



Vişne posasından ultrason prob destekli antosiyanin ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu

Optimization of ultrasound probe assisted anthocyanin extraction conditions from sour cherry pomace

Yaşar Özlem Alifaki^{1,*} 

¹ T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ulusal Gıda Referans Laboratuvar Müdürlüğü, 06170, Ankara Türkiye

Öz

Vişne (*Prunus cerasus* L.) özellikle antosiyaninler olmak üzere pek çok fenolik bileşikler içeren ve Türkiye’de en çok meyve suyu endüstrisinde kullanılan meyvedir. Vişne posası atık ürünü de yüksek miktarda biyoaktif bileşik içeren çok önemli bir kaynaktır. Bu çalışmanın amacı vişne posası yan ürününden ultrason prob destekli ekstraksiyon ile yüksek miktarda antosiyanin ve fenolik bileşik içeren ekstrakt elde edilmesidir. Yanıt yüzey yöntemi optimizasyon için kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler ultrason gücü (%25 (18 W), %50 (36 W), %75 (54 W)), ekstraksiyon süresi (10, 20, 30 dak.) ve katı:çözücü oranı (1:10, 1:20, 1:30 g/mL)’dir. Ultrason gücü, ekstraksiyon süresi ve katı:çözücü oranının Toplam Fenolik Madde (TFM), Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarı (TMAM), Antioksidan Aktivite (AA), Renk Yoğunluğu (RY), Polimerik Renk (PR), ve Polimerik Renk Oranı (%PR) üzerine etkileri belirlenmiştir. Ultrason gücü TFM, RY, %PR; ekstraksiyon süresi TFM, TMAM, RY üzerine önemli derecede etkili bulunmuştur. Katı: çözücü oranı ise TFM, TMAM, AA, RY ve %PR üzerine etkilidir. Optimum değerler %75 (54 W), 30 dakika ve 1:30 g/mL olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekstraksiyon, Vişne posası, Ultrason prob, Antosiyanin, Atık işleme

1 Giriş

Dünya nüfusundaki artışın yanı sıra gıda kaybı ve gıda israfı da giderek artmaktadır. Küresel ölçekte gıda üretiminin yaklaşık %14’ü hasat ve satış sırasında israf edildiği ve kabaca toplam dünya gıda üretiminin %17’sinin kaybedildiği tahmin edilmektedir. Gıda atıklarının yeniden değerlendirilmesi meselesi gıda israfı ile yapılan harcamalar nedeniyle ekonomiye olan etkilerinin yanı sıra gıda güvenirliliği ile de yakından ilişkilidir. Gıda atıklarının bertaraf edilmesi işlemlerinin bunlar için kullanılan kaynakların boşa harcanmasının yanı sıra çöplüklere atılan gıdalardan sera gazı salınımı ve bertaraf amacıyla kullanılan yakma fırınlarından gaz salınımı nedeniyle meydana gelen toprak ve su kalitesinin bozulması gibi çevre üzerine de olumsuz etkileri bulunmaktadır [1]. Bu nedenlerle gıda atıklarının sürdürülebilir olarak yeniden değerlendirilmesi son yıllarda üzerinde çalışılan oldukça önemli bir konudur.

Abstract

Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) consists of several kinds of phenolic compounds, especially anthocyanins, and is mainly processed into fruit juice in Türkiye. Sour cherry pomace is also an important source of high-added bioactive compounds. The aim of this research is to obtain high value anthocyanin and phenolic compound contain extract from sour cherry pomace by ultrasound probe assisted extraction. Response surface methodology was used for optimization. Ultrasound power (%25 (18 W), %50 (36 W), %75 (54 W)), extraction time (10, 20, 30 min) and solid-to-solvent ratio (1:10, 1:20, 1:30 g/mL) were independent variables. The effects of ultrasound power, extraction time, solid-to-solvent ratio on Total Phenolic Content (TPC), Total Monomeric Anthocyanin Content (TMAC), Antioxidant Activity (AA), Colour Density (CD), Polymeric Colour (PC), and Polymeric Colour Ratio (PC%) were determined. It was found that ultrasound power showed a significant effect on TPC, CD, and PC%, while extraction time showed effect on TPC, TMAC and CD. Solid:solvent ratio affected TPC, AA, CD, and PC %. The optimum levels were detected as 75 % (54 W), 30 min, and 1:30 g/mL.

Keywords: Extraction, Sour cherry pomace, Ultrasound probe, Anthocyanins, Waste treatment

Küresel ölçekte gıda tüketim eğilimlerine bakıldığında vişne (*Prunus cerasus* L.) çeşitlerinin büyük bir kısmının kendine has asidik ve buruk bir tadı olması sebebiyle taze tüketimleri sınırlıdır ve meyve suyu, reçel, marmelat ve sos gibi ürünlere işlenmeleri tercih edilmektedir. Bu yüzden vişne endüstriyel bir meyve olarak kabul edilmektedir. Vişne meyve suyu endüstrisinde de %100 vişne suyu olarak kullanılmaz ve şeker şurupları ile dengelenmiş bir nektar olarak satışa sunulur [2]. Meyve suyu sıkımı ve dondurulmuş meyve eldesi gibi endüstriyel işlemlerden sonra elde edilen vişne yan ürünleri posa (kabuk ve et) ve tohumlardan (çekirdeği) oluşur. Vişne posası yüksek antosiyanin ve fenolik bileşikler içermektedir. Fonksiyonel gıda olarak doğal kaynaklar kullanımının artması biyoaktif bileşikler içeren yan ürünlerin kullanımına ilgiyi de arttırmaktadır, özellikle vişne posasında kalan biyoaktif özellikteki bileşenlerin antioksidan, antimikrobiyal ve

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ozlemalifaki@gmail.com (Y. Ö. Alifaki)

Geliş / Received: 12.05.2026 Kabul / Accepted: 23.06.2026 Yayınlanma / Published: 07.07.2026

doi: 10.28948/ngumuh.1598900

antiinflamatuar özelliklerinden dolayı insan sağlığına etkileri bu yan ürüne artan ilgiye sebep olmaktadır [3].

Vişne posasında bulunan kateşin, neoklorojenik asit ve bir antosiyanin çeşidi olarak bilinen siyanidin-3-glikozilrutinositler kardiyovasküler hastalık, Alzheimer, inflamasyon, kanser ve diyabet gibi hastalıklar için geleneksel tıpta önleyici tedbir olarak kullanılmıştır. Vişne meyvesi ve posasındaki antioksidan aktivite içeren bileşiklerin tüketilmesi sağlık üzerinde iştah artışı, kan basıncının düşmesi, oksidatif strese karşı koruma, egzersizden kaynaklanan ağrı ve kas hasarının azalması, daha iyi kan şekerinin düzenlenmesi ve inflamasyonun azalması gibi faydalar göstermektedir [4-7].

