

Ultrason İşleminin Farklı Gıda Prosesleri ile Kombine Kullanım Olanakları

Yavuz YÜKSEL ^{1*}  Berre ÇETİN ¹ 

¹ Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 15.07.2024 Kabul Tarihi: 06.11.2024 Yayın Tarihi: 30.04.2025 Anahtar Kelimeler: Ultrason, Gıda teknolojisi, Yeni gıda prosesleri.	Gıda endüstrisinde günümüzde taze, uzun raf ömrüne sahip, koruyucu katkıları içermeyen, güvenilir, kaliteli gıdaya olan talepte bir artış söz konusudur. Bu sebeple, son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte ısıtma işlem uygulamaları yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte, geleneksel ısıtma işlem uygulamaları üründe bileşik kayıplarına, tazelik, tekstür ve verimin azalmasına sebep olabilmektedir. Aynı zamanda ısıya duyarlı olan gıdalarda renk ve tat kayıplarına da sebep olabilmektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmak ve kaliteli, iyi özelliklere sahip ürün elde edebilmek için yeni ısıtma olmayan teknolojiler iyi bir alternatif olmaktadır. Yüksek basınç, darbeli elektrik alanları, manyetik alan ve ultrason gibi uygulamaları içeren bu yeni teknoloji sayesinde çevre dostu, yeşil, kaliteli, uygun maliyetli bir ürün elde ederek, tüketicinin beklentisinin karşılanmasını sağlamaktadır. Bu uygulamalar arasında ultrason, kirletici olarak kabul edilmeyen bir akustik enerji türüdür. Aynı zamanda ultrason tekniğinin önümüzdeki yıllarda farklı gıda teknolojilerinde işleme alanlarında da kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada gıda endüstrisinde ultrason uygulamalarının geleneksel ve yeni teknolojilerle kombine kullanımları derlenmiştir.

Possibilities of Combining Ultrasound Processing with Different Food Processes

Article Info	ABSTRACT
Received: 15.07.2024 Accepted: 06.11.2024 Published: 30.04.2025 Keywords: Ultrasound, Food technology, New food processes.	The food industry has a growing demand for fresh, reliable, long-shelf-life, high-quality, and preservative-free food. In response to this, heat treatment applications have become widespread as a consequence of recent advances in technology. Traditional heat treatment methods, however, may result in compound losses in the product as well as a decline in yield, freshness, and texture. It can also cause color and taste loss in foods that are sensitive to heat. New non-thermal technologies are a good alternative to eliminate these problems and obtain quality products with good features. Thanks to this new technology, which includes applications such as high pressure, pulsed electric fields, magnetic field and ultrasound, the consumer's expectations are met by obtaining an environmentally friendly, green, high quality, cost-effective product. Among these applications, ultrasound is a type of acoustic energy that is not considered a pollutant. At the same time, it is anticipated that the ultrasound technique will be used in processing areas in different food technologies in the coming years. In this study, ultrasound applications in the food industry and their combined use with traditional or emerging technologies were tried to be examined.

To cite this article:

Yüksel, Y. & Çetin, B. (2025). Ultrason işleminin farklı gıda prosesleri ile kombine kullanım olanakları. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 175-188. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.84>

***Sorumlu Yazar:** Yavuz Yüksel, yavuzyuksel@balikesir.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde tüketicilerin taze veya taze benzeri gıdaların, raf ömrünün uzatılmasına yönelik talebin artması nedeniyle araştırmacılar minimal gıda işleme tekniklerine ilgi duymaktadır [1]. Bugüne kadar ısı uygulaması, mikroorganizmaları öldürme ve enzimleri etkisiz hale getirme yeteneğinden dolayı gıda işlemede en yaygın kullanılan yöntemdir. Ayrıca son yıllarda yaşanan önemli teknolojik gelişmeler ve kullanılan ekipmanların yönetiminin kolaylaşması ısı işlemin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bununla birlikte, ısı işlem özellikle ağır koşullar altında organoleptik özellikleri bozan ve bazı besin maddelerinin içeriğini veya biyoyararlılığını azaltan kimyasal ve fiziksel değişikliklere neden olabilir [2].

Isı işleme uygun olmayan, viral veya bakteriyel kaynaklı gıda zehirlenmelerine duyarlı fazla sayıda gıda maddesi vardır. Dolayısıyla bu gıda maddeleri ısı işleme maruz kaldığında tat, renk ve doku değişiklikleri dahil olmak üzere kimyasal, fiziksel ve mikrobiyal düzeyde değişikliklere uğrayabilmektedir. Bu, teknolojilerin optimize edilmesi ve yaratıcı ve etkili alternatif tekniklerin geliştirilmesi için geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme talebine yol açmaktadır [3]. Bu anlamda, günümüzde gıdaların raf ömürlerinin uzatılmasında faydalanan, sadece yüksek kalitedeki gıdaları elde etmek için değil, aynı zamanda işlevsel olarak da geliştirilmiş gıdaları sağlamak için yüksek basınç, vurgulu elektrik ve manyetik alan gibi yeni teknolojilere yönelmiştir. Ortaya çıkan bu teknolojilerde son zamanlarda ultrason yöntemine artan bir ilgi söz konusudur [4].

Ultrason, bir yayılma ortamında salınan moleküler hareketlerden kaynaklanan mekanik ses dalgalarından oluşur [5]. Ultrason, insan kulağının (1618 kHz) duyulabildiği maksimum frekanstan daha yüksek bir frekansta katı veya akışkan içinde bir mekanik titreşim enerjisidir [1]. Bu titreşimler, ses kaynağı adı verilen ve ortamın mekanik özellikleri sayesinde hareketini komşu parçacıklara ileten belirli bir nesne tarafından üretilir. Salınım başladığında, parçacıklar hareketlerini komşu parçacıklara iletir ve bu parçacıklar da hareketlerini diğerlerine iletterek basınçta yerel bir değişime sebep olur; bu nedenle basit bir titreşim hareketi, bir ses dalgası veya akustik dalga üretmek için mekanik olarak yayılır.

Mekanik dalgalardan oluşan ultrason, bir ortamda parçacıkların değil enerjinin aktarımı yoluyla yayılır; ikincisi aslında enerjinin bir parçacıktan diğerine aktarılmasıyla kendi denge konumu etrafında salınır. Salınım, ortamda çeşitli yönlerde yayılır ve bu nedenle boyuna dalgalar ve enine dalgalar olarak ayrılır [6]. Boyuna dalgalarda parçacıkların iletim ortamındaki salınım hareketi yayılma yönüne paralel, enine dalgalarda ise hareket diktir. Boyuna (veya sıkıştırma) dalgalar herhangi bir ortamda yayılırken, enine dalgalar yalnızca katı ortamda yayılır [7].

