

**KIRMIZI TURP (*Raphanus sativus* L.) İÇ VE KABUKLARINDAN  
POLİFENOLİKLERİN ULTRASES SU BANYOSU VE ULTRASES PROB  
DESTEKLİ EKSTRAKSİYONU: IN VITRO SİNDİRİM SIRASINDA  
ANTİOKSİDAN AKTİVİTEDEKİ DEĞİŞİMİN ARAŞTIRILMASI**

**Özlem Gökdemir, Aysun Yücepete\***

Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye

Geliş / *Received*: 28.06.2022; Kabul / *Accepted*: 10.11.2022; Online baskı / *Published online*: 28.11.2022

Gökdemir, Ö., Yücepete, A. (2022). Kırmızı turp (*Raphanus sativus* L.) iç ve kabuklarından polifenoliklerin ultrases su banyosu ve ultrases prob destekli ekstraksiyonu: In vitro sindirim sırasında antioksidan aktivitedeki değişimin araştırılması. *GIDA* (2022) 47 (6) 1046-1058 doi: 10.15237/gida.GD22072

*Gökdemir, Ö., Yücepete, A. (2022). Ultrasound bath- and ultrasound probe-assisted extractions of polyphenolics from pulp and peel of red radish (*Raphanus sativus* L.): Investigation of changes in antioxidant activity during in vitro digestion. GIDA (2022) 47 (6) 1046-1058 doi: 10.15237/gida.GD22072*

**ÖZ**

Bu çalışmada, kırmızı turp (*Raphanus sativus* L.) kabuk ve içlerinden elde edilen polifenolik ekstraktların in vitro sindirim sırasında toplam fenolik madde miktarı (TFMM) ve antioksidan aktivitesindeki (AOA) değişim araştırılmıştır. Öncelikle, ultrases su banyosu destekli ekstraksiyon (USDE) ve ultrases prob destekli ekstraksiyon (UPDE), farklı ultrasonikasyon süreleri (20, 60, 180, 540 saniye) ile uygulanarak en yüksek TFMM ve AOA sağlayan ekstraksiyon yöntemi belirlenmiştir. Örneklerin TFMM içeriği Folin-Ciocalteu metodu ile AOA'si ise DPPH ve CUPRAC metotları ile belirlenmiştir. Sonuçlara göre, en yüksek TFMM ve AOA<sub>CUPRAC</sub> değerleri, turp içleri için sırasıyla 41.17±0.70 mg GAE/g kuru madde (KM) ve 12.67±0.00 mg TE/g KM, turp kabukları için sırasıyla 243.26±5.44 mg GAE/g KM ve 89.65±0.48 mg TE/g KM olarak 60 saniye ultrasonikasyon süresinde USDE ile elde edilmiştir. Turp iç ve kabuklarından ekstraktların in vitro sindirimden sonra biyoerişilebilirliği (%) sırasıyla, TFMM için %54.21±1.94 ve %32.20±2.61, AOA<sub>CUPRAC</sub> için %66.46±0.40 ve %27.89±0.99 ve AOA<sub>DPPH</sub> için %302.03±28.52 ve %80.43±1.03 olarak gerçekleşmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kırmızı turp, polifenolikler, antioksidan aktivite, in vitro sindirim.

**ULTRASOUND BATH- AND ULTRASOUND PROBE-ASSISTED  
EXTRACTIONS OF POLYPHENOLICS FROM PULP AND PEEL OF RED  
RADISH (*Raphanus sativus* L.): INVESTIGATION OF CHANGES IN  
ANTIOXIDANT ACTIVITY DURING IN VITRO DIGESTION**

**ABSTRACT**

In this study, changes in total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (AOA) of polyphenolics from pulp and peel of red radish (*Raphanus sativus* L.) were investigated during in vitro digestion. Firstly, ultrasound bath-assisted extraction (UBAE) and ultrasound probe-assisted extraction (UPAE) were applied with different ultrasonication time (20, 60, 180, 540 seconds) to

\* Yazışmalardan sorumlu yazar/ *Corresponding Author*

✉: aysunyucepete@aksaray.edu.tr

☎: (+90) 382 288 35 02

Özlem Gökdemir; ORCID no: 0000-0002-8142-4862

Aysun Yücepete; ORCID no: 0000-0002-3800-4774

determine the extraction method providing the highest TPC and AOA. The TPC and AOA (two methods) were determined by the Folin-Ciocalteu, DPPH and CUPRAC methods, respectively. According to the results, the highest TPC and AOA<sub>CUPRAC</sub> were 41.17±0.70 mg GAE/g dry weight (DW) and 12.67±0.00 mg TE/g DW for pulp and 243.26±5.44 mg GAE/g DW and 89.65±0.48 mg TE/g DW for peel extracts in UAE, respectively. The bioaccessibilities (%) of extracts from pulp and peel after in vitro digestion process were %54.21±1.94 and %32.20±2.61 for TPC, %66.46±0.40 and %27.89±0.99 for AOA<sub>CUPRAC</sub> and %302.03±28.52 and %80.43±1.03 for AOA<sub>DPPH</sub>, respectively. **Keywords:** Red radish, polyphenolics, antioxidant activity, in vitro digestion.

## GİRİŞ

Gıda bilimi ve teknolojisi alanında sıklıkla uygulanan proseslerden biri olan ekstraksiyon prosesinin amacı, gıda matrisinden hedef biyoaktif moleküllerin en yüksek ekstraksiyon verimi ve biyoaktif ve fonksiyonel özellikleri üzerinde en düşük düzeyde olumsuz etki ile elde edilmesini sağlamaktır. Geleneksel ekstraksiyon yöntemleri organik çözücülerin kullanılması, yüksek enerji giderleri, uzun ekstraksiyon süresi ve ısı uygulaması gerektirmesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu nedenlere ilave olarak, ekstrakte edilmiş moleküllerde toksik etkilere sahip organik çözücülerin varlığı, yeni ekstraksiyon yöntemlerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir (Kulkarni ve Rathod, 2014; Tiwari, 2015; Ojha vd., 2020). Ekonomik ve çevre dostu yeni ekstraksiyon yöntemlerinden biri olan ultrases destekli ekstraksiyon (UDE) ile daha kısa sürede, daha düşük çözücü tüketimi ile daha yüksek seçicilik ve ekstraksiyon verimliliği sağlanabilmektedir (Albero vd., 2019). UDE'da 20-1000 kHz aralığındaki ses dalgaları kullanılmaktadır. Bu dalgaların çözücü içerisinde yayılması, çözücüde negatif bir basınca neden olmakta ve mikroskobik olarak küçük boşluklar veya kabarcıklar oluşmaktadır. Bu kabarcık veya boşluklar gaz ya da su buharı ile doldurulduğunda, kabarcıklar çökene kadar, kabarcıkların oluşması, giderek büyümesi, salınması ve daha fazla enerji absorplayamayacak kritik hacme ulaştıklarında da içeri doğru büzülmesi/sönümlenmesi olayları meydana gelmektedir. Kaviteasyon balonlarında meydana gelen bu iç patlamalar, olduğu bölgeden enerji birikimine neden olmakta ve meydana gelen yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle kaviteasyon bölgesinde yüksek enerjili kesme dalgaları ve türbülans oluşturmaktadır. Tüm bunların sonucunda hücre duvarının bütünlüğü bozularak, hücre içindeki hedef bileşiklerin ekstraksiyon ortamına geçişi kolaylaşmaktadır

(Tüfekçi ve Özkal, 2015; Bleakley ve Hayes, 2017; Ojha vd., 2020).

