



MİKRODALGA TEKNOLOJİSİNİN BİTKİSEL DOKULARDAN MAKRO VE MİKRO BİLEŞENLERİN ÖZÜTLENMESİNDE KULLANIMI

Pınar Özer, Ahmet Görgüç, Fatih Mehmet Yılmaz*

Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Turkey

Geliş / Received: 08.06.2018; Kabul / Accepted: 15.09.2018; Online baskı / Published online: 01.10.2018

Özer, P., Görgüç, A., Yılmaz, F.M. (2018). Mikrodalga teknolojisinin bitkisel dokulardan makro ve mikro bileşenlerin özütlenmesinde kullanımı. *GIDA* (2018) 43 (5): 765-775 doi: 10.15237/gida.GD18060

Özer, P., Görgüç, A., Yılmaz, F.M. (2018). *The use of microwave technology on the extraction of macro and micro components from plant tissues. GIDA* (2018) 43 (5): 765-775 doi: 10.15237/gida.GD18060

ÖZ

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumunda kızılötesi ve radyo dalgaları arasında yer alan, dalga boyları 1 mm – 1 m ve frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalga işleminde gıdanın içerisindeki polar su molekülleri, elektrik alan etkisi ile polarize olmakta ve moleküllerin titreşimi sonucu oluşan ısı, özütleme verimini de arttırmaktadır. Mikrodalga teknolojisi, birçok özütleme tekniğine göre maliyetinin düşük, proses süresinin kısa olması ve besinsel bileşenlerin daha iyi korunması gibi avantajlara sahiptir. Mikrodalga teknolojisinin bitkisel dokulardan protein, karbonhidrat, uçucu yağ ve fenolik gibi maddeleri özütlemeye kullanımı ile ilgili özellikle son yıllarda yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu derleme kapsamında, mikrodalga teknolojisi, bitkisel materyallerden farklı makro ve mikro bileşenlerin mikrodalga destekli özütlenmesi ile ilgili güncel çalışmalara da değinilerek literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikrodalga, özütleme, makro bileşen, mikro bileşen

THE USE OF MICROWAVE TECHNOLOGY ON THE EXTRACTION OF MACRO AND MICRO COMPONENTS FROM PLANT TISSUES

ABSTRACT

Microwaves are the electromagnetic waves between the infrared and radio waves in the electromagnetic spectrum, and they have a wavelength of 1 mm – 1 m and a frequency of 300 MHz - 300 GHz. In microwave process, the polar water molecules in the food are polarized by the electric field, and the heat generated by the vibrations of the molecules increases the extraction efficiency. Microwave technology has advantages such as low cost, short process time and better preservation of nutritional components compared to many extraction techniques. There have been many studies related with the use of microwave technology on extracting protein, carbohydrate, essential oil and phenolic compounds from plant tissues, especially in the recent years. In this review, microwave technology and microwave-assisted extraction of different macro- and micro-components from plant materials are presented from the literature by considering latest studies.

Keywords: Microwave, extraction, macro component, micro component

* Corresponding author / Yazışmalardan sorumlu yazar;

✉ fatih.yilmaz@adu.edu.tr,

☎ (+90) 256 213 7503

☎ (+90) 256 213 6686

GİRİŞ

Mikrodalga Teknolojisi

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumda 1 mm – 1 m dalga boyu ve 300 MHz ile 300 GHz frekans aralığında bulunan, iyonize olmayan elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalgalar dalga boyu açısından kızılötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır (Villanueva, 2018). Mikrodalga teknolojisinin keşfi, 2. Dünya Savaşı sırasında Percy Spencer tarafından askeri ekipman üretimi ve tasarımı ile ilgili çalışmalar sırasında gerçekleştirilmiştir (Osepchuk, 1984).

Mikrodalga Ekipmanı

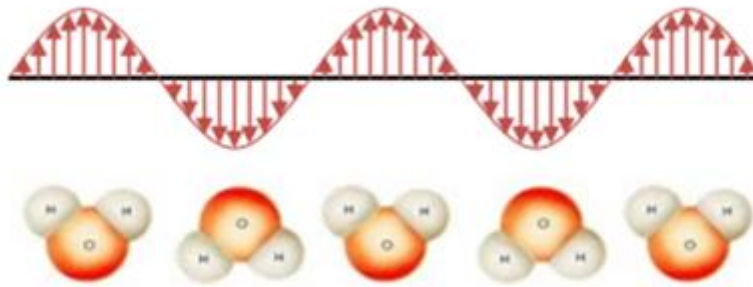
Mikrodalgalar, magnetron gibi özel elektron tüplerinde elektrik enerjisini belli bir dalga boyundaki elektromanyetik radyasyona dönüştürülerek elde edilmektedir. Dalga kılavuzu, ışınları mikrodalga kaynağından mikrodalga boşluğuna iletir; aplikatör ise numunenin yerleştirildiği bölme verilen isimdir (Uslu ve Certel, 2006). Mikrodalga ekipmanları ışınlama moduna göre ikiye ayrılmaktadır: Çok modlu ve tek modlu. Ev tipi ve deneysel çalışmalarda kullanılan mikrodalga cihazlarının çoğunun çok modlu olduğu belirtilmektedir. Bu modda çalışan mikrodalgalarda bulunan karıştırıcı fan sistemi ve döner tabla, örneğin farklı noktalarındaki özdeş olmayan ısınmayı engellemektedir. Tek modlu

sistemlerde ise oluşturulan elektromanyetik dalgalar yalnızca belirli bir noktaya odaklanmaktadır (Tsubaki vd., 2018).