Gıda işleme uygulamalarında ultrasonla oluşan kavitasyon (sıvı içinde oluşan kabarcıkların büyümesi ve içe doğru sönmesi ile yüksek şiddetle patlaması olayı) önemlidir. Sıvı moleküllerin hızlı hareketi, düşük basınçlı bir kabarcıkla biten bir girdap oluşturmaktadır. Sonikasyona tabi tutulan sıvılardaki moleküllerin hızlı hareketi nedeniyle bu tür binlerce kabarcık oluşur. Bu kabarcıklar, kavitasyon ve artan kütle transferi, sonikasyon tarafından oluşturulan hedefleri etkilemektedir [8].

Ultrason kullanımı düşük güçlü ultrason ve yüksek güçlü ultrason olmak üzere iki farklı grupta incelenmektedir. Düşük enerjili ultrason uygulamaları, 1 Wcm^{-2} 'nin altındaki yoğunluklarda 100 kHz'den yüksek frekansların kullanımını içerir. Düşük yoğunluklu ultrason o kadar ufak bir güç seviyesi kullanır ki, ultrasonik dalgalar, dalganın içinden geçtiği malzemenin özelliklerinde hiçbir kimyasal veya fiziksel değişikliğe sebep olmaz, yani genellikle tahribatsızdır. Gıda süreçlerinin müdahalesiz izlenmesinde başarıyla kullanılırlar. Düşük yoğunluklu ultrasonun gıda endüstrisindeki en yaygın uygulaması, gıdaların bileşimi, yapısı ve fiziksel durumu gibi fizikokimyasal özellikleri hakkında bilgi veren analitik bir tekniktir [8,9].

Ultrasonun uygulamalarının geleneksel analitik tekniklere göre avantajları vardır çünkü ölçümler

hızlıdır, tahribatsızdır, hassastır, tam otomatiktir. Yüksek enerjili grup ise 18 ile 100 kHz arasındaki frekanslarda 1 W·cm⁻²'den (tipik olarak 10-1000 Wcm⁻² aralığında) daha yüksek mertebedeki yoğunluklarda kullanan ultrasondur. Bu aralıkta bulunan ultrasonik dalgalar mekanik, kimyasal veya fiziksel etkileri malzeme özelliklerini değiştirme özelliğine sahiptir (örneğin, fiziksel bozulma, belirli kimyasal reaksiyonların hızlanması). Yüksek enerjili ultrason, emülsiyonlar oluşturmak, hücreleri parçalamak ve toplanmış malzemeleri dağıtmak için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Daha yakın zamanlarda, gelecekteki gelişim için daha büyük potansiyele sahip çeşitli alanlar belirlenmiştir; kristalizasyon işlemlerinin modifikasyonu ve kontrolü, sıvı gıdaların gazının alınması, enzimlerin inaktivasyonu, geliştirilmiş kurutma ve filtreleme ve oksidasyon reaksiyonlarının başlatılması gibi örnekler verilebilir [9].

ULTRASONUN UYGULAMA ALANLARI (APPLICATION AREAS OF ULTRASOUND)

Ultrason, gıda işlemede ekstraksiyon, kurutma, filtrasyon, emülsifikasyon, rehidrasyon vb. gibi çeşitli işlemler için kullanılabilir.

Filtrasyon (Filtration)

Farklı gıda ünitesi operasyonlarıyla kullanıldığında ultrasonun prosesleri iyileştirdiği bulunmuştur. Filtrasyon, katıların ana likör veya sıvı işleme yoluyla verimli bir şekilde ayrılması için etkili bir yöntem olarak uzun süredir kullanılmaktadır. Ana proses maddesi olarak membran yüzeyinin üzerinde biriken filtratlar veya kek filtre nedeniyle oluşan konsantrasyonda kirlenme veya polarizasyonla ilgili zorluklar oluşmaktadır. Bu sorun filtreleme verimliliğinde azalmaya sebep olmuştur. Ultrason enerjisi bu sebeple bu tür bir soruna karşı başarılıdır [10].

Filtrasyon işlemi sırasında ultrason işlemi uygulandığında, membran katmanının üzerinde tutucu katmanların birikmesi meydana gelir ve bu da polarizasyona neden olur. Konsantrasyonu bozulur, ancak içsel membran geçirgenliği bozulmadan kalır. Bunlar akışın artmasına ve dirençli akışın azalmasına sebep olur [11]. Filtrelerle birleştirilen ultrason, membranın topaklanmasını ve tıkanmasını önleyerek filtrenin ömrünü uzatır ve filtre yüzeyi çevresinde boşluğun devam etmesini sağlar. Ultrason yönteminin tek başına uygulanması yerine membran filtre ile uygulanan ultrasonda daha etkili olduğu gözlemlenmiştir [12].

Kurutma (Dehydration)

Gıda maddelerinin kurutulması, ürünü stabil hale getirmek için en çok kullanılan ve umut verici yöntemdir. Geleneksel kurutma teknikleri, büzülme, renk bozulması ve vitaminlerin oksidasyonu gibi olumsuz etkilere sebep olur. Ek olarak, artan enerji maliyetleri, azalan besin kayıpları ile artan kalite gereksinimleri ve olumsuz çevresel etkiler, modern gıda kurutma teknolojilerinin geliştirilmesine olan ilginin artmasına neden olmuştur [13,14].

Ultrason kullanımı çok fazla sıcaklık değişimine neden olmadan kurutma işlemini hızlandırır. Yüksek enerjili ultrason kullanılarak kütle taşıma kinetiğinin artırılabilirliği öne sürülmüştür. Ayrıca ultrason, sınır katmanını azaltabilir ve böylece kurutma işlemi için gereken kütle transferine karşı dirençte bir azalmaya neden olabilir [15].

Yapılan bir araştırmaya göre üzüm ve eriklerin konvektif kurutma aşamasından önce ses dalgaları ile ön kurutmanın, ürünün niteliğini iyileştirmenin yanı sıra, dehidrasyon miktarını ve kuruma kinetiğini arttırdığını belirtilmiştir. Ultrasonun, kütle transferini arttırması nedeniyle kurutma sayısını azaltmada etkili olduğu da kanıtlanmıştır. Dolayısıyla güç kullanımını azaltarak etkili kurutma aynı zamanda nemin yayılımını da arttırmaktadır [5].

Ekstraksiyon (Extraction)

Ultrason destekli ekstraksiyon (UAE) ve enzim destekli ekstraksiyon (EAE) gibi yeni teknikler geleneksel ekstraksiyon uygulamasından daha verimlidir. Yüksek miktarlarda polisakkarit üretebilirken aynı zamanda çevre dostudur ve geleneksel tekniklere ideal alternatifler olarak ortaya çıkmaktadır [12]. Ultrasonla geliştirilmiş ekstraksiyon genellikle nispeten düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Biyoaktif ve biyoaktif olmayan bileşenler ve termal olarak bozulabilen diğer bileşenlere gelince, ekstraksiyon sırasında biyoaktivitelerini ve değerlerini korumak için düşük bir sıcaklık faydalıdır [1].

