

Yeni Bir Mikrodalga Destekli Damıtma Sistemi ile Defne (*Laurus nobilis*) Bitkisinden Uçucu Yağ Elde Edilmesi

Extracting the Essential Oil from Laurel (*Laurus nobilis*) Plant with a New Microwave Assisted Distillation System


Habib DOĞAN^{1*}, Abdullah GENÇ², Muzaffer MUTLU³


Öz

Bu çalışmada, dünyadaki ticaret arzının %90'ı ülkemizden gerçekleştirilen Defne (*Laurus nobilis*) bitkisinin, geleneksel buharlı damıtma sistemiyle birlikte, endüstriyel tipte tasarlanan yeni bir mikrodalga destekli damıtma (MDD) sistemi kullanılarak uçucu yağları elde edilmiştir. Literatürdeki tıbbi ve aromatik bitkilerden mikrodalga (MD) desteğiyle damıtma yapılan çalışmalara bakıldığında ya küçük ölçekli laboratuvar cihazı ya da klasik MD fırınlara clevenger ilavesi yapılarak damıtma işleminin gerçekleştirildiği görülmektedir. Ancak, bitki miktarı artıkça elektromanyetik (EM) gücün bitkiye nüfuzu azalacağından dolayı bu küçük ölçekli MD destekli çalışmalar endüstriyel tip damıtma süreçleri için birebir model olmaktan uzak kalacaklardır. Bu amaçla bu çalışmada özgünlük olarak, MD gücün büyük ölçekli sistemlerdeki damıtma süreçlerine etkisini doğru bir şekilde modelleyebilmek için yeni bir endüstriyel tip MDD sistemi tasarlanıp test edilmiştir. Her bir testte 5 kg'lık bitki damıtılmakta olup tasarlanan MDD sisteminde 12 adet magnetron kullanılmıştır. Bu magnetronların farklı güçte çalışması kontrol devresiyle sağlanarak, MD gücünün uçucu yağ verimine ve uçucu yağ bileşenlerine etkileri gözlenmiştir. Yapılan testler sonucunda, MD desteği verilerek yapılan damıtma işlemlerinde, Linalool, Linalyle formate ve β -terpinyl acetate bileşenlerinde dramatik değişimler izlenmiştir. Geleneksel buhar damıtma (BD) sistemine göre uçucu yağ veriminde %10-24'lük bir artış elde edilmiş, süre 100 dk'dan 50 dk'ya düşürülmüştür. %26-35 arası daha az enerji harcanmış ve tüm bunların karşılığında bileşen bazında standart değerlerde uçucu yağ elde edilmiştir. Damıtılma sonucundaki uçucu yağ analizleri GC-MS analizi ile kimyasal olarak analiz edilmiş ve 64 farklı bileşen elde edilmiştir. Bunlardan 29 tanesinin gruplandırılmasıyla yapılan değerlendirmede, monoterpen-oksitlerin %55.68, monoterpen-hidrokarbonların ise %27.96 olduğu, kalan kısmın seskiterpen-oksit, seskiterpen-hidrokarbon ve fenolik bileşenlerden oluştuğu tespit edilmiştir. MW gücünün düşük olduğu testlerde monoterpen-oksitlerin azaldığı, MW gücü artıkça belli bir oranda yükseldiği tespit edilirken monoterpen-hidrokarbonlarda ise tam tersi bir durum izlenmiştir. Linalool ve linalyl formate bileşenleri MW gücüyle en çok değişen bileşenler olmuştur. Yapılan değerlendirmeler MW desteğinin, endüstriyel tip damıtma süreçlerinde uygulanmasının pozitif etkileri olacağı ve maliyetleri aşağı çekeceği yönündedir.

Anahtar Kelimeler: Defne, *Laurus nobilis*, Mikrodalga destekli damıtma, Uçucu yağ, Mikrodalga güç

¹*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Habib Doğan, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gölhisar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Bilişim Sistemleri ve Teknolojileri Bölümü, Gölhisar, Burdur, Türkiye. E-mail: hdogan@mehmetakif.edu.tr  ORCID: 0000-0001-8685-9569

²Abdullah Genç, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye. E-mail: abdullahgenc@isparta.edu.tr  ORCID: 0000-0002-7699-2822

³Muzaffer Mutlu, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Isparta, Türkiye. E-mail: muzaffermutlu@hotmail.com  ORCID: 0000-0002-3952-1853

Atıf: Doğan, H., Genç, A., Mutlu, M. (2025). Yeni bir mikrodalga destekli damıtma sistemi ile defne (*Laurus nobilis*) bitkisinden -uçucu yağ elde edilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 151-161.

Citation: Doğan, H., Genç, A., Mutlu, M. (2025). Extracting the essential oil from laurel (*Laurus nobilis*) plant with a new microwave assisted distillation system. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 22(1): 151-161.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayımlanmıştır. Tekirdağ 2025

Abstract

In this study, essential oils of Laurel plant (*Laurus nobilis*), 90% of the world trade supply of which is realized from our country, are obtained by using a new industrial-type microwave-assisted distillation (MWAD) system designed together with the traditional steam distillation system. When examining the studies in the literature on MW-assisted distillation from medicinal and aromatic plants, it is seen that the distillation process is carried out either with a small-scale laboratory device or by adding cleverger to conventional microwave (MW) ovens. However, since the penetration of electromagnetic (EM) power into the plant decreases with increasing plant size, these small-scale MW-assisted systems will remain far from being a one-to-one model for industrial-type distillation processes. For this purpose, in this work, a new MWAD system is designed and tested in order to accurately model the effect of MW power on distillation processes in large-scale systems, as a novelty. In each test, 5 kg of plant can be distilled and 12 magnetrons are used in the designed MWAD system. The operation of these magnetrons at different powers is ensured by a control circuit and the effects of MW power on essential oil yield (%) and essential oil components are observed. As a result of the tests, radical changes are observed in some components in the distillation processes performed with MW support. Compared to the traditional steam distillation (BD) system, a 10-24% increase in essential oil yield is achieved, and the time is reduced from 100 min to 50 min. 26-35% less energy is consumed and in return for all this, essential oil is obtained at standard values on a component basis. Essential oil analysis as a result of distillation is chemically analyzed by GC-MS analysis and 64 different components are obtained. In the evaluation made by grouping 29 of them, it is determined that oxygenated monoterpenes are 55.68%, hydrocarbon monoterpenes are 27.96%, and the remaining part consisted of oxygenated and hydrocarbon sesquiterpenes and phenolic components. In tests where low MW power is applied, it is determined that oxygenated monoterpenes decrease and MW power ability increases to a certain extent, while the opposite situation is observed for hydrocarbon monoterpenes. Linalool and linalyl formate components have become the most economical solution with MW power. Evaluations indicate that MW support will yield positive results in the industrial distillation spectrum and reduce costs.

