



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.03.2022  
Kabul Tarihi : 14.07.2022

Received Date : 23.03.2022  
Accepted Date : 14.07.2022

### FARKLI RENK KARABİBER ESANSİYEL YAĞLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ: ÖN İŞLEM MİKRODALGA UYGULAMASININ ETKİSİ

#### CHARACTERISTICS OF DIFFERENT COLORED BLACK PEPPER ESSENTIAL OILS: EFFECT OF PRETREATMENT MICROWAVE TREATMENT

Tuğba DEDEBAŞ<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-1663-0165)

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bolvadin Meslek Yüksekokulu Gıda Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Tuğba DEDEBAŞ, tugbadedebas@gmail.com

#### ÖZET

Bu çalışmada, siyah ve yeşil renkli karabiber tohumlarından uçucu yağların ekstraksiyonunda mikrodalga ekstraksiyonu ile hidrodistilasyon yöntemi birlikte uygulanmış ve mikrodalga enerjisinin uçucu yağ verimi ve uçucu yağların biyoaktif bileşimi üzerine etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla hidrodistilasyon işlemi öncesi siyah ve yeşil renkli karabiber çeşitlerine 350 ve 500 W'lık farklı mikrodalga gücü uygulanmıştır. Mikrodalga gücünün siyah ve yeşil renkli karabiber uçucu yağ oranı ve bileşenleri üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen karabiber yağlarının verimi 350 W'da sırasıyla %1,63 ve %2,56 olarak bulunurken 500W'da %2,59 ve %3,32 olduğu ve mikrodalga gücü arttıkça verimde artış olduğu tespit edilmiştir. Esansiyel yağların uçucu bileşenlerinin tanımlanması amacıyla gaz kromatografisi kütle spektrometresi (GC-MS) kullanılmıştır. Siyah ve yeşil renkli karabiber yağında baskın bileşenler trans-karyofilen, delta-3-karen, d- limonen,  $\alpha$ - fellandren,  $\beta$ -pinen,  $\alpha$ -pinen,  $\alpha$ -kopaen, elemen, mirsen,  $\alpha$ -karyofilen,  $\alpha$ -humulen ve karyofilen oksit olarak tespit edilmiştir. Uygulanan mikrodalga gücü 350 W'dan 500 W çıkarıldığında monoterpen miktarında artış meydana gelirken seskiterpen miktarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tüm bu bulgular değerlendirildiğinde, yenilikçi bir teknoloji olan mikrodalga tekniğinin ekstraksiyon sürecini hızlandırabilmesi ve artan yağ verimleri gibi olumlu sonuçları nedeniyle uçucu yağların eldesinde hidrodistilasyon öncesinde kullanım için uygun ve etkili bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Piper nigrum* L., mikrodalga gücü, GC-MS, esansiyel yağ

#### ABSTRACT

In the present study, microwave extraction was implemented together with hidrodistillation method in extracting volatile oil from pepper seeds and the effect of microwave energy on volatile oil yield and bioactive composition of volatile oils was determined. Pepper seeds were subjected to 350 and 500W microwave energies before the hidrodistillation. It was found that microwave energy has significant effects on the volatile oil ratio and composition of black and green peppers. The yields of black and green peppers obtained at 350 W were found to be 1.63% and 2.56%, respectively, whereas they were found to be 2.59% and 3.32% at 500W; it was revealed that yield increased with increasing microwave energy. The dominant volatile components of oils were determined to trans-caryophyllene, delta-3-carene, d- limonene, phellandrene,  $\beta$ -pinene,  $\alpha$ -pinene,  $\alpha$ -copaen, elemene, myrcene,  $\alpha$ -caryophyllene and  $\alpha$ -humulene by using GC-MS. When increasing the microwave energy from 350 to 500W, the monoterpene content increased but sesquiterpene content decreased. Given all these findings, since microwave method that is an innovative technology offer various advantages such as accelerating the extraction process and increasing the oil yield, it is thought to be a suitable and effective method to be used before the hidrodistillation while producing volatile oils.

**Keywords:** *Piper nigrum* L., microwave , GC-MS, essential oil, hidrodistillation

ToCite: DEDEBAŞ, T., (2022). FARKLI RENK KARABİBER ESANSİYEL YAĞLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ: ÖN İŞLEM MİKRODALGA UYGULAMASININ ETKİSİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 212-221.

