

ZEYTİN PİRİNASININ MİKRODALGA KURUTULMASINDA ULTRASES ÖN İŞLEMİNİN ÜRÜNÜN BAZI FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Kadriye Altay^{1*}, Gülşah Çalışkan Koç², Arda Akdoğan³

¹Zeytincilik Araştırma Enstitüsü, İzmir, Türkiye

²Uşak Üniversitesi, Eşme Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gıda Teknolojisi Programı, Eşme, Uşak, Türkiye

³Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

Geliş/Received: 24.03.2023; Kabul /Accepted: 31.07.2023; Online baskı /Published online: 11.08.2023

Altay, K., Çalışkan Koç, G., Akdoğan, A. (2023). Zeytin pirinasının mikrodalga kurutulmasında ultrases ön işleminin ürünün bazı fiziksel ve kimyasal özellikler üzerine etkisi. GIDA (2023) 48 (4) 888-899 doi: 10.15237/ gida.GD23037

Altay, K., Çalışkan Koç, G., Akdoğan, A. (2023). Effect of ultrasound pretreatment on some physical and chemical properties of the product in microwave drying of olive pomace. GIDA (2023) 48 (4) 888-899 doi: 10.15237/ gida.GD23037

ÖZ

Bu çalışmada, mikrodalga kurutma öncesi zeytin pirinasına uygulanan ultrases ön işleminin kurutulmuş pirinanın fizikokimyasal kompozisyonu (nem, su aktivitesi ve renk), toz ürün özellikleri üzerine biyoaktif bileşenleri (toplam flavonoid, fenolik madde içeriği), antioksidan aktivitesi ve mineral madde içeriği özelliklerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, pirina örneklerine 10 dakika ultrases ön işlemleri uygulanmış ve örnekler 460W güçte 8 dakika süre ile mikrodalga fırında kurutulmuştur. Kurutma sonrası örneklerin nem içerikleri %5 (yaş bazda)'ın altına düşmüştür. Ultrases ön işleminin kurutulmuş pirinanın *b**, kroma ve esmerleşme indeksi değerlerini azalttığı gözlenmiştir. Toz formdaki kurutulmuş pirina örneklerinin iyi akabilirlik ve düşük yapışkanlık özelliğinde olduğu belirlenmiştir. Ultrases ön işleminin pirinaların flavonoid ve fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite özelliklerini azalttığı tespit edilmiştir. Ultrases ön işleminin örneklerin demir, nikel, alüminyum, mangan, kurşun ve potasyum içeriklerinde artış meydana getirdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Pirina, ultrases, mikrodalga kurutma, antioksidan, mineral

EFFECT OF ULTRASOUND PRETREATMENT ON SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE PRODUCT IN MICROWAVE DRYING OF OLIVE POMACE

ABSTRACT

In this study, the effects of ultrasound pretreatment (US) applied to olive pomace (OP) before microwave drying on the physicochemical composition (moisture, water activity and color), powder properties bioactive compounds (total flavonoid, phenolic content), antioxidant activity, and mineral

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉:kadriye_ergun55@hotmail.com

☎: (+90) 232 462 7073

☎: (+90) 232 435 7042

Kadriye Altay; ORCID no: 0000-0002-3907-3608

Gülşah Çalışkan Koç; ORCID no: 0000-0002-6542-3093

Arda Akdoğan; ORCID no: 0000-0002-8537-5914

content was investigated. For this purpose, US was applied to the OP for 10 min and the samples were dried in a microwave oven at 460W for 8 min. The moisture content of the dried OP decreased below 5% (wet basis). The US reduced the b^* , chroma, and browning index values of dried OP. The dried OP in powder form had good flowability and low stickiness. The US reduced the amount of total flavonoid and phenolic content and antioxidant activity properties of OP. The US caused an increase in the iron, nickel, aluminum, manganese, lead, and potassium contents of the OP.

Keywords: Olive pomace, ultrasound, microwave drying, antioxidant, mineral content

GİRİŞ

Zeytinyağı üretimi sırasında açığa çıkan yan ürünlerden biri olan pirina, zeytinin yağa işlenmesi sonucunda açığa çıkmakta, çekirdek ve etli kısımdan oluşmaktadır (Keleş, 2015). Pirinanın, % 3-6 oranında zeytinyağı ve % 40-65 oranında nem içerdiği bilinmektedir (Çelen vd., 2015). Biyoaktif bileşenlerce zengin pirina, hayvan yemi ve gübre olarak değerlendirilmekte ve pirinanın hayvansal ürün kalitesinin artmasına katkı sağladığı belirtilmektedir (Vasta ve Luciano, 2011; Akbağ ve Çetinkestane, 2021). Pirinanın yakıt olarak kullanımı da oldukça yaygındır (Koçer, 2013).

Zeytinyağı üretiminde, 2-fazlı ve 3-fazlı ekstraksiyon sistemleri kullanılmaktadır. Ortaya çıkan atık, kullanılan sisteme bağlı olarak değişmektedir. 3-fazlı sistemde, su içeriği % 40-45 oranında pirina ve karasu, 2-fazlı sistemde ise su içeriği % 55-70 oranında sulu pirina ve organik yükü düşük az miktarda atık su açığa çıkmaktadır. Organik madde yükü fazla olan karasuyun çevreye doğrudan atılmaması gerekmektedir. Bu yüzden 2-fazlı sistem daha çevreci bir yöntem olarak bilinmektedir (Moral ve Mendez, 2006).

Pirina, yüksek nem ve değişen yağ içeriği ile enzimatik ve mikrobiyal aktivite sergilemekte, kısa sürede bozulmakta ve çevre kirliliğine neden olduğu için orijinal hali ile depolanamamaktadır (Brlek vd., 2012). Pirinanın dayanıklılığını arttırıp pirinadan bir ekstraktın hazırlanması veya her halükârda katma değerli/ fonksiyonel gıda ürün formülasyonlarında kullanılabilmesi kurutma işlemi ile mümkün olmaktadır. Çözücü ile yağ moleküllerinin birleşmesi ve pirinadan elde edilen yağ miktarının fazla olması için pirina, kurutulmalıdır (Başkan, 2010). Kurutma işlemi, depolama sırasında pirinayı stabilize eder ve bazı bozunma reaksiyonlarını sınırlar, ancak belirli bir şekilde, pirinanın biyoaktif potansiyelini etkileyebilmektedir (Ahmad-Qasem vd., 2013).