Mikrodalga Çalışma Prensibi

Mikrodalga çalışma prensibi, iyonların iletimi ve dipol rotasyonu (dönme) yoluyla molekül üzerine mikrodalganın etkimesi temeline dayanmaktadır. Bunlardan birincisi olan iyonik iletim, bir manyetik alan uygulandığında iyonların elektroforetik göçüdür. Çözgenin bu iyon akışına karşı oluşan direnci sürtünme ile sonuçlanır ve böylece çözgen ısınır (Meda vd., 2017). İkincisi yani dipol rotasyon ise, uygulanan manyetik alanla dipollerin yeniden düzenlenmesi anlamına gelir (Xia vd., 2013).

Gıda içerisinde polar su molekülleri dağınık bir şekilde bulunur. Elektrik alan uygulandığında, polar moleküller alanın yönüne göre hizalanır ve elektrik alanının salınımını takip ederek dönme eğilimi gösterirler (Şekil 1). Su moleküllerinin birbirleriyle ve ortamdaki diğer moleküllerle sürtünmesine bağlı olarak ısı oluşur. Bu nedenle mikrodalga ile ızdırlenecek materyalin içerisinde su moleküllerinin varlığı şarttır (Chaturvedi, 2018).



Şekil 1. Su moleküllerinin elektrik alanla etkileşimi

Mikrodalga Teknolojisinin Kullanım Alanları

Mikrodalga teknolojisi, gıda endüstrisi tarafından pişirme, çözme, temperleme, kurutma, dondurarak kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon,

ısıtma ve ızdırma gibi işlemlerde kullanılmaktadır (Çizelge 1). Bunun yanında, endüstriyel ürünlerin kurutulması (kağıt, odun), kimyasal tepkimelerin hızlandırılması, endüstriyel ürünlerin eritilmesi,

sinterleme (seramik, maden tozu), plazma üretimi, mineral prosesleri (kaya parçalama, ufalama), atık arıtma ve geri dönüşüm prosesleri gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Regier vd., 2016). Mikrodalga destekli özütleme işleminde, hedeflenen bileşen ya

da bileşenler bir çözgen vasıtasıyla özütlenerek ilaç, kozmetik, gıda takviyeleri ve gıda katkı maddeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Mandal vd., 2007).

Çizelge 1. Mikrodalga teknolojisinin farklı kullanım alanları

Uygulama	Frekans (MHz)	Güç (kW)	Ürün
Temperleme	915	30-70	Kırmızı et, beyaz et (balık ve kümes hayvanları)
Kurutma	915 - 2450	30-50	Makarna, soğan, çerez gıdalar, meyve suları
Ön ısıtma	915	50-240	Domuz pastırması, köfte, kümes hayvanları eti, sucuk, sosis, sardalya
Pastörizasyon & Sterilizasyon	2450	10-30	Taze makarna, hazır yemekler, poşet ambalajlı gıdalar, yarı-katı gıdalar, süt, dilim ekme
Pişirme	915	2-10	Ekme, donat (donut) fermantasyonu

Mikrodalga Teknolojisinin Avantajları

Mikrodalga teknolojisinin özütleme işleminde kullanımının avantajları konuyla ilgili çalışmış farklı yazarlar tarafından belirtilmiştir. Bunlar özetlenecek olursa:

-Elektromanyetik enerjinin çoğu ısıya dönüştüğü için enerji tasarrufu ve verimliliği vardır (Ince vd., 2014).

-Özütleme verimi yüksektir (Krishnan vd., 2016).

-İşlemler hızlı ve oldukça kısa sürede gerçekleşir (Simić vd., 2016).

-Toksik çözgen kullanımını azaltır ve yeşil özütleme için uygundur (Ranic vd., 2014).

-Homojen ısı dağılımı sağlar ve yüzeyin aşırı ısınmasını engeller.

-Yüksek sıcaklıklara ulaşılmaması ve işlem süresinin kısa olmasından dolayı vitamin ve fenolik maddeler başta olmak üzere genel olarak degradasyon oranı düşüktür. (Alvarez vd., 2017; Barba vd., 2016).

Dielektrik Isıtma, Permittivite (ϵ) ve Kayıp Faktörü

Mikrodalgalar veya yüksek frekanslı radyo dalgaları kullanarak ısıtmaya dielektrik ısıtma adı verilmektedir. Mikrodalgalar bir materyali ısıtırken ısıtılan materyalin dielektrik özelliklerine bağlı

olarak yansıtılabilir, absorbe edilebilir veya absorbe edilmeden geçirilebilir. Materyallerin dielektrik özellikleri permittivite kavramı ile belirtilmektedir. Permittivite, bir materyalin elektromanyetik dalgalara karşı nasıl cevap verdiğini gösteren bir terimdir (Eşitlik 1) (Roelvink, 2013).

$$\epsilon = \epsilon' - j \epsilon'' \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Dielektrik sabiti (ϵ') materyalin oluşan enerjinin ne kadarını depolayabileceğini, dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') materyalin oluşan enerjinin ne kadarını absorbe edip ısıya dönüştürebileceğini ve j ise $\sqrt{-1}$ 'i ifade etmektedir.

Mikrodalga enerjisinin bir materyali aşarken uğradığı enerji kaybına, o materyalin “kayıp faktörü” denilmektedir. Kayıp faktörü yüksek olan gıdalar mikrodalga etkisiyle daha çabuk ısınmaktadır. Kayıp faktörü değeri; elektromanyetik dalgaların frekansına, materyalin sıcaklığına, fiziksel durumuna ve kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Adetunji vd., 2017).