Keywords: Laurel, *Laurus nobilis*, Microwave-assisted distillation, Essential oil, Microwave power

1. Giriş

Covid salgını sonrası bitkisel ürünlere olan talep aşırı şekilde artış göstermiştir. Bunun nedeni çok uzun zamanlardan beri doğal olarak bazı bitkilerin tıbbi amaçlarla yaygın bir şekilde kullanılması olduğu kadar, gelişen teknoloji ile birlikte bitkilerdeki sekonder metabolitlerin çok farklı amaçlar için kullanılabilmesinin ortaya çıkarılmasıdır. Tanenler, flavonoidler, alkaloidler, terpenoidler vs. yönünden çok zengin olan bitkilerde (Allal ve ark., 2019), sekonder metabolitler içerisinde yer alan uçucu yağlar günümüzde endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanların başında parfümeri, kozmetik, aroma, gıda koruma ve farmakoloji gibi alanlar dikkat çekmektedir.

Ülkemiz, tıbbi ve aromatik bitkiler açısından çok zengin bir coğrafyadadır. Neredeyse tüm Avrupa ülkelerinin sahip olduğu ~12 000 bitki çeşitliliği varken ülkemizde ~4 000'i endemik olmak üzere yaklaşık aynı sayıda bitkiye ev sahipliği yapmaktadır. Aynı zamanda birçok bitkinin en çok yetiştirildiği ve birçoğunun da endemik olarak sadece kendisinde bulunduğu bir gen merkezi konumundadır. Türkiye'nin Dünya çapında yetiştirilme miktarı ve ticaretinin yapıldığı bitkiler açısından liderliğini açık ara sürdürdüğü bir başka bitki de defne bitkisidir. Ticari veriler incelendiğinde dünyadaki defne arzının %90 oranında Türkiye'den yapıldığı, 2021 verilerine göre 45 000 ton defne yaprağı ihracatının gerçekleştirildiği görülmektedir (Anonim, 2022).

Defne, Lauraceae familyasına ait *Laurus* cinsinden, her daim yeşil kalan bir bitki olup ülkemizdeki türü "Akdeniz Defnesi" olarak adlandırılan *Laurus nobilis*'dir. Genel olarak Akdeniz havzasında yayılış gösteren bu bitki Ege ve Akdeniz kıyılarının tümü ile yoğunluklu olarak Orta Batı Karadeniz kıyılarında, deniz seviyesinden 1200 m yükseltisine kadar yetişmektedir (Karık ve ark., 2015). Yapılan çalışmalar defne yapraklarının antibakteriyel (Kara ve ark., 2020), anti-fungal (Aktepe ve ark., 2019), ağrı kesici, antiseptik ve mide rahatsızlıklarını giderici, diyabeti tedavi edici, migreni önleyici, halsizlik, hazımsızlık, romatizma ve uykusuzluk problemlerine iyi geldiğini ortaya koymaktadır (Ghorbani ve ark., 2023; Özoğul ve ark., 2022; Şevik ve ark., 2022; Tomar ve ark., 2020). Ülkemizde kültürü yapılmayan defnenin değerlendirilmesi Orman Bakanlığı'nın çalışmaları doğrultusunda yürütülmekte, defne yaprağı üretiminin tamamı doğadan toplanılarak yapılmaktadır. Odun dışı orman ürünlerinin değerlendirilmesi noktasında da kırsal kesimlerde ekonomik olarak destek sağlayıcı bir konumda bulunmaktadır (Ayhan ve Erkan, 2023). Defne yaprakları çay olarak tüketildiği gibi yapraklar ve meyvelerindeki yağlar çıkarılarak da değerlendirilmektedir. Bu çıkarılan yağların başka yağlarla karıştırılarak egzama ve romatizma gibi tedavilerde kullanıldığına yönelik çalışmalara da rastlanılmaktadır. Öte yandan çay olarak tüketilmesinin iştah açıcı, kan dolaşımını düzenleyici, soğuk algınlığı ve bademcik iltihaplarına iyi geldiği de raporlanmıştır (Özer ve ark., 2019).

Bu kadar değerli bir tıbbi ve aromatik bitki konumunda olan defnenin yapraklarından uçucu yağ çıkarılması, günümüzde geleneksel su ve buhar damıtma (HD ve BD) yöntemleri ile yapılmaktadır. Bitkilerin aromasını kaybetmeyecek şekilde gölgede kurutulması sonrasında yapılan parçalama işlemiyle bitkinin yaprak ve ince dalları damıtma işlemine sokularak uçucu yağları alınmaktadır. Yapılan çalışmalar defne yapraklarından %0.2-2.5 arasında bir uçucu yağ verimi elde edilebileceğini göstermektedir (Göllükçü ve ark., 2017). Elde edilen yağ analizleri kimyasal olarak incelendiğinde baskın bileşenin 1,8 Cineole olduğu, bunu farklı monoterpen ve seskiterpenlerin izlediği görülmektedir. Defne yapraklarından çıkarılabilecek uçucu yağ miktarı birçok çevresel faktöre göre değişebileceği gibi, içerdiği bileşiklerin oranları da bu çevresel faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Çevresel faktörler dışında bitkilerin kurutulması ve damıtma yöntemleri de elde edilecek yağ veriminde etken konumundadır. Geleneksel buharlı damıtma (BD) yöntemlerinde damıtma süresinin daha uzun olması, enerji ve işçilik maliyetlerini de artırdığından bu yöntemlere alternatif modern damıtma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu modern damıtma yöntemlerinin başında ultrasonik destekli damıtma (UDD), süper-kritik damıtma (SKD) ve mikrodalga destekli damıtma (MDD) yöntemleri dikkat çekmektedir. SKD yönteminde çok yüksek basınç değerlerinin kullanılması ve çözücü (CO₂) ihtiyacının devam etmesi MDD sistemlerini daha öne çıkarmaktadır (Irakli ve ark., 2023; Kavoura ve ark., 2019; Mróz ve Kusznierevicz, 2023). MDD sistemlerinde buhar dışında herhangi bir ilave çözücüye gerek olmadan damıtma işlemi gerçekleştirildiği için daha sağlıklı ve düşük maliyetli bir durum söz konusudur. 2 450 MHz frekansının su moleküllerinin rezonans frekansıyla titreşim olması sonucu su moleküllerinin kinetik enerjiden ısı enerjisine dönüşmesi, bitkilerin hücrelerinin daha çabuk parçalanmasını ve içlerindeki uçucu yağları bırakmalarının kolaylaşmasını netice vermektedir. 1-300 GHz frekans bandını kapsayan mikrodalgaların (MD) en yoğun kullanıldıkları alanların başında pişirme, kurutma, sterilizasyon

