.79-7.22 aralıklarında olduğu belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada soğuk sıkım ve hekzan ekstraksiyonu ile elde edilen ketencik tohumu yağlarının oksidasyonlarının depolama ile artış gösterdiği, soğuk sıkım ile elde edilen yağların 10 günlük depolama sonunda peroksit değerlerinin 3.57 meqO<sub>2</sub>/kg yağ değerinden 107.30 meqO<sub>2</sub>/kg yağ değerine ve hekzan ekstraksiyonu ile elde edilen yağların depolama sonunda peroksit değerlerinin ise 4.32 meqO<sub>2</sub>/kg yağ değerinden 11.20 meqO<sub>2</sub>/kg yağ değerine yükseldiği rapor edilmiştir (Kıralan vd., 2018). Bir diğer çalışmada ise ketencik yağının başlangıçta 3.00 meqO<sub>2</sub>/kg olan yağ peroksit değerlerinin 10. günün sonunda 48.10 meqO<sub>2</sub>/kg yağ değerine yükseldiği, konjuge dien absorbans değerinin ise sekizinci depolama gününden sonra belirgin bir artış gösterdiği ve bu değerlerin kolza tohumu, susam, ayçiçeği, mısır ve zeytin yağlarına göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Eidhin vd., 2003).

### SONUÇ

Esansiyel yağ asitlerini ve çeşitli biyoaktif bileşikleri yüksek düzeyde içermesi sebebiyle ketencik yağı, insan beslenmesi için değerli bir kaynak olarak görülmektedir. Son yıllarda ketencik yağına artan ilgi sebebiyle, tohumdan daha yüksek verim ile yağ elde edilebilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışmada, ketencik tohumundan yüksek verim ile iyi kalitede yağ elde edilebilmesi amacıyla ultrasonikasyon yöntemi kullanılmıştır. Cevap yüzey metoduna göre verimin en yüksek olduğu (%24.44) optimum ekstraksiyon parametrelerinin; 38.16°C sıcaklık, 15 dk ekstraksiyon süresi ve %30 ultrasonikasyon gücü olduğu belirlenmiştir. Bu koşullarda elde edilen ketencik yağının peroksit ve konjuge dien değerleri ise sırasıyla 2.15 meqO<sub>2</sub>/kg yağ ve 1.79 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, ultrasonikasyon yöntemi ile elde edilen yağın verim, peroksit ve konjuge dien değerlerinin; soksalet yöntemi ile elde edilen yağa ilişkin

değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, soksalet yöntemi kullanılarak elde edilen ketencik yağı ile karşılaştırıldığında, ultrasonikasyon yöntemi ile ekstrakte edilen yağın daha yavaş oksidasyona uğradığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile ketencik tohumundan yağ ekstraksiyonunda ultrasonikasyon yönteminin alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği ve bu yağın oksidasyon özellikleri ve omega yağ asidi içeriği bakımından fonksiyonel gıdaların üretiminde kullanılma potansiyelinin bulunduğu değerlendirilmiştir.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarların bu araştırma ile ilgili olarak herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması yoktur.

### YAZAR KATKILARI

Bu araştırmanın yürütülmesinde, üretim denemeleri ve analizlerin gerçekleştirilmesinde ve makalenin yazılmasında yazarlar eşit olarak katkı sağlamıştır.

### TEŞEKKÜR

Araştırmaya verdiği destek nedeniyle Prof. Dr. Mustafa KIRALAN'a teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- AACC. (2000). Approved methods of American association of cereal chemists 10th ed. American Association of Cereal Chemists Inc., Minnesota, USA.
- Abramovič, H., Butinar, B., Nikolič, V. (2007). Changes occurring in phenolic content, tocopherol composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil during storage. *Food Chemistry*, 104(3), 903-909.
- AOCS. (2004). Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society 5th ed. AOCS. Champaign, IL.
- Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., Cermak, S. (2016). Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops and Products*, 94, 690-710.

- Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş ekstraksiyon teknikleri I. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 2, 209-242.
- Eidhin, D.N., Burke, J., O'Beirne, D. (2003). Oxidative stability of  $\omega$ 3-rich camelina oil and camelina oil-based spread compared with plant and fish oils and sunflower spread. *Journal of Food Science*, 68(1), 345-353.
- Goula, A.M., Papatheodorou, A., Karasavva, S., Kaderides, K. (2018). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pomegranate seeds. *Waste and Biomass Valorization*, 9(1), 1-11.
- Haji Heidari, S., Taghian Dinani, S. (2018). The study of ultrasound-assisted enzymatic extraction of oil from peanut seeds using response surface methodology. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(3), 1700252.
- Hernández-Santos, B., Rodríguez-Miranda, J., Herman-Lara, E., Torruco-Uco, J.G., Carmona-García, R., Juárez-Barrientos, J.M., Chávez-Zamudio, R., Martínez-Sánchez, C.E. (2016). Effect of oil extraction assisted by ultrasound on the physicochemical properties and fatty acid profile of pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 429-436.
- Hu, B., Li, Y., Song, J., Li, H., Zhou, Q., Li, C., Zhang Z, Liu Y, Liu A, Zhang Q, Liu S, Luo, Q. (2020). Oil extraction from tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) using the combination of microwave-ultrasonic assisted aqueous enzymatic method-design, optimization and quality evaluation. *Journal of Chromatography A*, 1627, 461380.
- ISO. (2017). ISO Standard No: 12966-2:2017. Animal and vegetable fats and oils-gas chromatography of fatty acid methyl esters-Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids. <https://www.iso.org/standard/72142.html> (Accessed: 16 January 2023).
- Jalili, F., Jafari, S.M., Emam-Djomeh, Z., Malekjani, N., Farzaneh, V. (2018). Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from canola seeds with the use of response surface methodology. *Food Analytical Methods*, 11(2), 598-612.
- Kıralan, M., Kıralan, S.S., Subaşı, I., Aslan, Y., Ramadan, M.F. (2018). Fatty acids profile and stability of camelina (*Camelina sativa*) seed oil as affected by extraction method and thermal oxidation. *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, XCV.
- Kıralan, M., Çalik, G., Kıralan, S., Özyaydin, A., Özkan, G., Ramadan, M.F. (2019). Stability and volatile oxidation compounds of grape seed, flax seed and black cumin seed cold-pressed oils as affected by thermal oxidation. *Grasas y Aceites*, 70(1), 295-295.
- Kurt, O., Seyis, F. (2008). Alternatif yağ bitkisi: ketencik [*Camelina sativa* (L.) Crantz]. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(2), 116-120.
- Leclère, M., Lorent, A.R., Jeuffroy, M.H., Butier, A., Chatain, C., Loyce, C. (2021). Diagnosis of camelina seed yield and quality across an on-farm experimental network. *European Journal of Agronomy*, 122, 126190.
- Liu, W., Fu, Y.J., Zu, Y.G., Tong, M.H., Wu, N., Liu, X.L., Zhang, S. (2009). Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from *Opuntia dillenii* Haw. and its antioxidant activity. *Food Chemistry*, 114(1), 334-339.
- Li, H.Z., Zhang, Z.J., Hou, T.Y., Li, X.J., Chen, T. (2015). Optimization of ultrasound-assisted hexane extraction of perilla oil using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 76, 18-24.
- Li, Z., Liu, Y., Liang, Y., Wang, H., Yang, F. (2023). Study of the optimization and kinetics of the surfactant-induced ultrasonic-assisted extraction of perilla seed oil: Free radical scavenging capacity and physicochemical and functional characteristics. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32, 100977.
- Mohammadpour, H., Sadrameli, S.M., Eslami, F., Asoodeh, A. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of *Moringa peregrina* oil with response surface methodology and comparison with Soxhlet method. *Industrial Crops and Products*, 131, 106-116.
- Mondor, M., Hernández-Álvarez, A.J. (2021). *Camelina sativa* composition, attributes, and