Serbest radikaller, mitokondrideki solunum zincir reaksiyonları gibi normal hücre metabolizmasının olağan bir sonucu olarak üretilen oksijen ya da nitrojen türevli moleküllerdir (Birben vd., 2012). Serbest radikallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunması oksidatif stres oluşmakta ve hücre yapısı zarar görmeye başlamaktadır. Oksidatif stres ise kanser, yaşlanma, diyabet, otoimmün ve kardiyovasküler hastalıkların en önemli nedenidir (Khalid vd., 2020; Sarmadi ve İsmail, 2010). Biyoaktif bileşiklerin, serbest radikal oluşumunu engelleme özelliği olarak tanımlanan antioksidan aktivite ise fenolik bileşiklerin en temel özelliklerinden birini oluşturmaktadır (Gawlik-Dziki vd., 2012).

Antioksidan özellikteki fenolik bileşikler bitkilerin ikincil metabolitleri arasında önemli bir grubu temsil etmektedir. Fenolik bileşikler, bir veya daha fazla hidroksil grubu taşıyan en az bir aromatik halkaya sahiptirler ve antioksidan etkileri, esas olarak, belirtilen gruplar tarafından metalleri şelatlama eğilimlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Roleira vd., 2015). Fenolik maddelerin önemli kaynakları meyve ve sebzelerdir ve bunların düzenli tüketimi antikanser aktivite gibi bazı sağlık faydaları ile ilişkilendirilmektedir. Bu etkiler gıda matrisinde bulunan fenolik bileşiklerin antioksidan etkisinden kaynaklanmaktadır (Roleira vd., 2015).

Son yıllarda bitkilerden fenolik maddelerin ekstraksiyonunda ultrases destekli ekstraksiyon uygulaması hakkında pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Ma vd., (2009)'nin çalışmasında turunçgil (*Citrus unshiu* Marc) kabuklarından kafeik asit, *p*-kumarik asit, ferulik asit, sinapik asit, protokateşik asit, *p*-

hidrokibenzoik asit ve vanilik asidin ultrases su banyosu destekli ekstraksiyonunda farklı ekstraksiyon süresi (10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dak) ve ekstraksiyon sıcaklığının (15, 30 ve 40 °C) ekstraktlardaki fenolik bileşenlerin miktarlarına etkisi araştırılmıştır. İlgili çalışmanın sonuçlarına göre, fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu, ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin artması ile artmıştır (Ma vd., 2009). Altemimi vd. (2016)'nin çalışmasında ise şeftali ve kabaktan fenolik maddelerin ultrases su banyosu destekli ekstraksiyonunda 3 farklı ekstraksiyon sıcaklığının (30, 40 ve 50 °C), ultrasonik gücün (30, 50 ve %70) ve ekstraksiyon süresinin (10, 20 ve 30 dak) etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, kabak ve şeftaliden fenolik ekstraksiyonunda optimum ekstraksiyon koşulları sırasıyla 41.45 °C ve 41.53 °C ekstraksiyon sıcaklığı, %44.60 ve %43.99 ultrasonik güç ve 25.67 dak ve 27.86 dak ekstraksiyon süresidir. Medina-Torres vd. (2017)'nin çalışmasında, fenolik maddelerin ultrases destekli ekstraksiyonunda 20-60 kHz arasında uygulanan ultrasonikasyon uygulamasının biyoaktif fenoliklerin stabilitesini olumsuz yönde etkilemediği belirtilmiştir.

Turp (*Raphanus sativus*), *Cruciferae* (ya da *Brassicaceae*) bitki ailesine mensup, kolay büyüyen ve hızlı olgunlaşan soğuk mevsim bitkilerinden biridir. Kırmızı, mor, siyah, pembe, sarı, beyaz gibi farklı kabuk renklerine sahip türleri bulunan turp sebzesinin yetiştiriciliği Çin, Japonya ve Kore başta olmak üzere tüm dünyada yapılabilmektedir (He ve Giusti, 2011; Banihani, 2017; Jiang ve Zhou, 2019). Örneğin Japonya'da yılda 3.7 milyon ton turp üretimi gerçekleştirilirken, Çin'de 2016 yılındaki turp üretimi, dünya turp hasadının %47'sine tekabül eden 44.6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Fransa, Çek Cumhuriyeti, Almanya ve Hollanda'da kış ve yaz turpları ve küçük turplardan oluşan geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu'nun 2019 yılı verilerine göre, dünyada 70.773 hektarlık bir alanda küçük turp yetiştiriciliği yapılmaktadır (Kurina vd., 2021). Türkiye'deki turp yetiştiriciliği ile ilgili verilere bakıldığında, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'na göre, 2020 yılında Türkiye'de toplam

turp üretim miktarı 223.394 ton, 2019 yılında 218 816 ton, 2018 yılında ise 196 984 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2020a). Ayrıca, yine TÜİK'e göre, tüm sebze ürünlerinin 2020-2021 piyasa döneminde yurt içi üretimin, yurt içi talebi karşılama derecesi %110.9 olurken, turp sebzesinin yeterlilik derecesi %101.3 olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2020b).

Fenolik bileşenler açısından zengin olan turp sebzesi, sağlıklı bir insan diyetinin ayrılmaz bir parçasını temsil eden ve ekonomik açıdan önemli bir kök sebzedir (Kurina vd., 2021; Manzoor vd., 2021). Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda, turpların kimyasal kompozisyonu ve antioksidan aktiviteleri araştırılmıştır (Barillari vd., 2006; Hanlon vd., 2009; Azam vd., 2013; Pajak vd., 2014; Yücepe vd., 2021). Bildiğimiz kadarıyla, kırmızı turp iç ve kabuklarından polifenoliklerin ekstraksiyonunda ultrases su banyosu destekli ekstraksiyon (USDE) ile ultrases prob destekli ekstraksiyonun (UPDE), ekstraktların toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivite üzerine etkisi açısından kıyaslaması henüz yapılmamıştır. Bu çalışmada öncelikle, kırmızı turp kabuk ve iç kısımlarından polifenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda farklı süreler (20, 60, 180 ve 540 saniye) boyunca uygulanan ultrases su banyosu ve ultrases prob uygulaması ile elde edilen ekstraktlar, toplam fenolik madde miktarı (TFMM) ve antioksidan aktivite (AOA) açısından kıyaslanmıştır. Daha sonra, en yüksek TFMM ve AOA'ye sahip ekstraktların in vitro mide-bağırsak sindirim sırasındaki TFMM ve AOA değerlerindeki değişim araştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Materyal

Yerel bir marketten temin edilen kırmızı turp (*Raphanus sativus* L.) örneklerinin, çeşme suyu altında yıkanarak yüzey kirlilikleri uzaklaştırıldıktan sonra, bıçak kullanılarak elle dikkatli bir şekilde kabuk kısımları ayrılmış ve iç ve kabuk kısımları küçük dilimler şeklinde doğranmıştır. Doğranmış iç ve kabuk kısımlar, -80 °C'deki liyofilizatördeki (Operon Fdb-8603 Liyofilizatör, Operon, Korea) kurutmanın 18. saatinde, turp içleri  $0.129 \pm 0.002$  kg su/kg, turp kabukları  $0.033 \pm 0.001$  g su/kg kuru madde içeriğine düşürüldükten sonra kurutma işlemi

sonlandırılmış ve kurutulmuş örnekler, ışık ve oksijenden zarar görmemeleri için uygun şekilde ambalajlanarak, ekstraksiyon işlemine kadar -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

Hidroklorik asit, sodyum hidroksit, etanol, metanol, formik asit, gallik asit, potasyum klorit, sodyum bikarbonat, sodyum klorit, sodyum karbonat, bakır (II) klorit, neokuprin, amonyum asetat, 2,2-difenil-1 pikrilhidrazil (DPPH), 6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit (Trolox), potasyum dihidrojen fosfat, disodium fosfat, potasyum klorit, safra tuzu,  $\alpha$ -amilaz, pepsin ve pankreatin Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich Chemie, St. Louis, Missouri, ABD)'den temin edilmiştir. Folin Ciocalteu fenol reaktifi ise Merck (Merck, Darmstadt, Germany)'den satın alınmıştır.

