



## Comparison of Essential Oil Results Obtained from Stems and Leaves of Anatolian Sage (*Salvia fruticosa* MILL.) Using Microwave-assisted Distillation System

Abdullah Genç<sup>1,a,\*</sup>, Habib Doğan<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Gölhisar School of Applied Sciences, Department of Computer Technology and Information Systems, Gölhisar, Burdur, Türkiye

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Research Article</p> <p>Received : 16.03.2024 Accepted : 01.05.2024</p> <p>Keywords: <i>Salvia fruticosa</i> Microwave-assisted distillation Sage Essential oil Magnetron</p>	<p>In this study, firstly, simulation studies are carried out on how to provide microwave support to an industrial-size distillation system, and an industrial-size MDD system is designed. Microwave support is provided by placing 4x3 magnetrons in the distillation boiler. Tests of the sage plant are carried out using both the traditional and this MDD system. In addition, the essential oil results obtained by distillation of sage with stems and leaves or by distillation of only leaves are compared. Chemical analysis of the essential oils obtained from the distillation is performed by GC-MS and effects of the proposed system on the distillation processes is evaluated. According to the results obtained, the oil yield obtained with the MDD system increases by 10% compared to the conventional system for the two different cases where herb is used. Herb and leaves are distilled separately using the MDD system and the yield increase is more than 100% when only the leaves are distilled. Changes in chemical constituents were studied in detail.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(9): 1583-1590, 2024

## Mikrodalga Destekli Damıtma Sistemi Kullanılarak Anadolu Adaçayı (*Salvia fruticosa* MILL.) Bitkisinin Sap ve Yapraklarından Elde Edilen Uçucu Yağ Sonuçlarının Karşılaştırılması

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Araştırma Makalesi</p> <p>Geliş : 16.03.2024 Kabul : 01.05.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: <i>Salvia fruticosa</i> Mikrodalga destekli damıtma Adaçayı Uçucu yağ Magnetron</p>	<p>Bu çalışmada öncelikle endüstriyel boyutta bir damıtma sistemine mikrodalga desteğinin nasıl sağlanacağı noktasında benzetim çalışmaları yapılmış ve endüstriyel boyutta bir MDD sistemi tasarlanmıştır. Damıtma kazanına 4x3 adet magnetron yerleştirilerek mikrodalga desteği sağlanmıştır. Adaçayı bitkisinin testleri hem geleneksel hem de bu MDD sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, adaçayının sap ve yapraklarıyla birlikte damıtılması veya sadece yapraklarının damıtılarak elde edilen uçucu yağ sonuçları karşılaştırılmıştır. Damıtma sonucu elde edilen uçucu yağların kimyasal analizleri GC-MS cihazı ile yapılmış ve önerilen sistemin damıtma süreçlerine etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, herba kullanılan iki farklı durum için MDD sistemiyle elde edilen yağ verimi geleneksel sisteme göre %10 artmıştır. Herba ve yaprak ayrı ayrı MDD sistemi kullanılarak destile edilmiştir ve sadece yaprakların damıtılması durumunda verim artışı %100 den fazla olmaktadır. Kimyasal bileşenlerdeki değişimler detaylı olarak incelenmiştir.</p>

[abdullahgenc@isparta.edu.tr](mailto:abdullahgenc@isparta.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0002-7699-2822>

[hdogan@mehmetakif.edu.tr](mailto:hdogan@mehmetakif.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0001-8685-9569>



## Giriş

Elektronik ve haberleşme alanında birçok önemli uygulamada kullanılan mikrodalgalar, 300 MHz-300 GHz frekans bölgesindeki elektromanyetik (EM) dalgalara verilen isimdir. Kullanım alanları olarak cep telefonlarından, radar sistemlerine, mikrodalga fırınlardan farklı ürünlerin ısıtılması gibi birçok alan sayılabilir (Konak ve ark., 2009). Malzemeyle etkileşimleri malzemenin sahip olduğu elektriksel iletkenlik, dielektrik geçirgenlik değeri ve kayıp faktörüyle doğrudan ilişkilidir. Dielektrik geçirgenlik değeri mikrodalgaların malzeme ortamında nasıl yayılacağını belirlerken kayıp faktörü bu dalgalardaki enerjinin ne kadarının malzeme içerisinde absorbe edilip ısıya çevrileceğini belirler (Önol, 2009). Dolayısıyla mikrodalga güce maruz kalacak malzemelerin etkileşim düzeyleri malzemenin sahip olacağı bu özellikler tarafından belirlenir. Ayrıca, günümüzde bu teknoloji, gıdaların ısıtılıp pişirilmesinin yanında, kurutma, sterilizasyon gibi uygulamalarda da yoğun bir şekilde yararlanılmaktadır. Isıtma tekniği olarak klasik yöntemlerin tersine, malzeme içerisindeki su moleküllerinin 2,45 GHz'de titreşerek kinetik enerjinin ısı enerjisine çevrilmesinin sağlanması, malzemenin dışından değil içinden ısıtılmaya başlaması, ısıtmanın daha homojen bir yapıda olması (diferansiyel ısı farkları olmadan) ve ısıtma sürecindeki yüksek verimlilik gibi üstünlükler, mikrodalgaların bu alanda hızlıca yayılmasını sağlamıştır (Büyüktuncel, 2012). Son yıllarda mikrodalga gücü uçucu yağ elde etmek için damıtma yöntemlerinde de sıkça kullanılmaktadır.

Bitkilerin sahip oldukları özellikler onları insanların çok farklı amaçlar için kullanmalarına yol açmıştır. Özellikle tıbbi ve aromatik bitkiler sınıfına giren bitkilerin çok eski zamanlardan beridir farklı hastalıkların tedavisinde, parfümeri sektöründe, gıdaların korunma süreçlerinde kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca, bu bitkiler kimya, ilaç, gıda, boya vb. birçok farklı amaç ve alanda yoğun olarak kullanılmaktadır (Elmas & Elmas, 2021; Elmas, 2021, Katar ve ark., 2022; Yenikalaycı & Özgüven, 1999; Yenikalaycı & Bozari, 2023). Bitkilerin sahip oldukları metabolitlerin onların yaşamlarını devam ettirme, savunma durumlarını sağlamada önemli rol oynadıkları son zamanlarda daha fazla araştırma ile ortaya konmuş, özellikle sekonder metabolitlerin çok değerli amaçlar için kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Sekonder metabolitler içerisindeki uçucu yağların elde edilmesi ve bahse konu alanlarda kullanılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Tiring ve ark., 2021; Kocak ve ark., 2021).