Meyve ve sebze atıklarından çeşitli bileşiklerin sürdürülebilir şekilde ekstraksiyonuna yönelik yeni yöntemler, temiz teknikler olarak da bilinen yeşil ekstraksiyon teknikleri olarak bilinmektedir. Bu yöntemler organik çözücüler kullanılır, ekstraksiyon için daha az zaman gerektirirler ve daha az enerji tüketirler; bunların çevreye olumlu etkileri vardır [8]. Bunlardan en önemlilerinden biri ultrason destekli ekstraksiyon işlemidir. Ultrasonikasyon olarak da adlandırılan ultrason destekli ekstraksiyonda 20 kHz ile 100 MHz arasındaki ses dalgaları kullanılır. Bu ses dalgaları bir maddenin içinden geçerek kavitasyon denilen bir dizi sıkıştırma ve genişleme etkisine sebep olarak küçük kabarcıkların oluşmasına, büyümesine ve çökmesine neden olur. Bu kabarcıklar ne zaman kritik bir çapı aşarlarsa patlarlar, büyük miktarda enerji açığa çıkarırlar ve kinetik hareket ısıya dönüşür. Bu sayede biyoaktif bileşiklerin katı materyal içerisinde çözünerek ekstraksiyonu meydana gelmektedir. Ultrason destekli ekstraksiyonun konvansiyonel ekstraksiyon tekniklerine kıyasla daha az güç tüketimi, daha az termal bozulma ve yüksek kaliteli ekstrakt elde edilmesi, zaman, enerji ve maliyette azalma gibi bazı üstünlükleri vardır [9-12].

Literatürde vişne posası ile ilgili yapılan ekstraksiyon çalışmaları incelendiğinde mikrodalga destekli ekstraksiyon işlemi sonucunda elde edilen örneklerin antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları bakımından konvansiyonel ekstraksiyon ile elde edilen örneklerle kıyaslandığı görülmüştür [13]. Okur vd., [14] vişne posasında yüksek basınçlı ekstraksiyon, ultrason ve mikrodalga destekli ekstraksiyon ile elde ettikleri örneklerde antioksidan aktivite, toplam fenolik madde miktarı ve HPLC ile fenolik madde değişimlerini incelemiştir. Burada kullanılan ultrason destekli ekstraksiyon koşulları %100 güçte 5, 10, 15 dakika olarak belirlenmiştir. Gene bir başka çalışmada mikrodalga destekli ekstraksiyon kullanılmış ve pektin ve fenolik madde ekstraksiyonu hedeflenmiştir [15]. Vişne posası üzerine yapılan diğer çalışmalarda fenolik bileşiklerin konvansiyonel yöntemlerle [16], derin ötektik çözücü ve mikrodalga destekli ekstraksiyonla [17], süperkritik ekstraksiyon yöntemi ile [18, 19] ekstrakte edildiği bildirilmiştir. Bu çalışmaların hiçbirinde işlem koşullarının optimizasyonu bulunmamaktadır. Optimizasyona ilişkin yapılan bir çalışmada etanol ile ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir [20]. Bir diğer çalışmada mikrodalga, yüksek basınç, enzimatik ve ısıl işlemlerin antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve

diyet lif üzerine etkileri incelenmiştir [21]. Demirdöven vd. [22] ise etanol kullanarak ultrasonik banyo destekli ekstraksiyon gerçekleştirmiş ve elde edilen örnekleri toplam kuru madde, pH, titrasyon asitliği, antioksidan aktivite, toplam antosiyanin, toplam fenolik madde ve renk özellikleri açısından değerlendirmiştir. Bu çalışmada ise çözücü olarak su kullanılmış ve ultrason prob sistemi ile farklı güçler, farklı süreler, farklı katı:çözücü oranlarının toplam monomerik antosiyanin, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve polimerik renk özellikleri üzerine etkilerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak çalışılmamış işlem koşullarının optimizasyonu hedeflenmemiştir. Bu bakımdan yapılan bu çalışma literatürdeki bir boşluğu doldurmaktadır.

Özet olarak bu çalışmanın amacı vişne posası yan ürününden yüksek değerli antosiyaninler ve fenolik bileşiklerin ultrason prob destekli ekstraksiyonla ekstrakte edilmesi ve bu proses için optimum koşulların elde edilmesidir. Ayrıca örneklerin polimerik renk oranına (%PR), polimerik renk (PR), renk yoğunluğu (RY), toplam monomerik antosiyanin içeriği (TMAM), antioksidan aktivite (AA) ve toplam fenolik madde içeriğine (TFM) göre değerlendirilmesi ve konvansiyonel metotla kıyaslanması da amaçlanmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Materyal

Taze vişne meyvesi Ankara, Türkiye (hasat 2023)'den yerel bir tedarikçiden temin edilmiştir. Kullanılan kimyasal maddeler analitik saflıktadır ve aracı firmalar kullanılarak temin edilmiştir.

2.2 Metot

2.2.1 Deneme tasarımı

Yanıt yüzey yöntemi Box Benken Tasarımı deneme tasarımı olarak seçilmiştir. Deney tasarımı Tablo 1'de gösterilmiştir. Bağımsız değişkenler ultrason gücü, ekstraksiyon süresi, katı:çözücü oranı olarak belirlenmiştir. Her bağımsız değişkenin 3 seviyesi mevcuttur. 15 deneme sayılı deneme tasarımı kullanılmıştır. Burada merkez nokta 3 kez tekrarlanmaktadır. Ultrason gücünde çalışma aralığı cihazın maksimum %100 çalışma gücü üzerinden %25, %50 ve %75 olarak seçilmiş olup bunlar 18 W, 36 W ve 54 W olarak hesaplanmıştır. Ekstraksiyon süresi 10, 20 ve 30 dakika ve katı:çözücü oranı 1:10, 1:20 ve 1:30 g/mL olarak belirlenmiştir. Çalışmada bağımlı değişkenler TMAM, TFM, AA, PR, RY ve %PR olarak belirlenmiştir.

2.2.2 Ekstraksiyona örneklerin hazırlanması

Taze vişne meyvesi ayıklanıp yıkandıktan sonra suyu sıkılmış ve vişne posası çekirdeklerinden ayrılarak homojenizatör yardımıyla parçalanmıştır. Daha sonra analizler yapılana kadar derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

Tablo 1. Deneme tasarımı

X ₁ Ultrason Gücü (%)		X ₂ Ultrason Ekstraksiyon Süresi (dakika)		X ₃ Kati: Çözücü Oranı (g/mL)	
Kodlu	Kodsuz	Kodlu	Kodsuz	Kodlu	Kodsuz
1	75	1	30	0	1:20
0	50	0	20	0	1:20
1	75	0	20	1	1:10
-1	25	1	30	0	1:20
0	50	-1	10	1	1:10
-1	25	-1	10	0	1:20
0	50	-1	10	-1	1:30
-1	25	0	20	1	1:10
-1	25	0	20	-1	1:30
0	50	1	30	1	1:10
1	75	-1	10	0	1:20
0	50	0	20	0	1:20
0	50	0	20	0	1:20
0	50	1	30	-1	1:30
1	75	0	20	-1	1:30

2.2.3 Ultrason destekli ekstraksiyon

Ultrason desteli ekstraksiyon işlemi ultrason problu homojenizatör (Sonoplus Ultrasonic Homogenizer, HD 2070, Bandelin, Almanya) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Prob derinliği 4 cm ve örnek hacmi 50 mL'dir. Cihazın frekansı 20 kHz'dir. Çalışma amplitude modu devamlı moddur. Pulse modu kullanılmamıştır. Kullanılan prop (Sonoplus MS 73) 2 mm çapında ve 15 cm uzunluğundadır. Sıcaklık ekstraksiyon işlemi süresince 25 ±1°C olacak şekilde buz dolu bir kabın içerisinde sıcaklık belli aralıklarla kontrol edilerek sabit tutulmuştur. Çözücü olarak distile su kullanılmıştır. Ekstraksiyon işlemi tamamlandığında ekstrakt kaba filtre kâğıdı yardımıyla süzülerek elde edilmiştir. Analizler yapılana kadar derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

2.2.4 Konvansiyonel ekstraksiyon

Konvansiyonel ekstraksiyon işlemi için maserasyon uygulaması tercih edilmiştir. Bu amaçla sıcaklığı 25 ±1°C'de ayarlanmış su banyosu (Şimşek, SBD-313; Türkiye) kullanılmıştır. Çözücü olarak distile su kullanılmıştır. Kati: çözücü oranı 1:30 (g/mL) olacak şekilde ekstraksiyon süresince sabit tutulmuştur. Konvansiyonel ekstraksiyon işleminden elde edilen örnekler kontrol grubu olarak adlandırılmıştır.