Mikrodalga'nın Genel Özütleme Mekanizması

Mikrodalga teknolojisi ile özütleme işlemlerinde çözgenin var olduğu ya da çözgenin kullanılmadığı durumlar söz konusudur. Nitekim literatür çalışmaları incelendiğinde de hem çözgenin yer aldığı hem de çözgen kullanılmadan özütleme işlemlerini ele alan çalışmalara rastlamak mümkündür. Çözgen, mikrodalga enerjisini absorblamaktadır; polar çözgen (etanol, metanol, su, vb.) kaynama noktasına ulaşana kadar ısıdıktan sonra örnek matrisine yayılmakta ve böylelikle analitleri çözmektedir. Herhangi bir çözgen ilave etmeden bitkisel materyalin mikrodalga reaktörüne yerleştirilmesiyle de özütleme gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda farklı şekilde yeni (novel) tasarlanmış mikrodalga ekipmanları geliştirilmiştir. Bu sistemde, bitki materyali içindeki suyun iç ısı, bitki hücrelerini etkilemektedir. Mikrodalga ısıtma etkisiyle, bitki materyali içerisindeki metabolitler ve içten dışa aktarılan su serbest bırakılmaktadır (Li vd., 2012). Mikrodalga ile özütleme işlemi esnasında, bitkisel hücre duvarında ani sıvı buharlaşması ve basınçla yapısal bozulma gerçekleşmekte ve hücre protoplazması daha geçirgen hale gelerek analitlerin özütlenmesi daha kolay hale getirilmektedir (Maran vd., 2014).

Mikrodalga Destekli Özütleme İşlemine Etki Eden Faktörler

Frekans, mikrodalga kaynağının işlem süresini etkilemektedir. Kullanılan kaynağın frekansı arttıkça, gıdaya ulaşan elektromanyetik penetrasyon miktarı azalmaktadır. Bu yüzden özütleme işlemi yapılacak gıdaya özgü frekans seçimi önemlidir (Chaturvedi, 2018).

Mikrodalga destekli özütlemeye etki eden ikinci bir faktör ise mikrodalga gücüdür. Endüstride kullanılan birçok mikrodalga sistemi 5 - 100 kW arasında değişen mikrodalga gücünde çalışmaktadır. Mikrodalga gücü arttıkça, aynı miktardaki bileşenin özütlenme hızı da genellikle artmaktadır (Thirugnanasambandham vd., 2015). Bu duruma bağlı olarak gıda matrisinden hedef bileşenin özütlenme süresi azalmakta; ancak aynı zamanda artan mikrodalga gücü, daha fazla enerji maliyetini de beraberinde getirmektedir.

Mikrodalga gücündeki artış, belirli bir noktadan sonra gerçekleşen kütle transferine bağlı olarak özütleme hızını da değiştirmektedir. Mikrodalga gücünün artışı her zaman daha yüksek verimde özütleme sağlanacağı anlamına gelmemektedir. Özütlenecek bileşenler artan güce bağlı olarak yükselen sıcaklıklardan etkilenecek bozunabilmektedirler. Bu yüzden, farklı bitki materyalleri ve onlardan özütlenecek hedef bileşikler için optimum gücün belirlenmesi önemlidir (Simić vd., 2016).

Özütleme verimini arttıran başka bir faktör ise mikrodalga gücüne bağlı sıcaklıktır. Özütleme işleminde bitkisel materyalin içinde bulunduğu çözgenin sıcaklığı da özütleme verimi ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek sıcaklıklarda, viskozite ve yüzey gerilimindeki düşüş nedeniyle çözgenin çözme gücü artmaktadır. Mikrodalga, çözgenin analitleri çözmesini kolaylaştırmakta ve matrise nüfuzunu arttırmaktadır. Ancak oluşan yüksek sıcaklıkların hedef analitin dekompozisyonuna veya degradasyonuna neden olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Tsubaki vd., 2013).

Özütlemeye etki eden bir diğer faktör ise gıdanın kütlesidir. Aynı hacimde olup, kütlesi yüksek olan örnekler genellikle düşük olanlara kıyasla daha fazla mikrodalga gücü absorbe edebilmektedir. Bundan dolayı işlemler esnasında aşırı basınç oluşum faktörünü göz önünde bulundurarak en uygun mikrodalga işlem koşullarının belirlenmesi önemli görülmektedir. Eğer toplam kütle az ise kesikli bir sistem işlem için daha uygundur (Routray ve Orsat, 2012).

Son olarak, bitki materyalinin içerisinde bulunan su ya da nem, mikrodalgayı absorbe etmesi ve dielektrik özelliklerini etkilemesinden ötürü özütlemeye etki eden faktörlerden birisidir. Bitki materyalinde bulunan suyun serbest ya da bağlı formu da mikrodalga etkinliğini belirlemektedir. Serbest suda bulunan polar moleküller bağlı forma kıyasla mikrodalga'nın oluşturduğu elektrik alandan daha fazla etkilenmektedir (Chandrasekaran vd., 2013). Dolayısıyla bitkinin kurutulmuş ya da taze olması da mikrodalga özütleme işleminde özütleme verimini etkileyen faktör olarak değerlendirilebilir.