Kesme (Cutting)

Yüksek doğruluk, mükemmel kesim yüzeyleri, daha az miktarda bulaşma, düşük ürün kaybı, daha az deformasyon, kırılabilir ürünler için daha az parçalanma eğilimi ve yapışkan veya kırılabilir gıdaları işleme yeteneği ile gelişmiş kalitede gıda kesme işlemlerine yönelik artan talep nedeniyle, ultrasonik kesim giderek daha önemli hale gelmektedir [5,16].

Ultrasonik kesme, ürünün kesme verimliliğini ve kalitesini artırmak için geleneksel bıçak hareketi ile üst üste gelen ultrasonun titreşim enerjisini kullanan boyut küçültme işlemidir. Ultrasonik kesme teknolojisi ağırlıklı olarak peynir, unlu mamuller ve şekerleme ürünleri ile pürüzsüz dokuya sahip gıdalar için uygulanmaktadır. Ultrasonik olarak kesilen gıda, kontrole kıyasla numunelerin parlak ve pürüzsüz bir yüzey görünümü sergilemektedir [17].

Emülsifikasyon (Emulsification)

Dispersiyonlar ve emülsiyonlar genellikle stabilizasyon amacıyla yüzey aktif maddeler içerir. Yüzey aktif maddeler, dağılmış maddenin sıvı faz içinde toplanması süresini geciktirir. Böylece yüzey aktif maddeler, her parçacığın etrafında ek bir katman oluşturur. Her ne kadar benzer yüzey aktif maddeler büyük ölçüde stabilize edilmiş olsa da sıvı aşamaların içinde asılı duran gaz halindeki kabarcığı kapsüller. Bu şekilde tüketilen sürfaktan, hatalı partikül boyutu ölçümlerinin elde edilmesiyle emülsiyon veya dispersiyon kalitesi düşer [18].

Ultrason cihazları, sistemdeki hava kabarcıklarının oluşması ve çökmesi anlamına gelen akustik kavitasyon üretebilir. Hava kabarcıklarının çökmesi, kimyasal reaksiyonları teşvik eden reaktif radikallerin salınmasını kolaylaştırabilir [19,20]. Birbiri içinde karışmayan sıvılar arasındaki kavitasyon kabarcığının temas yüzeyi düzlemince çökmesi, daha düşük enerjide de olsa daha yüksek kararlı bir emülsiyon oluşturur [21,22].

Ayrılma (Seperation)

Bu yöntem, parçacık ayırmayla ilgili yeni bir prensibe dayanmaktadır; ultrason dalgalarında (<30 kHz) düşük frekanslı bir emülsiyona uygulanan enerjideki artış, karışımı su ve yağ bölümlerine ayırmak için kullanılmaktadır [23,24]. Süt ürünleri alanında, protein toplama/bölme için kullanılan dokuların temizlenmesi, zarın gözenekliliğini ve farklılaşmasını korumak ve bakteriyolojik kirlilik tehlikesini azaltmak ve uygun ürünler üretmek için bitkinin doğal boyutlarına geri döndürülmesi açısından çok önemli bir prosedürdür [25].

Yapılan araştırmalara göre ultrasonik destekli ayırma (UAS) yöntemi geleneksel ayırma yöntemleriyle karşılaştırıldığında buğday ununun fiziksel olarak ayrılması için yeni bir yol sağladığı gözlemlenmiştir. Buğday unu üretiminde özellikle hammadde ve su kaynaklarına ilişkin kaynak israfını azaltmak amacıyla, bu çevre dostu ve verimli ayırma yöntemi iyi bir alternatif yöntem olmuştur [26].

Rehidrasyon (Rehydration)

Muhafaza için kurutulan gıda maddeleri, kullanımdan önce ılık sıvılara daldırılarak rehidre edilir. Rehidrasyon süreci, geri kazanılan özelliklerle işlev yenilenmesine yönelik öğelerin belirlenmesine

yardımcı olur. Rehidrasyon yöntemi yaklaşık 3 ardışık prosedürden oluşur: suyun emilmesi, ürünün süzülerek şişmesi ve çözünür katılardır [27]. Bu, dehidrasyon sürecinin neden olduğu herhangi bir hasar veya bozulmanın bir göstergesi olarak kullanılır [28]. Rehidrasyon seviyesinin, dehidrasyon sebebiyle gıda maddesinin içindeki yapı veya hücre hasarı düzeyinin önemli ölçüde değiştiği belgelenmiştir. Böylece ürün özelliklerini arttıran büzülmeyi azaltmak için rehidrasyon işleminden önce ön işlem uygulanarak ve verimli bir optimizasyon sağlanmıştır [29].

Yapılan bir araştırmada kurutmadan önce kabakta ultrason ön işlemini kullandığında; burada rehidrasyon kinetiği, rehidrasyon oranında kesin bir iyileşme sağladığı; bu, rehidrasyon ön işleminin kılcal ile oluşturulan boşluktan kaynaklanabileceği anlamına gelebilmektedir. Ultrasonun rehidrasyon sürelerinin azalmasına neden olduğu ve aynı zamanda kurutulmuş gıda tanelerinin rehidrasyonu için de kullanıldığı gözlemlenmiştir [30].

ULTRASON İŞLEMİNİN FARKLI GIDA PROSESLERİ İLE KOMBİNE KULLANIMI (COMBINED USE OF ULTRASOUND WITH DIFFERENT FOOD PROCESSES)

Ultrason uygulamalarının gıda sanayinde farklı proseslerle birlikte kullanımına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Diğer teknolojik işlemlerin etkinliklerini artırdığına yönelik birçok araştırma sonucuna ulaşılmıştır. Aşağıda ultrason teknolojisinin farklı proseslerle kombine olarak kullanımı hakkında çalışma sonuçları verilmiştir.

Mikrodalga Teknolojisi ile Birleştirilmiş Ultrason (Ultrasound Combined with Microwave Technology)

Mikrodalgalar gıda endüstrisinde kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, eritme, temperleme, pişirme vb. amaçlarla çok sık kullanılmaktadır. Mikrodalga sistemlerinin frekansı 300 MHz-300 GHz arasında değişebilen, elektromanyetik dalgalardır. Evsel mikrodalga cihazları genel olarak 2,45 GHz frekansında çalışırken, endüstriyel mikrodalga sistemleri 915 MHz ve 2,45 GHz frekanslarında çalışmaktadır. Mikrodalga ısıtma, malzemelerin mikrodalga enerjisini absorbe etme ve onu ısıya dönüştürme yeteneğinden kaynaklanır. Gıda maddelerinin mikrodalga ile ısıtılması temel olarak dipolar ve iyonik mekanizmalar nedeniyle meydana gelir. Nem veya suyun varlığı, suyun dipolar yapısından dolayı dielektrik ısınmaya neden olur. Su molekülleri üzerine salınan bir elektrik alanı çarptığında, kalıcı olarak polarize olmuş dipolar moleküller, elektrik alanı yönünde yeniden hizalanmaya çalışırlar [31,32].