Türkiye, tıbbi ve aromatik bitkiler açısından dünyanın sayılı ülkelerinden biri olup, tıbbi ve aromatik bitkiler açısından Avrupa ülkelerine göre oldukça zengin bir floraya sahiptir. Avrupa ülkelerindeki toplam bitki sayısı 13.000 civarında iken, sadece Türkiye'de bu sayının yaklaşık 12.000 olduğu bilinmektedir. Bu bitkilerin yaklaşık 346'sının ticareti yapılmakta ve 112'si ihraç edilmektedir (Yaman ve Kuleasan, 2016). Ayrıca, Türkiye'de tıbbi ve aromatik bitkiler sınıfında en çok değerlendirilen ve çeşitli şekillerde kullanımı bulunan bitkilerden birisi de adaçayıdır. Dünya üzerinde yaklaşık 1000 türü bulunan adaçayı Lamiaceae ailesinin *Salvia* cinsindedir. Bu cins çok yaygın olmasının yanında ticari olarak değerlendirilen ancak birkaç türü bulunmaktadır.

Bunlar tıbbi adaçayı *Salvia officinalis* L., Anadolu adaçayı *Salvia fruticosa* MILL. Syn: *Salvia triloba* ve İspanyol adaçayı *Salvia lavandulaefolia*'dır. Türkiye coğrafyasında adaçayının 104 türü bulunmakta ve bunların 51'i endemiktir. Türkiye son zamanlarda kültürü yapılan adaçayı üretimini artırmış ve yıllık 1.750 ton civarında bir bitkiyi ihraç edecek düzeye gelmiştir (Anonim, 2022). Diğer taraftan adaçayı halk arasında genellikle bitki çayı olarak kullanılmakla birlikte bu bitkinin uçucu yağı içerisindeki 1,8 cineole bileşeni nedeniyle farmakolojide de kullanımı fazladır. Geleneksel tıpta, ağrı kesici, öksürük giderici, balgam sökücü, vs. olarak kullanımı yaygındır (Ververis ve ark., 2023; Koutsoulas ve ark., 2019; Cvetkovikj ve ark., 2015; El Euch ve ark., 2019).

Adaçayının uçucu yağ bileşenleri genelde büyük oranda geleneksel buharlı damıtma yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir. Bu yöntemlerde ise ağırlık buharlı damıtmadır ancak suyla damıtmaya göre buharlı damıtmanın daha yaygın olmasının sebebi damıtma süresinin daha kısa olması ve bu şekilde bitkilerde çok fazla ısıya maruz kalmadan mütevelliit bileşen kayıplarının az olmasıdır (Tuğlu ve ark., 2021). Geleneksel buharlı damıtmada adaçayından elde edilen verim %0,9-2,5 arasında değişmektedir. Bu verim adaçayının uçucu yağlarının elde edildiği bitkinin yetiştirme, saklama, kurutma koşullarından, toprak, gübreleme ve sulama koşullarına göre değişiklik sergilemektedir (Katar ve ark., 2022). Covid-19 benzeri salgınlar sonucu tıbbi ve aromatik bitkilere karşı artan talep, arz planlarının gözden geçirilmesi yanında bitkilerden elde edilen uçucu yağların verimini de artıracak damıtma yöntemlerinin tasarlanması ve değerlendirilmesini gerektirmiştir. Geleneksel yöntemlere alternatif olarak farklı damıtma yöntemleri araştırılmış ve denenmiştir. Ultrasonik destekli damıtma, mikrodalga destekli damıtma (MDD) ve süperkritik damıtma yöntemleri bu modern damıtma sistemlerine örnek olarak verilebilir. Süper kritik yönteminde solvent olarak CO<sub>2</sub> kullanımı ve basınç değerinin 500 bar gibi yüksek değerlere çıkması bu yöntemin özel koşullarda kullanımını doğurmuş, daha çok fazla basınç neticesinde yağlarını bırakan bitkilerde kullanımını artırmıştır. Öte yandan birçok sahada kullanılan mikrodalganın gelişmesi, bu tekniğin uçucu yağ eldesinde de kullanımının test edilmesini sağlamıştır. Mikrodalgalar bitkilere nüfuz etme oranına bağlı olarak hücre zarlarının çabucak parçalanmasını ve uçucu yağların dışarı çıkmasını sağlamaktadır. Bitkilerdeki uçucu yağ oranı ve nem miktarına bağlı olarak da mikrodalgaların bitki tarafından absorbesi ve bu absorbe sonucu ortaya çıkacak ısı enerjisinin artması bitkilerde bu tekniğin kullanımını tetiklemiştir. Bu kapsamda mikrodalga gücü uygulanarak geleneksel buharlı damıtma sistemlerinden alınan sonuçlarla karşılaştırma yapan birçok çalışma yapılmıştır (Irakli ve ark., 2023; Drinić ve ark., 2020; Marković ve ark., 2018.; Jažo ve ark., 2022; Mohamed ve ark., 2022). MDD yöntemi, birçok farklı bitkiden uçucu yağ elde edilmesinde kullanılmıştır. Yapılan çalışmalara bakıldığında genelde klasik mikrodalga fırınlara clevenger eklenerek damıtma işlemine mikrodalga gücü uygulandığı, bazı çalışmalarda ise laboratuvar çalışmalarına göre tasarlanmış özel mikrodalga desteği veren cihazların

(örneğin, Ethos-X, CEM, Bioevopeak) kullanıldığı görülmektedir. Mikrodalga gücünün malzemeye etkisinin nüfuz etmesiyle doğrudan ilgili olması, çalışılan bitki miktarına göre farklı sonuçların elde edilmesini doğuracaktır. Bu nedenle az bir ölçekteki (0-1.000 gr'a kadar) bitkiyle yapılan bu mikrodalga destekli çalışmaların halihazırda endüstride kullanılan damıtma sistemleri için uygun olmadıkları açıktır. Çünkü endüstride büyük ölçekli damıtma sistemleri kullanılmakta olup bu sistemlere uygulanacak mikrodalga güç ve süre açısından değerlendirilmesinin farklı yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, bu amaca yönelik olarak öncelikle endüstriyel boyutta bir damıtma sistemine mikrodalga desteğinin nasıl sağlanacağı noktasında benzetim çalışmaları yapılmış ve endüstriyel boyutta bir mikrodalga destekli damıtma sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarımın benzetim sonuçları kullanılarak damıtma kazanına 12 adet magnetron yerleştirilerek mikrodalga desteği sağlanmıştır. Adaçayı bitkisinin testleri hem geleneksel hem de bu MDD sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, adaçayının sap ve yapraklarıyla birlikte damıtılması veya sadece yapraklarının damıtılarak uçucu yağ elde edilmesi de bu verimi doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden MDD sistemi kullanılarak adaçayı bitkisinin sap ve yapraklarından elde edilen uçucu yağ sonuçları karşılaştırılmıştır. Damıtma sonucu elde edilen uçucu yağların kimyasal analizleri GC-MS cihazı ile yapılmış ve önerilen sistemin damıtma süreçlerine olumlu etkisi değerlendirilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Mikrodalga Destekli Sistemin Tasarımı ve Üretimi