Pirinanın bozulmasını engellemek amacıyla, uygun kurutma yöntemlerinin seçilerek kurutulması büyük önem arz etmektedir (Çelen vd., 2015). Kurutma işleminin, son ürünün vitamin, mineral, antioksidan ve renk gibi kalite özelliklerinde bazı kayıplara neden olabileceği bilinmektedir. Bu kayıpların engellenmesi için alternatif ön işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Bozkir ve Ergün, 2020). Mikrodalga, vakum, vurgulu elektrik, ultrases gibi ön işlemler son yıllarda kurutma öncesi ön işlem olarak uygulanmaktadır (Baysal ve İçier, 2012; Izli vd., 2019; Bozkir ve Ergün, 2020). Gıdada mikroskobik kanallar açarak kurutma esnasında iç direnci azaltan ve suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştıran ultrases ön işlemi, daha düşük sıcaklıklarda kurutmaya olanak sağlamakta, kuruma işlem süresini kısaltmakta (enerji tüketimini azaltmakta) ve böylece ısıya duyarlı bileşenlerin korunmasına yardımcı olmaktadır (Huang vd., 2020). Kurutma işlemi öncesi ön işlem olarak uygulanmasının yanı sıra, ultrases uygulamaları bitki dokusuna etki ederek vakuol yapılarından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu, bitkisel tohumlarda lipit ve protein ekstraksiyonu, yağlık tohumlardan ise yağ ekstraksiyonunu gibi çeşitli ekstraksiyon işlemlerinde verimi ve hızı arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Aydar vd., 2021).

Pirina kurutma, pirinanın işlendiği tesislerde genellikle 40-80°C aralığında yüksek miktarda ürünün kurutulmasını sağlayan döner tip kurutucular ile gerçekleştirilmektedir (ÇTÜE, 2015). 3-fazlı pirina bu tip kurutucularda kolaylıkla kurutulurken 2-fazlı pirinanın yüksek nem ve şeker içeriğine sahip olması ve viskoz yapısı (Torrecilla vd., 2005) nedeni ile direkt olarak bu tip kurutucularda kurutulamamaktadır. Kurutma sırasında, 2-fazlı pirinada nemli bölgeler kalmakta ve ürün düşük ısı stabilitesinden dolayı kurutucu duvarlarına yapışmakta ve yapışma sebebiyle

kurutucunun alevlenme riski söz konusu olmaktadır (Arjona vd., 2005). Bu nedenle, 2-fazlı pirinanın kurutulmasında farklı yöntemlerin veya ön işlemlerin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada 2-fazlı pirinanın, alternatif bir yöntem olarak mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulması ve ultrases ön işleminin kurutmaya ve son ürünün kalite özellikleri (fizikokimyasal, toz ürün özellikleri, biyoaktif bileşenler, antioksidan aktivite ve mineral madde içeriği) üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Zeytincilik Araştırma Enstitüsü (Bornova, İzmir) bahçesinden (38° 27' 45.9936" ve 27° 22' 11.0964") 2021-2022 yıllarında, hasat edilen farklı çeşit zeytinlerden, 2-faz zeytinyağı üretimi sırasında açığa çıkan pirina, Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Zeytinyağı Üretim Tesis'i'nden temin edilmiştir.

Yöntem

Ultrases ön işlemi

Pirina (150 g) 250 mL' lik beher içerisinde Sonorex Super Ultrasonic Bath-RK-52 H (100% güç, 240 W, 35 kHz, hacim: 1.8 L, Berlin, Almanya) cihazında 25°C sıcaklıkta saf su içerisinde 10 dakika süre ile ultrases ön işlemine tabi tutulmuştur (US-10).

Kurutma

Ultrases ön işlemi uygulanan (US-10) ve uygulanmayan (kontrol) pirina örnekleri kalınlığı 5 mm olacak şekilde petrilere konularak 460W mikrodalga gücünde 8 dakika süre ile mikrodalga fırında (Beko MD 16410-S, Türkiye) kurutulmuştur. Kuruma süresinin belirlenmesi amacıyla 40 g örnek cam petri (10,8 cm çap, 5 mm kalınlık) içinde mikrodalga fırının döner tablasına yerleştirilmiştir. Nem kaybını belirlemek üzere her dakikada bir ± 0.001 g hassasiyete sahip dijital terazi (Ohaus PR224/E, ABD) ile tartım alınmıştır. Kurutma işlemi pirina örneklerinin nem içeriği %5'in altına düşene kadar sürdürülmüş ve örneklerin kuruma süresi belirlenmiştir. Kuruma süresinin belirlenmesi için örneklerin boyutsuz nem oranı ($MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$) hesaplanmıştır. Kurutma denemeleri iki tekrarlı olarak yapılmıştır.

Tüm ağırlık ölçüm işlemleri kurutma rejiminin bozulmaması açısından en kısa süre içinde (yaklaşık 5 s) tamamlanmıştır. Örnekler petri kabının taban alanını tamamen kapsayacak şekilde yerleştirilmiştir. Kurutulan örnekler öğütücüde (Premier, PRG259, Türkiye) toz haline getirilerek analize alınmaya kadar +4°C'de saklanmıştır.

Nem tayini

Yaş ve kurutulmuş pirina örneklerinin nem tayini 105°C'de etüvde gerçekleştirilmiş olup (Memmert UN110, Schwabach, Almanya), AOAC (1980) metodu uygulanmıştır. Örnekleri nem içerikleri yaş bazlı (yb) olarak ifade edilmiştir.

Su aktivitesi (aw) tayini

Örneklerin su aktivitesi, ± 0.001 hassasiyete sahip su aktivitesi cihazı (LabTouch, Novasina, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir.