- applications: A review. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 124(3), 2100035.
- Moradi, N., Rahimi, M., Moeini, A., Parsamoghadam, M.A. (2018). Impact of ultrasound on oil yield and content of functional food ingredients at the oil extraction from sunflower. *Separation Science and Technology*, 53(2), 261-276.
- Mwaurah, P.W., Kumar, S., Kumar, N., Attkan, A.K., Panghal, A., Singh, V.K., Garg, M.K. (2020). Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 3-20.
- Opreescu, E.E., Enascuta, C.E., Radu, E., Ciltea-Udrescu, M., Lavric, V. (2022). Does the ultrasonic field improve the extraction productivity compared to classical methods—maceration and reflux distillation?. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 179, 109082.
- Pan, Z., Qu, W., Ma, H., Atungulu, G.G., McHugh, T.H. (2012). Continuous and pulsed ultrasound-assisted extractions of antioxidants from pomegranate peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(2), 365-372.
- Perrier, A., Delsart, C., Boussetta, N., Grimi, N., Citeau, M., Vorobiev, E. (2017). Effect of ultrasound and green solvents addition on the oil extraction efficiency from rapeseed flakes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 58-65.
- Piravi-vanak, Z., Azadmard-Damirchi, S., Kahrizi, D., Mooraki, N., Ercisli, S., Savage, G.P., Ahmadvandi, H.R., Martinez, F. (2022). Physicochemical properties of oil extracted from camelina (*Camelina sativa*) seeds as a new source of vegetable oil in different regions of Iran. *Journal of Molecular Liquids*, 345, 117043.
- Popa, A.L. (2017). *Camelina sativa* oil—a review. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 21, 233-238.
- Pratap Singh, A., Fathordoobady, F., Guo, Y., Singh, A., Kitts, D.D. (2020). Antioxidants help favorably regulate the kinetics of lipid peroxidation, polyunsaturated fatty acids degradation and acidic cannabinoids decarboxylation in hempseed oil. *Scientific Reports*, 10(1), 10567.
- Rajendran, N., Gurunathan, B., Ebenezer Selvakumari, I.A. (2021). Optimization and technoeconomic analysis of biooil extraction from *Calophyllum inophyllum* L. seeds by ultrasonic assisted solvent oil extraction. *Industrial Crops and Products*, 162, 113273.
- Rojo-Gutiérrez, E., Carrasco-Molinar, O., Tirado-Gallegos, J.M., Levario-Gómez, A., Chávez-González, M.L., Baeza-Jiménez, R., Buenrostro-Figueroa, J.J. (2021). Evaluation of green extraction processes, lipid composition and antioxidant activity of pomegranate seed oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 2098-2107.
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., Ghazali, H.M. (2013). Ultrasound-assisted extraction (UAE) and solvent extraction of papaya seed oil: Yield, fatty acid composition and triacylglycerol profile. *Molecules*, 18(10), 12474-12487.
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., Ghazali, H.M., Bordbar, S., Serjouie, A. (2015). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability. *Food Chemistry*, 172, 7-17.
- Senrayan, J., Venkatachalam, S. (2020). Ultrasonic acoustic-cavitation as a novel and emerging energy efficient technique for oil extraction from kapok seeds. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 62, 102347.
- Sousa, G., Trifunovska, M., Antunes, M., Miranda, I., Moldão, M., Alves, V., Vidrih, R., Allen Lopes, P., Aparicio, L., Neves, M., Tecelão, C., Ferreira-Dias, S. (2021). Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from *Pelvetia canaliculata* to sunflower oil. *Foods*, 10(8), 1732.
- Sydor, M., Kurasiak-Popowska, D., Stuper-Szablewska, K., Rogoziński, T. (2022). *Camelina sativa*. Status quo and future perspectives. *Industrial Crops and Products*, 187, 115531.

- Tekin, K., Akalın, M.K., Şeker, M.G. (2015). Ultrasound bath-assisted extraction of essential oils from clove using central composite design. *Industrial Crops and Products*, 77, 954-960.
- Terpinč, P., Polak, T., Makuc, D., Ulrih, N.P., Abramovič, H. (2012). The occurrence and characterisation of phenolic compounds in *Camelina sativa* seed, cake and oil. *Food Chemistry*, 131(2), 580-589.
- Tian, Y., Xu, Z., Zheng, B., Lo, Y.M. (2013). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 202-208.
- Tontul, S.A., Mutlu, C., Koç, A., Erbaş, M. (2018). Çiya tohumundan ultrason destekli yağ ekstraksiyonunun optimizasyonu. *Gıda*, 43(3), 393-402.
- Vollmann, J., Eynck, C. (2015). Camelina as a sustainable oilseed crop: Contributions of plant breeding and genetic engineering. *Biotechnology Journal*, 10(4), 525-535.
- Wang, Z., Fang, R., Guo, H. (2020). Advances in ultrasonic production units for enhanced oil recovery in China. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104791.
- Zhong, J., Wang, Y., Yang, R., Liu, X., Yang, Q., Qin, X. (2018). The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from *Moringa oleifera* seeds. *Industrial Crops and Products*, 120, 1-10.