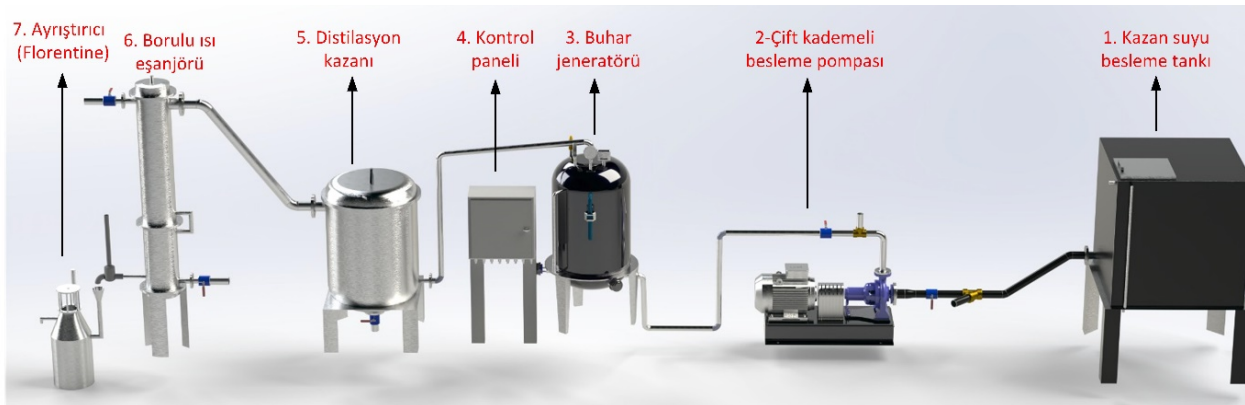
Geleneksel bir buharlı damıtma sisteminin genel yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Bu yapıda damıtılacak bitkiler damıtma kazanı içerisine yerleştirilmekte, buhar kazanından sağlanan buhar yardımıyla da bitkilerdeki uçucu yağlar buhara karışarak eşanjöre gitmektedir. Eşanjör soğuk su sistemi ile beslenen bir yapıda olup buraya buharla karışık bir şekilde gelen uçucu yağ+buhar karışımı tekrar sıvıya dönüşmektedir. Sıvıya dönüşen karışım florentine boşalmakta, burada da yoğunluk farkından kaynaklı olarak su altta uçucu yağ üstte kalacak şekilde ayrılmaktadır. Sistemin en önemli bileşeni damıtma kazanı olup, bitkilerin yerleşme biçim ve yoğunluğu, ayrıca sağlanan buharın kazanın içerisinde

hareket edeceği yollar önemlidir. Çünkü bitkiye buhar ne kadar fazla nüfuz ettirilebilirse bitkiden ayrılacak uçucu yağ miktarı o kadar da değişmektedir. Bu nedenle damıtma kazanının mekaniksel tasarımı, buharın belli noktalardan doğrudan eşanjöre ulaşması yerine bitkiye daha fazla nüfuz etmesini sağlayacak biçimde yapılmalıdır. Şekil 1'de verilen sistem elemanlarının tümü çok büyük ölçekli damıtma sistemlerinde kullanılır iken bu çalışmada önerilen sistem görece daha küçük ölçekli olduğu için besleme tankı ve çift kademeli besleme pompası kullanılmamıştır. Bunun yerine su beslemesi şehir şebekesinden sağlanmış olup sistemden dışarıya atılan sıcak su tekrar kullanılmamıştır.

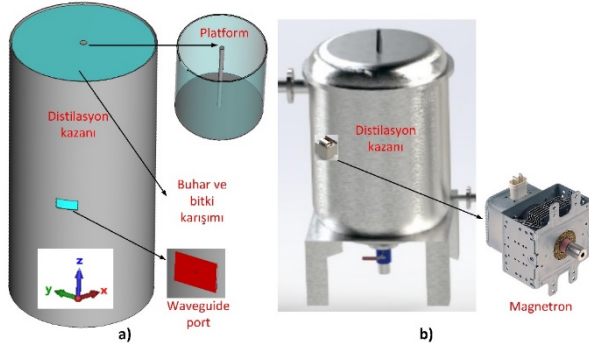
Şekil 2a'da benzetim setup ve Şekil 2b'de ise magnetronun damıtma kazanına yerleşimi gösterilmiştir. Sistemin üretimini gerçekleştirmeden önce elektrik alan dağılımının bitki dolu bir kazanda nasıl yayıldığını belirlemek amacıyla CST Studio Suite programı kullanılarak EM analiz yapılmıştır. Bu sayede kazana yerleştirilecek magnetronların sayısı ve konfigürasyonu belirlenmiştir. Benzetim programında magnetronu temsilen 2,45 GHz frekansta dalga kılavuzu port (waveguide port) kullanılmış ve damıtma kazanı içinde hem boş (hava) hem de bitki buhar doldurulmuştur. Her bir magnetronun giriş gücü 1 kW olup, çıkış gücü 700 W'tır ve buradaki güç farkı magnetronlarda ısı olarak kaybolmaktadır. Dolayısıyla her bir magnetronun bitkilere gönderilen maksimum güç 700 W değerindedir. Magnetronlar 3.500-4.000 Volt gibi yüksek gerilimde çalıştıkları için 220 V şebeke elektriği transformator kullanılarak yüksek gerilim seviyesine çıkarılmaktadır. Her bir magnetron için tek bir transformator kullanılmaktadır ve kontrol devresi Şekil 5a'da verilmiştir.

Ayrıca, Şekil 2a'da verilen bitkilerin kazana yerleştirilmeleri ve damıtma sonrası dışarı çıkarılmalarını kolaylaştırmak için bir platform kullanılmış ve benzetim setup belirlenirken dikkate alınmıştır.