ve pestisit mücadeleleri gelmekte olup, en yaygın kullanımı evlerdeki MD fırınlar olarak karşımıza çıkmaktadır. 1 kW değerindeki magnetronların ~4 kV'luk bir gerilim altında çalıştırılmasıyla elde edilen elektromanyetik (EM) dalgalar, belli bir su molekülüne sahip olan bitkileri de hızlı bir şekilde, homojen bir biçimde ısıtarak (diferansiyel sıcaklık farkı oluşmadan) daha yüksek verimde ve daha hızlı uçucu yağ elde edilmesine imkân sağlarlar. Yapılan çalışmalar uçucu yağ elde etmek için MD enerjini kullanımının yağ kalitesini değiştirmediğini (ana bileşenlerde herhangi bir kayba yol açmadığını), damıtma süresini büyük oranda azaltırken verimi artırdığını ve enerji tasarrufunu artırdığını ortaya konmuştur (Drinić ve ark., 2020; Suttiarporn ve ark., 2020; Marković ve ark., 2018; Jažo ve ark., 2022; Mohamed ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2022). Tıbbi ve aromatik bitkilerde MD desteğiyle yapılan çalışmalar genel olarak küçük ölçekli boyutlarda gerçekleştirilmiştir. Çalışmalara bakıldığında klasik MD fırınlara clevenger ilavesiyle damıtma işleminin gerçekleştirildiği görülmektedir. Belirtilen bu çalışmalarda en büyük problem, endüstriyel tip damıtmalarda büyük ölçekli bitki kütlelerinin aynı anda damıtılmaya çalışılması durumunda MD desteğinin küçük ölçekli sistemlerle aynı davranışı göstermeyeceğidir. Bitkilerin miktarı arttıkça EM dalgaların bitkiye nüfuzu azalacak ve bitkinin her bir bölgesinin homojen MD enerjisine maruz kalması mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla, küçük ölçekli çalışmalarda MD enerjinin bu tür bir davranışı olmayacaktır. Bu nedenle küçük ölçekli MD destekli çalışmalar endüstriyel tip damıtma süreçleri için birebir model olmaktan uzak kalacaklardır. Bu amaçla bu çalışmada, MD enerjinin büyük ölçekli sistemlerdeki damıtma süreçlerine etkisini doğru bir şekilde modelleyebilmek için yeni bir endüstriyel tip MDD sistemi tasarlanmıştır. Önerilen bu sistemde 100 litrelik bir geleneksel damıtma kazanına 12 adet magnetron 120°'lik açılarla 4×3 konfigürasyonlu dizi şeklinde yerleştirilmiştir. Aynı anda 5 kg miktarda *L. nobilis* bitkisi damıtılabilecek şekilde MD enerji desteği sağlanmıştır. Elde edilen uçucu yağ örneklerinin GC-MS cihazı kullanılarak kimyasal analizleri yapılmıştır. BD sistemi ile önerilen MDD sisteminin performansları uçucu yağ verimi ve yağ kalitesi açısından detaylı incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitkilerin hazırlanması

Damıtma işlemi gerçekleştirilen *L. nobilis* bitkisi, Karadeniz Ereğli bölgesinden elde edilmiştir. Defne yaprakları 06.09.2024 tarihinde toplanıp getirilmiştir. Yapraklar genelde defnenin üst kısımlarından alınmış olup genç yapraklardan oluşmaktadır. Bitkiler gölgede kurutulduktan sonra son sürgün dalları kalacak şekilde odunsu kısımlarından ayrılmış ve homojen bir karışım sağlandıktan sonra 5kg'lık eşit parçalara bölünerek damıtma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan defne yapraklarının kurutulduktan sonraki nem oranı %25 olarak ölçülmüştür. Çoğu uygulamada defne bitki yaprakları ve dalları kıyılarak damıtma gerçekleştirilirken bu çalışmada parçalama ve kıyılma işlemi yapılmamıştır. Bunun amacı MD desteğinin etkisini görmek olduğundan, referans olarak önce geleneksel ölçüm gerçekleştirilmiş daha sonra MD destekli ölçüm yapılmıştır. *Şekil 1a* ve *Şekil 1b*'de sırasıyla defne bitkisinin yaprakları ve tomurcukları görülmektedir. *Şekil 1c* ve *1d*'de ise sırasıyla kullanılan defne yaprakları ve damıtma kazanından damıtma sonrası çıkarılan defne yaprakları görülmektedir.

2.2. Damıtma sisteminin tasarımı ve damıtma süreçleri

Literatürdeki çalışmalar, MD desteğiyle yapılan damıtma işlemlerinde sürenin geleneksel sistemlere göre oldukça kısaldığını, buna bağlı olarak enerji tasarrufunun arttığını ve toplam maliyetlerin aşağı çekilebileceğini belirtmektedirler. Bu amaçla, *Şekil 2*'deki önerilen sistemin tasarımı yapılmış ve testler gerçekleştirilmiştir. *Şekil 2a*'da gösterilen sistemin BD sisteminden tek farkı damıtma kazanına eklenmiş magnetronlar ve kontrol devresidir. Bu magnetronlar, 220 V AC gerilimden EM enerjii elde etmek için kullanılırlar (*Şekil 2c*). *Şekil 2b*'de ise magnetronları kontrol etmek için kullanılan kontrol panelinin içi görülmektedir. *Şekil 2a*'da gösterilen sistemde 100 litrelik buhar kazanı kullanılmış, bu buhar kazanındaki suyu ısıtmak için 2 adet 10 kW'lık maşonlu rezistans kullanılmıştır. Bu rezistanslar kontrol panosu (2) tarafından kontrol edilmektedir. Benzer şekilde damıtma kazanı da (3) 100 litre hacminde tasarlanmıştır. 41 cm çapında 80 cm yüksekliğindedir olup, 5 kg bitki yerleşebilmektedir. Bitkilerin damıtma sonrası rahat bir şekilde çıkarılabilmesi için kazan içerisine platform eklenmiştir. Buhar ve uçucu yağlar eşanjör ünitesinde (4) yoğunlaşmakta ve florentinde (5) yoğunluk farkına bağlı olarak ayrışmaktadır. Damıtma kazanına bağlanmış magnetronlar kontrol paneli (6) üzerinden devreye alınıp çıkarılmaktadır. Kontrol paneli üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, elektronik kontrol kartları (7), güç kontrol sigortaları (8) ve her bir magnetronu ayrı ayrı beslemek için kullanılan transformatörlerdir (9). Tüm metal malzemeler çelik krom (Steel-1010) malzemeden yapılmış ve et kalınlığı 2 mm olarak seçilmiştir. Sisteme su beslemesi manuel olarak yapılmakta olup, eşanjör ünitesi de şehir