## GİRİŞ

Baharatlar, yiyecek ve içeceklere farklı tat, koku ve aroma kazandırmalarının yanı sıra tıbbi ve farmakolojik özelliklere de sahip olduğu bilinmektedir (Md. Abukawsar vd., 2018). Dünyada yaygın ve önemli bir baharat olan karabiber (*Piper nigrum* L.), Piper cinsine aittir ve özellikle Güney Hindistan, Malezya, Brezilya ve Endonezya gibi tropikal ve subtropikal bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir (Jelen ve Gracka, 2015; Alagawany vd., 2020; Bastos vd., 2020). Karabiber tohumlarının hasat edildikleri olgunluk düzeyine ve meyvelerin işleme yöntemine göre yeşil, siyah, kırmızı ve beyaz olarak dört farklı çeşidi bulunmaktadır (Liu vd., 2018; Md. Abukawsar vd., 2018; Favre vd., 2020). Karabiber, olgunlaşmamış yeşil meyvelerin buruşuk bir kabuk oluşana kadar kurutulmasıyla üretilirken olgun meyvelerden posanın ayrılmasıyla acılık düzeyi diğer çeşitlere göre daha az olan ‘beyaz biber’ elde edilmektedir. Yeşil biber ise ham meyvelerin, kimyasal yollarla enzimlerinin durdurularak, kurutulması sonucunda üretilen ve kendine özgü bir meyve aromasına sahip tohumlardır. (Perakis, Louli ve Magoulas 2005; Agbor vd., 2006; Baser 2018; Favre vd. 2020; Zhang vd., 2021).

Karabiber meyvelerinde %1,0-2.5 oranında uçucu yağ ve %5-9 oranında karabiberin keskin aromasından sorumlu alkaloid bileşikler bulunmaktadır; bunlar arasında piperin, chavisin, piperidin ve piperetin başlıca biyoaktif bileşiklerdir (Wang vd., 2018; Prabhu vd., 2015; Rakmai vd., 2017). Karabiber tohumlarından farklı yöntemlerle elde edilen karabiber yağında ayrıca;  $\alpha$ - ve  $\beta$ -pinen, sabinen, mirsen, para-simen,  $\beta$ -seskifellandren,  $\alpha$ -fellandren, dihidrokarvon,  $\beta$ -karyofilen, karyofilen oksit, limonen ve delta-3-karen gibi terpenoidler, fenoller, alifatik ve aromatik ester bileşenleri bulunmaktadır ve ana bileşeni  $\beta$ -karyofilen’dir. Karabiber yağının yapısında bulunan uçucu bileşenler antibakteriyel, antifungal, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelere sahip olduğundan dolayı karabiber yağı gıda, kozmetik ve farmakoloji gibi uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Liu vd., 2018; Tran vd., 2019. Dima vd., 2014; Gasparetto vd., 2017; Amalraj vd., 2021).

Bitkisel dokulardan uçucu yağların ekstraksiyonunda buharla damıtma, hidrodistilasyon, presleme, vakum distilasyonu ve çözücü ekstraksiyonu gibi geleneksel yöntemler kullanılmaktadır (Bakkali vd., 2008). Fakat geleneksel yöntemler düşük ekstraksiyon verimi ve uzun işlem süresi gerekliliği gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle son yıllarda süperkritik akışkan ekstraksiyonu, yüksek basınç çözücü ekstraksiyonu, mikrodalga destekli ekstraksiyon ve ultrasonik destekli ekstraksiyon gibi gelişmekte olan yenilikçi yöntemler hızlı, ekstraksiyon süresi daha kısa, daha az solvent ve enerji gerektiren, güvenli ve “yeşil ve çevre dostu” oldukları için tercih edilmektedir. (Martinelli vd., 2017; Dursun Çapar vd., 2021). Bu yöntemler arasından, mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi, mikrodalga enerjisi yardımıyla ekstraksiyon sağlayarak çözücü etkinliğini ve ekstraksiyon verimini arttırdığı için en çok uygulanan yöntemlerinden birisidir (Dursun Çapar vd., 2021). Mikrodalga destekli ekstraksiyon yönteminde bitki hücresi içindeki su gibi polar moleküller iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgalar yardımıyla buharlaştırılarak bitki hücre duvarlarında bir basınç oluşturmaktadır. Bu durum sonucunda hücre duvarı zarar görmesi nedeniyle hedeflenen bileşiklerin adsorpsiyonu ve desorpsiyonu sağlanarak ekstraksiyon verim süreci hızlandırılmaktadır (Dursun Çapar vd., 2021; Daud vd., 2022). Bu nedenle, bu çalışmada, siyah ve yeşil renkli karabiber tohumlarından uçucu yağların ekstraksiyonunda mikrodalga ekstraksiyonu ile hidrodistilasyon yöntemi uygulanmış ve uçucu yağ verimi üzerine mikrodalga gücünün etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda ekstrakte edilen yeşil ve siyah renkli karabiber yağların biyoaktif bileşikleri üzerine mikrodalga enerjisinin etkisi gaz GC-MS yöntemiyle belirlenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

Siyah ve yeşil renkli karabiberlerin (*P. nigrum*) taze ve sağlıklı meyveleri Kayseri’deki yerel bir aktardan satın alınmıştır (Şekil 1.) Meyveler laboratuvar öğütücüsü (IKA A10 laboratuvar öğütücüsü, Almanya) ile öğütülmüş ve kullanımdan önce karanlıkta oda sıcaklığında saklanmıştır.