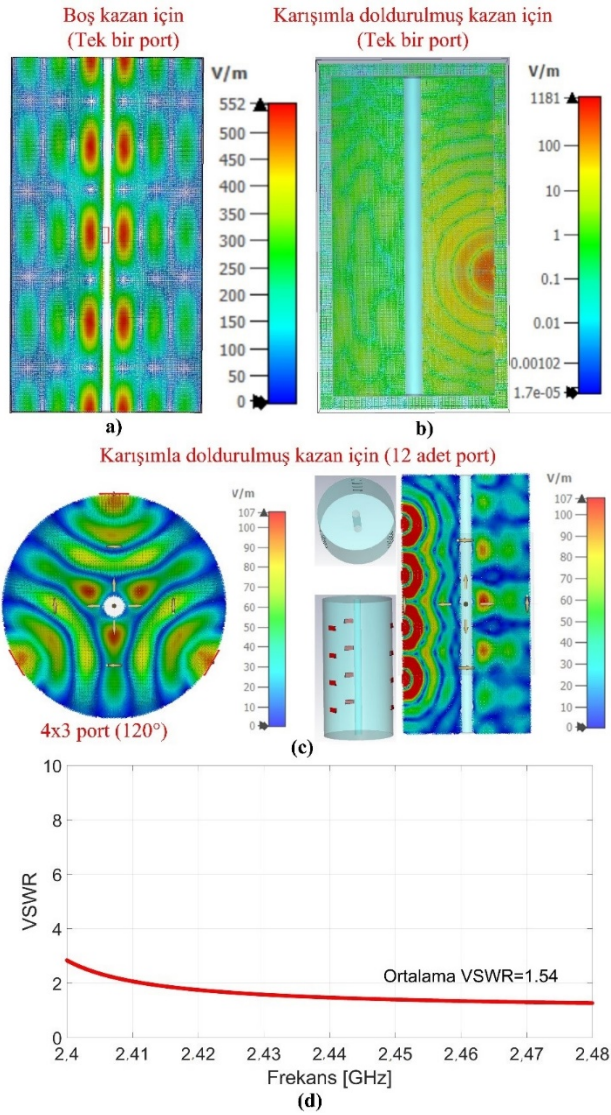
Hem boş kazandaki (bağıl elektriksel geçirgenlik,  $\epsilon_r=1$ ) hem de bitki ve buhar karışımıyla ( $\epsilon_r = 1,8+j 0,3$ ) (Genç ve ark., 2020; Doğan ve ark., 2020) doldurulmuş kazandaki E-alan dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Kayıplı ortamlarda kompleks dielektrik sabitinin reel kısmı ( $\epsilon'$ ), EM enerjinin malzeme içerisinde ne kadar depo edildiğini belirlerken, sanal kısmı ( $\epsilon''$ ) ise EM yayılım hızını, zayıflamayı ve iletim parametrelerini belirler.



Şekil 1. Geleneksel buharlı damıtma sisteminin genel yapısı  
Figure 1. General structure of a conventional steam distillation system



Şekil 2. a) Distilasyon kazanı için benzetim setup, b) magnetronun distilasyon yüzeyine yerleştirilmesi  
Figure 2. a) Simulation setup for the distillation boiler, b) placement of the magnetron on the distillation boiler



Şekil 3. a) Tek portlu boş kazan için, b) tek portlu, c) 12 farklı portlu bitki-buhar karışımıyla doldurulmuş kazan için E-alan dağılımları, (d) tek bir portun gerilim duran dalga oranı (VSWR)

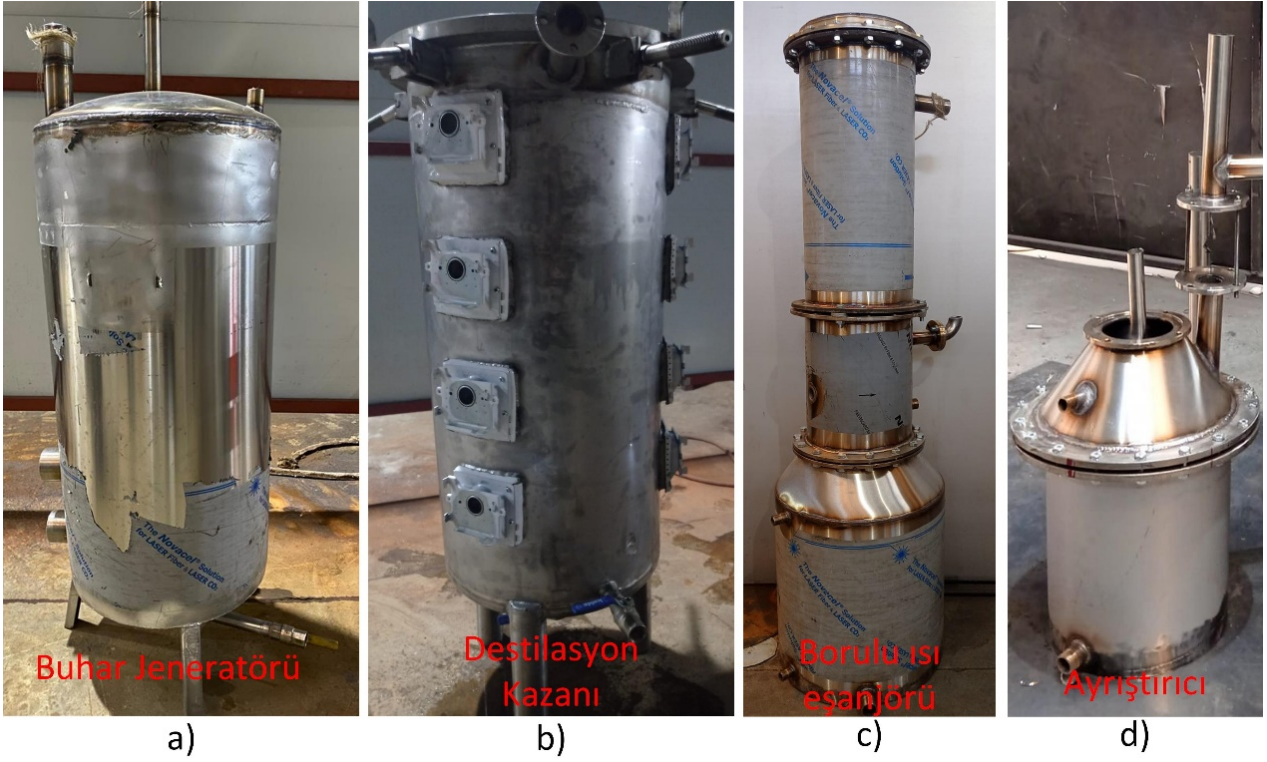
Figure 3. E-field distributions for a) empty boiler with one port, b) boiler with one port, c) boiler filled with plant-steam mixture with 12 different ports, (d) voltage standing wave ratio (VSWR) of a single port

Genel olarak, homojen, yön bağımsız ve kayıplı bir ortam için kompleks dielektrik sabiti Denklem 1'de verilmiştir (Metlek ve ark., 2021; Genc ve ark., 2021).