Yapılan bir araştırmaya göre ısı nem işlemlerinin (ultrason-mikrodalga ve mikrodalga-ultrason) mısır nişastasının fizikokimyasal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Mısır nişastası 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga gücü kullanılarak 1, 2, 3 dakika boyunca ve ultrason kullanılarak 35 °C sabit sıcaklıkta 20, 30, 40 dakika süreyle tahriş edilmiştir. Ultrason destekli modifikasyon yönteminde sıcaklık ve zamanın, mikrodalga destekli modifikasyon yönteminde ise mikrodalga gücü ve süresinin ürünün morfolojisi ve yapısal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ultrason modifikasyon süresinin arttırılmasının modifikasyon verimliliğini arttırdığı belirlenmiştir. Nişasta granüllerindeki en büyük değişiklik 360 W mikrodalga gücü ve 30-40 dakika ultrasonik koşullar altında gözlemlenmiştir. Doğal mısır nişastası modifikasyonunda ultrason ve mikrodalga kombinasyonunun etkili, hızlı ve çevre dostu bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda mikrodalga modifikasyonunun diğer modifikasyon yöntemleriyle birleştirilmesi mısır ve diğer nişasta türlerinin modifikasyonu için araştırılabilir [33].

Mikrodalga işleminin daha düşük ekipman yüzey sıcaklığı, enerji verimliliği, hızlı hacimsel ısıtma, tekdüze ısıtma ve gıda kalitesinin olası korunması gibi avantajları vardır ve bu da onu geleneksel ısıtmaya göre daha verimli hale getirir. Ultrason ve mikrodalga gücünün kullanıldığı kombine bir işlem, pastörizasyona iyi bir alternatif olabilir [34,35].

Yüksek Basınç ile Birleştirilmiş Ultrason (Ultrasound Combined with High Pressure)

Oda sıcaklığında yaklaşık 100-1000 MPa aralığında uygulanan basınç, yüksek basınçlı işleme (high hydrostatic pressure -HPP) oluşturur [36,37]. Esas olarak bitkisel mikroplar, küfler dahil mayalar ile birlikte patojenlerin deaktivasyonu için kullanılır, ancak basınç tedavisi tek başına sporların kayda değer inaktivasyonunu ve bazı enzimlerin enzimatik aktivitesinin düşürülmesini sağlayamaz. Basıncın çevre sıcaklıklarıyla birlikte kullanılması durumunda, adyabatik ısıtma nedeniyle, 3 ile 9 °C/100 MPa'lık bir sıcaklık artışı meydana gelir [38]. Akışkan malzemeye zorlandığında, yüksek yoğunluklu ultrason, ısı üretimini harekete geçirir. Bu şekilde ultrason uygulamaları 5–8 °C işlem sıcaklığında tasarlanmış bir HHP ön işlemi olarak planlanmış olup, ultrason tedavisi nedeniyle sıcaklık dalgalanmalarının minimum düzeyde tutulması gerekmektedir.

Yapılan bir araştırmada ultra yüksek basınç ve ultrasonun (UHP-US) kombine ön işleminin, vakumla dondurularak kurutulmuş çilek dilimlerinin özellikleri üzerindeki etkisini, tek başına UHP-US ön işlemine kıyasla incelenmiştir. Sonuçlar, UHP-US işleminin kurutma süresini ve enerji tüketimini azalttığını, aynı zamanda kaliteyi daha belirgin şekilde artırdığını göstermektedir [39].

Soxhlet Ekstraksiyonu ile Birleştirilmiş Ultrason (Ultrasound Combined with Soxhlet Extraction)

Soxhlet ekstraksiyonu geleneksel olarak katı ve sıvı yağları matrislerinden çıkarmak için kullanılmaktadır. Isıtılmış bir solventten, genellikle n-heksandan yoğunlaşmış buharlara yinelemeli olarak nüfuz ettiği için fikri genel olarak basittir. Ayrıca, soxhlet ekstraksiyonunun uzun çalışma süresi, çok miktarda solvent, buharlaşma ve ekstraksiyonun sonuna doğru temel bir konsantrasyon adımı gibi birkaç dezavantajı vardır. Teoride yalnızca birkaç form, katı ve sıvı yağların ekstraksiyonunu hızlandırmak için soxhlet ekstraksiyonunun ultrason gibi gelişmiş stratejilerle birleştirilmesini gözlemlenmiştir [40].

Ultrason ve Soxhlet yöntemleri birlikte kullanılmak suretiyle soxhlet döngülerinin sayısı, işlem süresi, sıcaklığı ve solvent tüketimini azaltmak için her iki tekniğin olumlu etkisinin gözlemlendiği bir sistem geliştirilmiştir [40]. Yapılan bir araştırmada yer fıstığı yağının Soxhlet işleminden önceki ön işlemi olarak uygulanan ultrasonun, 10 dakika içinde %51,50 ekstraksiyon verimi ile birlikte yağ asidi bileşiminde hafif değişikliklere neden olduğu, oleik asit içeriğinin ise 30 dakika sonra %57.10'dan %56.69'a azaldığı gözlemlenmiştir [41].

Ozmotik Dehidrasyon ile Birlikte Ultrason (Ultrasound with Osmotic Dehydration)

Ozmotik dehidrasyon ile ses dalgalarının kullanılması, daha yüksek su israfına ve daha düşük çözelti sıcaklığında çözünen madde kazanımına neden olur. Tat, renk ve sıcaklığa duyarlı besinler gibi özellikleri de korumuş olur [42,43]. Bunun nedeni genellikle su ve çözünen madde taşınmasını artıran küçük kanalların bir sonucu olarak hücre duvarının gözenekliliğinin artmasıdır. Yapılan bir araştırmada elmaları ozmotik olarak kurutmak için ultrason kullanımının, "su çıkışı" ve "çözünen madde girişi" kütle aktarım hızını hızlandırdığı bulunmuştur [44]. Çözücülerin difüzyon katsayılarının ultrason ön işlemine bağlı olarak ayrı ayrı %117 ve %137 civarında arttığı saptanmıştır [45].