Özütlemeye Doğru Çözgen Seçimi

Doğru çözgen seçimi özütleme işlemi için ana unsurdur. Seçilen çözgenin mikrodalga ışınlarını iyi absorplaması, analitin matrisiyle etkileşimi ve analiti çözebilir olması gerekmektedir. Çözgen mikrodalga enerjisi ememiyorsa, ısıtma ve özütleme işlemini gerçekleştiremez. Büyük dipol momente sahip olan çözgen, mikrodalga ışıması altında daha hızlı ısınacaktır. Basit bir şekilde su ve metanol arasında karşılaştırma yapıldığı zaman metanolün dielektrik sabiti suya göre daha düşük ama dielektrik kaybı daha yüksektir. Bu, metanolün mikrodalga geçişini engelleme kabiliyetinin düşük, ancak mikrodalga enerjisini ısıya dönüştürme kabiliyetinin yüksek olduğunu gösterir (Eskilsson ve Bjorklund, 2000). Özütlemeye, hekzan ve toluen gibi polar olmayan çözgen gerekliyse, bu çözgenlerin su metanol ve aseton gibi yüksek bir dipol momente sahip polar çözgenlerle karıştırılması önerilmektedir (Büyüktuncel, 2012).

Mikrodalga Teknolojisi ile Bitkisel Dokulardan Bileşenlerin Eldesi

Mikrodalga teknolojisinin, bitkisel doku matrislerinden bileşiklerin özütlenmesinde kullanımı giderek artmaktadır (Teo vd., 2013). Mikrodalga özütlemeye ısı ve kütle aktarımı, katı matrisin içinden dışarıya doğru aynı yönde olmasından dolayı geleneksel özütlemeye kıyasla daha kolay gerçekleşmektedir (Seoane vd., 2018).

Mikrodalga Teknolojisi ile Proteinlerin Özütlenmesi

Son zamanlarda, mikrodalga enerjisinin bitkisel dokulardan protein özütlenmesinde kullanılması; gücü, elverişliliği, verimi ve maliyet açısından uygunluğu ile oldukça popüler olmuştur

(Phongthai vd., 2016). Hayvansal proteinlerden daha düşük maliyetli olan bitkisel proteinler, fonksiyonel nitelikli ve zengin aminoasit profiline sahip gıda üretimi amacıyla kullanılmaktadır (Pojić vd., 2018). Mikrodalga teknolojisinin özütleme esnasında hücre yapısını etkilediği ve böylece özütleme verimine doğrudan etkisi olduğu belirtilmektedir. Choi vd. (2006), mikrodalga gücüne tabi tutulmadan önce soya fasulyesinin hücre duvarının sıkı, düzgün ve düzenli olduğunu elektron mikroskopuyla gözlemlemişlerdir. Mikrodalga hücre duvarının parçalanmasını sağladığı ve böylelikle çözünür soya proteininin özütlenme verimini arttırdığını bildirmişlerdir. Mikrodalga teknolojisinin protein özütleme verimine etkisini ele alan bir diğer çalışmada, Khan vd. (2011) mikrodalga, kuru hava ile ısıtma ve kısmi kaynatma yöntemleriyle stabilize edilmiş pirinç kepeğinden protein özütlemesi gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen protein verimleri sırasıyla %69.61, %67.59 ve %58.75 olarak bulunmuştur. En yüksek protein verimi mikrodalga ile yapılan özütleme işleminde bulunmuştur. Phongthai vd. (2016), başlangıç protein içeriği %14.13 olan pirinç kepeğine mikrodalga uygulayarak toplam proteinin %71.27'sini özütlemişler; mikrodalga gücü ve özütleme süresinin protein özütleme verimi üzerine doğrudan etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ochoa Rivas vd. (2017)'ne göre, mikrodalga kullanımı birincil protein yapısında değişikliğe neden olmazken ikincil protein yapısını etkileyerek ürünün yağ emme indeksi, su emme indeksi, köpük aktivitesi, emülsifiye edici aktivite ve in vitro protein sindirilebilirliği gibi belirli fonksiyonel özelliklerini geliştirmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Mikrodalga destekli protein özütleme çalışmaları

Örnek	Hedef Madde	Parametre	Bulgular	Kaynak
Pirinç (<i>Oryza sativa</i> L.) kepeği	Protein	1000 W, 90 s, 0,89g/10ml	Alkali özütleme yöntemine göre %33,18 daha fazla verim elde edilmiştir.	Phongthai vd., 2016
Yerfıstığı (<i>Arachis hypogaea</i> L.) unu	Protein	725 W, 8 dk.	Alkali özütleme yöntemiyle birlikte mikrodalga kullanılarak toplam verim %77 arttırılmıştır.	Ochoa Rivas vd., 2017