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + j\varepsilon'' \quad (1)$$

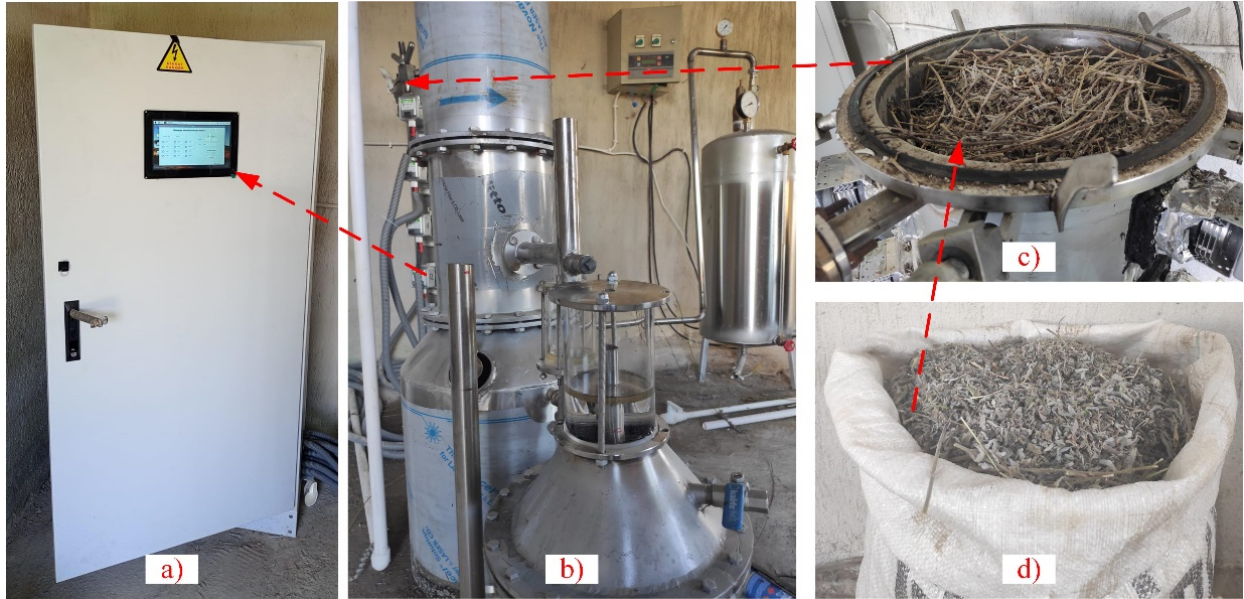
Buna göre, tek bir portun gerilim duran dalga oranının (VSWR) değeri, 1,54 olarak bulunmuştur. Boş kazandaki E-alan dağılımı kazanın merkezinde yoğunlaşmıştır ve bu durum kazanın boyutundan ve çoklu yansımalarından kaynaklanmaktadır. Dolu bir kazandaki E-alan dağılımı magnetronun yerleştirildiği noktadan kazanın merkezine doğru azalır çünkü EM dalga bitki ve hava karışımı nedeniyle ilerlerken zayıflamaya maruz kalır. Bu sonuçlara göre, bitki dolu kazana tek bir magnetron yerine yüksekliğe bağlı olarak daha fazla sayıda mikrodalga gücü verecek magnetron kullanılmalıdır. Buhar kazanının yüksekliği 80 cm için 4 adet magnetron yeterli ve homojen EM gücü sağlamaktadır. Buhar kazanının iç hacmi 100 litre olarak planlanmıştır. Dolayısıyla analiz sürecinde kazanın gerçek boyutları için yükseklik 80 cm ve 41 cm çap değerleri kullanılmıştır. Diğer taraftan bitkiye kazan içinde tüm yönlerde eşit EM gücü uygulamak için 120°'lik açılarda 4x3 dizi şeklinde kazan üzerine magnetronlar yerleştirilmiştir. Şüphesiz magnetron sayısını artırıp daha verimli bir sistem tasarımı da mümkün olabilir ancak burada maliyetlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Önerilen MDD sistemi iki aşamada üretilmiştir. Öncelikle geleneksel buharlı damıtma sistemi üretilmiştir. Şekil 4'te verilen geleneksel buharlı destilasyon sisteminin bileşenleri, buhar jeneratörü, destilasyon kazanı, eşanjör ve florentinden oluşmaktadır. Daha sonra MDD sisteminin üretimine geçilmiştir. Bunun için 12 adet magnetron destilasyon kazanına yerleştirilmiş ve bu magnetronlara enerji uygulamak için kontrol panosu içerisinde bulunan transformator, diyot, sigorta, yüksek gerilim kondansatörü kullanılmıştır. Ayrıca, Şekil 5b'de önerilen sistem, endüstriyel proseslere model olması amacıyla bitki türü ve bitkinin yaş veya kuru olmasına bağlı olarak değişecek biçimde her seferinde 5-12 kg'lık bitkiyi damıtacak şekilde tasarlanmıştır. Hem buhar ve damıtma kazanları 100 litre hacimli olarak seçilmiştir. Buhar kazanında her damıtma öncesi 80 litre su olacak şekilde ayarlama yapılmıştır. Buhar kazanına 2 adet 10 kW'lık rezistans monte edilmiş ve suyun kaynaması bu rezistanslar ile sağlanmıştır. Yaklaşık 30 dakikalık bir kaynama süresi sonunda buhar kazanında 4 bar'lık bir basınç elde edildiğinde damıtma kazanına buhar verilmeye başlanmaktadır. Damıtma kazanına buhar 1,2 bar değerinde verilmektedir. Tasarlanan sistemde ESP828 modülü üzerinden kazana eklenecek magnetronun kontrolü için kod yazılmış ve bu modülde bulunan Wi-fi ve Bluetooth özellikleri sayesinde cihazın yazılımı uzaktan kontrol edilebilmiştir. Magnetronlar DC yüksek gerilimle çalıştığından magnetronların trafo ve diğer elektriksel kontrol malzemeleri bir panoda toplanmış ve trafo çıkışları uygun bir kablo ile kazan üzerindeki magnetronlara bağlanmıştır. Magnetronun güç kontrolü için triyak kullanılmış ve bitkilere uygulanan güç ve süre yazılımla kontrol edilmiştir. Sistemin üretilmiş genel yapısı Şekil 5b'de verilmiştir. Şekil 5a'da magnetronların ihtiyaç duyduğu yüksek gerilimi sağlayacak trafoların ve kontrol kartlarının yerleştirildiği pano, Şekil 5c'de adaçayının damıtma kazanına yerleştirilmiş hali ve Şekil 5d'de ise damıtılan adaçayı görülmektedir.