Renk analizi

Yaş ve kuru pirinanın renk değerleri, renk ölçüm cihazı (Konica Minolta Colorimeter CR-5, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerde L^* (parlaklık), a^* (+ kırmızı, - yeşil) ve b^* (+ sarı, - mavi) renk değerleri ölçülmüştür. Toplam renk değişimi (ΔE), Kroma, Hue Açısı (H°) ve Esmerleşme İndeksi (BI) değerleri sırasıyla Eşitlik 1-5 kullanılarak hesaplanmıştır (Pathare vd., 2013). L_0 , a_0 ve b_0 değerleri yaş pirinaya ait referans değerleridir.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (1)$$

$$Kroma = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$H^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3)$$

$$BI = \frac{100 \times (x - 0,31)}{0,17} \quad (4)$$

$$x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad (5)$$

Toz ürün analizleri

Yığın yoğunluğu ($Q_{yığın}$ (kg/m³), sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ($Q_{sıkıştırılmış}$ (kg/m³) ve ıslanabilirlik analizleri Jinapong vd. (2008) yöntemine göre

yapılmıştır. Kuru pirinanın akabilirlik ve yapışkanlık değerleri Carr İndeks (CI) ve Hausner Oranı (HR) değerlerine göre belirlenmiştir (Jinapong vd., 2008) (Eşitlik 6 ve 7). CI değerleri, çok iyi (<15), iyi (15-20), orta (20-35), kötü (35-45), ve çok kötü (>45) olarak; HR değerleri düşük (<1.2), orta (1.2-1.4) ve yüksek (>1.4) olarak sınıflandırılmıştır (Jinapong vd., 2008).

$$CI = \frac{(\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{yığın}})}{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}} \times 100 \quad (6)$$

$$HR = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{yığın}}} \quad (7)$$

Toplam flavonoid, fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri

Beş gram (5 g) pirina örneği ve 25 mL metanol, mekanik çalkalayıcıda (IKA, Almanya) 24 saat karıştırıldıktan sonra karışım süzölmüş ve toplam flavonoid, fenolik madde ve antioksidan analizleri için kullanılmıştır. Antioksidan aktivite, FRAP, DPPH ve ABTS olmak üzere üç farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

Toplam flavonoid analizi

500 µL örneğe 3200 µL metanol (%30 v/v) ilave edilmiştir. Karışım iyice çalkalanmış ve üzerine 150 µL 0,5 M NaNO₂ ve 150 µL 0,3 M AlCl₃ eklenmiştir. Beş dakika bekletilmiş ve 1 mL 1 M NaOH çözeltisi ilave edildikten sonra 10 dk daha bekletilip 506 nm'de spektrofotometrede örneklerin absorbansı okunmuştur. Kör olarak 500 µL saf su kullanılmış ve standartlardan 500 µL alınıp aynı işlemler yapılmıştır. Örneklerin toplam flavonoid miktarları; Kersetin (Etanolde) (25, 50, 100, 200, ve 400 µg/mL) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam flavonoid mg Kersetin Eşdeğeri (QE)/kg örnek olarak ifade edilmiştir (Kasangana vd., 2015).

Toplam fenolik madde analizi

300 µL örnek üzerine 3,4 mL saf su ilave edildikten sonra 0,5 mL methanol ve 200 µL folin-ciocalteu's reaktifi ilave edilerek karıştırıldıktan sonra 10 dakika oda şartlarında bekletilmiş ve örneklerin üzerine 600 µL %10 lik Na₂CO₃ çözeltisi ilave edilmiştir. Son karışım 120 dakika oda şartlarında karanlıkta bekletildikten

sonra örneklerin absorbansı spektrofotometrede 760 nm'de okunmuştur. Örneklerin toplam fenolik madde miktarları; gallik asidin (GA, 20, 40, 60, 80, 120 ve 160 µg/mL) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam fenolik mg GA Eşdeğeri/ kg örnek olarak hesaplanmıştır (Kasangana vd., 2015).

Toplam antioksidan aktivite analizi

500 µL örnek alınmış ve 2500 µL saf su ilave edilmiştir. Karışıma 1000 µL molybdate reaktifi ilave edilip karıştırıldıktan sonra ve 90 dakika 95 °C su banyosunda ağızları kapalı biçimde bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin soğuması beklenir. Kör olarak örnek yerine 500 µL saf su kullanılmıştır. Örneklerin absorbansı 695 nm'de spektrofotometrede okunmuş ve standartlardan 500 µL alınıp aynı işlemler yapılmıştır. Örneklerin toplam antioksidan madde miktarları; Askorbik asidin (AA, 25, 50, 100, 150, 2050, 400 ve 800 µg/mL) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam antioksidan mgAAE/kg örnek olarak tespit edilmiştir (Prieto vd., 1999).

Toplam demir indirgeme antioksidan kapasitesi (FRAP)

250 µL örnek üzerine 2750 µL FRAP çözeltisi ilave edilmiş ve 30 dk bekletilmiştir. Örneklerin FRAP madde miktarları; FeSO₄ (5, 10, 25, 75, 100 ve 150 µL/ mL) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam demir indirgeme kapasitesi mg FeSO₄ Eşdeğeri / kg olarak tespit edilmiştir (Ahmed vd., 2015).

DPPH serbest radikal temizleme aktivitesi

100 µL örneğin üzerine 3000 µL DPPH çözeltisi ilave edilir ve karıştırıldıktan sonra 30 dk bekletilir. Elde edilen çözeltinin 517 nm' de spektrofotometrede absorbansı okunmuştur. Kör olarak 100 µL metanol kullanılmış ve standart (Askorbik asit) 100 µL alınıp aynı işlemler yapılır (Ahmed vd., 2015).

Radikal katyonu süpürücü etki tayini (ABTS●+)

150 µL örneğe 2850 µL ABTS çözeltisi ilave edilmiş ve örnekler 120 dk karanlıkta bekletilmiş

ve örneklerin 734 nm'de absorbsanları spektrofotometrede okunmuştur (Ahmed vd., 2015).

Mineral madde

Mineral madde analizi, Bubert ve Hagenah'ın (1987) tarafından belirtilen yöntem modifiye edilerek yapılmıştır. Bu yöntemde göre, yakma kabına 0,5 gr örnek konulmuş ve üzerine 5 mL HNO₃+ 1 mL H₂SO₄ eklenmiştir. Numuneler mikrodalga fırında (Berghoff Instruments, Eningen, Almanya) sırasıyla 180, 200 ve 220°C'de 5 dakika yakılarak, elde edilen solüsyon distile su ile 50 mL'ye seyreltilmiştir. Mineral madde analizleri ((Cr, Mg, K, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb and Ca) indüktif olarak eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES, Varian Vista Modeli, Avustralya) ile belirlenmiştir.). Element miktarları aşağıdaki denklik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Konsantrasyon (ppm) = \frac{C \times V \times S}{m} \quad (8)$$

C= Sıvı fazda ölçülen konsantrasyon (mg/L)

V= Yakmadan sonraki son hacim (mL)

S= Seyreltme faktörü

M= Örnek miktarı (g)