Şekil 1. Siyah ve Yeşil Renkli Karabiber Tohumları

### **Karabiber Çeşitlerinden Esansiyel Yağ Üretimi**

Yeşil ve siyah renkli karabiber uçucu yağlarının eldesin de ön ekstraksiyon işlemi olarak sıcaklığı 10°C'nin altında tutmayı sağlayan sıcaklık sensörü ile donatılmış bir mikrodalga ekstraksiyon sistemi (Mars 6 Extraction, CEM, ABD) kullanılmıştır. Öğütülmüş tohumlar ve çözücü 35 mL'lik bir mikrodalga kabına yerleştirilerek 350 ve 500W gücünde mikrodalga enerjisi (mikrodalga sadece ısıtma içindi) uygulanarak clevenger düzeneğine iletilmiştir. Mikrodalga uygulanmış örnekler clevenger düzeneğinin cam ekstraksiyon haznesine konularak 1:10 (w/w) oranında su ilave edilip 6 saat süreyle damıtma ile esansiyel yağ elde edilmiştir. Ekstrakte edilen karabiber uçucu yağları kahverengi şişelere konularak analiz edilinceye kadar -80 °C'de saklanmıştır. Denklem 1, Yeşil biber ve karabiber uçucu yağlarının veriminin hesaplanmasını göstermektedir (Dinh vd., 2020).

Yeşil ve karabiber uçucu yağlarının verimleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\text{Verim (V)\%} = \frac{\text{We (Ekstrakte edilen yağın ağırlığı)}}{\text{Öğütülen tohumların kuru ağırlığı}} \times 100 \quad (1)$$

### **Uçucu Bileşenlerin Belirlenmesi**

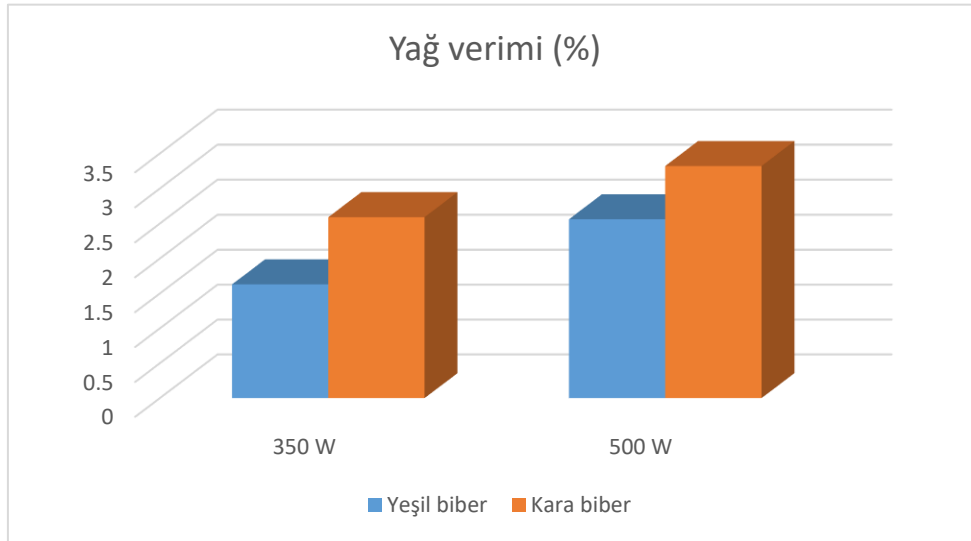
Yeşil ve siyah renkli karabiber yağı numunelerinde uçucu bileşenlerin miktar analizi Triplus HS Autosampler, Thermo Scientific Trace 1300 GC, Thermo Scientific- ISQ7000 single Quadrupole Mass Spectrometer (Thermo Fisher Scientific Inc. Waltham, Massachusetts, USA) sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yönteme göre, homojenize edilmiş minimum 1 g numune üzerine 10 mL n-hekzan eklenip karıştırılarak autosampler ile GC-MS cihazına enjekte edilmiştir. Kromatografik ayırım için analitik kolon olarak Trace GOLD TG-624SilMS GC (Thermo Fisher Scientific Inc. Waltham, Massachusetts, USA, UHPLC kolonu, 30 m x 0.25 mm x 1.4 µm) kullanılmıştır. Helyum taşıyıcı gazın akış hızı 1.5 mL/dakika ve enjeksiyon sıcaklığı 180 °C olarak belirlenmiştir. Cihazın fırın sıcaklık programı 35°C' de 2 dakika bekledikten sonra 220°C' ye dakikada 5°C' lik artışla ve 220°C' de 1 dakika bekleme şeklinde ayarlanmıştır. Cihazın dedektör sıcaklığı 280°C olarak ayarlanmıştır. İyonlaşma enerjisi 70 eV' dur. Kromatografik değerlendirmeler Xcalibur yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bileşikler, Willey 1n.1 ve NIST 0.5 (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) veri tabanında bildirilen Satürn spektrumlarına dayalı olarak karşılaştırma yoluyla tanımlanmıştır. Tanımlanan her bileşik için ana, moleküler ve niteleyici iyonlar seçilmiştir (Wang vd., 2018).