Yapılan araştırmalara göre ultrasonik işlemin daha fazla cam geçiş sıcaklığı sağladığını, su aktivitesinin, rehidrasyon oranının ve su içeriğinin azaldığını, yapının daha fazla parçalandığını ve ayrıca daha az çatlak oluşturduğunu ayrıntılı bir şekilde açıklamıştır [46]. Ayrıca ultrason uygulamasının tavşan gözü yaban mersininin ozmotik dehidrasyonu sırasında nemin difüzyon hızlarını iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ancak bu antosiyaninlerin ve fenoliklerin kaybıyla ilgilidir [47].

Laboratuvar deneyleri, ultrason tedavilerinin kurutulmuş meyve ve sebze ürünlerinin rengini, dokusunu, lezzetini, antioksidan kapasitesini ve rehidrasyonunu önemli ölçüde iyileştirebileceğini kanıtlamıştır [48]. Ayrıca ultrason gibi ön işlemler kullanılarak büzülme ve su aktivitesi en aza

indirilebilir [49]. Yapılan bir başka araştırmada ultrason destekli ozmotik dehidrasyonun nar tohumları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonucunda ise ultrason ön işleminin ozmotik çözelti sıcaklığında bir azalmayı içerdiğini ve işlem maliyetinde bir azalmayı desteklediğini göstermiştir [50]. Ayrıca ultrason destekli ozmotik dehidrasyon numunesinin dokusu, taze ve ozmotik dehidre numuneye kıyasla daha fazla sert bir yapı göstermiştir [51].

Enzimatik Ekstraksiyon ile Birleştirilmiş Ultrason (Ultrasound Combined with Enzymatic Extraction)

Ultrason destekli enzimatik ekstraksiyon (UAEE) olarak adlandırılır. Biyoaktif bileşenlerde enzim destekli ayırma işlemiyle kombine ultrason, bazı araştırmalarda araştırılmaktadır [52,53]. UAEE'nin birkaç ekstra ilgi noktası sağlayan tamamlayıcı stratejileriyle birleştirildiği bilinmektedir. Enzimler, enzim destekli ekstraksiyon (EAE) kapsamında hücre duvarının ve filmlerin parçalanması ve yırtılması yoluyla iyileşmeyi teşvik eder. Her durumda, hücre duvarları gibi enzimler de matrisi tamamen hidrolize etmez [53,54]. UAE, enzim destekli reaksiyonlara ve bunun sonucunda hedeflenen bileşenlerin boşaltılmasına izin vermek için boşluk süreci, matrisleri kolayca parçalayan ultrasonik güç tarafından uyarıldığından enzimatik ekstraksiyon sürecini geliştirir. Bunun aksine, çözücülerin, hedef parçacıkların ve enzimlerin ortamın içinde veya dışında kitlesel migrasyonu, tek başına enzimler tarafından iyileştirilemez. Bu nedenle, EAE'de, kütle değişiminde ilerleme sağlamak için sallama gibi diğer fiziksel yinelemelerden faydalanılabilir; bunların arasında BAE, matrislerin dış kısmı için değil, üstelik iç kısmı için olduğu gibi, kütle transferinin artırılması için de mükemmel bir seçimdir [10,55].

Ultrason destekli ekstraksiyon, esas olarak sıvı bir ortamda akustik kaviteasyona dayanmaktadır [56]. Bu ekstraksiyon tekniği, geleneksel ekstraksiyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında en önemlisi azaltılmış ekstraksiyon süresi, azaltılmış enerji tüketimi ve solvent kullanımı gibi avantajlarından dolayı büyük ilgi görmüştür [57,58]. Yapılan araştırmalarda kombine enzimatik/ultrasonik ekstraksiyon yönteminin kullanılması, daha yüksek verim elde etmek ve aynı zamanda daha iyi kalitede pektin elde etmek için hedef bileşiklerin bozulmasını en aza indirmek için etkili bir yaklaşım olabilir. Mikrodalga ekstraksiyon tekniğine (%27,81) kıyasla kombine ultrason-mikrodalga ekstraksiyon tekniğiyle greyfurttan çok daha yüksek pektin verimi (%31,88) elde edildiğini bulunmuştur [56]. Yapılan diğer araştırmalarda muz posasından meyve suyu ekstraksiyonu için enzimatik tedaviyi ultrason tedavisiyle birleştirmişler ve meyve suyu veriminin arttığını, meyve suyunun viskozitesinin ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Kombine işlem ile elde edilen meyve suyunun toplam çözünebilir katı miktarı ve berraklığı da daha yüksek bulunmuştur [59].

Süperkritik Sıvı Ekstraksiyonu ile Birleştirilmiş Ultrason (Ultrasound Combined with Supercritical Fluid Extraction)

Süperkritik akışkan ekstraksiyonu (SFE), akışkanların çözme gücündeki (kritik noktalarının üzerindeki) artışa bağlı olarak ekstraksiyon için yeni bir teknolojidir. Bu, gaz benzeri özelliklerin (kütle aktarımı) ve sıvı benzeri özelliklerin (çözünme), sıvılardan daha fazla difüzyon hızına sahip birleşik etkisi nedeniyle ekstraksiyonla sonuçlanmaktadır [60,61]. Birçok araştırmacı, maliyetinin az olmasının yanı sıra kullanıcı dostu profili ve yüksek ekstraksiyon potansiyeli nedeniyle CO₂ bazlı ürünler kullanmaktadır. SFE'nin başlıca faydaları arasında ön konsantrasyon etkileri, daha yüksek verim garantisiyle temizlik ve basit çalışma prosedürü yer almaktadır [12].

Yapılan araştırmalar süperkritik CO₂ ekstraksiyonu uygulamasında ultrasonik ön işlemini kullanarak *Iberis amara* tohumu yağı elde etmek için umut verici sonuçlar göstermiştir. Sonucunda ise, kombine işlemin %25'ten fazla yağ ürettiğini ve ayrıca süperkritik CO₂ ekstrakte edilmiş yağla karşılaştırıldığında yağın fizyokimyasal özelliklerini ve antioksidan aktivitesini iyileştirdiğini

göstermektedir [62].