şebekesine bağlıdır. Buhar kazanı 8 bar basınca dayanabilecek şekilde üretilmiş ve ön testleri gerçekleştirilmiştir. Kazan üzerine yerleştirilen emniyet valfleri, sistemin basıncı 4.5 barı geçince açılmaktadır. Ayrıca, damıtma işlemi boyunca damıtma kazanına yaklaşık 1.2 barlık basınçta buhar desteği sağlanmıştır. Uygulanan buhar ve MD desteği ile bitkiden ayrılan uçucu yağlar buhara karışarak eşanjöre ilerlemekte ve buradan da yoğunlaşarak florentine gitmektedir. Florentine gelen buhar ve uçucu yağ yoğunluk farkına bağlı olarak burada ayrışmakta ve üstte kalan uçucu yağ her bir test sonunda puar aparatı kullanılarak mezür ile uçucu yağ verimi ölçülmektedir.



Figure 1. (a) *L. nobilis* plant and (b) plant buds (c) dried leaves before distillation and (d) leaves removed from the distillation boiler after distillation process

Şekil 1. (a) *L. nobilis* bitkisi ve (b) tomurcukları (c) damıtma öncesi kurutulmuş defne yaprakları ve (d) damıtma sonrası damıtma kazanından çıkarılan defne yaprakları

Damıtma kazanı içerisine daha homojen elektrik alan sağlamak amacıyla kazan yüzeyine 12 adet magnetron 4×3 şeklinde yerleştirilmiştir. Defne bitkisi dal ve yapraklarıyla birlikte damıtılmıştır. Tablo 1’de görüldüğü gibi referans ölçüm olarak BD yöntemiyle 100 dk’lık bir damıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 150, 300, 450 ve 600 W’lık çeşitli güçlerde magnetron vasıtasıyla MD desteği verilerek damıtma yapılmıştır. Belli aralıklarda kesikli bir şekilde uygulanan MD desteğiyle yapılan her bir damıtma işleminin süresi 50 dk olarak belirlenmiştir.

2.3. GC-MS ile kimyasal analizlerin yapılması

Damıtma sonrası elde edilen uçucu yağlar Şekil 3a’da gösterilen 25 ml’lik amber cam şişelere konulup +4°C’de buzdolabında saklanmıştır. Bu numunelerin kimyasal analizleri GC-MS cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Analizler Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Araştırmalar Merkezinde (YETEM) bulunan ve Şekil 3b’de gösterilen GC-MS cihazlarıyla gerçekleştirilmiştir. Bileşenler Thermo Scientific ISQ 7000 Single Quadrupole Mass Spectrometer cihazına bağlı Thermo Scientific Trace 1300 Gaz Kromatograf cihazı ile kolon kullanılarak analiz edilmiştir: Agilent HP-Innowax (30 m x 0.25 mm i.d. X 0.25 µm film kalınlığı). Taşıyıcı gaz olarak helyum (1.5 mL/dk akış hızı) kullanılmıştır. Enjeksiyon sıcaklığı 250°C ve iyon kaynağı sıcaklığı 230°C olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon hacmi 2 µL’dir. 1/5 split oranı kullanılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak helyum gazı kullanılmıştır ve gazı akışı 1,5 mL / dk’dır. Cihazın sıcaklık programı 35°C (2 dk), 2°C/dk 100°C (1 dk), 5°C/dk 120°C (1 dk), 5°C/dk 200°C (1 dk), 4°C/dk 220°C (1 dk) olarak belirtilmiştir. Ayrıca, Wiley NIST/EPA/NIH Kütle Spektral Kütüphanesi Sürüm 2.0f. Build Aug 11 2008 bileşikleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Kullanılan iyonizasyon modu 70 eV’de elektronik darbe ve kütle aralığı 41-500 m/z’dir. Uçucuların yüzde kompozisyonları FID dedektörü kullanılarak elde edilir. MS, EI iyonizasyon modunda çalıştırılmaktadır.

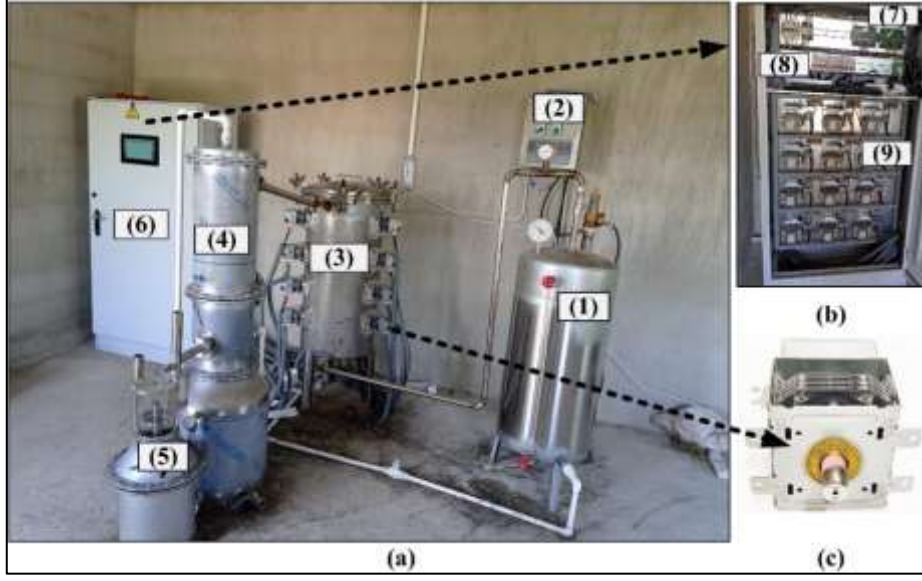


Figure 2. (a) The proposed MWAD system (b) the control panel used to control the magnetrons and (c) the magnetrons

Şekil 2. (a) Önerilen MDD sistemi (b) magnetronları kontrol etmek için kullanılan kontrol paneli ve (c) magnetronlar