2.2.5 Toplam fenolik madde miktarı (TFM)

TFM miktarı Folin-Ciocalteu metoduna göre tespit edilmiştir [23]. 0,1 mL ekstrakt 0.9 mL distile su ile karıştırıldıktan sonra 5 mL Folin-Ciocalteu (0,2 N) ve 4 mL Na₂CO₃ (%7.5) ile karıştırılarak 2 saat süreyle oda sıcaklığında karanlıkta bekletildikten sonra spektrofotometre (Shimadzu, UV-1601, Kyoto, Japonya) yardımıyla 765 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri olarak verilmiştir.

2.2.6 Toplam monomerik antosiyanin miktarı (TMAM)

TMAM pH renk değişimi metodu kullanılarak spektrofotometrik olacak şekilde tespit edilmiştir [24]. Bu analizde ekstraktlar (500 µL) 3 mL potasyum klorür tampon

çözeltisi (0.025 M, pH 1.0) ve sodyum asetat tampon çözeltisi (0.4 M, pH 4.5) kullanılarak seyreltilir. Bu karışımlar 15 dakika beklenir ve takiben spektrofotometre (Shimadzu, UV-1601, Kyoto, Japonya) yardımıyla 510 nm ve 700 nm absorbansta okunur. Örneğin absorbanı ve TMAM değeri **Denklem (1)** ve **Denklem (2)** yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Absorbans (A)} = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5} \quad (1)$$

$$\text{TMAM} = \frac{A \times MA \times SF \times 10^3}{\epsilon \times D} \quad (2)$$

Denklemlerde A absorban değeri, SF seyreltme miktarı, 10³ birim değişim faktörü, D absorban ölçüm küvetinin tabaka kalınlığı (1 cm), MA mg siyanidin-3-glukozit molekül ağırlığı= 449.2 g/mol ve molar sönüm katsayısı ε = 26900 L/cm.mol olarak ifade edilmiştir.

2.2.7 Antioksidan aktivite miktarı (AA)

Antioksidan aktivite DPPH metodu ile analiz edilmiştir [25]. Bu amaçla 0.025 g DPPH/L metanol çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra 0.1 mL seyreltilmiş ekstrakt ile 3.9 mL DPPH çözeltisi karıştırılmış ve 2 saat karanlıkta inkübasyon sonrasında spektrofotometre (Shimadzu, UV-1601, Kyoto, Japonya) ile 517 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar mg DPPH/ g km olacak şekilde rapor edilmiştir. Kalibrasyon çözeltileri DPPH stok çözeltisinin metanol ile farklı oranlarda seyreltilmesi ile elde edilmiştir.

2.2.8 Polimerik renk oranı, renk yoğunluğu, polimerik renk (%PR, RY, PR)

PR, RY ve %PR değerleri Cao vd. [26]'de anlatıldığı gibi tespit edilmiştir. Ekstraktlar bir spektrofotometre (Shimadzu, UV-1601, Kyoto, Japonya) yardımıyla 520 nm dalga boyunda okunarak absorban değerleri 0.5-1.0 arasında olacak şekilde distile su ile seyreltilmiştir. 0.2 mL potasyum metabisülfid (%20) çözeltisi 2.8 mL seyreltilmiş ekstrakt ile karıştırılmış işlem uygulanmış örnek ve 0.2 mL distile su 2.8 mL seyreltilmiş ekstrakt ile karıştırılarak işlem uygulanmamış örnek olarak hazırlanmıştır. 15 dakika bekletilen örnekler 420, 512 ve 700 nm dalga boylarında okunarak renk yoğunluğu, (**Denklem (3)**), polimerik renk (**Denklem (4)**) ve polimerik renk oranı (**Denklem (5)**) aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{RY} = [(A_{420} - A_{700})_{\text{işlem uygulanmamış}} + (A_{512} - A_{700})_{\text{işlem uygulanmamış}}] \times \text{SF} \quad (3)$$

$$\text{PR} = [(A_{420} - A_{700})_{\text{işlem uygulanmış}} + (A_{512} - A_{700})_{\text{işlem uygulanmış}}] \times \text{SF} \quad (4)$$

$$\%PR = (\text{polimerik renk/renk yoğunluğu}) \times 100 \quad (5)$$

2.2.9 İstatistiksel analiz ve optimizasyon

MINITAB 16 paket istatistik programı (Minitab Inc., State College PA, ABD) yanıt yüzey yöntemi ile kullanılmıştır. Her bir bağımlı değişken için ayrı ayrı olmak üzere ikinci dereceden model denklemlerinden

faýdalanılarak elde edilen verilerin çoklu regresyon analizleri çalışılmıştır. Her analiz için 2 paralel çalışılmıştır ve bunların ortalamaları tespit edilmiştir. Optimizasyon işlemi için yanıt yüzey yöntemi optimizasyon aracı kullanılmıştır. Optimum değerlerin tespitinde TMAM, TFM, AA, RY değerlerinin maksimum olması hedeflenmiştir. PR ve % PR değerleri optimizasyona katılmamıştır. Model seçim kriterleri sırasıyla şunlardır. r^2 değerinin 0.05'ten küçük (<0.05) olması gereklidir. Uyum eksikliği p-değeri 0.05'ten büyük (>0.05) yani "anlamsız" (not significant) olmalıdır. Optimizasyonda seçilen tüm değişkenlerin yanıt ağırlıkları 1 olarak seçilmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

İkinci dereceden model denklemi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade etmek üzere oluşturulmuştur (Denklem (6)).

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2 + b_8X_1X_3 + b_9X_2X_3 \quad (6)$$

Denklemde X_i 'ler bağımsız değişkenleri (X_1 ultrason gücü, X_2 ekstraksiyon süresi, ve X_3 katı:çözücü oranı) b_i 'ler model katsayılarını ve Y 'ler bağımlı değişkenleri (TMAM, TFM, AA, RY, PR ve % PR) tanımlamaktadır. Bu düzenlenen eşitlikler Tablo 2'de gösterilmiştir. Sonuçlar, tüm yanıt değişkenleri için modellerin yeterli olduğunu, çünkü tatmin edici R^2 değerlerine sahip olduklarını göstermiştir [27]. Tablo 2'de görülen regresyona dâhil edilmeyen noktaların deneysel alandaki verileri temsil etmede bir modelin başarısızlığını ölçmek için uyum eksikliği testi kullanılmış ve tüm bağımlı değişken denklemleri için uyum eksikliği istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