#### Metot

##### Ultrases su banyosu destekli ekstraksiyon

Turp iç ve kabuk fraksiyonlarından polifenoliklerin ekstraksiyonu bazı modifikasyonlarla Gras vd. (2017)'nin ekstraksiyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Özetle, 1.5 g liyofilize kırmızı turp iç ve kabukları ayrı ayrı %80'lik 45 ml metanol çözeltisi ile karıştırıldıktan sonra, dört farklı ultrases uygulama süresi (20, 60, 180, 540 saniye) boyunca, bir ultrases su banyosu (SK3310HP, 53 kHz, 180 W, Kudos LHC ultrasonic cleaners, Kudos, Çin) kullanılarak ultrases uygulamasına maruz bırakılmıştır. Sonikasyon sırasında örneklerin ısınmasını engellemek için cihaz tankına (iç ebatlar: 30×15×15 cm, hacim: 6 L) soğuk su ilavesi yapılarak tanktaki su sıcaklığının ve örneğin sıcaklığının en fazla 20-25 °C arasında olması sağlanmıştır. Daha sonra örnekler, ekstrakte edilen fenolik madde miktarının artırılması amacıyla 25 °C sıcaklığında ve 75 rpm çalkalama hızındaki bir çalkalamalı su banyosunda (N-Biotek-303, Biotek Co., Ltd. Kore) 1 saat boyunca inkübasyona tabi tutulmuştur. USDE'dan sonra elde edilen turp kabuğundan fenolik ekstraktlar (TKFE-B) ve turp içinden fenolik ekstraktlar (TİFE-B) bir santrifüj cihazı (NF 1200R, Nüve, Türkiye) kullanılarak 4100 rpm'de 15 dakika koşullarında santrifüj edilmiştir. Üst faz analizlere kadar -20 °C'de ve karanlıkta muhafaza edilmiştir.

##### Ultrases prob destekli ekstraksiyon

Örneklerin ultrases prob destekli ekstraksiyonu bazı modifikasyonlarla Gras vd. (2017)'nin ekstraksiyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Özetle, 1.5 g liyofilize kırmızı turp iç ve kabukları ayrı ayrı %80'lik 45 ml metanol çözeltisi ile karıştırıldıktan sonra, dört farklı ultrases uygulama süresi (20, 60, 180, 540 saniye) boyunca, bir 13 mm çapında titanyum tip problu ultrases homojenizatör (Sonopuls HD 2200, 53 kHz, 200 W, ultrasonic homogeniser, Bandelin Electronic GmbH & Co. KG, Berlin, Almanya) kullanılarak 20, 60, 180, 540 saniye boyunca 53 kHz frekansta ses dalgaları ile muamele edilmiştir. Ultrasonikasyon uygulaması, 50 ml'lik bir beher içindeki karışımın içine 2.5 cm derinliğine kadar ultrases probunun daldırılması ile gerçekleştirilmiştir. Ultrasonikasyon uygulaması sırasında örneklerin ısınmasını önlemek için uygulama soğuk koşullarda yapılarak, örneklerin sıcaklığının en fazla 20-25 °C arasında kalması sağlanmıştır. Daha sonra örnekler, ekstrakte edilen fenolik madde miktarının artırılması amacıyla 25 °C sıcaklığında ve 75 rpm çalkalama hızındaki bir çalkalamalı su banyosunda (N-Biotek-303, Biotek Co., Ltd. Kore) 1 saat boyunca inkübasyona tabi tutulmuştur. Ultrases prob destekli ekstraksiyondan sonra elde edilen turp kabuğundan fenolik ekstraktlara (TKFE-P) ve turp içinden fenolik ekstraktlara (TİFE-P), 4100 rpm'de 15 dakika santrifüj işlemi uygulanmıştır. Üst faz alınıp analizlere kadar -20 °C'de ve karanlıkta muhafaza edilmiştir.

##### Toplam fenolik madde tayini

TKFE-B, TİFE-B, TKFE-P ve TİFE-P'nin toplam fenolik madde miktarı, Folin-Ciocalteu metodu ile belirlenmiştir. Özetle, 200  $\mu$ l örnek, 1,5 mL 10 kat seyreltilmiş Folin-Ciocalteu reaktifi ve 1.2 mL %7.5'lik Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi ile karıştırılarak karanlık ortamda, oda sıcaklığında 90 dakikalık bir inkübasyon süresi sonunda bir UV spektrofotometre (Scilogex Sci-UV1000 Spectrofotometre, Scilogex, ABD) kullanılarak 765 nm'deki absorbansı köre karşı okunmuştur. Örneklerin TFMM, gallik asit standardı kullanılarak hazırlanan kalibrasyon eğrisi yardımı

ile hesaplanmış ve sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g kuru madde (KM) olarak verilmiştir (Toor ve Savage, 2006).

#### Antioksidan aktivite tayini

TKFE-B, TİFE-B, TKFE-P ve TİFE-P'nin antioksidan aktiviteleri 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal yakalama ve bakır iyonu indirgeme kapasitesi (CUPRAC) metodları ile belirlenmiştir. DPPH metodunda, 100 µl örnek ekstraktı üzerine 2 ml 0,1 mM DPPH çözeltisi (metanol içinde) ilave edilmiştir ve 10 saniye çalkalama işleminden sonra oda sıcaklığında, karanlık ortamda 30 dakika bekletilerek, örneklerin 517 nm'de absorbansları bir UV spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, mg Trolox eşdeğeri (TE)/g KM olarak ifade edilmiştir (Kumaran vd., 2006). CUPRAC metodunda ise 100 µl örnek ekstraktı üzerine sırasıyla 1 ml  $10^{-2}$  M bakır (II) klorür çözeltisi, 1 ml  $7.5 \times 10^{-3}$  M neokuprin çözeltisi (etanol içinde), 1 ml amonyum asetat tampon çözeltisi (pH:7.0) ve 1 ml saf su eklenmiştir. Oda sıcaklığında ve aydınlıkta 30 dakika bekletildikten sonra örneklerin 450 nm'de absorbansları bir UV spektrofotometre kullanılarak okunmuştur. Örneklerin AOA Trolox standardı kullanılarak hazırlanan kalibrasyon eğrisi yardımı ile hesaplanmış sonuçlar ve mg TE/g KM olarak ifade edilmiştir (Apak vd., 2004).

#### In vitro mide-bağırsak sindirimi

TKFE-B, TİFE-B, TKFE-P ve TİFE-P'nin in vitro mide-bağırsak sindirimi deneyi Minekus vd. (2014) tarafından geliştirilen INFOGEST metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Tükürük ortamını taklit etmek için hazırlanan çözelti (SSF); 0.5 M'lık KCl çözeltisinden 15.1 ml, 0.5 M'lık  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  çözeltisinden 3.7 ml, 1 M'lık  $\text{NaHCO}_3$  çözeltisinden 6.8 ml, 0.15 M'lık  $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$  çözeltisinden 0.5 ml ve 0.5 M'lık  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  çözeltisinden 0.06 ml içermektedir. Mide ortamını taklit etmek için kullanılan çözelti (SGF); 0.5 M'lık KCl çözeltisinden 6.9 ml, 0.5 M'lık  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  çözeltisinden 0.9 ml, 1 M'lık  $\text{NaHCO}_3$  çözeltisinden 12.5 ml, 2 M'lık NaCl çözeltisinden 11.8 ml, 0.15 M'lık  $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$  çözeltisinden 0.4 ml ve 0.5 M'lık  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  çözeltisinden 0.5 ml içermektedir. Bağırsak ortamını taklit etmek için