Şekil 4. Üretilen geleneksel destilasyon sisteminin bileşenleri, a) buhar jeneratörü, b) destilasyon kazanı, c) eşanjör ve d) florentin

Figure 4. Components of the produced conventional distillation system, a) steam generator, b) distillation boiler, c) heat exchanger and d) florentine



Şekil 5. a) Magnetronları kontrol etmek için kontrol panosu, b) önerilen MDD sistemi, c) bitki numunelerinin kazana yerleştirilmesi ve d) adaçayı (*S. fruticosa*) bitkisi

Figure 5. a) the control board to control the magnetrons, b) the proposed MDD system, c) the placement of plant samples in the boiler, and d) the sage (*S. fruticosa*) plant

#### **Bitki materyalinin Hazırlanması ve Kimyasal Analizlerin Yapılması**

Üretilen sistemin etkinliği adaçayı (*S. fruticosa*) bitkisi kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla denemede Denizli ili Uzunpınar ilçesinden kültür koşullarında yetiştirilerek kurutulmuş bitki örnekleri kullanılmıştır. Adaçayının kuru herba (sap ve yaprakları birlikte) ve saplarından ayrılan kuru yapraklar çalışılmıştır. Sap ve yapraklar (herba) hem

geleneksel yöntemle hem de mikrodalga desteği verilerek damıtılırken, yapraklar sadece mikrodalga desteği ile damıtılmıştır. Her test ölçümü için 5 kg bitki kullanılmıştır. Elde edilen uçucu yağlardan alınan numuneler 25 ml'lik cam şişelere konularak analiz yapılacak laboratuvara ulaştırılmıştır. Analizler Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Araştırmalar Merkezindeki GC-MS cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

## Bulgular ve Tartışma

Uçucu yağda yapılan kimyasal analiz sonucunda *S. fruticosa* bitkisinde 52 adet bileşen tespit edilmiştir. Bu bileşenlerden %0,2 değerinden büyük olan 27 tanesi Çizelge 1’de verilmiştir.

Analizi yapılan örneklemede geleneksel buharlı damıtma süresi 90 dakika olarak alınmıştır. Literatürde ve testlerimizde de gözlemlediğimiz üzere 60-70 dakika sonrasında kayda değer bir uçucu yağ damıtılması gerçekleşmemektedir. Bu nedenle sistemin daha fazla enerji harcamaması için süre 90 dakika ile sınırlandırılmıştır. Benzer bir durum da MDD sisteminde söz konusudur. 30-35 dakika sonrasında MDD sisteminde damıtılma neredeyse tamamlanmış gibidir. Bu nedenle de 45 dakika sonunda MDD sistemi sonlandırılmıştır. Ayrıca, geleneksel buharlı damıtma sonuçlarıyla MDD sistemi vasıtasıyla yapılan damıtma işleminin sonuçları karşılaştırıldığında 9 adet bileşende ( $\alpha$ -terpinen, limonen,  $\gamma$ -terpinen, terpinolen,  $\alpha$ -tuyon,  $\beta$ -tuyon, kafur, linall asetat, bornil asetat) en az %10 düşme, 6 bileşende ( $\beta$ -pinen, sabinen hidrat, *cis*-sabinen hidrat, borneol, *trans*-karyofillen, aromadendren, karyofillen oksit) ise en az %10 artma görülmektedir. En büyük azalış limonen bileşeninde (%56,8), en büyük artış da borneol bileşeninde (%51,2) görülmüştür.

Diğer taraftan, MDD sisteminde gerçekleştirilen sap ve yaprakların karışık damıtılma sonucu ile sadece

yaprakların damıtılma sonuçları karşılaştırıldığında da 13 adet bileşende azalma, 6 adet bileşende artma olmak üzere 19 adet bileşende %10’dan daha büyük değişimler söz konusudur. Ana bileşen olan 1,8-sineol bileşenindeki %19,1’lik değişim önemlidir (Şekil 6). Çünkü Anadolu adaçayının %50’ye yakın değerinin bu bileşen tarafından oluşturulduğu dikkate alınır bu bileşende değişimler daha anlamlı hale gelmektedir. Yine değişim büyüklüğü açısından bakıldığında karyofilen bileşenlerindeki azalma dikkat çekicidir.

Farklı durumlara göre adaçayı bitkisinden elde edilen verim değerleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Buna göre uçucu yağ verimleri sırasıyla, %0,8, %0,9 ve %1,84 olarak elde edilmiştir. MDD sisteminde geleneksel sisteme göre %10 civarı bir verim artışı söz konusu iken sadece yaprakların damıtıldığı durumda aynı şartlarda yapılan damıtma işlemine göre %100 den fazla bir verim artışı söz konusudur. Bu da adaçayı bitkisinde uçucu yağların daha çok yapraklarda olduğunu göstermektedir.

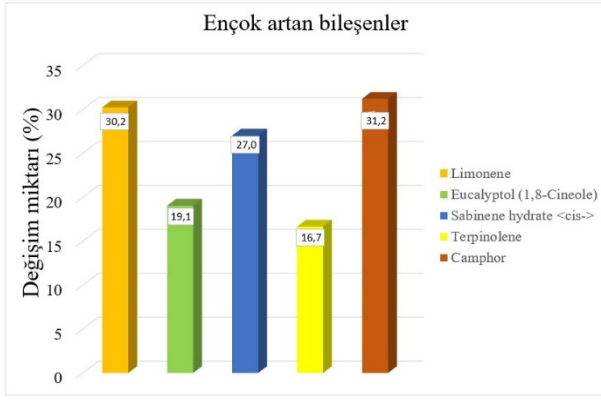
Şekil 6 ve Şekil 7 birlikte değerlendirildiğinde, adaçayı bitkisinde bazı bileşenlerin sap ve yaprak karışımında daha fazla olduğu bazı bileşenlerinde sadece yapraklarda yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Bu durum farklı bileşenlere yönelik yapılacak çalışmalarda önemli bir husustur. Örneğin karyofilen bileşenine ihtiyaç duyulan bir durumda sadece yapraklar yerine sap ve yaprakların birlikte damıtılması daha doğrudur.