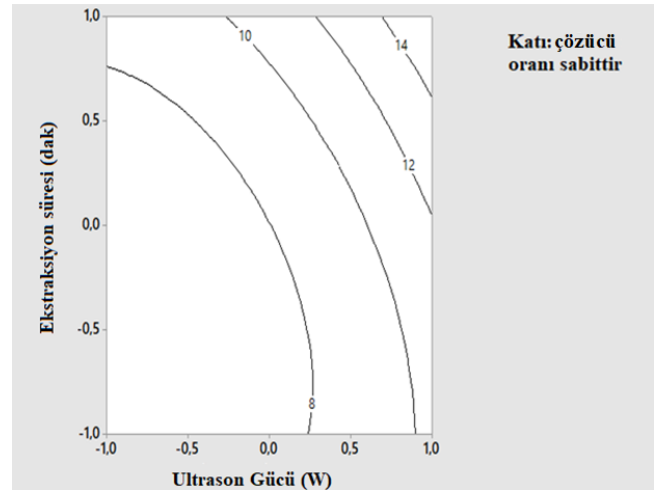
Tablo 2. Regresyon denklemleri

Bağımsız değişken	Denklem	R^2	Uyum Eksikliği
TFM	$Y_1 = 7.968 + 2.507 X_1 + 1.642 X_2^2 - 1.313 X_3 + 1.375 X_1^2 + 1.242 X_3^2 - 1.091 X_3 + 1.057 X_1 X_2 - 1.295 X_1 X_3 + 0.870 X_2 X_3$	95.85	0.090**
AA	$Y_2 = 5.890 + 0.331 X_1 - 0.167 X_2 - 2.679 X_3^2 - 0.062 X_1^2 - 1.079 X_2^2 + 0.608 X_3^2 - 0.023 X_1 X_2 - 0.335 X_1 X_3 - 0.288 X_2 X_3$	78.87	0.407**
TMAM	$Y_3 = 1.1873 + 0.1059 X_1 + 0.1857 X_2 + 0.0268 X_3 - 0.0021 X_1^2 + 0.0622 X_2^2 + 0.0588 X_3^2 - 0.0018 X_1 X_2 - 0.0700 X_1 X_3 + 0.0784 X_2 X_3$	78.72	0.081**
RY	$Y_4 = 1.675 + 0.391 X_1 + 0.453 X_2 + 0.638 X_3 + 0.097 X_1^2 + 0.072 X_2^2 + 0.678 X_3^2 + 0.206 X_1 X_2 - 0.425 X_1 X_3 + 0.287 X_2 X_3$	95.36	0.383**
PR	$Y_5 = 1.142 + 0.366 X_1 + 0.334 X_2 - 0.138 X_3 + 0.120 X_1^2 - 0.218 X_2^2 + 0.514 X_3^2 + 0.431 X_1 X_2 - 0.525 X_1 X_3 + 0.163 X_2 X_3$	76.22	0.111**
%PR	$Y_6 = 74.80 + 8.52 X_1 - 2.58 X_2 - 24.87 X_3 + 6.80 X_1^2 - 7.96 X_2^2 + 5.71 X_3^2 + 10.26 X_1 X_2 - 6.59 X_1 X_3 + 2.38 X_2 X_3$	96.67	0.087**

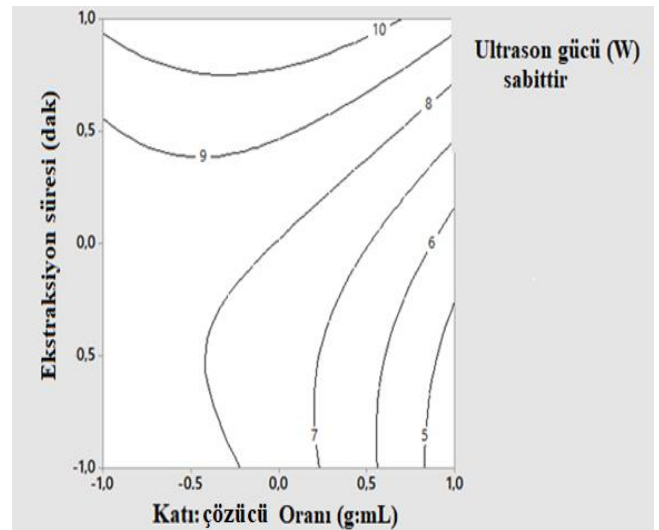
X_1 Ultrason gücü, X_2 Ekstraksiyon süresi, X_3 Katı: çözücü oranı
*Fark istatistiki olarak önemli $p \leq 0.05$ ** İstatistik fark önemsiz $p > 0.05$

3.1 Toplam fenolik madde miktarı

Toplam fenolik madde miktarları bu çalışmada 5.0891-16.5113 mg GA/ g km arasında değişmektedir. Yanıt yüzey yöntemi deneme deseniyle yapılan istatistiki inceleme sonuçlarına göre toplam fenolik madde miktarı üzerine ultrason gücü ve ekstraksiyon süresi pozitif, katı:çözücü oranı ise negatif etkili bulunmuştur (Tablo 2, Şekil 1 ve 2). Burada -1 kodlu değişkeni 1:30 g/mL katı: çözücü oranını ve 1 kodlu değişken değeri 1:10 g/mL katı: çözücü oranını göstermektedir. Buradaki negatif korelasyon katı miktarının sabit kalması ve çözücü miktarının artırılmasından kaynaklanmaktadır. Kısaca çalışmamızda çözücü miktarı arttıkça TFM miktarı artmıştır denilebilir.



Şekil 1. Ultrason gücü ve ekstraksiyon süresine göre ekstraktların toplam fenolik madde miktarı değişimi (katı:çözücü oranı sabit)



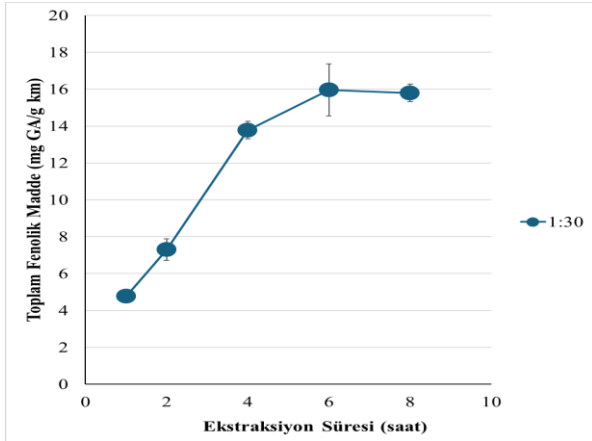
Şekil 2. Katı:çözücü oranı ve ekstraksiyon süresine göre ekstraktların toplam fenolik madde miktarı değişimi (Ultrason gücü sabit)

Ultrason gücü ve süresi arttıkça ultrasonikasyona maruziyet artmaktadır, bu durumda sonikasyonun sağladığı

kavitasyona göre hücre duvarının parçalanması, hücre içi bileşenlerin salınmasını kolaylaştırır.

Ultrason gücü ekstraksiyonun yoğunlaştırılmasında önemli bir rol oynar, çünkü gücün artmasıyla ultrasonik dalgaların sıkıştırma ve seyreltme döngülerinin sayısı artar ve sonuç olarak bileşiklerin daha yüksek bir iletimi olur [28]. Carrera vd. [29], %20 ve %50 ultrason gücü kullanılarak antosiyanin ve tanen ekstraksiyon verimleri karşılaştırıldığında önemli istatistiksel farklılıklar bildirdiler. Bu çalışmada daha yüksek miktarda ultrasonik güç uygulamasının daha fazla kavite oluşumuna neden olarak toplam fenolik madde miktarını arttırdığı gösterilmektedir. Ancak, ekstraksiyon verimlerindeki artışın yalnızca aşındırıcı etkilere veya ultrasonik dalgaların yarattığı türbülansa değil, aynı zamanda parçacıkların yüzeyindeki fiziksel etkilere de atfedebileceğini belirtmek önemlidir [30, 31]. Milic vd. [32], kuru vişne örneklerinde yaptıkları çalışmada benzer şekilde çözücü oranı arttıkça ekstraksiyon işlemindeki difüzyon katsayısı artacağından toplam fenolik madde miktarının arttığını tespit etmiştir.