Sonuçlar mg/kg olarak kuru örnek ağırlığı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

İstatistiksel analiz

Kurutma denemeleri iki tekrar, analizler ise üç paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler SPSS 20.0 paket programı (SPSS Inc., ABD) ile %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiş ve ortalamalar Duncan testi ile karşılaştırılmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Nem içeriği ve su aktivitesi (aw)

2 fazlı taze pirinanın başlangıç nem içeriği %68 (yaş bazlı) olarak bulunmuştur. Ultrases ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış (kontrol) pirina örneklerinin mikrodalga kurutma sonrası nem içerikleri %5'in altına düşmüştür. Ultrases ön işleminin pirina örneklerinin nem içeriklerine etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0,05$). Yapılan ön işlem pirina örneklerinin nem içeriğini artırmıştır. Uygulanan ultrases ön işlemi dokulara zarar vermiş ve örnekler daha fazla su absorbe

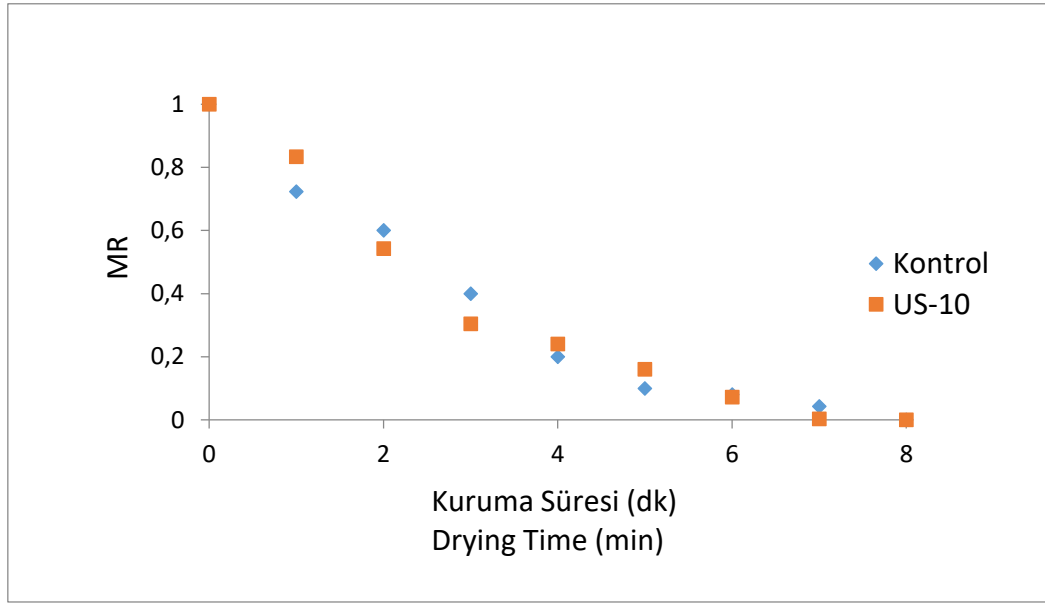
etmiş olabilir. Bu durum nem içeriğinin ultrases ön işlemi uygulanmış örneklerde daha yüksek olmasının nedeni olarak açıklanabilir. Benzer şekilde, ultrases ön işleminin gölevez püresinin köpük kurutulmasına etkisinin incelendiği bir çalışmada, ultrases uygulanmış örneklerin nem içeriklerinin ultrases uygulanmayan örneklerin nem içeriklerinden daha yüksek olduğu belirtilmiş ve bu durumun ultrases uygulamasının dokulara verdiği tahribat sebebiyle ultrases uygulanmış örneklerin suyu daha çok absorbe etmesi ile açıklanmıştır (Çalışkan-Koç vd., 2020). Literatür incelendiğinde, yapılan bu çalışmada elde edilen nem değerlerine yakın sonuçlar ile karşılaşılmıştır. 2 fazlı pirinanın nem değerlerinin %65-67,65 arasında değiştiği, akışkan yatak, döner, kombine (mikrodalga+konveksiyonel fırın), valsli ve tepsili kurutulucularla kurutulan pirina örneklerinin nem içeriklerinin ise %4,6-8 arasında değiştiği belirtilmiştir (Torrecilla vd., 2005; Arjona vd., 2005; Milczarek vd., 2011; Vega-Galvez vd., 2010; Baysan, 2018).

Kuru pirina örneklerinin su aktivitesi 0,3'ün altında bulunmuştur. Bu değer dikkate alındığında, kuru örneklerin mikrobiyolojik olarak güvenli sınırlar içinde olduğu söylenebilir. Nem içeriklerine benzer şekilde, ultrases ön işlemi örneklerin su aktivitesi değerlerini istatistiksel olarak artırmıştır ($P<0,05$). Yapılan bu çalışmaya yakın bir sonuç olarak, basınçlı hava kurutucuda 50, 70, 90, 120 ve 150°C sıcaklıkta kurutulmuş pirina örneklerinin su aktivitesi değerlerinin 0,4'ün altında olduğu belirtilmiştir (Ahmad-Qasem vd., 2013).

Pirina örneklerinin kurutma işlemi süresince ağırlık değişimi takip edilmiş ve boyutsuz nem oranı değerleri hesaplanmıştır. Pirina örneklerinin boyutsuz nem oranı değerlerinin kuruma zamanına bağlı değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Pirina örneklerinin MR değerleri kuruma süresine bağlı olarak azalma göstermiştir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin 6. dakikadan sonra MR değerindeki değişimlerin büyük oranda azaldığı görülmüştür. Ultrases ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin toplam kuruma süresi 8 dakika olarak belirlenmiştir. Sadi ve Meziane (2015), 170, 340 ve

510 W mikrodalga gücünde kuruttukları pirina örneklerinin MR değerlerinin kuruma zamanına bağlı değişimini incelemişlerdir. Kuruma eğrisinin bizim çalışmamıza benzer bir eğilim gösterdiği ve 510 W mikrodalga gücünde kurutulan pirina örneklerinin kurutulmasının 7 dakikada tamam-

landığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmaya benzer bir şekilde, bizim çalışmamızda pirina örnekleri 8 dakikada kurumuştur. Başlangıç örneğinin nem içeriği, mikrodalga gücü, vb. örneklerin kuruma süresindeki farka neden olmuş olabilir.