Tablo 1’de ultrason teknolojisinin gıda işlemede kullanımı ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 1

Gıda işlemede ultrason teknolojisinin diğer tekniklerle kombine kullanımı

Kombine uygulanan proses	Hedef Ürün	Sonuç	Referanslar
Mikrodalga	Pektin	Verimin artmasına işlem süresinin kısalmasına ve yüksek esterleşme derecesine ulaşmasına yardımcı olmuştur.	[63]
Yüksek basınç ile işleme	Kızılıklık suyu	Organik asitlerin tutulması yükselmiştir, antosiyanin içeriğinde %24’e varan artış olmuştur.	[64]
Soxhlet	Vanilin	Verimi ve kütle transfer hızını arttırmıştır.	[65]
Ozmotik dehidrasyon	Patates	Verimlilik ve hız artmıştır. Yağ ve nem içeriğini azaltarak kızarmış patateslerin kalitesini arttırmıştır.	[66]
Enzim ekstraksiyonu	Selüloz preparatları	Aktivite artmıştır.	[56]
Süperkritik ekstraksiyon	Adaçayı	Verim artmıştır. Gelişmiş hidrasyon işlemi sağlanmıştır.	[67]

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Ultrason uygulaması günümüzde ilgi çeken bir teknik olmakla birlikte, gelecek senelerde de olumlu sonuçlar vaat etmektedir. Gıdaları işlemede ultrason kullanmanın avantajları olarak; daha iyi bir karıştırma, daha hızlı enerji, daha uygun maliyet, minimal ekipman boyutu, süreden kazanç sağlanması sıralanabilmektedir. Tek başına kullanımının yanı sıra diğer uygulamalar ile birleştirildiğinde, yapılan uygulamaların etkinliğinin arttığı saptanmıştır. Tüm bu avantajlarına ek olarak uygulamanın zorlukları da yok değildir. Öncelikle sistemin endüstride uygulanmasından önce sıkı bir şekilde test edilmesi ve güvenli olduğunun kanıtlanması gerekmektedir. Ultrason işlemlerinde karşılaşılan birtakım olumsuzluklarda bulunmaktadır. Yüksek enerjili ultrason uygulamalarında büyük hacimlerde ultrason etkisinin homojen bir şekilde dağılımının güçlüğü, viskozitesi yüksek ve katı ürünlerde etkisinin ya hiç olmaması veya etki süresinin uzaması, enerji tüketimi ve maliyetinin bazı proseslerde yüksek olması, uygulama sırasında oluşan ısı ve basınç sebebiyle bazı gıdaların besinsel, kimyasal ve fiziksel özelliklerin etkilenebilmesi gibi olumsuzluklar sıralanabilir. Bir ürünün termofiziksel (yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ısı kapasitesi gibi) özellikleri hakkında fazlasıyla bilgiye ihtiyaç vardır. Bu sebeple, bilinmeyen özelliklere sahip sistemlerden elde edilen verilerin teorik analizi yetersizdir. Bu gibi olumsuzlukların da önüne geçildiği sürece ultrason teknolojisinin gıda endüstrisi ve diğer bilim dallarında uygulanmasının artması kaçınılmazdır.

Etik Beyan (Ethical Declaration)

Bu çalışma, Yavuz YÜKSEL danışmanlığında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğrencisi Berre ÇETİN'in lisans bitirme projesinden üretilmiştir. Çalışmamızın tüm süreçlerinin araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu, etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine uyduğumuzu beyan ederiz.

Yazar Katkıları (Authors Credit)

Araştırma Tasarımı Y.Y. (%100)

Veri Toplama (CRediT 2) Y.Y. (%50) – B.Ç. (%50)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Y.Y. (%80) – B.Ç. (%20)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Y.Y. (%100)

Finansman (Funding)

Bu çalışma kapsamında herhangi bir kurum/kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettiği herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: Desteklemiyor

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Ç. Türksönmez, A. Diler, Gıda endüstrisinde ultrason uygulamaları, *Aydın Gastronomy*. 5(2), (2021), 177-191.
- [2] A. C. Soria, M. Villamiel, Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review, *Trends in Food Science & Technology*. 21(7) (2010), 323-331. doi:10.1016/j.tifs.2010.04.003
- [3] N. N. Misra, O. Schlüter, P. J. Cullen, Cold plasma in food and agriculture: *Fundamentals and Applications*, Academic Press, 2016.
- [4] M. S. Aday, Ultrasesin gıda işleme ve muhafazasında kullanımı, *MAS Journal of Applied Sciences*. 6(3) (2021), 661-684. doi:10.52520/masjaps.116
- [5] M. Gallo, L. Ferrara, D. Naviglio, Application of ultrasound in food science and technology: A perspective, *Foods*. 7(10) (2018), 164. doi:10.3390/foods7100164
- [6] J. Krautkrämer, H. Krautkrämer, Ultrasonic testing of materials, *Springer Science & Business Media*, 2013.
- [7] M., Şengül, E. F. Topdaş, Katı-sıvı ekstraksiyonunda kullanılan modern teknikler ve bu teknikler arasında ultrason yardımlı ekstraksiyonun yeri, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 50(2) (2019), 201-216. doi:10.17097/ataunizfd.466649
- [8] Z. J. Dolatowski, J. Stadnik, D. Stasiak, Applications of ultrasound in food technology, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 6(3) (2007), 88-99.
- [9] N. Bhargava, R. S. Mor, K. Kumar, V. S. Sharanagat, Advances in application of ultrasound in food processing: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*. 70 (2021), 105293. doi:10.1016/j.ultsonch.2020.105293
- [10] F. Chemat, N. Rombaut, A. G. Sicaire, A. Meullemiestre, A. S. Fabiano-Tixier, M. Abert-Vian, Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review, *Ultrasonics Sonochemistry*. 34 (2017), 540-560. doi:10.1016/j.ultsonch.2016.06.035
- [11] L. Z. Deng, A. S. Mujumdar, Q. Zhang, X. H. Yang, J. Wang, Z. A. Zheng, Z.J. Gao, H. W. Xiao, Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59(9) (2019), 1408-1432.
- [12] Y. Liu, H. Pu, D. W. Sun, Hyperspectral imaging technique for evaluating food quality and safety during various processes: A review of recent applications, *Trends in Food Science & Technology*. 69 (2017), 25-35.
- [13] E. A. A. Elhussein, S. Şahin, Drying behaviour, effective diffusivity and energy of activation of olive leaves dried by microwave, vacuum and oven drying methods, *Heat and Mass Transfer*. 54 (2018), 1901-1911.
- [14] N. Milićević, P. Kojić, M. Sakač, A. Mišan, J. Kojić, C. Perussello, B. Vojislav, P. Milica, B. Tiwari, Kinetic modelling of ultrasound-assisted extraction of phenolics from cereal brans, *Ultrasonics Sonochemistry*. 79 (2021), 105761. doi:10.1016/j.ultsonch.2021.105761
- [15] G. Milani, M. Vian, M. M. Cavalluzzi, C. Franchini, F. Corbo, G. Lentini, F. Chemat, Ultrasound and deep eutectic solvents: An efficient combination to tune the mechanism of steviol glycosides extraction, *Ultrasonics Sonochemistry*. 69 (2020), 105255. doi:10.1016/j.ultsonch.2020.105255
- [16] G. Yildiz, T. M. Rababah, H. Feng, Ultrasound-assisted cutting of cheddar, mozzarella and Swiss cheeses—Effects on quality attributes during storage, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 37 (2016), 1-9. doi:10.1016/j.ifset.2016.07.013
- [17] T. S. Leong, M. Zhou, N. Kukan, M. Ashokkumar, G. J. Martin, Preparation of water-in-oil-in-water emulsions by low frequency ultrasound using skim milk and sunflower oil, *Food*