Çalışmamızda kontrol grubu olarak kullanılan maserasyon ekstraksiyon işlemi için katı çözücü oranı, ultrason destekli ekstraksiyon işleminde en yüksek TFM değerlerinin elde edildiği 1:30 katı:çözücü oranı olarak maserasyon ekstraksiyonu için seçilmiştir. Buna göre gerçekleştirilen maserasyon ekstraksiyon işlemindeki TFM değişimi Şekil 3'te gösterilmektedir. İşlem süresi olarak ise en yüksek TFM değerinin elde edildiği 6 saat ekstraksiyon süresi olarak seçilmiştir.

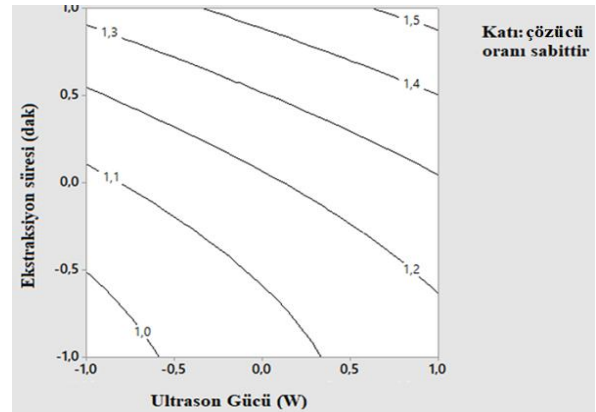


Şekil 3. Maserasyonda ekstraksiyon süresi ile toplam fenolik madde miktarının değişimi

3.2 Toplam monomerik antosiyanin miktarı

İstatistik olarak toplam monomerik antosiyanin miktarı üzerine tek etkili değişken pozitif etkisi ile ekstraksiyon süresidir (Tablo 2, Şekil 4). Ekstraksiyon süresi ile ultrason dalgalarına maruziyet süresi artar. Daha yüksek antosiyanin eldesi bitki dokusunun ultrason dalgaları tarafından tahrip edilmesi mekanizmasıyla açıklanabilir, şöyle ki zamanla sonikasyonun yarattığı mekanik titreşimler bitki hücrelerinin içinde hareket eder ve ekstraksiyon ortamından geçerken genleşme ve sıkıştırma döngülerine neden olur [33]. Genleşme, bir sıvıda kabarcıklar oluşturabilir ve yerel sıcaklık artışına ve negatif basınca neden olabilir. Bunun

sonucunda oluşan kabarcıklar büyür ve sonunda asimetrik olan ve katı yüzey üzerinde güçlü bir etkiye sahip olan yüksek hızlı sıvı jetleri üreten boşluk çökmesi meydana gelir. Bu mekanik ve termal etkiler, hücre duvarlarının tahrip olmasına, hücre içeriklerinin salınmasına ve ekstraksiyon ortamının bitki matrisine daha fazla nüfuz etmesine neden olur ve kütle transferini yoğunlaştırır. Sonuç olarak, iki ana faktör olan verimli hücre parçalanması ve etkili kütle transferi, ultrason dalgalarının kullanımında ekstraksiyon veriminin ve dolayısıyla antosiyanin miktarının artmasına yol açar [34-36]. Benzer şekilde Ramic vd. [37], ultrason uygulamasının *A. melanocarpa* yan ürünlerinden ve *Dranca* ve *Oroian* [38], patlıcan (*Solanum melongena* L.) kabuğundan polifenollerin ve antosiyaninlerin ekstraksiyonunda doğrusal pozitif bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir. Liao vd. [39] mor patlıcan kabuklarında yaptıkları çalışmada 35. dakikaya kadar ekstraksiyon süresi ile TMAM arasında pozitif bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir. Liao vd. [40] fıstık kabuklarında 35 dakikadan fazla süren ultrasonikasyonun TMAM üzerine negatif etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmamız 30. dakikaya kadar devam ettiği için literatür ile paralel sonuçlar elde edilmiş olabilir.

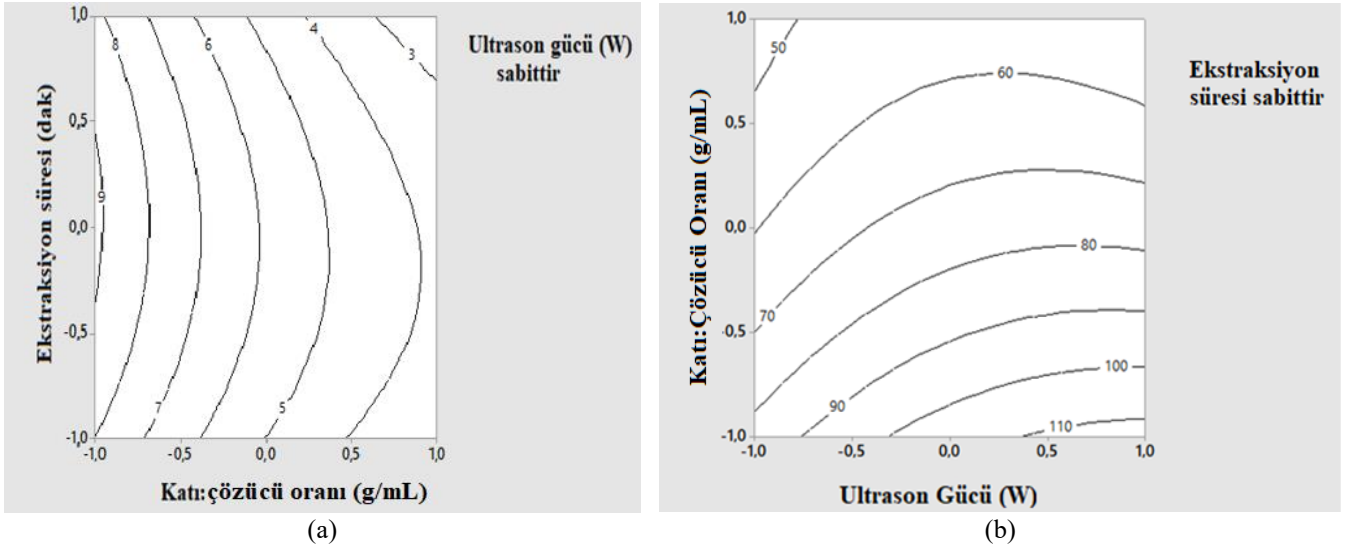


Şekil 4. Ultrason gücü ve ekstraksiyon süresine göre ekstraktların toplam monomerik antosiyanin miktarı değişimi (katı:çözücü oranı sabittir)

3.3 Antioksidan aktivite miktarı

Bağımsız değişkenlerin antioksidan aktivite değerleri üzerine etkileri incelendiğinde ultrason gücü ve ekstraksiyon süresinin etkileri istatistik olarak önemsiz bulunmuşken, katı:çözücü oranı ise negatif etkili bulunmuştur (Tablo 2, Şekil 5a). Bu durumun nedeni 1:30 katı:çözücü oranında fenolik bileşiklerin önemli ölçüde daha yüksek konsantrasyonda elde edilmesidir. Çözücü miktarı arttıkça konsantrasyon gradyanında da artma gerçekleşeceğinden kütle transferi artmaktadır [41]. Buna paralel olarak antioksidan aktivite değerleri de artmaktadır.