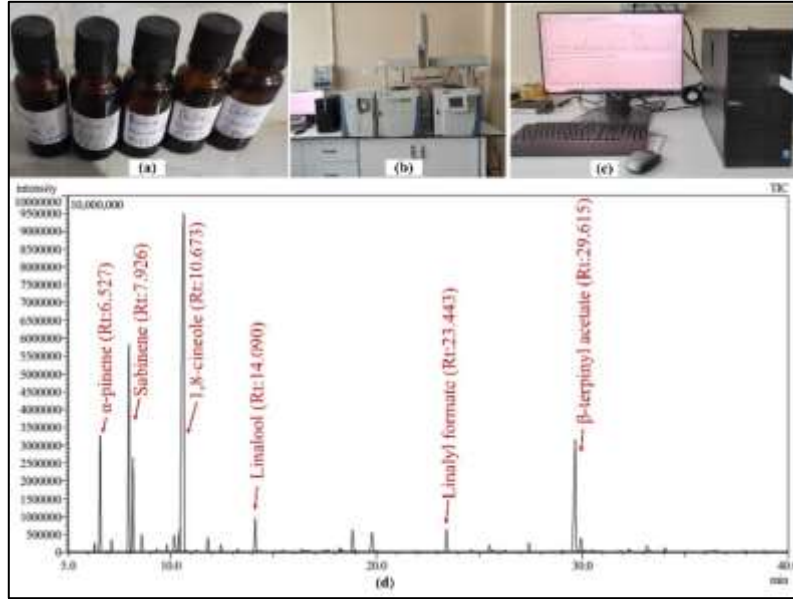


Figure 3. (a) Essential oil samples obtained (b) GC-MS device used (c) obtaining the chemical analysis (d) Chromatogram and main components of essential oil obtained from *L. nobilis* plant

Şekil 3. (a) Elde edilen uçucu yağ numuneleri (b) kullanılan GC-MS cihazı (c) kimyasal analiz elde edilmesi (d) *L. nobilis* bitkisinden elde edilen uçucu yağın kromatogramı ve ana bileşenleri

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. MD desteğinin etkisinin değerlendirilmesi

Tasarlanan ve testleri *L. nobilis* bitkisi kullanılarak gerçekleştirilen MD destekli damıtma sisteminde elde edilen uçucu yağ verimi Şekil 4a'da gösterilmiştir. Buna göre MD desteği verilmesi, defne bitkisinden alınan verimi yaklaşık %10-20 artırmaktadır. Fakat MD gücü 600 W gibi yüksek bir değere çıkarıldığında verim düşmektedir. Bunun fazla ısıtmadan kaynaklı bir durum olduğu düşünülmektedir ki bu durum literatürde diğer bitkilerle yapılan MD destekli damıtma çalışmalarında da benzer şekilde izlenmiştir (Marković ve ark., 2018). Damıtma süresi geleneksel

sistemde 100 dk alınırken, MD destekli sistemde 50 dk olarak alınmıştır. Literatürde defne bitkisiyle yapılan çalışmalarda 60 dk sonrasında uçucu yağ veriminde çok fazla bir değişim izlenmediği, dolayısıyla 120 dk'ya kadar beklemenin enerji tüketimi açısından olumsuz olduğu vurgulanmıştır. Testler sırasında da 70 dk'dan sonra BD sistemde kayda değer bir uçucu yağ akışı izlenmediğinden bu çalışmada geleneksel sistemle yapılan damıtmanın süresi 100 dk'da kesilmiştir (Şekil 4). Şekil 4b'de verilen verim-zaman grafiğini elde etmek için 5 dk aralıklarla mezür yardımıyla uçucu yağ miktarı ölçülmüştür. MD desteğiyle yapılan damıtma işleminin adımları kısaca şekilde özetlenebilir: İlk 10 dk'da sadece buhar desteği verilmiş sonra 10 dk MD uygulanmış ve 5 dk ara verilmiştir. Bu şekilde son MD gücü uygulandıktan sonra toplam 50 dk'da damıtma işlemi tamamlanmıştır. Damıtma sırasında defne bitkisinden ilk uçucu yağın florentine gelmesi diğer testlerde gerçekleştirilen kekik, adaçayı ve lavanta bitkilerine göre geç gelmektedir. Bunun sebebinin defne yapraklarının, bütün olarak kazana konulması olarak değerlendirilmektedir. Eğer yaprak ve ince dallar kıyılarak damıtma kazanına yerleştirilirse hücrelerdeki parçalanmaların daha hızlı olacağı ve daha erken sürede uçucu yağın florentine geleceği düşünülmektedir. Enerji tasarrufu açısından incelendiğinde BD sisteminde, suyun kaynatılıp 4 barlık basınca sahip buhar haline getirildiği damıtma öncesi durumda harcanan enerji miktarı da dikkate alındığında, toplamda 43.3 kWh'lık bir enerji tüketimi söz konusudur. Diğer taraftan MDD sisteminde ise 10 kWh'lık damıtma öncesi enerji tüketimine ilaveten 50 dk boyunca buhar desteği için harcanan ısıtma miktarı ve tüm magnetronların 30 dk boyunca farklı güçlerde çalıştırıldı harcadıkları güçlerin toplamı kadar bir enerji harcaması gerçekleşecektir. 12 magnetron aynı güçte devreye alındığı için enerji harcamasına dair veriler Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, MD destekli sistemde yaklaşık %26-35 arasında bir enerji tasarrufunun söz konusu olduğu görülmektedir. En iyi verimin elde edildiği 450 W+ 30 dk'lık durumda bu oran yaklaşık %29.56 civarındadır.

Tablo 1. Geleneksel ve MD destekli damıtma işlemlerinde harcanan enerji miktarları

Table 1. Energy consumption in conventional and MW-assisted distillation processes

Testler	Damıtma Öncesi Buhar için (kWh)	Damıtma Süresi Buhar için (kWh)	Damıtma Süresi MD için (kWh)	Toplam Harcanan Enerji (kWh)	Enerji Tasarruf Yüzdesi (%)	Uçucu yağ verimi (ml)
BD	10	33.33	0	43.33	0	29
150 W + 30 dk	10	16.67	1.28	27.95	35.49	32
300 W+ 30 dk	10	16.67	2.57	29.24	32.52	34
450 W +30 dk	10	16.67	3.85	30.52	29.56	36
600 W +30 dk	10	16.67	5.14	31.81	26.59	33