Mikrodalga Teknolojisi ile Karbonhidratların Özütleme

Mikrodalga ile karbonhidrat özütlemede literatürde yaygın olarak polisakkaritlerin özütleme çalışmalarına rastlanılmaktadır. Hayvanlarda, bitkilerde ve mikroorganizmalarda yaygın olarak bulunan polisakkaritler, çeşitli biyolojik aktivitelere sahiptir. Basit ve güvenilir yöntem olan ısıtma, kaynatma ve geri akış yöntemleri uzun özütleme süresi ve yüksek sıcaklıktan dolayı polisakkaritlerin bozulmasına ve farmakolojik aktivitelerinin azalmasına neden olabilmektedir. Genel olarak matriste yer alan suyu ısıtan ve/veya ek bir çözügen kullanımı gerektirmeyen mikrodalga işlemi, alkalilerin kullanımına kıyasla polisakkaritlerin fizikokimyasal özelliklerini daha iyi korumaya olanak sağlamaktadır (Florez vd., 2015). Thirugnanasambandham vd. (2014), pitaya bitkisinden (*Hylocereus undatus* L.) pektin özütleme için seçilen optimum koşullarda (45 °C, 20 dk., 400 W) maksimum özüt veriminin %7.5 olduğunu bulgulamışlardır. Bagherian vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, greylift (*Citrus paradisi* L.) kabuğundan pektinin klasik yöntemle özütleme işleminde verimi %19.16 iken mikrodalga özütlemede kullanılan 450 W, 630 W, 900 W'lık güçlerde verimler sırasıyla %21.23, %22.71 ve %26.27'ye olarak bulgulanmıştır. Geleneksel yöntemin 90 dk. uygulanması ile en yüksek verim elde edilirken, mikrodalga uygulaması ile aynı verim iki dk. gibi çok kısa sürede elde edilmiştir. Uygulanan mikrodalga gücü ile gerçekleşen hücre duvarı matrisinin gevşemesi ve parenşima hücre ayrılmasının pektin özütleme verimini artırdığı yorumu yapılmıştır.

Mikrodalga destekli özütleme işleminde güç ve sürenin doğru orantılı olarak karbonhidrat özütleme verimini artırdığı ancak; uzun süren işlemlerde polisakkaritlerin degradasyonuna neden olabildiği de bildirilmiştir. Bu durumu da göze alarak Kumar vd. (2016), tamarillodan (*Cyphomandra betacea* L.) polisakkarit özütleme için optimum işlem koşullarını 60 °C, 60 dk. ve 400 W olarak belirlemişlerdir. Bu koşullarda en yüksek özütleme verimini ise %35 olarak bildirmişlerdir. Swamy vd. (2017)'nin yaptığı çalışmada, muzdan pektin özütleme için kullanılan

sürekli ve kesikli mikrodalga özütleme işlemleri sonucunda, kesikli yöntem (vurgu oranı: 0.5, pH 3, 900 W) veriminin sürekli yöntem veriminden %2.18 daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Düzenli uygulanan mikrodalga açma-kapama periyotları, bitki hücresinin şişmesini ve özütleme pektin miktarının artmasını sağlamıştır. Ayrıca, vurgu oranı azaldıkça özüt veriminde artış gerçekleşmiştir. Xu vd. (2017)'nin yaptığı çalışmada, mikrodalga ile hünnap (*Zizyphus jujub* L.) meyvesinden tatlandırıcı üretimi amacıyla polisakkarit özütleme gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga (300 W, 50 °C, 25 dk.) ile gerçekleştirilen özütlemede işlem süresinin çok kısa olduğu belirtilmiş ve hünnap meyvesinin farklı anlamda işlenmesi için teknolojik detaylara yer verilmiştir.

Mikrodalga Teknolojisi ile Uçucu yağların Eldesi

Sadece fiziksel yollarla izole edilmesi gereken uçucu yağlar, bitkisel materyallerden elde edilmektedir. Kullanılan fiziksel yöntemler; damıtma (buhar, buhar/su ve su ile), sıkma (aynı zamanda narenciye kabuğu yağları için soğuk presleme olarak da bilinir) veya doğal malzemelerin kuru olarak damıtılmasıdır (piroliz) (Filly vd., 2014). Uçucu yağlar, uçucu bileşikler olarak tanımlanırlar. Yağ terimi, hidrofobik ve viskoz karakteristikler (suda çözünmeyen) belirtmek için kullanılırken, uçucu terimi bitkinin doğal özünü ve tipik kokusunu belirtmek için kullanılır (Hosseini vd., 2013). Günümüzde hem gıda hem de kozmetik sanayi için çok değerli görülen ve ticari değeri oldukça yüksek olan uçucu yağların eldesinde mikrodalga teknolojisinin kullanıldığı çalışmalara da sıkça rastlanılmaktadır. Ferhat vd. (2008), portakaldan uçucu yağ özütlemede kullanılan çözümsüz mikrodalga (100 °C, 10 dk., 200 W) özütleme işleminden sonra elde edilen verim ile hidrodistilasyon sonucu elde edilen verimi aynı oranda (%0,4) bulmuş ve uygulanan diğer bir yöntem olan soğuk pres yönteminde ise daha düşük verim elde ettiklerini bildirmişlerdir (%0.162). Ayrıca, taze portakal kabuklarından çözümsüz mikrodalga uygulaması ile limonen bileşiğinin %95'inin özütleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çözügen kullanılmadan gerçekleştirilen başka bir çalışmada

ise Bayramoğlu vd. (2008) kekik otundan (*Origanum vulgare* L.) uçucu yağ özütlemesinde özütleme verimi 0.054 ml/g bulmuş ve bu değer, geleneksel hidrodistilasyon yöntemi ile elde edilen verimden (0.048 ml/g) daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır.

Uçucu yağların mikrodalga ile özütlenmesi işlemlerinde çözenin kullanılmadığı çalışmalara rastlamak da mümkündür. Bununla ilişkili olarak, Chen vd. (2016), Çin greyfurtuna (*Citrus grandis* L.) iki basamaktan oluşan mikrodalga özütleme işlemi uygulamışlardır. İlk aşamada herhangi bir su veya çözen kullanmadan uçucu yağları özütlemişler, ikinci aşamada ise kalan posadan pektin özütlemesi yapmışlardır. Çözgeniz mikrodalga ile uçucu yağ özütleme, 180 dakikalık hidrodistilasyonla kıyaslandığında verimi %33.7 oranında arttırmıştır. Posaya uygulanan mikrodalga ile pektin özütlemeye ise geleneksel asidik çözelti özütlemesiyle kıyaslandığında %3.29 daha fazla verim elde edilmiştir.