Şekil 1. Boyutsuz nem içeriği (MR) değerlerinin kuruma zamanına bağlı değişimi
Figure 1. Changes in the moisture ratio values (MR) depending on drying time

Renk analizi

Taze pirinanın L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 27.77, 5.87 ve 5.41 olarak ölçülmüştür. Kuru pirina örneklerine ait renk analizi sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Kurutulmuş pirina örneklerinin L^* değerlerini taze örneğe kıyasla daha yüksek, a^* ve b^* değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Üründen suyun uzaklaşması, ısı etkisiyle meydana gelen kimyasal reaksiyonlar bu durumun nedeni olarak açıklanabilir. Ultrases ön işleminin uygulanmış örneklerin renk değerleri, kontrole kıyasla daha düşük bulunmuştur. Ancak, ultrases ön işleminin, örneklerin b^* , kroma ve esmerleşme indeksi değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuş ($P < 0,05$), diğer renk özellikleri üzerinde etkisi ise önemsiz bulunmuştur ($P > 0,05$). Meyve sebzelerin depolama ve kurutma esnasında esmerleşme reaksiyonunda rol alan polifenoloksidaz (PPO) enziminin inaktif hale getirilmesinde ultrases işleminin etkili olduğu ve istenmeyen kahverengi pigmentlerin oluşumunu

azalttığı veya durdurduğu bildirilmiştir (Wang vd., 2019). Yapılan bu çalışmada da, ultrases ön işleminin kuru pirina örneklerinin esmerleşme indeksini azaltmıştır. Yapılan diğer bir çalışmada, armut, elma ve çilek pürelerine uygulanan 10 dakikalık ultrases işleminin pürelerin PPO aktivitesinde önemli azalmaya neden olduğu ve bu azalmanın ultrasesin oluşturduğu hücreler arası boşluğun mekanik ve kimyasal etkilerine bağlı olduğu bildirilmiştir (Raviyan vd., 2005; Sulaiman vd., 2015).

Toz ürün analizleri

Örneklerin toz ürün analizlerine ait değerler Çizelge 2'de verilmiştir. Ultrases ön işleminin uygulanmış ve uygulanmamış kuru pirina örneklerinin yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri, Carr İndeksi (CI), Hausner oranı (HR) ve ıslanabilirlik süresi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($P > 0,05$). Ultrases ön işleminin uygulanmamış ve

uygulanmış örneklerin yığın yoğunluğu değerleri sırasıyla 0.53 g/mL ve 0.52 g/mL olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadan farklı olarak püskürtmeli kurutucu ile farklı sıcaklıklarda kurutulan pirina örneklerinin yığın yoğunluğu değerlerinin 0.05-0.19 g/mL arasında değişen değerler aldığı belirtilmiştir (Paini vd., 2015). Jinapong vd. (2008), Carr İndeks değerlerinin çok iyi (<15), iyi (15-20), orta (20-35), kötü (35-45) ve çok kötü (>45) olmasına göre akabilirlik özelliğini, Hausner oranlarının düşük (<1.2), orta (1.2-1.4) ve yüksek (>1.4) olmasına göre yapışkanlık özelliğini açıklamışlardır. Bu çalışmada, kuru pirina örneklerinin iyi akabilirlik ve düşük yapışkanlık özelliğine sahip olduğu sonucuna

varılmaktadır. Bu durumun nedeni, kuru pirina örneklerinin düşük nem içeriği ile açıklanabilir. Ultrases ön işlemleri uygulanmış (15.62 s) ve uygulanmamış (14.55 s) örneklerin ıslanabilirlik süreleri birbirine yakın bulunmuştur. Çalışkan-Koç vd. (2020) yaptıkları çalışmada gölevez püresine ultrases ön işlemleri uygulayarak köpük kurutma yöntemi (sıcak havada, mikrodalga fırında ve sıcak hava+mikrodalga fırında) uygulamışlar ve ultrases ön işlemin genellikle önemli ölçüde daha yüksek ıslanabilirlik süreleri ile sonuçlandığını belirtmişlerdir. Bu durumun nedeninin, hücre içine su girişini engelleyen hasarlı bir hücre yapısı olabileceğini belirtmişlerdir.

Çizelge 1. Kuru pirina örneklerine ait renk değerleri

Table 1. Color values of dried olive pomace samples

Örnekler Samples	L*	a*	b*	ΔE	Hue Açısı(°) Hue Angle(°)	Kroma Chroma	Esmerleşme İndeksi Browning Index
Kontrol Control	42.43±1.06 ^a	3.79±0.15 ^a	4.54±0.28 ^b	14.84±0.96 ^a	50.03±1.02 ^a	5.92±0.49 ^b	17.55±1.12 ^b
US-10 US-10	41.71±0.98 ^a	3.11±0.18 ^a	3.42±0.41 ^a	14.37±1.12 ^a	47.45±2.06 ^a	4.62±0.27 ^a	13.74±0.96 ^a

Kontrol: Ultrases ön işlemleri uygulanmamış örnek. US-10: Ultrases ön işlemleri uygulanmış örnek. ^{a-b}Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farkı göstermektedir (P <0.05).

Control: The sample without ultrasound pretreatment. US-10: The sample with ultrasound pretreatment. ^{a-b}Different letters in the same column indicate statistically significant difference (P <0.05).

Çizelge 2. Kuru pirina örneklerine ait toz ürün özellikleri

Table 2. Powder properties of dried olive pomace samples

Örnekler Samples	Yığın yoğunluğu (g/mL) Bulk density (g/mL)	Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu (g/mL) Tapped density (g/mL)	Carr İndeks (CI) Carr Index (CI)	Hausner Oranı (HR) Hausner Ratio (HR)	Islanabilirlik (s) Wettability (s)
Kontrol Control	0.53±0.00 ^a	0.64±0.01 ^a	15.79±0.96 ^a	1.19±0.12 ^a	14.55±0.69 ^a
US-10 US-10	0.52±0.00 ^a	0.61±0.03 ^a	15.38±0.85 ^a	1.18±0.21 ^a	15.62±1.12 ^a

Kontrol: Ultrases ön işlemleri uygulanmamış örnek. US-10: Ultrases ön işlemleri uygulanmış örnek. ^{a-b}Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farkı göstermektedir (P <0.05).

Control: The sample without ultrasound pretreatment. US-10: The sample with ultrasound pretreatment. ^{a-b}Different letters in the same column indicate statistically significant difference (P <0.05).