kullanılan çözelti (SIF) ise 0.5 M'lık KCl çözeltisinden 15.1 ml, 6.8 M'lık  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  çözeltisinden 0.8 ml, 1 M'lık  $\text{NaHCO}_3$  çözeltisinden 42.5 ml, 2 M'lık NaCl çözeltisinden 9.6 ml ve 0.15 M'lık  $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$  çözeltisinden 1.1 ml içermektedir. Ağız fazı sindirimi için 5 g örnek ile 5 g SSF çözeltisi karıştırılarak, üzerine tükürük amilaz enzimi (75 U/ml) ve SSF'nin her ml için 0.5 µl  $\text{CaCl}_2$  (588 g/l) eklenerek, pH 7'de 2 dakika bekletilmiştir. Mide fazı sindirimi için ağız ortamı sindirimi sonucu oluşan çözelti:SGF karışımı (1:1) oluşturulmuştur. Bu karışıma pepsin enzimi (2000 U/ml) ve 0.17 mM fosfolipit eklenerek ve 37 °C'de pH 2.0'de 250 rpm'de çalkalamalı su banyosunda 1 saat boyunca inkübasyon gerçekleştirilmiştir. Mide sindirimi sonrası toplanan örnekler 10000 rpm, 15 dakika ve 4 °C santrifüj koşullarında santrifüj edilerek süzüntü kısmı alınarak ve -80 °C'de analizlere kadar muhafaza edilmiştir. Daha sonra bağırsak fazı sindirimi deneyine geçilerek, mide fazı sindirimi sonucu oluşan mide karışımı ile SIF+enzim ekstraktı (pankreatin (100 U/ml)+safra (safra ekstraktı) karışımı (1:1) hazırlanmıştır. Karışım, 37 °C'de pH 7'de 75 rpm'de çalkalamalı su banyosunda 2 saat boyunca inkübe edilmiştir. Bağırsak sindirimi sonrası alınan örnekler 10000 rpm, 15 dakika ve 4 °C santrifüj koşullarında santrifüj edilerek süzüntü kısmı alınmış ve -80 °C'de analizlere kadar muhafaza edilmiştir. In vitro mide ve bağırsak sindirimi sonunda elde edilen örneklerin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesi belirlenmiştir.

Ayrıca, ekstraktların TFM ve AOA açısından biyoerişilebilirliği (%) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

Biyoeerişilebilirlik (%)

$$\text{In vitro mide ve bağırsak sindiriminden sonra} \\ = \frac{\text{TFMM ve AOA değeri}}{\text{In vitro mide ve bağırsak sindiriminden önce} \\ \text{TFMM ve AOA değeri}} \\ \times 100$$

#### İstatistiksel analiz

Bütün analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Datalar Minitab istatistik programı (Minitab, Version 17, Minitab Inc., State

College, Pensilvanya, ABD) kullanılarak analizlenmiş ve veriler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. Deney verileri varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılık  $p=0.05$  önem seviyesinde Tukey testi kullanılarak belirlenmiştir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### Polifenolik ekstraktların toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesi

Kırmızı turp kabuk ve iç kısımlarından polifenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda 20, 60, 180 ve 540 saniye boyunca uygulanan ultrases su banyosu ve ultrases prob uygulaması ile elde edilen ekstraktların (TKFE-B, TİFE-B, TKFE-P ve TİFE-P) TFMM ve AOA değerleri Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, turp içlerinin USDE'nundan elde edilen ekstraktların TFMM'leri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli ( $P < 0.05$ ) iken, AOA'leri arasındaki farklılık önemli bulunmamıştır ( $P \geq 0.05$ , Çizelge 1). Ekstraktlar arasında en yüksek TFMM ( $41.17 \pm 0.70$  mg GAE/g KM) 60 saniye ultrases su banyosu koşullarında elde edilen turp içi ekstraktlarında elde edilmiştir ( $P < 0.05$ , Çizelge 1). Benzer şekilde, turp kabuklarının USDE'nunda 60 saniye ultrases uygulaması ile elde edilen polifenoliklerin en yüksek TFMM  $243.26 \pm 5.44$  mg GAE/g KM olarak belirlenmiştir ( $P \geq 0.05$ ). Yücepe vd. (2021)'nin çalışmasında ise siyah turp kabuklarından polifenolik ekstraktların TFMM  $169.29 \pm 6.89$  mg GAE/g KM olarak tespit edilmiştir (Yücepe vd., 2021). Ayrıca, Kim vd. (2016) iki farklı turp çeşidinin TFMM'nı 124-160 mg GAE/g KM olarak tespit etmişlerdir. Xie vd. (2017), bitkinin varyete, olgunlaşma seviyesi ve ekstraksiyon koşulları gibi farklılıklar nedeniyle fenolik ekstraktların farklı TFMM ve AOA'ye sahip olabileceğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, Goyeneche vd. (2015)'nin çalışmasında, kırmızı turpta rutin, vanilik asit, pirogalol, gallik asit, kumarik asit, kafeik asit ve trans ferulik asit fenolik bileşenleri tespit edilmiştir. Ayrıca, Li vd. (2022)'nin çalışmasında, kırmızı turp sebzesine 138, 208, 286 ve 358 W güç ile 30, 60, 90 ve 120 dak. süre koşullarında ultrases uygulamasında, antosiyaninlerde meydana gelen yıkımlanma neticesinde, *p*-hidroksibenzoik asit ve protokateşik asit fenolik asitleri oluşmuş ve bu

durum antioksidan aktivitede bir artışa neden olmuştur. Bu nedenle, Li vd. (2022), kırmızı turp antosiyaninleri üzerinde bozucu etkide olan yüksek enerjili ultrases uygulamalarının, kırmızı turp antosiyaninlerinin renginde belirgin bir değişikliğe yol açtığını, buna karşılık antioksidan aktivitede artışa neden olduğundan, ultrasonikasyonun ekstraksiyonda uygulanabilme potansiyeline sahip olabileceğini rapor etmişlerdir.

Çalışmamızda, USDE ile elde edilen ekstraktların TFMM'nın, UPDE ile elde edilen ekstraktların TFMM'dan istatistiksel olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ( $P < 0.05$ ). Capelo vd. (2005)'ne göre, ultrases prob uygulaması ile ultrases su banyosu uygulamasına göre yaklaşık 100 kat daha yoğun bir ultrasonikasyon uygulaması söz konusudur. Ultrases su banyosu uygulamasında ultrases prob sistemlere göre cihaz haznesindeki su hacmi, suyun sıcaklığı, örneğin pozisyonu ve suda bulunan deterjan yüzdesi gibi daha fazla sayıda değişken, fenoliklerin ekstrakte edilebilirliğini etkilemektedir (Capelo vd., 2005). Diğer taraftan, Han vd. (2018)'nin çalışmasında, ceviz kabuğundan fenolik maddelerin ekstraksiyonunda ultrases su banyosu ve ultrases prob destekli ekstraksiyonlar ile elde edilen ekstraktlar TFMM açısından kıyaslanmıştır. İlgili çalışmanın sonuçlarına göre, ultrases su banyosu destekli ekstraksiyonda tank boyunca düzensiz ve kontrolsüz bir kaviteasyon meydana gelirken, ultrases prob destekli ekstraksiyonda oldukça lokalize bir kaviteasyon yoğunluğu sağlanmıştır ve bu nedenle UPDE ile UBDE'da elde edilen fenolik madde miktarının yaklaşık 2 katı verimle fenolik madde ekstraksiyonu gerçekleştirilebilmiştir (Han vd., 2018). Benzer şekilde, Jerman vd. (2010) çalışmasında ultrases su banyosu ve ultrases prob destekli ekstraksiyonlar, zeytin (*Olea europaea*) meyvesinden fenoliklerin ekstraksiyonunda ekstraksiyon verimine etkileri bakımından kıyaslanmıştır. Bu çalışmada da UBDE'da zeytinden fenoliklerin %33'ü geri kazanılabilmişken, UPDE'da bu oran %80'dir ve UPDE'da daha fazla fenolik maddenin ekstrakte edilmesi ile artan ekstraksiyon verimi söz konusudur. Bakht vd. (2019)'nin çalışmasında da, çay örneklerinden fenoliklerin ekstraksiyonunda

26 kHz ultrasonik prob uygulaması ile 40 kHz ultrasonik banyo ve geleneksel ekstraksiyon yöntemleri kıyaslanmış ve ekstraktların TFMM ve

AOA değerleri arasında ultrasonik prob (26 kHz) > ultrasonik su banyosu (40 kHz) > kontrol şekilde bir sıralama elde edilmiştir.