Çizelge 1. *S. fruticosa* bitkisinden elde edilen kimyasal analiz sonuçları

Table 1. Chemical analysis results obtained from *S. fruticosa* plant

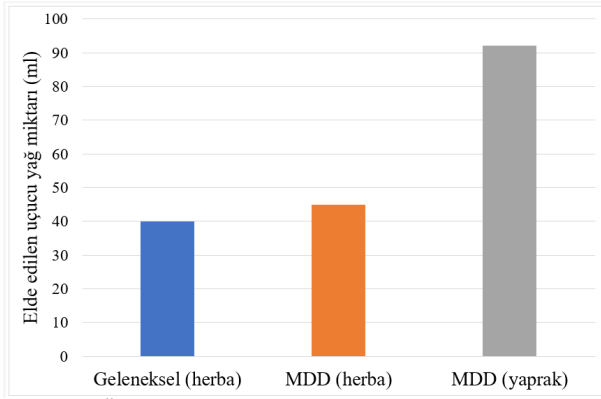
No	Rt	Bileşen	A	B	C	A-B	B-C
1	6,285	$\alpha$ -Thujen	0,57	0,57	0,51	0	0,06
2	6,548	$\alpha$ -Pinen	6,34	6,75	6,75	-0,41	0
3	7,111	Kamfen	5,35	4,89	5,42	0,46	-0,53
4	7,927	Sabinen	0,61	0,66	0,48	-0,05	0,18
5	8,143	$\beta$ -Pinen	8,53	9,35	8,63	-0,82	0,72
6	8,571	$\beta$ -Myrcene	4,19	4,26	4,06	-0,07	0,2
7	9,781	$\alpha$ -Terpinen	0,55	0,49	0,41	0,06	0,08
8	10,136	Cymol	0,52	0,49	0,39	0,03	0,1
9	10,386	Limonen	1,99	0,86	1,12	1,13	-0,26
10	10,576	Eucalyptol (1,8-sineol)	34,71	36,06	42,93	-1,35	-6,87
11	11,785	$\gamma$ -terpinen	1,14	0,89	0,74	0,25	0,15
12	12,416	<i>Cis</i> -sabinen hidrat	0,29	0,37	0,47	-0,08	-0,1
13	13,218	Terpinolen	0,39	0,3	0,35	0,09	-0,05
14	14,081	Linalool	0,42	0,4	0,42	0,02	-0,02
15	14,372	$\alpha$ -Tuyon	2,87	2,32	1,98	0,55	0,34
16	15,023	$\beta$ -Tuyon	2,98	2,2	2,11	0,78	0,09
17	16,703	Kafur	7,84	6,44	8,45	1,4	-2,01
18	18,283	Borneol	0,41	0,62	0,56	-0,21	0,06
19	18,799	4-Terpineol	0,21	0,21	0,19	0	0,02
20	19,745	$\beta$ -Fenil alkol	0,46	0,48	0,43	-0,02	0,05
21	23,375	Linall asetat	0,52	0,45	0,33	0,07	0,12
22	25,465	Bornil asetat	1,01	0,71	0,65	0,3	0,06
23	34,097	<i>Trans</i> -karyofillen	12,28	13,59	8,57	-1,31	5,02
24	35,217	Aromadendren	0,57	0,66	0,37	-0,09	0,29
25	36,282	$\alpha$ -Humulen	2,16	2,22	1,49	-0,06	0,73
26	43,969	Karyofillen oksit	0,23	0,28	0,14	-0,05	0,14
27	44,760	Leden	0,75	0,74	0,38	0,01	0,36
Toplam			97,89	97,26	98,33		

A: Geleneksel buhar damıtma (herba için); B: Mikrodalga destekli damıtma (herba için); C: Mikrodalga destekli damıtma (sadece yaprak için); A-B durumları arasındaki değişim; B-C durumları arasındaki değişim



Şekil 6. Sap ve yaprakların damıtılma sonucuna göre sadece yaprakların damıtıldığı durumdaki en çok değişim gösteren bileşenler

Figure 6. Most changed components in the distillation of stems and leaves compared to the distillation of leaves only



Şekil 7. Üç farklı durum için 5 kg'lık adaçayıdan elde edilen uçucu yağ miktarları

Figure 7. Essential oil amounts obtained from 5 kg of sage for three different conditions

Çünkü sadece yaprakların damıtıldığı durumda bu bileşenler yarı yarıya azalmıştır. Hatta artan bileşenler için sadece yaprakların damıtılması azalan bileşenler için de sadece sapsuların damıtılması gibi durumlarda söz konusu olabilir. Bu durumda yapraklardan ayrı bileşenler elde edilirken sapsulardan da karyofilen ve yapraklarda azalan bileşenlerin eldesi söz konusu olacaktır.

## Sonuç ve Öneriler

Dünya'nın çoğu yerinde çok farklı türlerde karşımıza çıkan ve çok farklı amaçlar için kullanılan adaçayının içerdiği bileşenler nedeniyle son zamanlarda yapılan çalışmalarla birçok hastalığın tedavisinde etken madde olarak kullanılabilmesi ortaya konulmuştur. Bu çalışmada ülkemizde yaygın olan ve Anadolu adaçayı olarak isimlendirilen *S. fruticosa* bitkisinin farklı şekillerde damıtılması gerçekleştirilmiştir. Önce geleneksel buharlı sistemle damıtma gerçekleştirilmiş daha sonra endüstriyel damıtma ölçeklerine yakın tasarlanmış MDD sistemi kullanılarak damıtma yapılmıştır. Bu iki damıtma yönteminde de bitki bir bütün olarak (sap ve yapraklar) damıtma kazanına konularak işlem gerçekleştirilmiştir. Daha sonra MDD sistemi ile sapsul ayrılarak sadece yapraklardan oluşan bitkinin damıtılması sağlanmıştır. Tüm bu damıtma işlemleri sonunda elde edilen uçucu

yağalar GC-MS cihazıyla kimyasal olarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

- Analiz sonuçlarına göre MDD sistemi ile yapılan damıtma işleminde yağ kalitesini bozacak bir durum söz konusu olmamıştır. Çünkü ana bileşenler, ilgili ISO standartlarına uygundur.
- MDD sisteminde geleneksel buharlı damıtma süresinin yarısı kadar zamanda çalışılmıştır. Dolayısıyla hem süreden hem de enerjiden kazanç söz konusudur.
- Herba kullanılan iki farklı durum için MDD sistemi ile elde edilen yağ verimi geleneksel sisteme göre %10 artmıştır.
- Beklenildiği gibi bitkinin farklı organlarındaki yağ oranları değişiklik göstermektedir. Bu durumu göstermek için herba ve yaprak ayrı ayrı MDD sistemi kullanılarak destile edilmiştir ve sadece yaprakların damıtılması durumunda verim artışı %100 den fazla olmaktadır. Buradaki yağ oranının artışı MDD sisteminden ziyade numune farklılığından kaynaklanmaktadır.
- MDD sisteminde geleneksel sisteme göre bazı bileşenlerde artma ve azalmalar söz konusudur. Aynı artma ve azalma durumu sadece yaprakların damıtıldığı durum için de geçerlidir.