Toplam flavonoid, fenolik madde ve antioksidan aktivite

Ultrases ön işlemleri uygulanan ve uygulanmayan kuru pirina örneklerinin toplam flavonoid ve fenolik madde içerikleri ve antioksidan aktiviteleri Çizelge 3'te verilmiştir. Ultrases ön işlemleri, pirinaların toplam flavonoid ve fenolik madde ve antioksidan aktivitesi (FRAP, FeSO₄, DPPH ve

ABTS) değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır (P<0.05). Bu durumun nedeni ultrases uygulamasıyla bozulmuş hücre duvarı nedeniyle polifenol oksidaz enziminin salınması olarak açıklanabilir. Benzer bir şekilde, Ozkan vd. (2022) üzümlemleri sıcak havada (60°C ve 2 m/s), dondurarak (-80°C), vakum altında (60 mbar) ve ultrases destekli (20 kHz) vakum altında kurutma

işlemine tabi tutmuşlar ve ultrases destekli vakumla kurutulmuş kuru üzümün toplam flavonoid ve fenolik madde kaybının en yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumun kuruma süresinin uzun olması ve ultrases uygulamasıyla oluşan yapısal modifikasyonlar ve bozulmuş hücre duvarı nedeniyle polifenol oksidaz enziminin salınması ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Cruz vd. (2016) ultrases uygulamasının (21.7 kHz, 45W) oksidaz aktivasyonu ve hücre parçalanması nedeniyle konvektif olarak kurutulmuş üzüm kabuğunun toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesini (FRAP) azalttığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, ultrases uygulamasının etkisinin sıcaklıkla ilgisi olmadığını, sıcaklık uygulamasının antioksidan aktivite ve fenolik madde içeriği artırdığını belirtmişlerdir. Aydar (2020) yaptığı çalışmada sofralık yeşil zeytin dilimlerini ultrases uygulayarak (5 ve 10 dk.) ve uygulamayarak mikrodalga fırında (180, 450 ve 800W) kurutulmuş ve ultrases ön işlemi ile elde edilen zeytin dilimlerinin toplam fenolik madde içeriğinin ön işlem uygulanmayanlara kıyasla daha

yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Araştırmacı, fenolik bileşiklerdeki bozunmanın; sonokimyasal ve oksidasyon reaksiyonlarından, sonikasyon sırasında serbest radikallerle artan etkileşimden kaynaklanıyor olabileceğini belirtmiştir. Yapılan bir çalışmada, ultrases ön işlemi ve mikrodalga kurutma parametrelerinin *Inula viscosa'nın* (L.) toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkisi incelenmiş ve en yüksek toplam fenolik madde içeriğinin maksimum ultrases ön işlemi (30 dakika, 37 kHz, 150W) ve en düşük mikrodalga kuruma süresinde (1 dakika) gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, ultrases ve mikrodalga uygulamalarının fenolik bileşiklerin daha yüksek ekstraksiyon verimine neden olabileceğini, ancak daha uzun mikrodalga uygulama sürelerinin de fenolik bileşikler yok edebileceğini iddia etmişlerdir (Aydar vd., 2022). Yapılan bu çalışmada, örneklerin toplam kuruma süresi 8 dakika olarak bulunmuştur. Kuruma süresinin kısalmasına bağlı olarak örneklerin toplam flavonoid ve fenolik madde içeriği ve buna bağlı olarak antioksidan aktivitesi artmış olabilir.

Tablo 3. Kuru pirina örneklerinin toplam flavonoid ve fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesi (kuru bazda)

Çizelge 3. Total flavonoid and phenolic content and antioxidant activity of dried pomace samples (dry basis)

Örnekler Samples	Toplam Flavanoid mg QE/kg Total Flavanoid mg QE/kg	Toplam Fenolik madde mg GAE/kg Total Fenolic mg GAE/kg	Toplam Antioksidan mg AAE/kg Total Antioxidant mg AAE/kg	Antioksidan Aktivite Antioxidant Activity		
				FRAP mg FeSO ₄ /kg	DPPH mg AAE/kg	ABTS mg AAE/kg
Kontrol Control	7254.86±34.91 ^a	11831.64±47.86 ^a	14031.53±35.19 ^a	22359.98±343.90 ^a	11877.25±44.39 ^a	7890.72±86.34 ^a
US-10 US-10	6855.26±245.54 ^b	10201.20±139.99 ^b	12400.30±130.53 ^b	21975.83±174.73 ^b	10610.53±70.31 ^b	7436.06±80.67 ^b

Kontrol: Ultrases ön işlemi uygulanmamış örnek. US-10: Ultrases ön işlemi uygulanmış örnek. ^{a-b}Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farkı göstermektedir ($P < 0,05$).

Control: The sample without ultrasound pretreatment. US-10: The sample with ultrasound pretreatment. ^{a-b}Different letters in the same column indicate statistically significant difference ($P < 0,05$).

Pirina bulunan fenolik maddelerin antioksidan, antimikrobiyal, antitümoral, antienflamatuvar, hipoglisemik vb. biyolojik aktivitelere sahip olduğu bilinmektedir (Gullón vd., 2020). Toplam fenolik madde içeriği ile antioksidan aktivitesinin ilişki olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda, örneklerin toplam fenolik madde miktarında

meydana gelen azalmayla birlikte antioksidan aktivitesinin düşmesi beklenen bir sonuçtur. Sonuç olarak ultrases ön işlemi pirinanın hücre duvarı bileşenlerini bozarak (Garcia-Pérez vd., 2013) ve enzim salınımını ve dolayısıyla fenolik oksidasyonu kolaylaştırarak (Ghafoor et al. 2009)

toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitede düşüşe neden olmuş olabilir.

Mineral madde analizi

Ultras ses ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış pirina örneklerinin kurutulması işlemi sonucunda elde edilen mineral madde içerikleri Çizelge 4’te verilmiştir. Pirinanın potasyum, kalsiyum ve magnezyum açısından zengin olduğu bilinmektedir. Pirinanın ayrıca demir, sodyum, alüminyum, manganez, çinko, bakır, bor ve

baryum içerdiği belirtilmiştir (Quero vd., 2022). Yapılan bu çalışmada da benzer bir şekilde kuru pirinanın potasyum, kalsiyum, sodyum, alüminyum ve demir bakımından zengin olduğu saptanmıştır. Ultras ses ön işlemi ile örneklerin demir, nikel, alüminyum, mangan, kurşun ve potasyum içeriklerinde artış meydana gelmiştir. Diğer minerallerin miktarı ise genel olarak istatistiksel anlamda önemli oranda azalmıştır ($P<0.05$).