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **Ekstraksiyon Verimi**

Tohum ve bitkisel dokulardan yağın elde edilmesinde yağ verimi en önemli parametrelerden bir tanesidir. Siyah ve yeşil renkli karabiber tohumlarından hidrodistilasyon yöntemiyle uçucu yağların elde edilmesinde ısıtma ve kısmi ekstraksiyon amaçlı farklı oranlarda (350 ve 500 W) mikrodalga güçleri uygulanmış ve farklı renkteki karabiber uçucu yağlarının verimi üzerine mikrodalga gücünün etkisi belirlenmiştir. Mikrodalga hidrodistilasyon gücü ile ekstraksiyon yönteminde mikrodalğanın ekstraksiyon materyali ile etkileşimi nedeniyle verimliliği etkileyen önemli bir unsurdur (Mande ve Sekar, 2021). Yapılan çalışma sonucunda yeşil renkli karabiber uçucu yağının verimi uygulanan mikrodalga gücü 350 W'dan 500 W'a yükseltildiğinde %1,63'den %2,59'a; siyah renkli karabiber uçucu yağında ise %2,56'dan %3,32'e çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 2). Benzer şekilde Mande ve Sekar (2021) tarafından

yapılan bir çalışma da mikrodalga destekli hidrodistilasyon yöntemiyle yağ ekstraksiyon yönteminde uygulanan mikrodalga gücünün 160'tan 800 W'a yükselttiğimizde çıkarılan uçucu yağın ekstraksiyon yüzdesinde mikrodalga enerjisinin absorpsiyonu ile numune arasında daha yüksek ısı oluşumuna neden olduğundan yağ veriminde %2.1'den %3.3'e bir artış olduğunu belirtilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada ise agarwood bitkisinden yağ eldesinde 300, 450 ve 600 W'lık mikrodalga gücünün uygulanması sonucunda 300 ve 450 W'lık mikrodalga güçlerinde mikrodalga gücünün yağ bezlerine zarar vermeyecek kadar küçük olmasından dolayı 600 W'lık güce göre daha az bir verim elde edildiği bildirilmiştir (Kusuma vd., 2019). Wang vd. (2018) yapmış olduğu çalışmada; beyaz ve siyah renkli karabiber uçucu yağlarının verimleri, ultrason ve mikrodalga enerjisinin birlikte uygulandığı mikrodalga destekli çözücüsüz yapılan ekstraksiyon yönteminde yağ veriminin arttığı tespit edilmiştir. Amarni ve Kadi (2010) tarafından yapılan çalışmada zeytin küspesinden yağın eldesinde mikrodalga gücünün artmasıyla sıcaklığın yükseldiği böylece ekstraksiyon veriminin arttığı bildirilmiştir. Panjaitan vd. (2021) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, 300 W–400 W mikrodalga güç aralığında yağa uygulanan yüksek mikrodalga gücünde yüksek bir verim elde edilirken sıcaklığın artması sonucunda ise ekstraksiyon veriminde önemli bir düşüşe neden olduğunu belirtilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, mikrodalga ısıtma ve hidrodistilasyon ekstraksiyon yöntemi birlikte uygulandığında karabiber tohumlarının doku hücrelerinde bulunan suyun mikrodalga enerjisiyle ani ısınması sonucunda dokularda bulunan uçucu yağ hızlı ve tamamen ekstrakte edildiği için uçucu yağ veriminde önemli bir artışın olduğu belirlenmiştir (Wang vd., 2009; Elyemni vd., 2021). Ayrıca yağ ekstraksiyonu öncesi ısıtma amacıyla uygulanan mikrodalga işlemi, yağın kütle transferinin yoğunlaşmasına, mükemmel termal etki ile hücre yapısının bozularak ekstraksiyon sürecini hızlandırılmasına ve yüksek bir mikrodalga gücünün etkisiyle damıtma sıcaklığında meydana gelen sıcaklığın etkisiyle yağ veriminin artması gibi olumlu sonuçlar oluşturmaktadır (Chen vd., 2010; Chen vd., 2016; Wang vd., 2018; Boudraa vd., 2021).



Şekil 2. 350 ve 500 W Mikrodalga Gücünde Uçucu Yağ Verimleri

### Uçucu Yağ Bileşenleri

Farklı mikrodalga gücü uygulanarak hidrodistilasyon yöntemiyle siyah ve yeşil renkli karabiber tohumlarından elde edilen uçucu yağların kimyasal bileşim profilleri GC–MS yöntemiyle belirlenmiştir ve yağların uçucu bileşen miktarları % konsantrasyon olarak Tablo 1 ve 2 'de gösterilmiştir. Elde edilen yeşil renkli ve siyah renkli karabiber yağlarında >% 0,1 alan konsantrasyonuna sahip monoterpenler ve seskiterpenlerden oluşan toplam 37 bileşene sahip olduğu belirlenmiştir ve uçucu yağların sırasıyla %99'unu temsil etmektedir. Hem yeşil hem de siyah renkli karabiber yağının majör uçucu bileşeni trans-karyofilenidir. Bununla birlikte karabiber yağında trans-karyofilenin yanısıra delta-3-karen, d- limonen,  $\alpha$ - fellandren,  $\beta$ -pinen,  $\alpha$ -pinen,  $\alpha$ -kopaen, elemen, mirsen,  $\alpha$ -karyofilen,  $\alpha$ -humulen ve karyofilen oxide olmak üzere 11 ana bileşen belirlenmiştir. Md. Abukawsar vd., (2018), Wang vd., (2018) ve Chandran vd., (2017) tarafından yapılan çalışmalarda karabiber uçucu yağının kimyasal bileşiminin elde ettiğimiz sonuçlar ile benzer nitelikte sahip olduğu belirlenirken trans- karyofilen içeriğinin (sırasıyla %18.39; %13.0 ve %15.65) farklı olduğu tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar ile yapılan çalışmalar arasındaki bu farklılığın, tanımlanan örneklerin kökenine, iklimine, kültür ve ekstraksiyon tipine bağlı olduğu düşünülmektedir (García-Díez vd., 2016; Chandran vd., 2017; Orchard vd., 2017).