Ultrason destekli ekstraksiyonda toplam fenolik madde miktarının artmasına rağmen antioksidan aktivitenin aynı kalması veya bundan etkilenmemesi, temel olarak fenolik bileşiklerin farklı antioksidan kapasitelere sahip olması ve ultrasonun yarattığı serbest radikallerin neden olduğu oksidasyon ile açıklanabilir.



Şekil 5. (a) Katı:çözücü oranı ve ekstraksiyon süresine göre ekstraktların antioksidan aktivite miktarı değişimi (Ultrason gücü sabit) ve (b) Katı:çözücü oranı ve ultrason gücüne göre ekstraktların polimerik renk oranı değişimi (ekstraksiyon süresi sabit)

Yüksek ultrason gücü ve uzun uygulama süreleri, kavitasyon (baloncuk oluşumu ve patlaması) etkisiyle ortamda hidroksil radikalleri gibi serbest radikaller oluşturabilir. Bu durum, hassas antioksidan bileşiklerin yapılarını bozarak okside olmalarına yol açabilir. Bununla birlikte Folin-Ciocalteu ile yapılan toplam fenolik madde (TFM) testi, ortamdaki tüm fenolik hidroksil gruplarını ölçer. Ancak antioksidan aktivite tayinleri, doğrudan moleküllerin serbest radikal karşısındaki indirgeme veya elektron verme kapasitelerini ölçer. Bu nedenle yapısal değişimler TFM sonucunu değiştirmezken, aktivite sonucunu sabit bırakabilir [42].

3.4 Polimerik renk, renk yoğunluğu, polimerik renk oranı

Polimerik renk üzerine bütün bağımsız değişkenler etkisiz bulunmuştur. Ancak renk yoğunluğu üzerine bütün değişkenler pozitif etkili bulunmuştur. Renk yoğunluğu, doğal renklendiricilerin tonlama potansiyelini anlamada ve ekstraksiyon sırasında renk değişimlerinin bozulmasını izlemede önemli bir faktördür. Renk yoğunluğu birçok fenolik bileşiklerin kırmızı renkli olması sebebiyle ekstraksiyon verimi arttıkça artmaktadır. İlaveten çözücü oranı azaldığında birim hacim içerisindeki renk pigmenti daha fazla olacağından renk yoğunluğunun yüksek olması da rapor edilen diğer çalışmalar ile uyum göstermektedir. Bununla birlikte polimerik renk oranı üzerine de ultrason gücü pozitif etkili bulunmuşken, katı:çözücü oranının etkisi negatiftir (Tablo 2, Şekil 5b). Ultrason gücü arttıkça ve ekstraksiyondaki çözücü oranı arttıkça polimerik renk oranı da artmaktadır. Bu durum literatürle uyumludur. Çünkü ultrason gücü arttıkça serbest radikal oluşumu artmaktadır. Bu da polimerik renk oluşumunu tetiklemektedir. Benzer şekilde su miktarı ile serbest radikal oluşumu arasında da pozitif korelasyon olduğu rapor edilmiştir [43]. Bayberry suyunda yapılan bir çalışmada renk yoğunluğunda ultrason işleminden sonra anlamlı bir fark görülmezken, polimerik renk değerinin ultrason gücü ve süresiyle birlikte kademeli

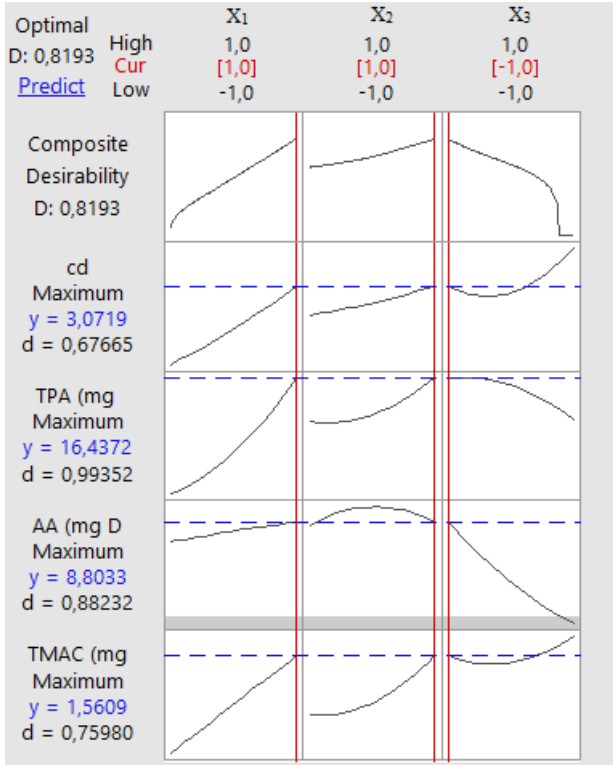
olarak %6.93 değerinden %31.73 oranına arttığı tespit edilmiştir [44]. Önceki çalışmalar depolama sırasında hidro termodinamik işlemde geçirilmiş yaban mersini ve siyah havuç suyu konsantrlerinde antosiyanin içeriği ile polimerik renk değerleri arasında güçlü bir negatif korelasyon bulmuştur [45, 46].

3.5 Optimizasyon

Optimizasyon işlemi yanıt yüzey yöntemi optimizasyon aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimum değerlerin tespitinde toplam fenolik madde miktarı (TFM), antioksidan aktivite miktarı (AA), toplam monomerik antosiyanin miktarı (TMAM), renk yoğunluğu (RY) değerlerinin maksimum olması hedeflenmiştir. Polimerik renk (PR) ve polimerik renk oranı (%PR) değerleri optimizasyona katılmamıştır. Optimizasyon katılan yanıt değişkenlerinin hepsinin önem derecesi 1 olarak belirlenmiştir. Bu kriterlere göre bağımsız değişkenlerin optimum değerleri ultrason gücü, ekstraksiyon süresi ve katı:çözücü oranı için sırasıyla %75 (54 W), 30 dakika ve 1:30 g/mL olarak bulunmuştur. Optimizasyon eğrisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Desirability (istenebilirlik) değeri 0,8193 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu değerlere ilişkin Şekil 6'da hesap edilen sonuçlar kontrol noktası ile kıyaslanmıştır. Hesaplanan değerler toplam fenolik madde miktarı için 16.4372 mg/g km, toplam monomerik antosiyanin miktarı için 1.5609 mg siyanidin-3-glukozit/ g km, antioksidan aktivite için 8.8033 mg DPPH/ g km ve renk yoğunluğu için 3.0719 olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak optimum koşullarda elde edilen değerler ise sırasıyla TFM için 14.2600 mg /g km, TMAM için 1.5390 mg siyanidin-3-glukozit/g km, AA için 7.7492 mg DPPH/g km ve RY için ise 6.26 olarak bulunmuştur.

Maserasyon ekstraksiyonda kontrol noktasında elde edilen değerler ise sırasıyla TFM için 15.962 mg /g km, TMAM için 1.6672 mg siyanidin-3-glukozit / g km, AA için 1.0623 mg DPPH/g km ve RY için ise 18.81 olarak

bulunmuştur. Maserasyon, optimum ve hesaplanan değerlerin toplam fenolik madde miktarlarını karşılaştırdığımızda aralarında istatistiki farklılık bulunmamaktadır ($p=0.373$). TMAM değerlerini karşılaştırdığımızda maserasyon değeri istatistiki olarak optimum noktanın hesaplanan ve deneysel değerlerinden yüksek olarak bulunmuştur ($p= 0.001$). Antioksidan aktivite değeri optimum noktada hesaplanan değerde en yüksek ve maserasyonda en düşük olarak bulunmuştur ($p= 0.000$).