Çizelge 4. Kuru pirinalara ait mineral madde içeriği (mg/kg, kuru bazda)
Table 4. Mineral content of dried pomace samples (mg/kg, dry basis)

Örnekler Samples	Mineral maddeler Mineral compounds					
	Fe	Ca	Zn	Mg	Cu	Ni
Kontrol Control	733.97±2.18 ^a	5093.92±12.88 ^a	51.39± 0.92 ^b	332.21±1.87 ^b	12.58± 0.23 ^a	13.71± 0.49 ^a
US-10 US-10	851.14±2.13 ^b	5116.77± 19.10 ^a	35.48± 0.69 ^a	315.10±1.96 ^a	12.51± 0.16 ^a	14.27± 0.49 ^a
Örnekler Samples	Mineral maddeler Mineral compounds					
	Al	Mn	Pb	Cr	Na	K
Kontrol Control	1097.75±14.19 ^a	31.66± 0.49 ^a	2.54± 0.07 ^a	34.59± 0.18 ^b	2254.10±25.97 ^b	10654.83±73.69 ^a
US-10 US-10	1231.71± 5.77 ^b	32.17± 0.62 ^a	2.63± 0.09 ^a	33.18± 0.41 ^a	1568.28± 7.98 ^a	11401.19±34.90 ^b

Kontrol: Ultras ses ön işlemi uygulanmamış örnek. US-10: Ultras ses ön işlemi uygulanmış örnek. a-b Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farkı göstermektedir ($P<0.05$).

Control: The sample without ultrasound pretreatment. US-10: The sample with ultrasound pretreatment. a-b Different letters in the same column indicate statistically significant difference ($P<0.05$).

Ozkan vd. (2022) üzümlemleri vakum altında (60 mbar) ve ultras ses destekli (20 kHz) vakum altında (60 mbar) kurutma işlemine tabi tutmuşlar ve ultras ses uygulanmış kuru üzüm örneklerinin potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriğinin uygulanmaya kıyasla daha yüksek, demir içeriğinin ise daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Kumar et al. (2023) yaptıkları çalışmada ultras ses işleminin (40 kHz, 70W, 30 dk., 25±2°C) omurga kabağının (*Momordica dioica* Roxb. Ex Willd) demir, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinde artışa neden olurken, bakır, fosfor ve sodyum içeriğinde azalışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bakır, fosfor ve sodyumdaki azalışın, ultras ses ön işlemi sırasında minerallerin suya geçmesinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Ultras ses ön

işlemi nedeniyle hücre yapısı bozulmakta ve kavitasyon oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde ultras ses işleminin bazı mineral maddelerin artışına bazı mineral maddelerin ise azalışına neden olduğu gözlenmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada pirina kurutulmasına alternatif bir yöntem olarak mikrodalga kurutma yöntemi uygulanmış ve kurutma öncesi uygulanan ultras ses ön işleminin kurutulmuş pirina örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ultras ses işleminin kuru pirinanın nem ve su aktivitesi değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. Ultras ses ön işlemi kuru pirinanın b*, kroma ve esmerleşme indeksi değerlerini azaltmıştır. Bu durumun, ultras ses ön işleminin

meyve sebzelerin, depolama ve kurutma esnasında esmerleşme reaksiyonunda rol alan polifenoloksidazın inaktif hale getirilmesi ve istenmeyen kahverengi pigmentlerin oluşumunu azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışma sonucunda ultrases uygulamasıyla fenolik madde içeriği ve buna bağlı olarak antioksidan aktivite kaybının hücre yapısındaki deformasyona bağlı olarak polifenol oksidaz enziminin salınmasıyla ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir. Ultrases ön uygulamasıyla örneklerin demir, nikel, alüminyum, mangan, kurşun ve potasyum içeriklerinde artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak, ultrases uygulamasının mineraller üzerindeki etkisini anlamak ve minerallerin suya geçiş sürecini önlemeye/azaltmaya yönelik bir çözüm bulmak için daha fazla çalışma yapılabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarların makale ile ilgili herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKISI

Kadriye Altay, çalışmanın planlanması, üretimin gerçekleştirilmesi, analizlerin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve makalenin yazımında görev almıştır. Gülşah Çalışkan Koç, çalışmanın planlanması, sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve makalenin yazımında görev almıştır. Arda Akdoğan analizlerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesinde görev almıştır.

KAYNAKLAR

Ahmad-Qasem, M. H., Barrajon-Catalan, E., Micol, V., Cárcel, J. A., Garcia-Perez, J. V. (2013). Influence of air temperature on drying kinetics and antioxidant potential of olive pomace. *Journal of Food Engineering*, 119(3): 516-524.

Ahmed, D., Khan, M.M., Saeed, R. (2015). Comparative analysis of phenolic, flavonoids, and antioxidant and antibacterial potential of methanolic, hexanic and aqueous extracts from *Adiantum caudatum* leaves. *Antioxidants*, 4: 394-409.

Akbağ, H.I., Çetinkeşane, Ö.F. (2021). Farklı üretim sistemlerinden elde edilen zeytinyağı sanayi yan ürünlerin besleme değerinin belirlenmesi.

ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi (COMU J. Agric. Fac.), 9 (2): 202–210.

AOAC. (1980). Official Methods of Analysis, AOAC International, 13th Edition, Washington DC, USA.

Arjona, R., Ollero, P., Vidal, F.B. (2005). Automation of an olive waste industrial rotary, *Journal of Food Engineering*, 68: 239-247.

Aydar, A.Y. (2020). Investigation of ultrasound pretreatment time and microwave power level on drying and rehydration kinetics of green olives. *Food Science and Technology*, 41, 238-244.

Aydar, A.Y., Aydın, T., Yılmaz, T., Kothakota, A., Terezia, S.C., Leontin, C.F., Pandiselvam, R. (2022). Investigation on the influence of ultrasonic pretreatment on color, quality and antioxidant attributes of microwave dried *Inula viscosa* (L.). *Ultrasonics Sonochemistry*, 90: 106184.

Aydar, A.Y., Yılmaz, T., Mataracı, C.E., Sağlam, T.B. (2021). Gıdaların kurutulmasında ultrason ön işleminin kullanımı. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 1165-1175.