Farklı oranlarda (350W ve 500W) mikrodalga gücü uygulanarak elde edilen siyah renkli karabiber uçucu yağının Delta-3-karen (21,51 >17,14), limonen (%15,59 > %13,12),  $\beta$ -pinen (%8,52 > %7,50), ve  $\alpha$ -pinen (%3,90 > %3,66) gibi monoterpenleri yeşil renkli karabiber uçucu yağına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan ise yeşil renkli karabiber uçucu yağında ise daha yüksek miktarlarda seskiterpen (trans-karyofilen,  $\alpha$ -elemen,  $\alpha$ -humulene ve  $\alpha$ -kopaen) belirlenmiştir. Bununla birlikte her iki yağ örneğinde de uygulanan mikrodalga gücü 350 W`dan 500 W çıkarıldığında monoterpen miktarında artış meydana gelirken seskiterpen miktarında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 1,2). Wang vd. (2018) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise beyaz ve siyah renkli karabiber tohumlarından uçucu yağ eldesinde ultrason ve mikrodalga enerjisinin birlikte uygulandığı ultrason-mikrodalga destekli ekstraksiyon yönteminde genel olarak elde edilen karabiber yağlarında limonen dışında monoterpen ve seskiterpen içeriklerinin diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Wang vd., 2018). Yapılan diğer bir çalışmada mikrodalga destekli hidrodistilasyon yöntemiyle *O. vulgare* L. spp. *hirtum* bitkisinden farklı mikrodalga gücü uygulanarak elde edilen uçucu yağ örneklerde mikrodalga gücü arttıkça hidrokarbon monoterpenlerin termal parçalanma ürünleri olan oksijenli monoterpen içeriğinde artış olduğu belirlenmiştir (Drinić vd., 2020). Bunun nedeni mikrodalga uygulamasının bazı terpenlerin yapısında bulunan çift bağların pozisyon konfigürasyonunda değişikliklere neden olduğundan dolayı mikrodalga gücü arttıkça seskiterpen miktarlarında bir azalma meydana geldiği düşünülmektedir (Plessi vd., 2002). Bununla birlikte mikrodalga radyasyonu, oksijen içeren polar moleküllerin yağdan kolayca ayrılmasını sağlamaktadır (Tran vd., 2018).

## SONUÇ

Çalışmada farklı mikrodalga gücü uygulanarak mikrodalga destekli hidrodistilasyon yöntemi ile elde edilen siyah ve yeşil renkli karabiber esansiyel yağlarının karakteristik bazı özellikleri ve mikrodalga gücünün yağ verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda, hem siyah hem de yeşil renkli karabiberlerden elde edilen uçucu yağların verimleri mikrodalga gücünün 350W`dan 500 W`a yükseltilmesi ile bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Ön işlem olarak uygulanan mikrodalga işlemi sonucunda yeşil ve siyah renkli karabiber yağında bulunan uçucu aroma bileşenlerinden monoterpenlerin miktarında mikrodalga gücünün yükseltilmesiyle birlikte % konsantrasyonunda artış meydana gelirken seskiterpen miktarında ise özellikle karabiber uçucu yağlarının baskın bileşeni olan trans karyofilenin miktarında düşüş olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında son yıllarda çevre dostu yenilikçi bir teknoloji olan mikrodalga tekniği ekstraksiyon sürecini hızlandırabilmesi ve artan yağ verimleri gibi olumlu sonuçlar oluşturması nedeniyle uçucu yağların eldesinde hidrodistilasyon öncesinde ısıtma amaçlı kullanım için uygun ve etkili bir yöntemdir. Bununla birlikte uygulanan mikrodalga işlemi sonrası yağ numuneleri iyi bir kaliteye sahiptir. Bu nedenle mikrodalga işlemi diğer bitki materyallerinin ekstraksiyonu için uygulanabilir bir yöntemdir. Bu aşamadan sonra uçucu yağların bitkisel dokularda az miktarda bulunması nedeniyle mikrodalga enerjisi ile hidrodistilasyon yöntemi birlikte kullanılarak ısı etkisiyle uçucu bileşenlerin zarar görmesi engellenebilir. Öte yandan yüksek dalga boyunda mikrodalga enerjisi yağlarda ısınmaya neden olduğu için bu konu geliştirilerek endüstriyel alanda kullanılabilir.