Çizelge 1. In vitro sindirim öncesi turp içlerinin ultrasu su banyosu ve ultrasu prob destekli ekstraksiyonunda elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesi.  
Table 1: Total phenolic content and antioxidant activity of the extracts obtained in ultrasound bath- and ultrasound probe-assisted extraction of radish pulp before in vitro digestion.

Örnek (Sample)	TFMM (mg GAE/g KM) (TPC (mg GAE/g DW))	AOA <sub>CUPRAC</sub> (mg TE/g KM) (AOA <sub>CUPRAC</sub> (mg TE/g DW))	AOA <sub>DPPH</sub> (mg TE/g KM) (AOA <sub>DPPH</sub> (mg TE/g DW))
20-TİFE-B	39.91±1.29 <sup>ab</sup>	9.90±1.30 <sup>a</sup>	2.55±0.05 <sup>a</sup>
20-TİFE-P	39.21±1.52 <sup>ab</sup>	9.25±1.26 <sup>a</sup>	2.77±0.11 <sup>a</sup>
60-TİFE-B	41.17±0.70 <sup>a</sup>	12.67±0.00 <sup>a</sup>	2.94±0.01 <sup>a</sup>
60-TİFE-P	40.05±0.91 <sup>ab</sup>	11.79±0.03 <sup>a</sup>	2.93±0.01 <sup>a</sup>
180-TİFE-B	35.40±1.59 <sup>ab</sup>	10.56±0.02 <sup>a</sup>	2.89±0.07 <sup>a</sup>
180-TİFE-P	35.32±1.40 <sup>ab</sup>	10.50±0.48 <sup>a</sup>	2.93±0.15 <sup>a</sup>
540-TİFE-B	33.98±2.23 <sup>ab</sup>	11.30±0.06 <sup>a</sup>	3.03±0.04 <sup>a</sup>
540-TİFE-P	33.46±0.41 <sup>b</sup>	9.35±0.02 <sup>a</sup>	2.86±0.08 <sup>a</sup>

20-TİFE-B, 60-TİFE-B, 180-TİFE-B ve 540-TİFE-B: Kırmızı turp içlerine sırasıyla 20, 60, 180 ve 540 saniye ultrasu su banyosu uygulaması ile elde edilen polifenolik ekstraktlar. 20-TİFE-P, 60-TİFE-P, 180-TİFE-P ve 540-TİFE-P: Kırmızı turp içlerine sırasıyla 20, 60, 180 ve 540 saniye ultrasu prob uygulaması ile elde edilen polifenolik ekstraktlar. TFMM: Toplam fenolik madde miktarı. AOA: Antioksidan aktivite. Çizelgede aynı sütunda harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (P <0.05, Tukey).

20-TİFE-B, 60-TİFE-B, 180-TİFE-B and 540-TİFE-B: Polyphenolic extracts obtained by ultrasound bath application to red radish pulp for 20, 60, 180 and 540 seconds, respectively. 20-TİFE-P, 60-TİFE-P, 180-TİFE-P and 540-TİFE-P: Polyphenolic extracts obtained by ultrasound probe application to red radish pulp for 20, 60, 180 and 540 seconds, respectively. TPC: Total phenolic content. AOA: Antioxidant activity. Differences between means in letters in the table are statistically significant (P <0.05, Tukey).

Çizelge 2. In vitro sindirim öncesi turp kabuklarının ultrasu su banyosu ve ultrasu prob destekli ekstraksiyonunda elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesi.

Table 2. Total phenolic content and antioxidant activity of the extracts obtained in ultrasound bath- and ultrasound probe-assisted extraction of radish peel before in vitro digestion.

Örnek (Sample)	TFMM (mg GAE/g KM) (TPC (mg GAE/g DW))	AOA <sub>CUPRAC</sub> (mg TE/g KM) (AOA <sub>CUPRAC</sub> (mg TE/g DW))	AOA <sub>DPPH</sub> (mg TE/g KM) (AOA <sub>DPPH</sub> (mg TE/g DW))
20-TKFE-B	237.24±0.19 <sup>a</sup>	79.67±1.73 <sup>b</sup>	34.91±0.42 <sup>a</sup>
20-TKFE-P	238.94±1.31 <sup>a</sup>	82.55±0.23 <sup>b</sup>	36.35±1.20 <sup>a</sup>
60-TKFE-B	243.26±5.44 <sup>a</sup>	89.65±0.48 <sup>a</sup>	35.67±1.21 <sup>a</sup>
60-TKFE-P	226.50±1.07 <sup>a</sup>	83.12±0.10 <sup>ab</sup>	34.79±0.01 <sup>a</sup>
180-TKFE-B	229.08±0.84 <sup>a</sup>	79.30±0.09 <sup>b</sup>	33.50±0.45 <sup>a</sup>
180-TKFE-P	228.59±2.48 <sup>a</sup>	76.11±0.01 <sup>b</sup>	34.37±1.53 <sup>a</sup>
540-TKFE-B	235.38±0.34 <sup>a</sup>	79.47±0.97 <sup>b</sup>	34.69±0.63 <sup>a</sup>
540-TKFE-P	117.46±11.34 <sup>b</sup>	51.54±2.32 <sup>c</sup>	20.72±0.60 <sup>b</sup>

20-TKFE-B, 60-TKFE-B, 180-TKFE-B ve 540-TKFE-B: Kırmızı turp kabuklarına sırasıyla 20, 60, 180 ve 540 saniye ultrasu su banyosu uygulaması ile elde edilen polifenolik ekstraktlar. 20-TKFE-P, 60-TKFE-P, 180-TKFE-P ve 540-TKFE-P: Kırmızı turp kabuklarına sırasıyla 20, 60, 180 ve 540 saniye ultrasu prob uygulaması ile elde edilen polifenolik ekstraktlar. TFMM: Toplam fenolik madde miktarı. AOA: Antioksidan aktivite. Çizelgede aynı sütunda harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (P <0.05, Tukey).

20-TİFE-B, 60-TİFE-B, 180-TİFE-B and 540-TİFE-B: Polyphenolic extracts obtained by ultrasound bath application to red radish peel for 20, 60, 180 and 540 seconds, respectively. 20-TİFE-P, 60-TİFE-P, 180-TİFE-P and 540-TİFE-P: Polyphenolic extracts obtained by ultrasound probe application to red radish peel for 20, 60, 180 and 540 seconds, respectively. TPC: Total phenolic content. AOA: Antioxidant activity. Differences between means in letters in the table are statistically significant (P <0.05).

Ekstraktların toplam fenolik madde içerikleri ile paralel olarak, turp kabuklarından polifenoliklerin ultrases su banyosu destekli ekstraksiyonunda, ekstraktların AOA<sub>CUPRAC</sub> değeri (89.65±0.48 mg TE/g KM), diğer örneklerin AOA<sub>CUPRAC</sub> değerinden istatistiksel olarak daha yüksektir ( $P < 0.05$ ). Uygulanan farklı ultrasonikasyon süreleri arasında en yüksek TFMM ve AOA değerleri 60 saniye uygulama süresinde elde edilen ekstraktlarda sağlanmıştır (Çizelge 1 ve 2). Bu nedenle, çalışmanın bundan sonraki kısmında turp kabuk ve turp içlerinin 60 saniye ultrases su banyosu ve 60 saniye ultrases prob uygulamalarını içeren ekstraksiyon koşullarında elde edilen ekstraktların *in vitro* sindirim sırasındaki TFMM ve AOA değerlerindeki değişim araştırılmıştır.