- Hydrocolloids*. 63 (2017), 685-695. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.10.017
- [18] A. Taha, E. Ahmed, A. Ismaiel, M. Ashokkumar, X. Xu, S. Pan, H. Hu, Ultrasonic emulsification: An overview on the preparation of different emulsifiers-stabilized emulsions, *Trends in Food Science & Technology*. 105 (2020), 363-377. doi:10.1016/j.tifs.2020.09.024
- [19] J. P. Canselier, H. Delmas, A. M. Wilhelm, B. Abismail, Ultrasound emulsification—an overview, *Journal of Dispersion Science and Technology*. 23(1-3) (2002), 333-349. doi:10.1080/01932690208984209
- [20] S. Freitas, G. Hielscher, H. P. Merkle, B. Gander, Continuous contact-and contamination-free ultrasonic emulsification—a useful tool for pharmaceutical development and production, *Ultrasonics Sonochemistry*. 13(1) (2006), 76-85. doi:10.1016/j.ultsonch.2004.10.004
- [21] M. J. Luján-Facundo, J. A. Mendoza-Roca, B. Cuartas-Urbe, S. Álvarez-Blanco, Cleaning efficiency enhancement by ultrasounds for membranes used in dairy industries, *Ultrasonics Sonochemistry*. 33 (2016), 18-25. doi:10.1016/j.ultsonch.2016.04.018
- [22] S. Mettu, S., Yao, Q. Sun, S. R. Lawson, P. J. Scales, G. J. Martin, M. Ashokkumar, Effect of bulk viscosity and emulsion droplet size on the separation efficiency of model mineral oil-in-water (O/W) emulsions under ultrasonic standing wave fields: a theoretical and experimental investigation, *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 59(16) (2020), 7901-7912. doi:10.1021/acs.iecr.0c00616
- [23] A. Vega-Gálvez, K. Di Scala, K. Rodríguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J. López, M. Perez-Won, Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. *Hungarian*), *Food Chemistry*. 117(4) (2009), 647-653. doi:10.1016/j.foodchem.2009.04.066
- [24] M. Markowski, M. Zielinska, Influence of drying temperature and rehydration on selected textural properties of carrots, *International Journal of Food Properties*, 16(3) (2013), 586-597. doi:10.1080/10942912.2011.558229
- [25] Y. Tao, M. Han, X. Gao, Y. Han, P. L. Show, C. Liu, X. Ye, G. Xie, Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property, *Ultrasonics Sonochemistry*. 53 (2019), 192-201. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.01.003
- [26] M. Lan, D. Luo, C. Yue, Z. Bai, P. Li, L. Wang, Ultrasound-assisted separation of wheat flour: Enhancing the degree of separation and characterization analysis, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 90 (2023), 103493.
- [27] A. C. Miano, J. D. C. Pereira, N. Castanha, M. D. D. M. Júnior, P. E. D. Augusto, Enhancing mung bean hydration using the ultrasound technology: description of mechanisms and impact on its germination and main components, *Scientific Reports*. 6(1) (2016), 38996.
- [28] G., Cravotto, A. Binello, L. Orto, Yeşil ekstraksiyon teknikleri, *Agro Food Industry Hi-Tech*. 22(6) (2011), 57-59.
- [29] M. Viot, V. Tomao, G. Colnagui, F. Visinoni, F. Chemat, New microwave-integrated Soxhlet extraction: an advantageous tool for the extraction of lipids from food products, *Journal of Chromatography A*. 1174(1-2) (2007), 138-144. doi:10.1016/j.chroma.2007.09.067
- [30] A. Yılmaz, N. Tugrul, Effect of ultrasound-microwave and microwave-ultrasound treatment on physicochemical properties of corn starch, *Ultrasonics Sonochemistry*. 98 (2023), 106516. doi:10.1016/j.ultsonch.2023.106516
- [31] L. Sillero, R. Prado, J. Labidi, Simultaneous microwave-ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from bark, *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 156 (2020), 108100. doi:10.1016/j.cep.2020.108100
- [32] O. N. Kernou, A. Belbahi, A. Amir, K. Bedjaoui, K. Kerdouche, S. Dairi, O. Aoun, K. Madani,

- Effect of sonication on microwave inactivation of *Escherichia coli* in an orange juice beverage, *Journal of Food Process Engineering*. 44(5) (2021), e13664. doi:10.1111/jfpe.13664
- [33] V. L. Singleton, J. A. Rossi, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, *American journal of Enology and Viticulture*. 16(3) (1965), 144-158.
- [34] H. W. Huang, S. J. Wu, J. K. Lu, Y. T. Shyu, C. Y. Wang, Current status and future trends of high-pressure processing in food industry, *Food Control*. 72 (2017), 1-8.. doi:10.1016/j.foodcont.2016.07.019
- [35] A. C., Stratakos, E. S., Inguglia, M., Linton, J., Tollerton, L., Murphy, N., Corcionivoschi, A. Koidis, B. K. Tiwari, Effect of high pressure processing on the safety, shelf life and quality of raw milk, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 52 (2019), 325-333. doi:10.1016/j.ifset.2019.01.009
- [36] M. Hendrickx, L. Ludikhuyze, I. Van den Broeck, C. Weemaes, Effects of high pressure on enzymes related to food quality, *Trends in Food Science & Technology*. 9(5) (1998), 197-203. doi:10.1016/S0924-2244(98)00039-9
- [37] V. M. Balasubramaniam, E. Y. Ting, C. M. Stewart, J. A. Robbins, Recommended laboratory practices for conducting high-pressure microbial inactivation experiments, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 5(3) (2004), 299-306. doi:10.1016/j.ifset.2004.04.001
- [38] L. Zhang, L. Liao, Y. Qiao, C. Wang, D. Shi, K., An, J. Hu, Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying, *Food Chemistry*. 303 (2020), 125386. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125386
- [39] O. R. Alara, N. H. Abdurahman, C. I. Ukaegbu, Soxhlet extraction of phenolic compounds from *Vernonia cinerea* leaves and its antioxidant activity, *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 11 (2018), 12-17. doi:10.1016/j.jarmap.2018.07.003
- [40] M. Singla, N. Sit, Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*. 73 (2021), 105506. doi:10.1016/j.ultsonch.2021.105506
- [41] F. Al Juhaime, N. Uslu, M. M. Özcan, The effect of preultrasonic process on oil content and fatty acid composition of hazelnut, peanut and black cumin seeds, *Journal of Food Processing and Preservation*. 42(1) (2018), e13335. doi:10.1111/jfpp.13335
- [42] R. Prithani, K. K. Dash, Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 64 (2020), 102407. doi:10.1016/j.ifset.2020.102407
- [43] A. Rahaman, X. A. Zeng, A. Kumari, M. Rafiq, A. Siddeeg, M. F. Manzoor, Z. Baloch, Z. Ahmed, Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on texture, bioactive compounds and metabolites analysis of plum, *Ultrasonics Sonochemistry*. 58 (2019), 104643. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104643
- [44] S. Simal, J. Benedito, E. S. Sánchez, C. Rosselló, Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*. 36(3) (1998), 323-336. doi:10.1016/S0260-8774(98)00053-3
- [45] J. A. Cárcel, J. Benedito, J. Bon, A. Mulet, High intensity ultrasound effects on meat brining, *Meat Science*. 76(4) (2007), 611-619. doi:10.1016/j.meatsci.2007.01.022
- [46] Y. Deng, Y. Zhao, Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji), *Journal of Food Engineering*. 85(1) (2008), 84-93. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.07.016
- [47] J. Stojanovic, J. L. Silva, Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries, *Food Chemistry*. 101(3) (2007), 898-906. doi:10.1016/j.foodchem.2006.02.044