**Tablo 1.** Farklı Mikrodalga Gücü Kullanılarak Elde Edilen Siyah Renkli Esansiyel Yağında Bulunan Uçucu Bileşenler

Tespit edilen bileşenler	Konsantrasyon (%)	
	350 W	500 W
$\alpha$ -Thujen	0.03	0.04
$\alpha$ -Pinen	3.90	4.74
$\beta$ -Pinen	8.52	9.85
$\alpha$ -Mirsen	1.43	1.49
I-Fellandren	2.12	2.31
Delta-3-Carene	21.51	22.07
o-Simen	0.78	0.75
dI-Limonen	15.59	16.25
$\zeta$ -Terpinen	0.15	0.14
$\alpha$ -Terpinolen	0.71	0.72
$\alpha$ -Linalol	0.36	0.37
p-Mentha-1,5-dien-8-ol	0.09	0.10
4-Terpineol	0.13	0.16
$\alpha$ -Fenchyl alcohol	0.11	0.14
Sabinol	0.11	0.12
n-Dodecane	0.08	0.16
Piperitone	0.03	0.04
n-Tetradecane	0.07	0.12
$\alpha$ -Elemen	2.93	2.53
$\alpha$ -Kububen	0.11	0.09
$\alpha$ -Kopaen	2.16	1.84
Germacrene-D	0.12	0.09
$\alpha$ -Gurjunene	0.06	0.08
trans-Karyofilen	31.81	28.76
$\alpha$ -Humulene	1.52	1.36
$\alpha$ -Selinene	0.86	0.91
$\alpha$ -Bisabolene	0.19	0.20
$\alpha$ -Kadinen	1.06	1.03
Karyofilen oksit	1.10	1.07
Isospathulenol	0.13	0.13
n-Hexadecane	0.08	0.13
Spathulenol	1.02	0.88
n-Heptadecane	0.08	0.22
n-Nonadecane	0.03	0.12
n-Docosane	0.09	0.10
n-Heptacosane	0.12	0.06
Diğer Bileşikler	0.81	0.84
<b>Toplam</b>		<b>100</b>

**Tablo 2.** Farklı Mikrodalga Gücü Kullanılarak Elde Edilen Yeşil Renkli Esansiyel Yağında Bulunan Uçucu Bileşenler

Tespit edilen bileşenler	Konsantrasyon (%)	
	350 W	500 W
$\alpha$ -Thujen	0.02	0.02
$\alpha$ -Pinen	3.66	4.03
$\beta$ -Pinen	7.50	8.16
$\alpha$ -Mirsen	1.33	1.36
I-Fellandren	2.33	2.40
Delta-3-Carene	17.14	17.29
o-Simen	0.34	0.36
dI-Limonen	13.12	13.55
$\zeta$ -Terpinen	0.12	0.12
$\alpha$ -Terpinolen	0.69	0.68
$\alpha$ -Linalol	0.27	0.33
p-Mentha-1,5-dien-8-ol	0.04	0.03
4-Terpineol	0.06	0.06
$\alpha$ -Fenchyl alcohol	0.09	0.05
Sabinol	0.04	0.03
n-Dodecane	0.08	0.07
Piperitone	0.03	0.03
n-Tetradecane	0.05	0.04
$\alpha$ -Elemen	4.69	4.42
$\alpha$ -Kububen	0.09	0.09
$\alpha$ -Kopaen	1.81	1.81
Germacrene-D	0.12	0.13
$\alpha$ -Gurjunene	0.05	0.05
trans-Karyofilen	39.90	38.23
$\alpha$ -Humulene	1.90	1.81
$\alpha$ -Selinene	0.57	0.59
$\alpha$ -Bisabolene	0.09	0.10
$\alpha$ -Kadinen	1.04	0.91
Karyofilen oksit	1.06	0.96
Isospathulenol	0.14	0.16
n-Hexadecane	0.06	0.07
Spathulenol	0.65	0.77
n-Heptadecane	0.08	0.09
n-Nonadecane	0.04	0.04
n-Docosane	0.06	0.05
n-Heptacosane	0.03	0.04
Diğer Bileşikler	0.91	0.89
<b>Toplam</b>		<b>100</b>

## KAYNAKLAR

- Alagawany, M., Salah, A.S., Mahmoud, M.A. & Reda, F.M. (2020). Dietary cold-pressed red and black pepper oil mixture enhances growth, carcass, blood chemistry, antioxidant, immunity and caecal pathogens of quails. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104, 1712–1718.
- Agbor, G.A., Vinson, J.A., Oben, J.E. & Ngogang, J.Y. (2010). Comparative analysis of the in vitro antioxidant activity of white and black pepper. *Nutrition Research*, 26(12):659-663. 10.1016/j.nutres.2006.09.019.
- Amalraj, A., Raj, K.K.J., Haponiuk, J.T., Sabu Thomas, S. & Gopi, S. (2020). Preparation, characterization, and antimicrobial activity of chitosan/gum arabic/polyethylene glycol composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil as potential packaging and wound dressing materials. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3, 485–497.