#### **Ekstraktların *in vitro* mide-bağırsak sindirim sırasında toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesindeki değişimi**

*In vitro* mide-bağırsak sindirim sonrasında, TKFE-B ve TİFE-B'nin TFMM'ları sırasıyla 41.17±0.70 mg GAE/g KM'den 22.47±1.04 mg GAE/g KM'ye ve 243.26±5.44 mg GAE/g KM'den 78.48±8.09 mg GAE/g KM'ye düşmüştür (Çizelge 3,  $P < 0.05$ ). Ayrıca iç ve kabuk ekstraktların her ikisinin de *in vitro* mide sindirimi sonrası TFMM ile *in vitro* bağırsak sindirimi TFMM değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir ( $P \geq 0.05$ ). *In vitro* sindirimden sonra TFMM'da meydana gelen bu düşüş daha önce yapılan diğer çalışmalarda da gösterilmiştir (Perez-Vicente vd., 2002; Pavan vd., 2014; Fawole ve Opara, 2016; Martínez-Las Heras vd., 2017). Fenolik bileşikler pH değişikliklerine karşı oldukça hassastır ve ortam koşullarına ve gıda matrisinde bulunan her bir fenolik bileşiğin stabilitesine bağlı olarak sindirimden sonra örneklerdeki bazı fenolik bileşiklerin kısmen yıkımlanması nedeni ile örneklerin TFMM'da azalmalar meydana gelebilmektedir (Jara-Palacios vd., 2018; Ma vd., 2020).

Diğer taraftan, Çizelge 3'de görüldüğü gibi örneklerin *in vitro* sindirim öncesi AOA değerleri; CUPRAC yöntemi ile TİFE-B için 12.67±0.00 mg TE/g KM ve TKFE-B için 89.65±0.48 mg TE/g KM ( $P < 0.05$ ), DPPH yöntemi ile TİFE-B için 2.94±0.01 mg TE/g KM ve TKFE-B için

35.67±1.21 mg TE/g KM olarak belirlenmiştir ( $P < 0.05$ ). *In vitro* bağırsak sindirimi sonrasında, TKFE'nin AOA<sub>CUPRAC</sub> değerindeki azalma istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ( $P < 0.05$ ). Bu bulgular, sindirim prosesindeki farklı pH koşullarına maruz kalan örneklerdeki antioksidan aktivitedeki polifenoliklerin, farklı kimyasal özellikleri ile farklı yapısal formlara dönüşmesi nedeni ile farklı biyoerişilebilirlik ve biyolojik aktivite sergileyebileceğini göstermektedir (Albero vd., 2019). İlave olarak, TİFE'nin AOA<sub>DPPH</sub> değeri, *in vitro* sindirimden sonra artış göstermiştir ( $P < 0.05$ ). Bouayed vd. (2011)'ne göre, diyetle alınan polifenoller *in vivo* koşullarda, mide-bağırsak sindiriminde ekstrakte edilirler ve gıda matrisi, pH, sıcaklık, inhibitörlerin ya da absorpsiyonu artırıcı faktörlerin ve enzimlerin varlığına bağlı olarak; ekstrakte edilebilir fitokimyasalların doğası, stabilitesi ve antioksidan aktivitesi değişebilmektedir. Çalışmamıza benzer olarak, Chen vd. (2015)'in çalışmasında da 23 farklı yenilebilir çiçeğin *in vitro* bağırsak sindirimden sonraki AOA<sub>DPPH</sub>, *in vitro* mide sindirimden sonraki AOA<sub>DPPH</sub>'e göre artış göstermiştir. Bir molekülün pH değeri molekülün rasemizasyonunu etkiler ve ilgili reaktife karşı farklı reaktiviteye sahip iki kiral enantiomerler oluşabilir (Chen vd., 2015). Bu nedenle simüle edilen mide ve bağırsak ortamlarının farklı pH değerleri, fenoliklerin farklı mide ve bağırsak ortamlarında farklı antioksidan aktivite sergilemesine neden olabilir. Akillioglu ve Karakaya (2010)'nın çalışmasında da benzer bir eğilim gözlemlenmiştir ve *in vitro* bağırsak sindirim sırasındaki enzimatik hidrolizden dolayı polifenollerin serbest hale gelmesi ile bağırsak sindirimden sonra antioksidan aktivitede bir artışın gözlemlenebileceği ifade edilmiştir.

Kırmızı turp kabuk ve içlerinden USDE ile elde edilen polifenolik ekstraktlardaki fenolik maddeler ve ekstraktların AOA'nin biyoerişilebilirlik (%) değerlerindeki değişim Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. Buna göre, TİFE'daki fenolik maddelerin biyoerişilebilirliği (%), *in vitro* mide sindiriminden sonra %63.63±0.93 ve *in vitro* bağırsak sindiriminden sonra %54.21±1.94 ( $P < 0.05$ ) olarak hesaplanmıştır (Şekil 1). Diğer taraftan, TKFE'daki fenolik bileşiklerin



biyoerişilebilirliği (%) *in vitro* mide sindiriminden sonra  $44.87 \pm 2.96$  olarak değişmiştir (Şekil 2,  $P < 0.05$ ). TİFE'nin  $AOA_{CUPRAC}$  biyoerişilebilirliği (%) ise  $66.46 \pm 0.40$  ( $P < 0.05$ )'dir. Diğer taraftan

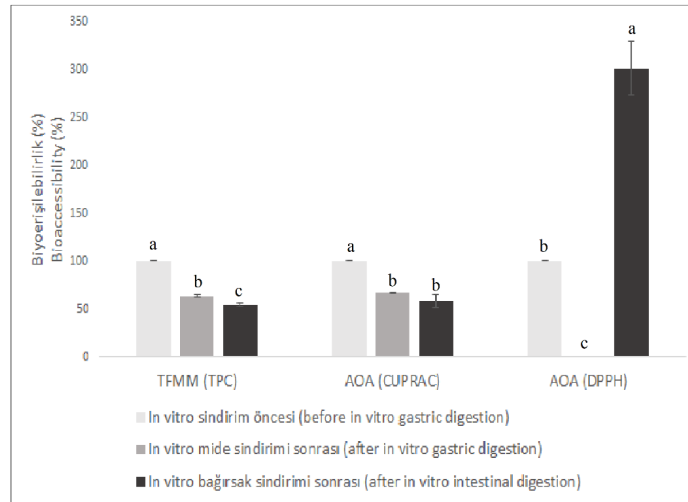
TKFE'nin  $AOA_{CUPRAC}$  biyoerişilebilirliği (%) *in vitro* mide sindirimden sonra  $47.33 \pm 0.58$  ve *in vitro* bağırsak sindiriminden sonra  $27.89 \pm 0.99$  olarak hesaplanmıştır ( $P < 0.05$ ).

Çizelge 3: *In vitro* sindirim öncesi ve *in vitro* sindirim sırasında ultrases su banyosu destekli ekstraksiyon ile elde edilen kırmızı turp kabuk ve içlerinden polifenolik ekstraktların toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesindeki değişim.

Table 3: Changes in total phenolic content and antioxidant activity of polyphenolic extracts from red radish peel and pulp obtained by ultrasound bath-assisted extraction before and during *in vitro* digestion.