Şekil 6. Optimizasyon eğrisi

Bu durum işlem süresinin kısa olması sayesinde gerçekleşmiş olabilir. Ashokkumar vd. [47], flavonoidler gibi bileşiklerin antioksidan aktivitesinin ultrason işlemi sırasında oluşan OH* radikallerine göre moleküllerin hidrosilasyon derecesindeki artış nedeniyle artabileceğini rapor etmişlerdir. Bu bulgular, ultrasonla işlenmiş örneklerdeki DPPH inhibisyon yüzdesindeki artışın, antioksidan bileşiklerdeki artıştan kaynaklanabileceğini göstermektedir.

4 Sonuçlar

Minimal olarak proses atıklarının işlenmesi günümüzde popülerliği giderek artan bir konudur. Ultrason destekli ekstraksiyon metodu geleneksel metotlara göre zaman, enerji ve çözücü tüketimini sınırlaması nedeniyle çevreci bir uygulamadır. Bu çalışmada meyve suyu işleme atığı olarak bulunan vişne posasından antosiyanin elde edilmesi amacıyla ultrason destekli ekstraksiyon işlem koşulları denenmiş ve yapılan optimizasyon işlemi sonucunda optimum koşullar tespit edilmiştir. Optimum noktada kontrole göre %91.66 zaman tasarrufu sağlanmıştır. Ultrason gücü, ultrason ekstraksiyon süresi ve katı:çözücü oranının

toplam fenolik madde (TFM), toplam monomerik antosiyanin miktarı (TMAM), antioksidan aktivite (AA), renk yoğunluğu (RY), polimerik renk (PR), ve polimerik renk oranı (%PR) üzerine etkileri belirlenmiştir. Ultrason gücü TFM, RY, %PR; ultrason ekstraksiyon süresi TFM, TMAM, RY üzerine önemli derecede etkili bulunmuştur. Katı:çözücü oranının ise TFM, TMAM, AA, RY ve % PR üzerine etkili olduğu görülmüştür. Optimum proses koşulları ultrason gücü %75 (54 W), ekstraksiyon süresi 30 dakika ve katı:çözücü oranı 1:30 g/mL olarak bulunmuştur.

CRedit yazarlık katkı beyanı

Yaşar Özlem ALİFAKI: Kavramsallaştırma, Veri düzenleme, Formal analiz, Fon sağlama, Araştırma, Yöntem, Proje yönetimi, Kaynak sağlama, Yazılım, Danışmanlık, Doğrulama, Görselleştirme, Yazma-ilk taslak, Yazma-inceleme ve düzenleme.

Teşekkür

Çalışmanın gerçekleşmesi sürecinde laboratuvar imkânlarının kullanılmasına izin veren Prof. Dr. Özge Şakıyan Demirkol ve Prof. Dr. Aslı İşçi Yakan (Ankara Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü)'a teşekkür ederiz.

Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %4

Yazım sürecinde üretken yapay zekâ (YZ) ve YZ destekli teknolojilerin kullanımına ilişkin beyan

Yazarlar, bu çalışmanın hazırlanmasında herhangi bir yapay zekâ aracı kullanmamıştır.

Kaynaklar

- [1] T. Chatzimitakos, V. Athanasiadis, D. Kalompatsios, K. Kotsou, M., Mantiniotou, E. Bozinou and S. I. Lalas, "Sustainable valorization of sour cherry (*Prunus cerasus*) by-products: extraction of antioxidant compounds.", *Sustainability*, 16, 32, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16010032>
- [2] G. Toydemir, E. Capanoglu, S. Kamiloglu, D. Boyacioglu, R.C. De Vos, R.D. Hall and J. Beekwilder, "Changes in sour cherry (*Prunus cerasus* L.) antioxidants during nectar processing and in vitro gastrointestinal digestion.", *Journal of Functional Foods*, 5, 1402-1413, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.05.008>
- [3] F. M. Yılmaz, A. Görgüç, M. Karaaslan, H. Vardin, S. Ersus Bilek, Ö. Uygun and C. Bircan, "Sour cherry by-products: compositions, functional properties and recovery potentials—a review.", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 3549-3563, 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1496901>
- [4] D. S. Kelley, Y. Adkins and K. D. Laugero, "A review of the health benefits of cherries," *Nutrients*, 10, 368, 2018. <https://doi.org/10.3390/nu10030368>
- [5] C. A. Mayta-Apaza, M. Daya and C. Franck, "Tart Cherries and health: Current knowledge and need for a better understanding of the fate of phytochemicals in the human gastrointestinal tract.", *Critical Reviews in*

- Food Science and Nutrition*, 59, 626-638, 2019. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2017.1384918>
- [6] F. Blando and B. D. Oomah, "Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits," *Trends in Food Science and Technology*, 86, 517-529, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.052>.
- [7] M. Stryjecka, M. Michalak, J. Cymerman and A. Kiełtyka-Dadasiewicz, "Comparative assessment of phytochemical compounds and antioxidant properties of kernel oil from eight sour cherry (*Prunus cerasus* L.) cultivars." *Molecules*, 27, 696, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27030696>
- [8] S. L. Rodriguez Garcia and V. Raghavan, "Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62, 6446-6466, 2022. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1901651>
- [9] J. Azmir, I. S. M. Zaidul, M. M. Rahman, K. M. Sharif, A. Mohamed, F., Sahena, M. H. A. Jahurul, K. Ghafoor, N. A. N. Norulaini and A. K. M. Omar, "Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review," *Journal of Food Engineering*, 117, (4), 426-436, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- [10] M. R. González-Centeno, F. Comas-Serra, A. Femenia, C. Rosselló and S. Simal, "Effect of power ultrasound application on aqueous extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity from grape pomace (*Vitis vinifera* L.): Experimental kinetics and modeling," *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 506-514, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.05.027>
- [11] H. Cai, S. You, Z. Xu, Z. Li, J. Guo, Z. Ren and C. Fu, "Novel extraction methods and potential applications of polyphenols in fruit waste: a review," *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, (7), 3250-3261, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00901-1>
- [12] Y. Ö. Alifakı, Ö. Şakıyan and A. İsci, "Extraction of phenolic compounds from cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) fruit using ultrasound, microwave, and ultrasound-microwave combination methods." *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16, 4009-4024, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01498-9>
- [13] M. Simsek, G. Sumnu, and S. Sahin, "Microwave assisted extraction of phenolic compounds from sour cherry pomace," *Separation Science and Technology*, 47, 1248-1254, 2012. <https://doi.org/10.1080/01496395.2011.644616>
- [14] İ. Okur, C. Baltacıoğlu, E. Ağçam, H. Baltacıoğlu and H. Alpas, "Evaluation of the effect of different extraction techniques on sour cherry pomace phenolic content and antioxidant activity and determination of phenolic compounds by FTIR and HPLC," *Waste and Biomass Valorization*, 10, 3545-3555, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00771-1>
- [15] S. Hosseini, K. Parastouei and F. Khodaiyan, "Simultaneous extraction optimization and characterization of pectin and phenolics from sour cherry pomace," *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 911-921, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.241>
- [16] K. Kołodziejczyk, M. Sójka, M. Abadias, I. Viñas, S. Guyot, and A. Baron, "Polyphenol composition, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of the extracts obtained from industrial sour cherry pomace," *Industrial Crops and Products*, 51, 279-288, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.030>
- [17] B. M. Popovic, N. Micic, A. Potkonjak, B. Blagojevic, K. Pavlovic, D. Milanov and T. Juric, "Novel extraction of polyphenols from sour cherry pomace using natural deep eutectic solvents—Ultrafast microwave-assisted NADES preparation and extraction," *Food Chemistry*, 366, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130562>
- [18] I. H. Adil, M. E. Yener and A. Bayındırlı, "Extraction of total phenolics of sour cherry pomace by high pressure solvent and subcritical fluid and determination of the antioxidant activities of the extracts," *Separation Science and Technology*, 43, 1091-1110, 2008. <https://doi.org/10.1080/01496390801888243>
- [19] Ł. Woźniak, K. Marszałek and S. Skąpska, "Extraction of phenolic compounds from sour cherry pomace with supercritical carbon dioxide: Impact of process parameters on the composition and antioxidant properties of extracts," *Separation Science and Technology*, 51, (9), 1472-1479, 2016. <https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1165705>
- [20] F. M. Yılmaz, M. Karaaslan and H. Vardin, "Optimization of extraction parameters on the isolation of phenolic compounds from sour cherry (*Prunus cerasus* L.) pomace," *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2851-2859, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1345-3>
- [21] D. B. Sezer, J. Ahmed, G. Sumnu and S. Sahin, "Green processing of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) pomace: process optimization for the modification of dietary fibers and property measurements," *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 3015-3025, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00883-0>
- [22] A. Demirdöven, K. Tokatlı and Y. Korkmaz, "Geleneksel ve ultrasonik yöntemlerle vişne posası antosiyaninlerinin ekstraksiyonu," *Gıda*, 46, 168-179, 2020. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20119>
- [23] V. L. Singleton, R. Orthofer and R. M. Lamuela-Raventós, "Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent," *Methods in Enzymology*, 152-178, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- [24] N. Kutlu, A. İsci, O. Sakiyan and A. E. Yılmaz, "Effect of ohmic heating on ultrasound extraction of phenolic compounds from cornelian cherry (*Cornus mas*)," *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, 15818, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15818>
- [25] W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier and C. L. W. T. Berset, "Use of a free radical method to evaluate