- Amarni, F. & Kadi H. (2010). Kinetics study of microwave-assisted solvent extraction of oil from olive cake using hexane Comparison with the conventional extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11 (2), 322–327. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.01.002>.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils- A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46 (2), 446-475. <http://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.
- Baser, K.H.C. (2019). Bb 78 karabiber. <https://www.researchgate.net/publication/331398810>.
- Bastos, L.P.H., Vicente, J., dos Santos, C.H.C., de Carvalho, M.G. & Garcia-Rojas, E.E. (2020). Encapsulation of black pepper (*Piper nigrum* L.) essential oil with gelatin and sodium alginate by complex coacervation. *Food Hydrocolloids*, 102, 105605.
- Boudraa H., Kadri N., Mouni L. & Madani K. (2021) Microwave-assisted hydrodistillation of essential oil from fennel seeds: Optimization using Plackett–Burman design and response surface methodology. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 23,100307.
- Chandran, J., Nayana, N., Roshini, N. & Nisha, P. (2017). Oxidative stability, thermal stability and acceptability of coconut oil flavored with essential oils from black pepper and ginger. *Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 144-152.
- Chen, F., Zhang, X., Zhang, Q., Du, X., Yang, L., Zu, Y. & Yang, F. (2016). Simultaneous synergistic microwave–ultrasonic extraction and hydrolysis for preparation of trans-resveratrol in tree peony seed oil-extracted residues using imidazolium-based ionic liquid. *Industrial Crops and Products*, 94, 266-280.
- Chen, Y., Gu, X., Huang, S-Q., Li, J., Wang, X. & Tang, J. (2010). Optimization of ultrasonic/microwave assisted extraction (UMAE) of polysaccharides from *Inonotus obliquus* and evaluation of its anti-tumor activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 46, 429–435.
- Daud, N.M., Putra, N.R., Jamaludin, R., Md Norodin, N.S., Sarkawi, N.S., Hamzah, M.H.S., Nasir, H.M., Zaidel, D.N.A. & Yunus, M.A.C. (2022). Valorisation of plant seed as natural bioactive compounds by various extraction methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 201-214. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.010>.
- Dima, C., Cotarlet, M., Tiberius, B., Bahrim, G., Alexe, P. & Dima, S. (2014). Encapsulation of coriander essential oil in beta-cyclodextrin: Antioxidant and antimicrobial properties evaluation. *Romanian Biotechnological Letters*, 19, 9128-9140.
- Dinh, P.N., Cam, H.D.T. & Quoc, T.P. (2020). Comparison of essential oil extracted from black pepper by using various distillation methods in laboratory scale. *Materials Science and Engineering*, 991, 012050 doi:10.1088/1757-899X/991/1/012050
- Drinić, Z., Pljevljakusić, D., Zivković, J., Bigović, D. & Šavikin, K. (2020). Microwave-assisted extraction of *O. vulgare* L. spp. *hirtum* essential oil: Comparison with conventional hydro-distillation. *Food and Bioprocess Technology*, 120, 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.01.011>.
- Dursun Capar T., Dedebaş, T., Yalçın, H. & Ekici, L. (2021). Extraction method affects seed oil yield, composition, and antioxidant properties of European cranberrybush (*Viburnum opulus*). *Industrial Crops and Products*, 168, 113632. Doi:10.1016/j.indcrop.2021.
- Elyemni M., Louaste B., El Ouadrhiri F., Bouia, A. & Eloutassi N. (2021). Application of response surface methodology to optimize the extraction of essential oil from *Rosmarinus officinalis* using microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 11(01), 129-136. Doi: 10.7324/JAPS.2021.110115.
- Favre, L.C., Rolandelli, G., Mshicileli, N., Vhangani, L.N., Ferreira, C dos S., Wyk, J. & Buera M del P. (2020). Antioxidant and anti-glycation potential of green pepper (*Piper nigrum*): Optimization of  $\beta$ -cyclodextrin-based extraction by response surface methodology. *Food Chemistry*, 316, 126280.
- García-Díez, J., Alheiro, J., A.L. Pinto, A.L., Soares, L., V.Falco, V., Fraqueza, M.C. & Patarata, L. (2016). Behaviour of food-borne pathogens on dry cured sausage manufactured with herbs and spices essential oils and their sensorial acceptability. *Food Control*, 59, 262-270.
- Gasparetto, A., Cruz, A.B., Wagner, T.M., Bonomini, T.J., Correa, R. & Malheiros, A. (2017). Seasonal variation in the chemical composition, antimicrobial and mutagenic potential of essential oils from *Piper cernuum*. *Industrial Crops & Products*, 95, 256–263.