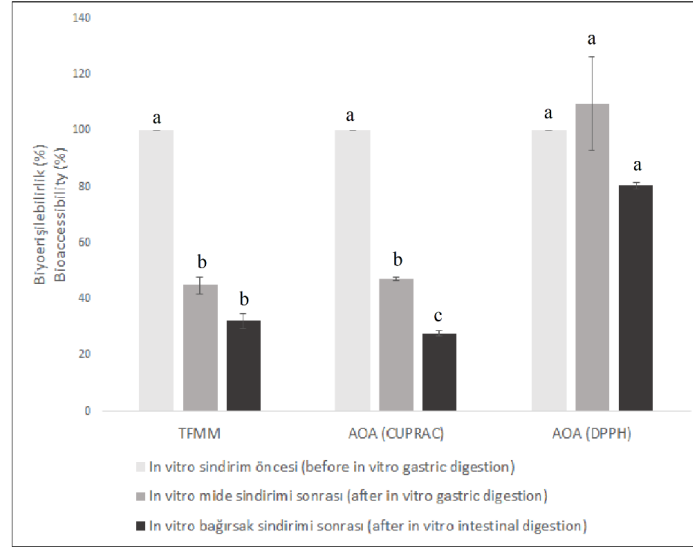
Örnek (Sample)	In vitro sindirim öncesi (Before <i>in vitro</i> digestion)	In vitro mide sindirimi sonrası (After <i>in vitro</i> gastric digestion)	In vitro bağırsak sindirimi sonrası (After <i>in vitro</i> intestinal digestion)			
TFMM (mg GAE/g KM) (TPC (mg GAE/g DW))	60-TİFE-B 41.17±0.70 <sup>b,x</sup>	60-TKFE-B 243.26±5.44 <sup>a,x</sup>	60-TİFE-B 26.37±0.66 <sup>b,y</sup>	60-TKFE-B 109.30±9.63 <sup>a,y</sup>	60-TİFE-B 22.47±1.04 <sup>b,y</sup>	60-TKFE-B 78.48±8.09 <sup>a,y</sup>
$AOA_{CUPRAC}$ (mg TE/g KM) ( $AOA_{CUPRAC}$ (mg TE/g DW))	60-TİFE-B 12.67±0.00 <sup>b,x</sup>	60-TKFE-B 89.65±0.48 <sup>a,x</sup>	60-TİFE-B 8.42±0.05 <sup>b,y</sup>	60-TKFE-B 42.43±0.75 <sup>a,y</sup>	60-TİFE-B 7.39±0.80 <sup>b,y</sup>	60-TKFE-B 25.01±1.02 <sup>a,z</sup>
$AOA_{DPPH}$ (mg TE/g KM) ( $AOA_{DPPH}$ (mg TE/g DW))	60-TİFE-B 2.94±0.01 <sup>b,y</sup>	60-TKFE-B 35.67±1.21 <sup>a,x</sup>	60-TİFE-B 0.00±0.00 <sup>b,y</sup>	60-TKFE-B 39.35±7.29 <sup>a,x</sup>	60-TİFE-B 7.92±0.99 <sup>b,x</sup>	60-TKFE-B 28.70±1.34 <sup>a,x</sup>

Çizelgede bulunan satır ve sütunlarda harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.05$ , Tukey). TFMM: Toplam fenolik madde miktarı. AOA: Antioksidan aktivite. Differences between means in letters within a line and column are statistically significant ( $P < 0.05$ , Tukey). TPC: Total phenolic content. AOA: Antioxidant activity.



Şekil 1: Turp içinden elde edilen ekstraktların *in vitro* mide-bağırsak sindirimi sırasında % biyoerişilebilirliğindeki değişim. Şekilde harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.05$ , Tukey).

Figure 1: Changes in bioaccessibility (%) of the extracts from radish pulp during *in vitro* gastric-intestinal digestion. Differences between means in letters in the figure are statistically significant ( $P < 0.05$ , Tukey).



Şekil 2: Turp kabuğundan elde edilen ekstraktların in vitro mide-bağırsak sindirimi sırasında % biyoerişilebilirliğindeki değişim. Şekilde harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.05$ , Tukey).

Figure 2: Changes in bioaccessibility (%) of the extracts from radish peel during in vitro gastric-intestinal digestion. Differences between means in letters in the figure are statistically significant ( $P < 0.05$ , Tukey).

## SONUÇ

Bu çalışmada, doğal bir antioksidan kaynağı olarak kırmızı turp sebzесinin (*Raphanus sativus* L.) iç ve kabuk fraksiyonlarından elde edilen polifenolik ekstraktların in vitro mide-bağırsak sindirim sırasında toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesindeki değişim araştırılmıştır. Sunulan çalışma ile kırmızı turp sebzесinin iç ve kabuk kısımlarından ultrases su banyosu ve ultrases prob destekli ekstraksiyonun ekstraktların toplam fenolik madde miktarı ve fenoliklerin antioksidan aktivitesi üzerine etkisi ortaya konulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, turp kabuklarından elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesi, iç fraksiyonlardan elde edilen ekstraktlarınkinden daha yüksektir. Diğer taraftan her iki fraksiyonun in vitro sindirim sırasında fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesinde azalmalar meydana gelmiştir. Ayrıca, in vitro sindirim sonrasında, DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite ya korunmuştur ya da artmıştır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda, ultrases uygulamasının kırmızı turp fenolik bileşiklerinin antioksidan aktivitesi üzerine etkisi, fenoliklerin

kromatografik tanımlaması yapılarak daha iyi açıklanabilir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZARLARIN KATKISI

Sunulan çalışma, Aysun Yüçetepe tarafından planlandı. Bütün analizler Özlem Gökdemir tarafından yapıldı. Makalenin yazımı Aysun Yüçetepe ve Özlem Gökdemir tarafından gerçekleştirildi.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Desteği Programı “Kırmızı turp (*Raphanus sativus* L.) içlerinden polifenolik bileşenlerin ekstraksiyonu: In vitro mide-bağırsak sindirim sırasında ekstraktların toplam fenolik madde içeriği ile antioksidan aktivitesindeki değişimin araştırılması” başlıklı (Başvuru no: 1919B012102006) proje kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akillioglu, H. G., Karakaya, S. (2010). Changes in total phenols, total flavonoids, and antioxidant activities of common beans and pinto beans after soaking, cooking, and *in vitro* digestion process. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 633-639.
- Albero, B., Tadeo, J. L., Pérez, R. A. (2019). Ultrasound-assisted extraction of organic contaminants. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 739-750.
- Altemimi, A., Watson, D. G., Choudhary, R., Dasari, M. R., Lightfoot, D. A. (2016). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from peaches and pumpkins. *PLoS One*, 11(2), e0148758.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970-7981.
- Azam, A., Khan, I., Mahmood, A., Hameed, A. (2013). Yield, chemical composition and nutritional quality responses of carrot, radish and turnip to elevated atmospheric carbon dioxide. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(13), 3237-3244.
- Bakht, M. A., Geesi, M. H., Riadi, Y., Imran, M., Ali, M. I., Ahsan, M. J., Ajmal, N. (2019). Ultrasound-assisted extraction of some branded tea: Optimization based on polyphenol content, antioxidant potential and thermodynamic study. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(5), 1043-1052.
- Banihani, S. A. (2017). Radish (*Raphanus sativus*) and diabetes. *Nutrients*, 9(9), 1014.
- Barillari, J., Cervellati, R., Costa, S., Guerra, M. C., Speroni, E., Utan, A., Iori, R. (2006). Antioxidant and choleretic properties of *Raphanus sativus* L. sprout (Kaiware Daikon) extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 9773-9778.
- Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., Kalayci, O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9-19.
- Bleakley, S., Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, 6(5), 33. <https://doi.org/doi:10.3390/foods6050033>
- Bouayed, J., Deußer, H., Hoffmann, L., Bohn, T. (2012). Bioaccessible and dialysable polyphenols in selected apple varieties following *in vitro* digestion vs. their native patterns. *Food Chemistry*, 131(4), 1466-1472.
- Capelo, J. L., Maduro, C., Vilhena, C. (2005). Discussion of parameters associated with the ultrasonic solid-liquid extraction for elemental analysis (total content) by electrothermal atomic absorption spectrometry. An overview. *Ultrasonics Sonochemistry*, 12(3), 225-232.
- Chen, G. L., Chen, S. G., Xie, Y. Q., Chen, F., Zhao, Y. Y., Luo, C. X., Gao, Y. Q. (2015). Total phenolic, flavonoid and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to *in vitro* digestion. *Journal of Functional Foods*, 17, 243-259.
- Fawole, O. A., Opara, U. L. (2016). Stability of total phenolic concentration and antioxidant capacity of extracts from pomegranate co-products subjected to *in vitro* digestion. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 1-10.
- Gawlik-Dziki, U., Jeżyna, M., Świeca, M., Dziki, D., Baraniak, B., Czyż, J. (2012). Effect of bioaccessibility of phenolic compounds on *in vitro* anticancer activity of broccoli sprouts. *Food Research International*, 49(1), 469-476.
- Gras, C. C., Nemetz, N., Carle, R., Schweiggert, R. M. (2017). Anthocyanins from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) and their color modulation by the addition of phenolic acids and food-grade phenolic plant extracts. *Food Chemistry*, 235, 265-274.
- Han, H., Wang, S., Rakita, M., Wang, Y., Han, Q., Xu, Q. (2018). Effect of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds on the characteristics of walnut shells. *Food and Nutrition Sciences*, 9(8), 1034-1045.
- Hanlon, P. R., Robbins, M. G., Hammon, L. D., Barnes, D. M. (2009). Aqueous extract from the vegetative portion of Spanish black radish (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) induces