Mikrodalga Teknolojisi ile Fenolik Bileşiklerin Özütlenmesi

Biyoaktif bileşikler tıp ve eczacılıkta nutrasötik olarak da kullanılmaktadır (Teo vd., 2013). Bu bileşiklerin bazı hastalıklara karşı koruyucu ya da tedavi edici yararlı etkileri olduğu belirtilmektedir (Dahmoune vd., 2015). Bitki kaynaklı en önemli biyoaktif bileşikler başta flavonoidler olmak üzere fenolik bileşiklerdir (Orsat ve Routray, 2018). Flavonoidlerin genel olarak antioksidan ve serbest radikalleri uzaklaştırıcı etkileri vardır ve vücuda alındığı zaman oksidatif reaksiyonlara karşı koruyucu etki gösterirler (Baki vd., 2018).

Fenolik maddeler aynı zamanda farklı çevre koşullarına oldukça duyarlıdır ve hızla degrade olabilirler. Bu yüzden fenolik maddelerin özütlenmesinde işlem parametrelerinin kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Hiranvarachat ve Devahastin (2014), havuçtan (*Daucus carota var. sativa* L.) mikrodalga ile β -karoten özütleme işleminde sıcaklık artışının özütlemeyi arttırdığını ancak; 58 °C'den sonra sıcaklığın degradasyona neden olduğunu belirtmişlerdir.

Mikrodalga işleminin fenoliklere olan verim etkisini gösteren bir diğer çalışmada Liazid vd. (2010), üzümde (*Vitis vinifera* L.) antosiyanin özütlemesi için 50 °C'de 20 dk. ve 100 W güçte uygulanan mikrodalga uygulaması ile glukozitler ve açıl türevlerinde %100 geri kazanım sağlanabildiğini belirtmişlerdir.

Farklı bitkisel materyallerden fenolik bileşenlerin mikrodalga destekli özütlenmesi ile ilgili genel literatür bilgileri ve bu konuda bazı çalışmalar özet halinde Çizelge 3'te verilmiştir.

SONUÇ

Mikrodalga teknolojisini bitkisel dokulardan bileşenlerin özütlenmesinde kullanımı, hızı ve enerji verimliliği açısından uygun bir yöntemdir. Mikrodalga, geleneksel özütleme yöntemleriyle kıyaslandığı zaman daha yüksek verim ve yüksek sıcaklığın neden olduğu besinsel kayıpları azaltmasıyla diğer özütleme yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak görülmektedir. Literatürde, mikrodalga'nın bitkisel dokulardan protein özütlemeye kullanımı sınırlıdır ve bitki kaynaklı protein özütlemeye yeni ve gelişmekte olan bir yöntem olarak görülebilir. Bitkisel materyallerin hücre yapılarının farklı olması, hedeflenen maddelerin niteliklerinin de yine farklı olmasından dolayı konuyla ilgili daha çok çalışmanın yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Benzer şekilde; bitkisel materyallerden protein, karbonhidrat, fenolik madde ve uçucu yağ gibi bileşenlerin eldesinde kullanılan mikrodalga destekli özütleme yöntemleri, farklı bitkisel materyaller ile yapılacak ileri çalışmalarla geliştirilmelidir.

Çizelge 3. Mikrodalga destekli fenolik madde özütlemeye çalışmaları

Örnek	Hedef madde	Parametre	Bulgular	Kaynak
İğde (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	Flavonoid	400 W, 15 dk.	Çözgensiz mikrodalga özütlemeye verimi, geleneksel yöntemle özütlemenin %3'ünü oluşturmuştur.	Issartier vd., 2011.
Siyah çay (<i>Camellia sinensis</i> L.)	Fenolik madde	900 W, 90 s	210 saniyelik geleneksel demlemeye kıyasla mikrodalga ile %43 daha fazla fenolik konsantrasyonu elde edilmiştir.	Spigno ve Favari, 2009.
Mor mısır (<i>Zea mays</i> L.)	Antosiyanin	555 W, 19 dk. 1,5 M HCl – %95 etanol (15:85, v/v)	Özütlemeye verimi %98,85'tir. 60 dakikalık geleneksel özütlemeye sonucu elde edilen toplam antosiyanin miktarı, mikrodalga özütlemeye ile elde edilenin %85,6'sı kadardır.	Yang ve Zhai, 2010.
Yerfıstığı (<i>Arachis hypogaea</i> L.) kabuğu	Fenolik madde	%90 güç, 30 s, 1,5 g kabuk + 37,5 ml %30 etanol çözeltisi	%90 güçte özütlenen kabuğun miktarı 1,5 gramdan 3,5 grama çıkarıldığında özütlenen toplam fenolik miktarında %35,6 azalma olmuştur. 1,5 g kabuk için mikrodalga'nın %10 güçten %90'a yükseltilmesiyle özütlemeye verimi %53,9 artmıştır.	Ballard vd., 2010.
Yeşil çay (<i>Camellia sinensis</i> L.)	Fenolik madde	600 W, 100 °C, 20 dk. 600 W, 80 °C, 30 dk.	Yüksek özütlemeye verimi için elverişlidir. Yüksek ısının neden olacağı kayıpları önlemek için elverişlidir.	Nkhili vd., 2009.
Pitaya (<i>Hylocereus undatus</i> L.)	Betalain	100 W, 35 °C, 8 dk.	9 mg/L betalain özütlenmiştir. Sıcaklık ve örnek miktarı arttıkça özütlemeye verimi artmıştır.	Thirugnanasambandham ve Sivakumar, 2017.