Başkan, A. (2010). Zeytinyağı işletmelerinin atıkları ve değerlendirilme yolları. *T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı*, 1-3 s.

Baysal, T., İçier, F. (2012). *Gıda mühendisliğinde ısı olmayan teknolojiler*. Nobel Yayıncılık, Ankara, Türkiye.

Baysan, U. (2018). 2-faz pirina kurutmada yüksek kaliteli ürün hedefli kombine kurutma yönteminin geliştirilmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 183s.

Bozkır, H., Ergün, A. R. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon. *LWT - Food Science and Technology*, 131: 109704.

Brlek, T., Voća, N., Krička, T., Lević, J., Vukmirović, Đ., Čolović, R. (2012). Quality of pelleted olive pomace for energy generation. *Agricolturae Conspectus Scientificus*, 77(1): 31–35.

Bubert, H., Hagenah, W.D. (1987). Detection and measurement. In P. W. J. M. Boumans (Ed.),

- Inductively coupled plasma emission spectroscopy (pp. 536–567). Wiley
- Cruz, L., Clemente, G., Mulet, A., Ahmad-Qasem, M. H., Barrajon-Catalan, E., Garcia-Perez, J. V. (2016). Air-borne ultrasonic application in the drying of grape skin: Kinetic and quality considerations. *Journal of Food Engineering*, 168: 251-258.
- Çalışkan Koç, G., Yüksel, A. N., Baş, E., Erdoğan, S. L. (2020). Foam mat drying of taro (*Colocasia esculenta*): The effect of ultrasonic pretreatment and drying techniques on the drying behavior, flow, and reconstitution properties of taro flour. *Journal of Food Process Engineering*, 43(11); e13516.
- Çelen, S., Aktaş, T., Karabeyoğlu, S.S., Akyıldız, A. (2015). Zeytin pirinasının mikrodalga enerjisi kullanılarak kurutulması ve uygun tabaka modelinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12 (02): 21-31.
- ÇTÜE (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü) (2015), Zeytin sektörü atıklarının yönetimi projesi, Gebze/ Kocaeli.
- Garcia-Perez, J.V., Carcel, J.A., Simal, S., Garcia-Alvarado, M.A., Mulet, A. (2013). Ultrasonic intensification of grape stalk convective drying: kinetic and energy efficiency. *Drying Technology*, 31(8): 942-950.
- Ghafoor, K., Choi, Y.H., Jeon, J.Y., Jo, I.H. (2009). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from grape (*Vitis vinifera*) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11): 4988-4994.
- Gullón, 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.
- Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sundén, B., Wu, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63: 104950.
- Izli, N., Taskin, O., Izli, G. (2019). Drying of lime slices by microwave and microwave combined convective methods. *Italian Journal of Food Science*, 31: 487–500.
- Jinapong, N., Suphantharika, M., Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84: 194–205.
- Kasangana, P.B., Haddad, P.S., Stevanovic, T. (2015). Study of polyphenol content and antioxidant capacity of *Myrianthus arboreus* (Cecropiaceae) root bark extracts. *Antioxidants*, 4: 410–426.
- Keleş, G. (2015). Zeytin posasının ruminantlar için besin ve besleme değeri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(10): 780-789.
- Koçer, O. 2013. Zeytin posası (pirina) üzerine malaşit yeşilinin sulu çözeltiden adsorpsiyonu. Kilis Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kilis, Türkiye, 67 s.
- Kumar, Y., Kheto, A., Singh, L., Sharanagat, V.S. (2023). Ultrasound pretreated hot air drying of spine gourd (*Momordica dioica* Roxb. Ex Willd): The effect on quality attributes. *Food Chemistry Advances*, 2: 100167.
- Milczarek, R.R., Dai, A.A., Otoni, C.G., McHugh, T.H. (2011). Effect of shrinkage on isothermal drying behavior of 2-phase olive mill waste. *Journal of Food Engineering*, 103: 434-441.
- Moral, P.S., Mendez, M.V.R. (2006). Production of pomace olive oil. *Grasas Y Aceites*, 57(1): 47-55.
- Ozkan, K., Karadag, A., Sagdic, O. (2022). The effects of different drying methods on the in vitro bioaccessibility of phenolics, antioxidant capacity, minerals and morphology of black 'Isabel' grape. *LWT*, 158: 113185.
- Paini, M., Aliakbarian, B., Casazza, A.A., Lagazzo, A., Botter, R., Perego, P. (2015). Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1): 177-186.

- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and bioprocess technology*, 6, 36-60.
- Quero, J., Ballesteros, L.F., Ferreira-Santos, P., Velderrain-Rodríguez, G.R., Rocha, C.M.R., Pereira, R.N., Teixeira, J.A., Martín-Belloso, O., Osada, J., Rodríguez-Yoldi, M.J. (2022). Unveiling the antioxidant therapeutic functionality of sustainable olive pomace active ingredients. *Antioxidants*, 11: 828.
- Prieto, P., Pineda, M., Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of Vitamin E1. *Analytical Biochemistry*, 269: 337-341.
- Raviyan, P., Zhang, Z., Feng, H. (2005). Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *Journal of Food Engineering*, 70(2): 189-196.
- Sadi, T., Meziane, S. (2015). Mathematical modelling, moisture diffusion and specific energy consumption of thin layer drying of olive pomace. *International Food Research Journal*, 22(2): 494-501.
- Sulaiman, A., Soo, M.J., Farid, M., Silva, F.V. (2015). Thermosonication for polyphenoloxidase inactivation in fruits: modeling the ultrasound and thermal kinetics in pear, apple and strawberry purees at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 165: 133-140.
- Torrecilla, J.S., Aragon, J.M., Palancar, M. (2005). Modeling the drying of a high moisture solid with an artificial neural network. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44: 8057-8066.
- Vasta, V., Luciano, G. (2011). The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants products quality. *Small Ruminant Research*, 101: 150-159.
- Vega-Galvez, A., Margarita, M., Diaz, L.P., Lopez, L., Rodriguez, K., Di Scala, K. (2010). Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive-waste cake. *Bioresource Technology*, 101: 7265-7270.
- Wang, J., Xiao, H.-W., Ye, J.-H., Wang, J., Raghavan, V. (2019). Ultrasound pretreatment to enhance drying kinetics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) slices: Pros and Cons. *Food Bioprocess Technology*, 12: 865-876.