- detoxification enzyme expression in HepG2 cells. *Journal of Functional Foods*, 1(4), 356-365.
- He, J., Giusti, M. M. (2011). High-purity isolation of anthocyanins mixtures from fruits and vegetables—A novel solid-phase extraction method using mixed mode cation-exchange chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1218(44), 7914-7922.
- Jara-Palacios, M. J., Gonçalves, S., Hernanz, D., Heredia, F. J., & Romano, A. (2018). Effects of *in vitro* gastrointestinal digestion on phenolic compounds and antioxidant activity of different white winemaking byproducts extracts. *Food Research International*, 109, 433-439.
- Jerman, T., Trebše, P., Vodopivec, B. M. (2010). Ultrasound-assisted solid liquid extraction (USLE) of olive fruit (*Olea europaea*) phenolic compounds. *Food Chemistry*, 123(1), 175-182.
- Jiang, W., Zhou, X. (2019). Hydrolysis of radish anthocyanins to enhance the antioxidant and antiproliferative capacities. *Food Chemistry*, 294, 477-485.
- Goyeneche, R., Roura, S., Ponce, A., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E., Di Scala, K. (2015). Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (*Raphanus sativus* L.) leaves and roots. *Journal of Functional Foods*, 16, 256-264.
- Khalid, M., Ayayda, R., Gheith, N., Salah, Z., Abu-Lafi, S., Jaber, A., . . . Al-Mazaideh, G. (2020). Assessment of antimicrobial and anticancer activity of radish sprouts extracts. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 13(4).
- Kim, J. K., Baskar, T. B., Park, S. U. (2016). Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activities of two *Raphanus sativus* L. cultivars (cherry belle and valentine). *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(1), 31-36.
- Kulkarni, V. M., Rathod, V. K. (2014). Mapping of an ultrasonic bath for ultrasound assisted extraction of mangiferin from *Mangifera indica* leaves. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(2), 606-611.
- Kumaran, A., Karunakaran, R. J. (2006). Antioxidant activity of polyphenols from *Phyllanthus debilis* Klein ex Willd. *Journal of Natural remedies*, 6(2), 141-146.
- Kurina, A. B., Korniyukhin, D. L., Solovyeva, A. E., Artemyeva, A. M. (2021). Genetic diversity of phenotypic and biochemical traits in VIR radish (*Raphanus sativus* L.) germplasm collection. *Plants*, 10(9), 1799.
- Li, W., Gong, P., Ma, H., Xie, R., Wei, J., Xu, M. (2022). Ultrasound treatment degrades, changes the color, and improves the antioxidant activity of the anthocyanins in red radish. *LWT*, 165, 113761.
- Ma, Y. Q., Chen, J. C., Liu, D. H., Ye, X. Q. (2009). Simultaneous extraction of phenolic compounds of citrus peel extracts: Effect of ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16(1), 57-62.
- Ma, Y., Yang, Y., Gao, J., Feng, J., Shang, Y., Wei, Z. (2020). Phenolics and antioxidant activity of bamboo leaves soup as affected by *in vitro* digestion. *Food and Chemical Toxicology*, 135, 110941.
- Manzoor, A., Bashir, M. A., Naveed, M. S., Cheema, K. L., Cardarelli, M. (2021). Role of different abiotic factors in inducing pre-harvest physiological disorders in radish (*Raphanus sativus*). *Plants*, 10(10), 2003.
- Martínez-Las Heras, R., Pinazo, A., Heredia, A., Andrés, A. (2017). Evaluation studies of persimmon plant (*Diospyros kaki*) for physiological benefits and bioaccessibility of antioxidants by *in vitro* simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 214, 478-485.
- Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Espinosa-Andrews, H., Sánchez-Contreras, A., Pacheco, N. (2017). Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources. *Agronomy*, 7(3), 47.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T. O. R. S. T. E. N., Bourlieu, C., ... Dufour, C. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food—an international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113-1124.
- Ojha, K. S., Aznar, R., O'Donnell, C., Tiwari, B. K. (2020). Ultrasound technology for the

- extraction of biologically active molecules from plant, animal and marine sources. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 122, 115663.
- Pajak, P., Socha, R., Gałkowska, D., Rożnowski, J., Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 143, 300-306.
- Pavan, V., Sancho, R. A. S., Pastore, G. M. (2014). The effect of *in vitro* digestion on the antioxidant activity of fruit extracts (*Carica papaya*, *Artocarpus heterophyllus* and *Annona muricata*). *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1247-1251.
- Pérez-Vicente, A., Gil-Izquierdo, A., García-Viguera, C. (2002). *In vitro* gastrointestinal digestion study of pomegranate juice phenolic compounds, anthocyanins, and vitamin C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(8), 2308-2312.
- Roleira, F. M., Tavares-da-Silva, E. J., Varela, C. L., Costa, S. C., Silva, T., Garrido, J., Borges, F. (2015). Plant derived and dietary phenolic antioxidants: Anticancer properties. *Food Chemistry*, 183, 235-258.
- Sarmadi, B. H., Ismail, A. (2010). Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides*, 31(10), 1949-1956.
- Tiwari, B. K. 2015. Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 100-109.
- Toor, R. K., Savage, G. P. (2006). Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 99(4), 724-727.
- Tüfekçi, S., Özkal, S. G. (2015). Gıdaların Kurutulmasında Ultrases Kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(9), 408-413.
- TÜİK (2020a). Bitkisel Üretim İstatistikleri 2020-2021 <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> (Erişim Tarihi: 10.09.2022).
- TÜİK (2020b). Bitkisel Ürün Denge Tabloları, 2020-2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Urun-Denge-Tabloları-2020-2021-5505> (Erişim Tarihi: 10.09.2022).
- Xie P, You F, Huang L, Zhang C (2017) Comprehensive assessment of phenolic compounds and antioxidant performance in the developmental process of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.). *J Funct Foods*, 36, 233-242. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.012>
- Yüce-tepe, A., Altın, G., Özçelik, B. (2021). A novel antioxidant source: evaluation of *in vitro* bioaccessibility, antioxidant activity and polyphenol profile of phenolic extract from black radish peel wastes (*Raphanus sativus* L. var. *niger*) during simulated gastrointestinal digestion. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(3), 1376-1384.