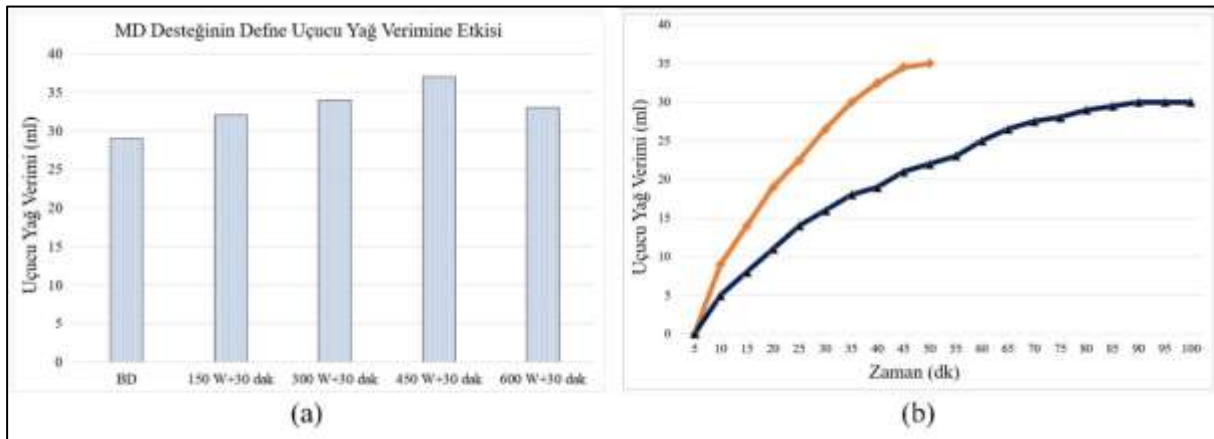


Figure 4. (a) Effect of some MW energy support on essential oil yield of laurel plant, (b) Comparison of yield-time values of SD and MWAD (for 450 W +30 min test) systems

Şekil 4. (a) Bazı MD enerji desteğinin defne bitkisinin uçucu yağ verimi üzerine etkisi, (b) BD ve MDD (450 W +30 dk testi için) sistemlerinin verim-zaman değerlerinin karşılaştırılması

3.2. Kimyasal Analiz Sonuçları

Tablo 2. Defne bitkisinden elde edilen uçucu yağ bileşenleri

Table 2. Essential oil components obtained from laurel plant

Rt	Kimyasal Bileşenler	Kimyasal Formülü	Grup Adı	BD	150 W+30 dk	300 W+30 dk	450 W+30 dk	600 W+30 dk
6.266	α -thujene			0.36	0.50	0.42	0.41	0.43
6.527	α -pinene			5.48	6.76	6.13	5.93	6.29
7.085	Camphene			0.57	0.76	0.66	0.65	0.64
7.926	Sabinene			12.01	13.97	13.23	13.12	12.85
8.116	β -pinene			4.48	5.46	5.10	4.98	5.16
8.542	β -myrcene	C ₁₀ H ₁₆	Monoterpen-hidrokarbon	1.06	1.27	1.12	1.12	1.15
9.761	α -terpinene			0.32	0.47	0.43	0.41	0.47
10.114	p-cymene			1.15	1.36	1.31	1.32	1.30
10.435	Limonene			1.50	1.04	1.65	1.49	nd*
11.756	γ -terpinene			0.65	0.87	0.88	0.84	0.93
12.391	Sabinene hydrate <cis->			0.38	0.49	0.47	0.50	0.43
Toplam (%)				27.96	32.95	31.4	30.77	29.65
10.673	1,8-cineole			36.53	40.77	42.08	43.41	41.13
14.090	Linalool			6.19	2.32	2.40	2.49	3.32
18.246	Borneol			0.39	0.07	0.12	0.09	0.22
18.791	4-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	Monoterpen-oksit	1.43	1.68	1.72	1.73	1.52
19.737	β -fenchyl alcohol			1.35	1.92	1.90	1.98	1.69
23.443	Linalyl formate			9.79	0.66	1.81	0.96	4.15
Toplam (%)				55.68	47.42	50.03	50.66	52.03
25.456	Bornyl acetate			0.46	0.58	0.55	0.57	0.53
25.629	Lavandulyl acetate			0.47	nd	0.07	nd	0.18
27.379	Ocimenyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	Monoterpen-ester	0.51	0.81	0.75	0.79	0.71
29.615	β -terpinyl acetate			8.21	12.89	12.23	12.51	11.74
Toplam (%)				9.65	14.28	13.6	13.87	13.16
29.906	Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	Fenol	1.08	1.38	1.26	1.23	1.00
33.116	Methyleugenol	C ₁₁ H ₁₄ O ₂		0.57	0.56	0.53	0.52	0.52
Toplam (%)				1.65	1.94	1.79	1.75	1.52
34.014	Trans-caryophyllene			0.86	0.25	0.34	0.25	0.54
36.454	Farnesene <beta>	C ₁₅ H ₂₄	Seskitерpen-hidrokarbon	0.42	nd	nd	nd	0.19
37.899	Germacrene-D			0.18	0.04	0.06	0.02	0.11
Toplam (%)				1.46	0.29	0.4	0.27	0.84
43.735	Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O		0.14	0.24	0.22	nd	0.23
43.963	Caryophyllene oxide		Seskitерpen-oksit	0.21	0.35	0.32	0.30	0.34
50.239	Cis-farnesol	C ₁₅ H ₂₆ O		0.21	nd	nd	nd	nd
Toplam (%)				0.56	0.59	0.54	0.3	0.57
Tüm bileşenlerin toplamı (%)				96.96	97.47	97.76	97.62	97.77

*nd: not detected

Yapılan kimyasal analiz sonucu defne bitkisinin uçucu yağında 64 adet bileşen bulunmuş ve bunlardan çoğu eser miktarda olduğu için *Tablo 1*'de sadece 29 adet bileşen verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde MD desteği

verilmesinin damıtma sonucu elde edilen bileşenler üzerinde etkisinin olduğu açıkça görülmektedir. Diğer literatür çalışmalarında olduğu gibi burada da en yüksek bileşen 1,8 cineole, sabinene, α -pinene gibi ana bileşenlerdir. MDD işlemi sonucunda bu 29 bileşenden 18'unda artma, 9'unda da azalma izlenir iken 2 bileşende ise kayda değer bir değişim izlenmemiştir. Özellikle linalool ve linalyl formate bileşenlerindeki radikal düşüşler dikkat çekicidir. Defne bitkisinin uçucu yağları monoterpen-oksitler, monoterpen-hidrokarbonlar, seskiterpen-hidrokarbonlar ve seskiterpen-oksitler olarak gruplandırılabilir. Grup bazında bakıldığında, bileşenlerin %55.68'inin monoterpen-oksitlerden, %27.96'sının monoterpen-hidrokarbonlardan, %0.56'sının seskiterpen-oksitlerden, %1.45'nin seskiterpen-hidrokarbonlardan oluştuğu görülebilir. Görece en büyük grubu oluşturan monoterpen-oksitlerin MD gücünden etkilenme biçimi; düşük MD güç uygulandığında yüzde oranı düşme, yüksek MD güç uygulandığında ise artma eğilimindedir. Diğer taraftan hidrokarbonlu bileşenlerin ise bunun tam tersi etkilendiği Tablo 2'den açıkça görülmektedir. Gruplar ve 6 ana bileşen bazında MD gücünün etkisi sırasıyla, Şekil 5a ve 5b'de gösterilmiştir.