Bu artan ve azalan bileşenler dikkate alınarak farklı damıtma senaryoları düşünülebilir. Bazı durumlarda sadece sapsuların, bazı durumlarda karılımlın bazı durumlarda da sadece yaprakların damıtılması çalışılan bileşenler açısından değerlendirilebilir. Endüstriyel ölçeklere yakın olarak tasarlanan ve adaçayı bitkisinin damıtılmasında kullanılan sistemle mikrodalga desteğinin geleneksel buharlı damıtma süreçlerindeki verim ve süre etkisini artıracığı, buna bağlı olarak da harcanan enerji miktarını düşüreceği ve uçucu yağ elde edilmesindeki işletme maliyetlerine pozitif katkı sağlayacağı sonucuna ulaşılabilir.

## 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.

## Kaynaklar

- Anonim, (2022). Adaçayı fizibilite raporu ve yatırımcı rehberi <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/YATIRI-MCI%20REHBER%C4%B0/ADACAYIF%C4%B0Z%C4%B0B%C4%B0L%C4%B0TE%20RAPORU.pdf> (Son görülme tarihi: 15.03.2024)
- Büyüktünel, E. (2012). Gelişmiş ekstraksiyon teknikleri I. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, (2), 209-242.
- Cvetkovikj, I., Stefkov, G., Karapandzova, M., & Kulevanova, S. (2015). Essential oil composition of *Salvia fruticosa* Mill. Populations from Balkan Peninsula. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*, 61(01), 19-26. <https://doi.org/10.33320/maced.pharm.bull.2015.61.01.004>

- Dogan, H., Basyigit, I. B., & Genc, A. (2020). Determination and modelling of dielectric properties of the cherry leaves of varying moisture content over 3.30–7.05 GHz frequency range. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 54(3), 254-270. <https://doi.org/10.1080/08327823.2020.1794724>
- Drinić, Z., Pljevljakušić, D., Živković, 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 Processing*, 120, 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.01.011>
- El Euch, S. K., Hassine, D. B., Cazaux, S., Bouzouita, N., & Bouajila, J. (2019). *Salvia officinalis* essential oil: Chemical analysis and evaluation of anti-enzymatic and antioxidant bioactivities. *South African Journal of Botany*, 120, 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.010>
- Elmas, S. (2021). Türkiye’de Adaçayı Yetiştiriciliği ve Ticari Önemi, *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 298-332.
- Elmas, S. ve O. Elmas. (2021) *Salvia fruticosa*’nın (Anadolu Adaçayı) Terapötik Etkileri. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1): p. 114-137. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.764602>
- Genc, A., Basyigit, I. B., Dogan, H., & Colak, B. (2021). Measuring and modelling the complex-permittivity of hemp plant (*Cannabis sativa*) at X band for microwave remote sensing. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 35(14), 1909-1921. <https://doi.org/10.1080/09205071.2021.1924294>
- Genç, A., Doğan, H., & Başyigit, İ. B. (2020). A new semiempirical model determining the dielectric characteristics of citrus leaves for the remote sensing at C band. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 28(3), 1644-1655. <https://doi.org/10.3906/elk-1909-92>
- Irakli, M., Bouloumpasi, E., Christaki, S., Skendi, A., & 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., & 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>
- Katar, D., Katar, N., & Can, M. (2022). Agricultural and quality characteristics of sage (*salvia fruticosa* mill.) depending on nitrogen applications. *Journal of Plant Nutrition*, 45(10), 1441-1449. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020829>
- Koçak, M. Z., Karadağ, M., & ÇeliKcan, F. (2021). Essential oil composition of *Salvia officinalis* and *Rosmarinus officinalis*. *Journal of Agriculture*, 4(1), 39-47. <https://doi.org/10.46876/ja.938170>
- Konak, Ü. İ., Certel, M., & Helhel, S. (2009). Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 20-31.
- Koutsoulas, A., Čarnecká, M., Slanina, J., Tóth, J., & Slaninová, I. (2019). Characterization of phenolic compounds and antiproliferative effects of *salvia pomifera* and *salvia fruticosa* extracts. *Molecules*, 24(16), 2921. <https://doi.org/10.3390/molecules24162921>
- Marković, M. S., Radosavljević, D. B., Pavićević, V. P., Ristić, M. S., Milojević, S. Ž., Bošković-Vragolović, N. M., & 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>
- Metlek, S., Kayaalp, K., Basyigit, I. B., Genc, A., & Dogan, H. (2021). The dielectric properties prediction of the vegetation depending on the moisture content using the deep neural network model. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 31(1). <https://doi.org/10.1002/mmce.22496>
- 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., Efferth, T., & 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>
- Önol K. (2009). Üretim metalurjisinde mikrodalga uygulamaları. *Metallurji Dergisi*, 154, 21-26.
- Tiring, G., Satar, S. ve Özkaya, O. 2021. Sekonder Metabolitler. *Bursa Uludağ Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(1), 203 – 215.
- Tuğlu, Ü., Baydar, H., & Erbaş, S. (2021). Distilasyon yöntemlerinin, sürelerinin ve fraksiyonlarının kekik (*Origanum onites* L.) uçucu yağ oranları ve bileşenleri üzerine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4), 3195-3202. <https://doi.org/10.21597/jist.810615>
- Ververis, A., Kyriakou, S., Ioannou, K., Chatzopoulou, P. S., Panayiotidis, M. I., Plioukas, M., & Christodoulou, K. (2023). Chemical profiling and antioxidant and anti-amyloid capacities of *salvia fruticosa* extracts from greece. *Plants*, 12(18), 3191. <https://doi.org/10.3390/plants12183191>
- Yaman, T., & Kuleaşan, Ş. (2016). Uçucu yağ elde etmede gelişmiş ekstraksiyon yöntemleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(Özel (Special) 1), 78-83.
- Yenikalaycı, A., & Özgüven, M. (1999). Çukurova bölgesinde doğal adaçayı türleri *Salvia* spp ile tıbbi adaçayı *Salvia officinalis* L.’nin kültürü ve kemotaksonomik araştırmalar. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 14(2), 91–98.
- Yenikalaycı, A., & Bozarı, S. (2023, 29-30, Haziran). Türkiye’nin Muş ilinde yetiştirilen tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.) ve anadolu adaçayı (*Salvia fruticosa* MİLL.)’in uçucu yağlarının bileşenlerinin belirlenmesi. International Paris congress on agriculture & animal husbandry. Paris, Fransa. [https://tr.iksadparis.org/\\_files/ugd/614b1f\\_3524db3e5e8347b4a6f2b89d04f205e.pdf](https://tr.iksadparis.org/_files/ugd/614b1f_3524db3e5e8347b4a6f2b89d04f205e.pdf)