- antioxidant activity,” *LWT-Food science and Technology*, 28, 25-30, 1995. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- [26] X. Cao, Y. Zhang, F. Zhang, Y. Wang, J. Yi and X. Liao, “Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps,” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 877-885, 2011. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4260>
- [27] Y. Ö. Alifaki, and Ö.Ş. Demirkol, “Mikrodalga ile pişirilen pirinç kekinin formülasyonu ve işlem koşullarının optimizasyonu,” *Gıda*, 41, 91-98, 2016. <https://izlik.org/JA43ZH34RH>
- [28] N. A. Al-Dhabi, K. Ponmurugan and P. M. Jeganathan, “Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds,” *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 206-213, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.005>
- [29] C. Carrera, A. Ruiz-Rodríguez, M. Palma and C. G. Barroso, “Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes,” *Analytica Chimica Acta*, 732, 100-104, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.032>
- [30] A. Meullemiestre, E. Petitcolas, Z. Maache-Rezzoug, F. Chemat and S. A. Rezzoug, “Impact of ultrasound on solid-liquid extraction of phenolic compounds from maritime pine sawdust waste. Kinetics, optimization and large scale experiments,” *Ultrasonics Sonochemistry*, 28, 230-239, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.07.022>
- [31] N. Medina-Torres, T. Ayora-Talavera, H. Espinosa-Andrews, A. Sánchez-Contreras, and N. Pacheco, “Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources,” *Agronomy*, 7, 47, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030047>
- [32] A. Milić, T. Daničić, A. Tepić Horecki, Z. Šumić, D. Bursać Kovačević, P. Putnik and B. Pavlič, “Maximizing contents of phytochemicals obtained from dried sour cherries by ultrasound-assisted extraction,” *Separations*, 8, 155, 2021. <https://doi.org/10.3390/separations8090155>
- [33] L. Wang and C. L. Weller, “Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants,” *Trends in Food Science and Technology*, 17, 300-312, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- [34] Y. Deng, Y. Zhao, O. Padilla-Zakour and G. Yang, “Polyphenols, antioxidant and antimicrobial activities of leaf and bark extracts of *Solidago canadensis* L. Industrial crops and products,” 74, 803-809, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.014>
- [35] D. Horžić, A. R. Jambrak, A. Belščak-Cvitanović, D. Komes, V. Lelas, “Comparison of conventional and ultrasound assisted extraction techniques of yellow tea and bioactive composition of obtained extracts,” *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2858-2870, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0791-z>
- [36] A. A. Jovanović, V. B. Đorđević, G. M. Zdunić, D. S. Pljevljakušić, K. P. Šavikin, D. M. Godevac and B. M. Bugarski, “Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum* L. herb using maceration, heat-and ultrasound-assisted techniques,” *Separation and Purification Technology*, 179, 369-380, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.01.055>
- [37] M. Ramić, S. Vidović, Z. Zeković, J. Vladić, A. Cvejin, and B. Pavlič, “Modeling and optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from *Aronia melanocarpa* by-products from filter-tea factory,” *Ultrasonics Sonochemistry*, 23, 360-368, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.002>
- [38] F. Dranca, and M. Oroian, “Optimization of ultrasound-assisted extraction of total monomeric anthocyanin (TMA) and total phenolic content (TPC) from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel,” *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 637-646, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.008>
- [39] J. Liao, H., Xue and J. Li, “Extraction of phenolics and anthocyanins from purple eggplant peels by multi-frequency ultrasound: Effects of different extraction factors and optimization using uniform design,” *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106174, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106174>
- [40] J. Liao, Z. Guo and G. Yu, “Process intensification and kinetic studies of ultrasound assisted extraction of flavonoids from peanut shells,” *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105661, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105661>
- [41] A. E. Ince, S. Sahin and G. Sumnu, “Comparison of microwave and ultrasound-assisted extraction techniques for leaching of phenolic compounds from nettle,” *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2776-2782, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0828-3>
- [42] A. Kurek-Górecka, Y. Kara, K. Pokajewicz, I. B. Hammouda, P. P. Wiczorek, D. Marciniak, R. Balwierz, M. Kłósek, Z. P. Czuba and S. Kolaylı, “Phenolic content, volatile compounds and antioxidant activity in pooled propolis samples from Turkey and Poland,” *European Food Research Technology*, 251, 2199–2210, 2025. <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04756-4>
- [43] P. Crupi, T. Dipalmo, M. L. Clodoveo, A. T. Toci and A. Coletta, “Seedless table grape residues as a source of polyphenols: Comparison and optimization of non-conventional extraction techniques,” *European Food Research and Technology*, 244, 1091-1100, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-3030-z>
- [44] X. Cao, C. Cai, Y. Wang and X. Zheng, “Effects of ultrasound processing on physicochemical parameters, antioxidants, and color quality of bayberry juice,” *Journal of Food Quality*, (1), 7917419, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7917419>
- [45] M. Türkyılmaz and M. Özkan, “Kinetics of anthocyanin degradation and polymeric color formation in black carrot juice concentrates during

- storage,” *International Journal of Food Science and Technology*. 47, (11), 2273–2281, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03098.x>
- [46] A. Martynenko and Y. Chen, “Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blueberry hydrothermodynamic (HTD) processing,” *Journal of Food Engineering*. 171, 44–51, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.008>
- [47] M. Ashokkumar, D. Sunartio, S. Kentish, R. Mawson, L. Simons, K. Vilku and C. K. Versterg, “Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 155–160, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.05.005>