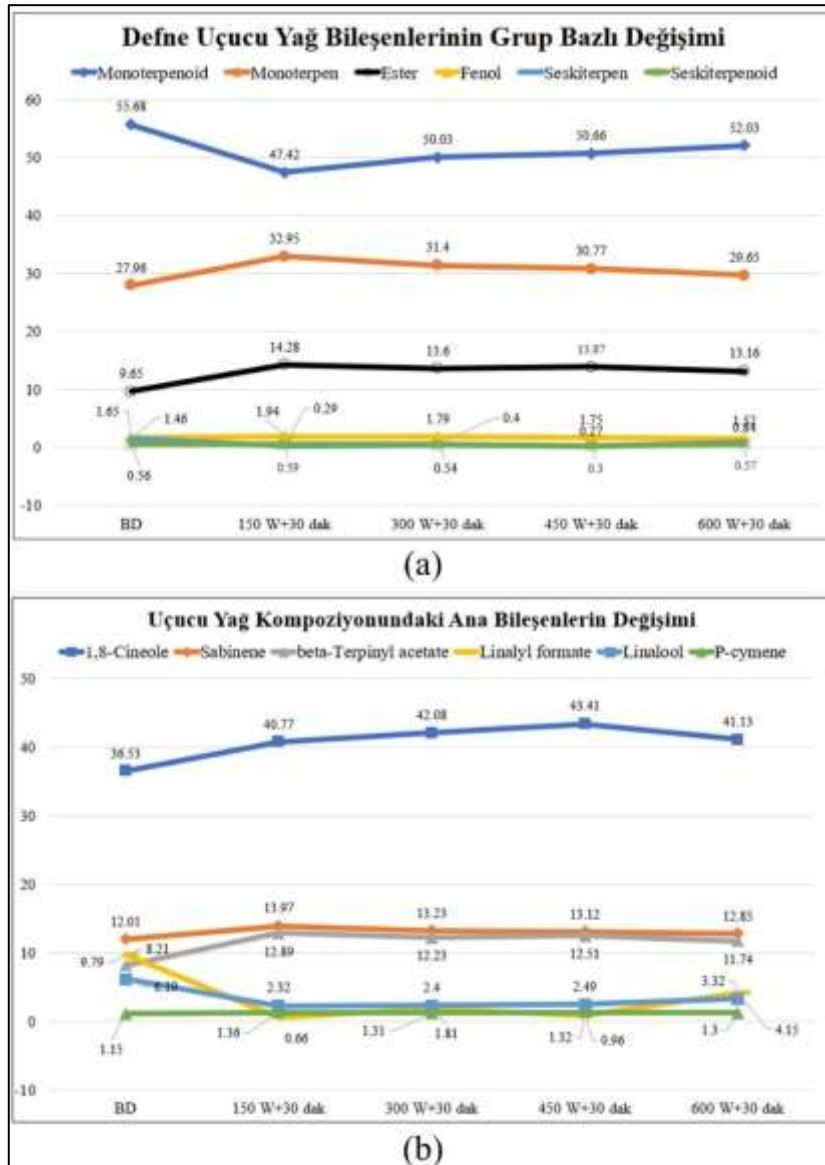


Figure 5. (a) Variation of essential oil components obtained from laurel plant according to groups (%), (b) Variation in 6 main components (%)

Şekil 5. (a) Defne bitkisinden elde edilen uçucu yağ bileşenlerinin gruplara göre değişimi (%), (b) 6 ana bileşendeki değişim (%)

4. Sonuç

Bu çalışmada, MD destekli bir damıtma sistemi endüstriyel boyutta tasarlanarak *L. nobilis* türünün uçucu yağları çıkarılmıştır. 12 adet magnetron damıtma kazanına homojen elektrik alan sağlayacak şekilde 4×3 olarak yerleştirilmiş ve defne bitkisi dal ve yapraklarıyla birlikte uçucu yağ amaçlı damıtma işlemine tabi tutulmuştur. Referans ölçüm olarak BD yöntemiyle 100 dk'lık bir damıtma işlemi gerçekleştirilmiş ve daha sonra farklı güçlerde (150, 300, 450 ve 600 W) MD desteği verilerek damıtma yapılmıştır. MDD işleminin süresi 50 dk olarak alınmıştır. MD desteği kesikli bir şekilde (belli aralıklarla) uygulanmıştır. Bunun nedeni magnetronların 4000 V gibi yüksek gerilimler altında çalışması ve yüksek gerilimi sağlayan transformatörlerin aşırı ısınmasının önlenmesidir. İleriki çalışmalarda önerilen bu MDD sisteminin soğutma sistemi üzerine çalışılması planlanmaktadır.

Gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen uçucu yağların yapılan kimyasal analizinde MD desteği uygulanmasının bileşenlerin bazılarında artmaya, bazılarında ise azalmaya yol açtığı görülmüştür. Özellikle monoterpen-oksitlerin uygulanan MD gücüyle azaldığı, monoterpen-hidrokarbonların ise arttığı dikkat çekmektedir. Monoterpen-oksitler içerisinde linalool ve linalyle acetate bileşenlerindeki değişim radikal boyutlardadır. Farklı sektörlerin farklı bileşenlere olan ihtiyaçları göz önüne alındığında MD desteğiyle bileşen bazlı farklılıklar oluşturmak için çalışmalar yapılabileceği değerlendirilmektedir. Öte yandan elde edilen uçucu yağ verimi maksimum %24 oranında artmış ve harcanan enerjide ise minimum %26.35 enerji tasarrufu söz konusudur.

Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, literatürde küçük ölçekli damıtma işlemleriyle çalışılmış ve ortaya konulmuş MD desteğine ilişkin verilerin endüstriyel bir boyutta da geçerli olduğu söylenebilir. Verimin artması, harcanan enerji miktarının azalması ve bazı bileşenlerdeki değişimlerin kayda değer oranda olması, MD destekli endüstriyel tip damıtma sistemlerinin optimize edilip sahada kullanılabilir hale getirilmesi açısından önemli bulgulardır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenen proje (BİGG-1512, Proje No: 2220328) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yazarlar, desteklerinden dolayı MS Ünal Makina firmasına teşekkür eder.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Yazarlık Katkı Beyanı

Çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında yazarlar eşit katkı vermişlerdir.