KAYNAKLAR

Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction

techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, 62, 239-250.

Álvarez, A., Poejo, J., Matias, A. A., Duarte, C. M., Cocero, M. J., Mato, R. B. (2017). Microwave

- pretreatment to improve extraction efficiency and polyphenol extract richness from grape pomace. Effect on antioxidant bioactivity. *Food Bioprod Process*, 106, 162-170.
- Baki, S., Tufan, A. N., Altun, M., Özgökçe, F., Güçlü, K., Özyürek, M. (2018). Microwave-assisted extraction of polyphenolics from some selected medicinal herbs grown in Turkey. *Rec Nat Prod*, 12, 29-39.
- Ballard, T. S., Mallikarjunan, P., Zhou, K., O'Keefe, S. (2010). Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidant compounds from peanut skins. *Food Chem*, 120(4), 1185-1192.
- Barba, F. J., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A. S., Orlien, V. (2016). Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: a review. *Trends Food Sci Tech*, 49, 96-109.
- Bayramoglu, B., Sahin, S., Sumnu, G. (2008). Solvent-free microwave extraction of essential oil from oregano. *J Food Eng*, 88(4), 535-540.
- Bagherian, H., Ashtiani, F. Z., Fouladitajar, A., Mohtashamy, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chem Eng Process: Process Intensification*, 50(11-12), 1237-1243.
- Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş ekstraksiyon teknikleri I. Hacettepe Üniversitesi. *Eċ Fak Derg*, 32(2), 209-242.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T. (2013). Microwave food processing—A review. *Food Res Int*, 52(1), 243-261.
- Chaturvedi, A. K. (2018). Extraction of Nutraceuticals from Plants by Microwave Assisted Extraction. *Sys Rev Pharm*, 9(1).
- Chen, Q., Hu, Z., Yao, F. Y. D., Liang, H. (2016). Study of two-stage microwave extraction of essential oil and pectin from pomelo peels. *LWT-Food Sci Tech*, 66, 538-545.
- Choi, I. L., Choi, S. J., Chun, J. K., Moon, T. W. (2006). Extraction yield of soluble protein and microstructure of soybean affected by microwave heating. *J Food Process Pres*, 30(4), 407-419.
- Dahmoune, F., Nayak, B., Moussi, K., Remini, H., Madani, K. (2015). Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Myrtus communis* L. leaves. *Food Chem*, 166, 585-595.
- Villanueva, M., Harasym, J., Muñoz, J. M., Ronda, F. (2018). Microwave absorption capacity of rice flour. Impact of the radiation on rice flour microstructure, thermal and viscometric properties. *J Food Eng*.
- Eskilsson, C. S., Björklund, E. (2000). Analytical-scale microwave-assisted extraction. *J Chromatogr A*, 902(1), 227-250.
- Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., Visinoni, F. R. A. N. C. O., Vian, M. A., Chemat, F. (2008). Solvent free microwave extraction of essential oils. Green chemistry in the teaching laboratory, *Chim Oggi*, 21-23.
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., Chemat, F. (2014). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: from laboratory to pilot and industrial scale. *Food Chem*, 150, 193-198.
- Flórez, N., Conde, E., Domínguez, H. (2015). Microwave assisted water extraction of plant compounds. *J Chem Technol Biot*, 90(4), 590-607.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S. (2014). Enhancement of microwave-assisted extraction via intermittent radiation: Extraction of carotenoids from carrot peels. *J Food Eng*, 126, 17-26.
- Hosseini, S. F., Zandi, M., Rezaei, M., Farahmandghavi, F. (2013). Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: preparation, characterization and in vitro release study. *Carbohydr Polym*, 95(1), 50-56.
- Ince, A. E., Sahin, S., Sumnu, G. (2014). Comparison of microwave and ultrasound-assisted extraction techniques for leaching of phenolic compounds from nettle. *J Food Sci Tech*, 51(10), 2776-2782.
- Konak, Ü. İ., Certel, M., Helhel, S. (2009). Gıda sanayisinde mikroalgla uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 20-31.