- [48] B. Xu, E. S. Tiliwa, W. Yan, S. R., Azam, B., Wei, C., Zhou, H. Ma, B. Bhandari, Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review, *Food Research International*. 152 (2022), 110744. doi:10.1016/j.foodres.2021.110744
- [49] F. R. Reis, C. Marques, A. C. S. de Moraes, M. L. Masson, Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables, *Food Control*. 142 (2022), 109254. doi:10.1016/j.foodcont.2022.109254
- [50] B. Bchir, M. A. Bouaziz, R. Ettaib, H. Sebii, S. Danthine, C. Blecker, S. Besbes, H. Attia, Optimization of ultrasound-assisted osmotic dehydration of pomegranate seeds (*Punica granatum L.*) using response surface methodology, *Journal of Food Processing and Preservation*. 44 (2020), e14657. doi:10.1111/jfpp.14657
- [51] H. Bozkir, A. R. Ergün, E. Serdar, G. Metin, T. Baysal, Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit, *Ultrasonics Sonochemistry*. 54 (2019), 135-141. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.02.006
- [52] S. Nag, N. Sit, Optimization of ultrasound assisted enzymatic extraction of polyphenols from pomegranate peels based on phytochemical content and antioxidant property, *Journal of Food Measurement and Characterization*. 12 (2018), 1734-1743.
- [53] N. Sit, S. C. Deka, S. Misra, Combined effect of ultrasound and enzymatic pretreatment on yield and functional properties of taro (*Colocasia esculenta*) starch, *Starch-Stärke*. 66 (2014), 959-967. doi:10.1002/star.201400085
- [54] J. L. Capelo, A. M. Mota, Ultrasonication for analytical chemistry, *Current Analytical Chemistry*. 1(2) (2005), 193-201. doi:10.2174/1573411054021619
- [55] H. Wu, J. Zhu, W. Diao, C. Wang, Ultrasound-assisted enzymatic extraction and antioxidant activity of polysaccharides from pumpkin (*Cucurbita moschata*), *Carbohydrate Polymers*. 113 (2014), 314-324. doi:10.1016/j.carbpol.2014.07.025
- [56] J. T. Mason, F. Chemat, M. Vinatoru, The extraction of natural products using ultrasound or microwaves, *Current Organic Chemistry*. 15(2) (2011), 237-247. doi:10.2174/138527211793979871
- [57] J., Azmir, I. S. M., Zaidul, M. M., Rahman, K. M., Sharif, A., Mohamed, F., Sahena A. K. M. Omar, Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review, *Journal of Food Engineering*. 117(4) (2013), 426-436. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014
- [58] H. S. Jeong, H. Y. Kim, S. H. Ahn, S. C. Oh, I. Yang, I. G. Choi, Optimization of enzymatic hydrolysis conditions for extraction of pectin from rapeseed cake (*Brassica napus L.*) using commercial enzymes, *Food Chemistry*. 157 (2014), 332-338. doi:10.1016/j.foodchem.2014.02.040
- [59] S. J. Bora, J. Handique, N. Sit, Effect of ultrasound and enzymatic pre-treatment on yield and properties of banana juice, *Ultrasonics Sonochemistry*. 37 (2017), 445-451. doi:10.1016/j.ultsonch.2017.01.039
- [60] F. W. F. Bezerra, M. S. De Oliveira, P. N. Bezerra, V. M. B. Cunha, M. P. Silva, W. A. Da Costa, R.H.H. Pinto, R.M. Cordeiro, J.N. da Cruz, A.M.J. Chaves Neto, R. C. Junior, Extraction of bioactive compounds, *In Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*. (2020), 149-167. doi:10.1016/B978-0-12-817388-6.00008-8
- [61] A. Gomez-Gomez, E. Brito-de la Fuente, C. Gallegos, J. V. Garcia-Perez, J. Benedito, Non-thermal pasteurization of lipid emulsions by combined supercritical carbon dioxide and high-power ultrasound treatment, *Ultrasonics Sonochemistry*. 67 (2020), 105138. doi:10.1016/j.ultsonch.2020.105138
- [62] X. Liu, H. Ou, Z. Xiang, H. Gregersen, Ultrasound pretreatment combined with supercritical CO₂ extraction of Iberis amara seed oil, *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 18 (2020), 100265. doi:10.1016/j.jarmap.2020.100265

- [63] A. S. Döner, Şeker pancarı posasından ultrason destekli pektin eldesinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 2019.
- [64] W. F. Gomes, B. K. Tiwari, Ó. Rodriguez, E. S. de Brito, F. A. N. Fernandes, S. Rodrigues, Effect of ultrasound followed by high pressure processing on prebiotic cranberry juice, *Food Chemistry*. 218 (2017), 261-268. doi:10.1016/j.foodchem.2016.08.132
- [65] D. Jadhav, B. N. Rekha, P. R. Gogate, V. K. Rathod, Extraction of vanillin from vanilla pods: A comparison study of conventional soxhlet and ultrasound assisted extraction, *Journal of Food Engineering*. 93(4) (2009), 421-426. doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.02.007
- [66] V. M. Karizaki, S. Sahin, G. Sumnu, M. T. H. Mosavian, A. Luca, (Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment on deep fat frying of potatoes, *Food and Bioprocess Technology*. 6 (2013), 3554-3563.
- [67] S. B. Glisic, M. Ristic, D. U. Skala, The combined extraction of sage (*Salvia officinalis* L.): Ultrasound followed by supercritical CO₂ extraction, *Ultrasonics Sonochemistry*. 18(1) (2011), 318-326,. doi:10.1016/j.ultsonch.2010.06.011