Kaynakça

- Aktepe, B. P., Mertoğlu, K., Evrenosoğlu, Y. ve Aysan, Y. (2019). Farklı bitki uçucu yağların erwinia amylovora'ya karşı antibakteriyel etkisinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 28-35. <https://doi.org/10.33462/jotaf.516848>
- Anonim (2022). Defne Tarımı ve Endüstrisi Fizibilite Raporu (BAKA), <https://baka.ka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/defne-tarimi-ve-endustrisi-fizibilite-raporu.pdf> (Accessed Date: 13.10.2023).
- Allal, A., Bellifa, S., Benmansour, N., Selles, C., Semaoui, M., Hassaine, H. and Muselli, A. (2019). Essential oil and hydrosol extract chemical profile, antioxidant and antimicrobial potential of daphne gnidium l. From algeria. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(5): 1277-1288. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1673832>
- Ayhan, E. ve Erkan, N. (2023). Akdeniz Defnesi (*Laurus nobilis* L.) üretiminin kırsal ekonomiye potansiyel katkısının ve üretici profilinin, sorun ve beklentilerinin araştırılması (Bursa ili örneği). *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 24(3): 262-271. <https://doi.org/10.18182/tjf.1302497>
- Drinić, Z., Pljevljakušić, D., Živković, J., Bigović, D. and Šavikin, K. (2020). Microwave-assisted extraction of *O. vulgare* L. spp. *hirtum* essential oil: Comparison with conventional hydro-distillation. *Food and Bioproducts Processing*, 120: 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.01.011>
- Ghorbani, L., Golkar, P., Jafari, R., Ahmadi, M. and Allafchian, A. (2023). Phytochemicals, essential oils composition and antioxidant activity of *astragalus* spp.. *Phlomis olivieri* and *daphne mucronata* in habitats of central iran. *Chemistry & Biodiversity*, 20(9): e202300811. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202300811>
- Gölküçü, M., Tokgöz, H. and Turgut, D. Y. (2018). Effect of distillation time on essential oil compositions of bay leaf (*Laurus nobilis* L.). *Food and Health*, 4(1): 37-42. <https://doi.org/10.3153/JFHS18005>
- Irakli, M., Bouloumpasi, E., Christaki, S., Skendi, A. and Chatzopoulou, P. (2023). Modeling and optimization of phenolic compounds from sage (*Salvia fruticosa* L.) post-distillation residues: Ultrasound- versus microwave-assisted extraction. *Antioxidants*, 12(3): 549. <https://doi.org/10.3390/antiox12030549>
- Jažo, Z., Glumac, M., Drventić, I., Žilić, L., Dujmović, T., Bajić, D., Vučemilo, M., Ivić, E., Bektić, S., Anačkov, G. T. and Radan, M. (2022). The essential oil composition of *helichrysum italicum* (Roth) g. Don: Influence of steam, hydro and microwave-assisted distillation. *Separations*, 9(10): 280. <https://doi.org/10.3390/separations9100280>
- Kara, M., Soyulu, S., Türkmen, M. and Kaya, A. (2020). Determination of chemical compositions and antifungal activities of laurel and fennel essential oils against fungal disease agents of cypress seedlings. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 17(2): 264-275. <https://doi.org/10.33462/jotaf.663452>
- Kank, Ü., Çiçek, F., Tutar, M. ve Fırat, A. Y. A. S. (2015). Türkiye defne (*Laurus nobilis* L.) populasyonlarının uçucu yağ bileşenleri. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(1): 1-16.
- Kavoura, D., Kyriakopoulou, K., Papaefstathiou, G., Spanidi, E., Gardikis, K., Louli, V., Aligiannis, N., Krokida, M. and Magoulas, K. (2019). Supercritical CO2 extraction of *Salvia fruticosa*. *The Journal of Supercritical Fluids*, 146: 159-164. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.01.010>
- Marković, M. S., Radosavljević, D. B., Pavićević, V. P., Ristić, M. S., Milojević, S. Ž., Bošković-Vragolović, N. M. and Veljković, V. B. (2018). Influence of common juniper berries pretreatment on the essential oil yield, chemical composition and extraction kinetics of classical and microwave-assisted hydrodistillation. *Industrial Crops and Products*, 122: 402-413. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.018>
- Mohamed, T. A., Saleh, I., Ali, S., Hussien, T., Hegazi, N. M., Abdel-Halim, S., Abd El-Razek, M. H., El-Beih, A., Marzouk, M. M., Pare, P. W., Effert, T. and Hegazy, M.-E. F. (2022). A comparative evaluation of the antimicrobial activities of the essential oils of three *salvia* species growing in egypt, obtained by hydrodistillation and microwave-assisted hydro-distillation. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25(5): 1109-1121. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2135388>
- Mróz, M. and Kusznerewicz, B. (2023). Phytochemical screening and biological evaluation of Greek sage (*Salvia fruticosa* Mill.) extracts. *Scientific Reports*, 13(1): 22309. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49695-w>
- Özer, T., Sert, F. Z. ve Öztürk, A. İ. (2019). Defne bitkisi ve yağı üzerine bir araştırma. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 8(2): 25-34.
- Özogul, Y., El Abed, N. and Özogul, F. (2022). Antimicrobial effect of laurel essential oil nanoemulsion on food-borne pathogens and fish spoilage bacteria. *Food Chemistry*, 368: 130831. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130831>
- Suttiarpom, P., Wongkattiya, N., Buaban, K., Poolprasert, P. and Tanruean, K. (2020). Process optimization of microwave assisted simultaneous distillation and extraction from siam cardamom using response surface methodology. *Processes*, 8(4): 449. <https://doi.org/10.3390/pr8040449>
- Şevik, R., Denizkara, A. J., Akarca, G., Atik, A. and Atik, İ. (2022). Physicochemical and microbiological properties of common carp (*cyprinus carpio*) fillets marinated with rosemary and laurel essential oils. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 31(9): 977-988. <https://doi.org/10.1080/10498850.2022.2120790>
- Tomar, O., Akarca, G., Gök, V. and Ramadan, M. F. (2020). Composition and antibacterial effects of laurel (*laurus nobilis* l.) leaves essential oil. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 23(2): 414-421. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1768903>
- Zhang, X., Huang, Y., Niu, Y., Liu, Z., Chen, M., An, Y. and Zhang, L. (2022). The preparation of the essential oil from pomelo (*Citrus maxima* 'shatian yu') peel using microwave-assisted distillation by pectinase soaking and its anti-fungal activity. *Separations*, 9(7): 161. <https://doi.org/10.3390/separations9070161>