- Krishnan, R. Y., & Rajan, K. S. (2016). Microwave assisted extraction of flavonoids from *Terminalia bellerica*: study of kinetics and thermodynamics. *Sep Purif Technol*, 157, 169-178
- Kumar, S., Sivakumar, M., Ruckmani, K. (2016). Microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Cyphomandra betacea* and its biological activities. *Int J Biol Macromol*, 92, 682-693.
- Li, Y., Fabiano-Tixier, A. S., Abert-Vian, M., Chemat, F. (2012). Microwave-assisted extraction of antioxidants and food colors. *Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds*, Springer:Boston, MA., ISBN; 978-1-4614-4830-3.
- Liaqid, A., Guerrero, R. F., Cantos, E., Palma, M., Barroso, C. G. (2011). Microwave assisted extraction of anthocyanins from grape skins. *Food Chem*, 124(3), 1238-1243.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., Sridhar, R. (2014). Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydr Polym*, 101, 786-791.
- Mandal, V., Mohan, Y., Hemalatha, S. (2007). Microwave assisted extraction—an innovative and promising extraction tool for medicinal plant research. *Pharmacogn rev*, 1(1), 7-18.
- Meda, V., Orsat, V., Raghavan, V. (2017). Microwave heating and the dielectric properties of foods. In *The Microwave Processing of Foods* (Second Edition), Woodhead:Cambridge, ISBN; 978-0-08-100528-6.
- Nkhili, E., Tomao, V., El Hajji, H., El Boustani, E. S., Chemat, F., Dangles, O. (2009). Microwave-assisted water extraction of green tea polyphenols. *Phytochem Analysis*, 20(5), 408-415.
- Ochoa-Rivas, A., Nava-Valdez, Y., Serna-Saldívar, S. O., Chuck-Hernández, C. (2017). Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: effects in yield and functional properties of protein isolates. *Food Bioprocess Tech*, 10(3), 543-555.
- Orsat, V., Routray, W. (2018). Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids. *Water Extraction of Bioactive Compounds*; ISBN: 9780128096154.
- Osepchuk, J. M. (1984). A history of microwave heating applications. *IEEE Transactions on Microwave theory and Techniques*, 32(9), 1200-1224.
- Perino-Issartier, S., Abert-Vian, M., Chemat, F. (2011). Solvent free microwave-assisted extraction of antioxidants from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) food by-products. *Food Bioprocess Tech*, 4(6), 1020-1028.
- Phongthai, S., Lim, S. T., Rawdkuen, S. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties. *J Cereal Sci*, 70, 146-154.
- Pojić, M., Mišan, A., Tiwari, B. (2018). Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. *Trends Food Sci Tech*.
- Ranic, M., Nikolic, M., Pavlovic, M., Buntic, A., Siler-Marinkovic, S., Dimitrijevic-Brankovic, S. (2014). Optimization of microwave-assisted extraction of natural antioxidants from spent espresso coffee grounds by response surface methodology. *J Clean Prod*, 80, 69-79.
- Regier, M., Knoerzer, K., Schubert, H. (Eds.). (2016). *The microwave processing of foods*. Woodhead:Cambridge.
- Roelvink, J., Trabelsi, S., Nelson, S. O. (2013). A planar transmission-line sensor for measuring the microwave permittivity of liquid and semisolid biological materials. *IEEE T Instrum Meas*, 62(11), 2974-2982.
- Routray, W., Orsat, V. (2012). Microwave-assisted extraction of flavonoids: a review. *Food Bioprocess Tech*, 5(2), 409-424.
- Seoane, P. R., Flórez-Fernández, N., Piñeiro, E. C., González, H. D. (2018). Microwave-Assisted Water Extraction. *Water Extraction of Bioactive Compounds*; ISBN: 9780128096154.
- Sevindik, O., Selli, S. (2017). Üzüm çekirdek yağı eldesinde kullanılan ekstraksiyon yöntemleri. *GIDA*, 42(1).
- Simić, V. M., Rajković, K. M., Štojičević, S. S., Veličković, D. T., Nikolić, N. Ć., Lazić, M. L.,

- Karabegović, I. T. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of total polyphenolic compounds from chokeberries by response surface methodology and artificial neural network. *Sep Purif Technol*, 160, 89-97.
- Spigno, G., De Faveri, D. M. (2009). Microwave-assisted extraction of tea phenols: a phenomenological study. *J Food Eng*, 93(2), 210-217.
- Swamy, G. J., Muthukumarappan, K. (2017). Optimization of continuous and intermittent microwave extraction of pectin from banana peels. *Food Chem*, 220, 108-114.
- Teo, C. C., Chong, W. P. K., Ho, Y. S. (2013). Development and application of microwave-assisted extraction technique in biological sample preparation for small molecule analysis. *Metabolomics*, 9(5), 1109-1128.
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., Maran, J. P. (2014). Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. *Carbohydr Polym*, 112, 622-626.
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., Maran, J. P. (2015). Microwave-assisted extraction of polysaccharides from mulberry leaves. *Int J Macromol*, 72, 1-5.
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V. (2017). Microwave assisted extraction process of betalain from dragon fruit and its antioxidant activities. *J Saudi Soc Agri Sci*, 16(1), 41-48.
- Tsubaki, S., Onda, A., Hiraoka, M., Fujii, S., Azuma, J. I., Wada, Y. (2018). Microwave-Assisted Water Extraction of Carbohydrates From Unutilized Biomass. *Water Extraction of Bioactive Compounds*; ISBN; 9780128096154.
- Tsubaki, S., Oono, K., Onda, A., Yanagisawa, K., Azuma, J. I. (2013). Comparative decomposition kinetics of neutral monosaccharides by microwave and induction heating treatments. *Carbohydr Res*, 375, 1-4.
- Uslu, M. K., Certel, M. (2006). Dielektrik ısıtma ve gıda işlemede kullanımı. *Teknolojik Araştırmalar GTED*, 3(1), 61-69.
- Xia, T., Zhang, C., Oyler, N. A., Chen, X. (2013). Hydrogenated TiO₂ nanocrystals: a novel microwave absorbing material. *Adv Mater*, 25(47), 6905-6910.
- Xu, M., Yao, X., & Wang, J. (2017). Study on Extraction Technology of Polysaccharides from Jujube by Microwave Method. *OALib Journal*, 4(03), 1.
- Yang, Z., Zhai, W. (2010). Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob and identification with HPLC-MS. *Innov Food Sci Emerg*, 11(3), 470-476.