- Hussain, A., Naz, S., Nazir, H. & Shinwari, Z. K. (2011). Tissue culture of black pepper (*Piper nigrum* L.) in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 43, 1069-1078.
- Jelen, H.H. & Gracka, A. (2015). Analysis of black pepper volatiles by solid phase microextraction–gas chromatography: A comparison of terpenes profiles with hydrodistillation. *Journal of Chromatography A*, 1418, 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.09.065>.
- Kusuma H.S., Putri D.K. Y., Triesty I. & Mahfud, M. (2019). Comparison of microwave hydrodistillation and solvent-free microwave extraction for extraction of agarwood oil. *Chiang Mai Journal of Science*, 46(4), 741-755
- Liu, H., Zheng, J., Liu, P. & Zeng, F. (2018). Pulverizing processes affect the chemical quality and thermal property of black, white, and green pepper (*Piper nigrum* L.). *Journal of Food Science Technology*, 55 (6), 2130-2142. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3128-8>.
- Martinelli, L., Rosa, J.M., Ferreira, C.dos S.B., da Luz Nascimento, G.M., Freitas, M.S., Pizato, L.C., Santos, W. de O., Pires, R.F., Okura, M.H., Malpass, G.R.P. & Granato, A.C. (2017). Antimicrobial activity and chemical constituents of essential oils and oleoresins extracted from eight pepper species. *Ciência Rural*, 47 (5), e20160899. [10.1590/0103-8478cr20160899](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160899).
- Mande, P. & Sekar, N. (2021). Comparative study of chemical composition, antibacterial and antioxidant activity of essential oils isolated from the seeds of *Amomum subulatum* by using microwave extraction and hydro-distillation methods. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100201>.
- Md. Abukawsar, M., Saleh-e-In, M.M., Ahsan, M.A., Rahim, M.M., Bhuiyan, M.N.H., Roy, S.K., Ghosh, A. & Naher, S. (2018). Chemical, pharmacological and nutritional quality assessment of black pepper (*Piper nigrum* L.) seed cultivars. *Food Biochemistry*, 42, e12590.
- Orchard, A., Sandasi, M., Kamatou, G., Viljoen, A. & Vuuren, S. (2017). The in vitro antimicrobial activity and chemometric modelling of 59 commercial essential oils against pathogens of dermatological relevance. *Chemistry & Biodiversity*, 14 (1), e1600218.
- Panjaitan, R., Mahfud, M., Cahyati, E. & Pujaningtyas, L. (2021). The study of parameters of essential oil extraction from black pepper seed using microwave hydrodistillation by modeling. *Earth and Environmental Science*, 749, 012032. [doi:10.1088/1755-1315/749/1/012032](https://doi.org/10.1088/1755-1315/749/1/012032).
- Plessi, M., Bertelli, D. & Miglietta, F. (2002). Effect of microwaves on volatile compounds in white and black pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 35 (3), 260-264.
- Perakis, C., Louli, V. & Magoulas, K. (2005). Supercritical fluid extraction of black pepper oil. *Journal of Food Engineering*, 71, 86–393.
- Prabhu, R.G.D., Kiran, C.R., Sundaresan, A., Mony, R.S. & Venugopalan, V.V. (2015). Process development studies for recovery of bio active isolates from spent black pepper generated from ayurvedic industry. *Industrial Crops and Products*, 66,144-149.
- Rakmai, J., Cheirsilp, B., Mejuto, J.C., Torrado-Agrasar, A. & Simal-Gàndara, J. (2017). Physico-chemical characterization and evaluation of bio-efficacies of black pepper essential oil encapsulated in hydroxypropyl-betacyclodextrin. *Food Hydrocolloids*, 65, 157-164.
- Tran, T.H., Ha, L.K., Nguyen,D.C., Dao, T.P., Nhan, L.T.H., Nguyen, D.H., Nguyen, T.D., Vo, D-V.N., Tran, Q.T. & Bach, L.G. (2019). The study on extraction process and analysis of components in essential oils of black pepper (*Piper nigrum* L.) seeds harvested in Gia Lai Province, Vietnam. *Processes*, 56,1-15.
- Tran, T.H., Nguyen, H.H.H., Nguyen, D.C., Nguyen, T.Q., Tan, H., Nhan, Le T.H., Nguyen, D.H., Tran, L.D., Do, S.T. & Nguyen, T.D. (2018). Optimization of microwave-assisted extraction of essential oil from vietnamese basil (*Ocimum basilicum* L.) using response surface methodology. *Processes*, 6, 206. [doi:10.3390/pr6110206](https://doi.org/10.3390/pr6110206)
- Zhang, C., Zhao, J., Famous, E., Pan, S., Peng, X. & Tian, J. (2021). Antioxidant, hepatoprotective and antifungal activities of black pepper (*Piper nigrum* L.) essential oil. *Food Chemistry*, 346, 128845.
- Wang, Y., Li, R., Jiang, Z-T., Tan, J., Tang, S-H., Li,T-T., Liang, L-L., He, H-J., Liu, Y-M., Li, J-T. & Zhang, X-C. (2018). Green and solvent-free simultaneous ultrasonic-microwave assisted extraction of essential oil from white and black peppers. *Industrial Crops & Products*, 114, 164-172.

Wang, Y., Jiang, Z-T. & Li, R. (2009). Composition comparison of essential oils extracted by hydrodistillation and microwaveassisted hydrodistillation from black pepper (*Piper nigrum* L.) grown in China. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 12(3), 374-380.