

Centaurium erythraea Uçucu Yağının Kimyasal Bileşimi ve Antibakteriyel Aktivitesinin Belirlenmesi

Determination of Chemical Composition and Antibacterial Activity of *Centaurium erythraea* Essential Oil

Özet

Amaç: Bu çalışmanın amacı, *Centaurium erythraea* bitkisinden elde edilen uçucu yağın kimyasal bileşimini ve antibakteriyel aktivitesini belirlemektir.

Gereç ve Yöntem: *Centaurium erythraea* bitkisinin uçucu yağı Clevenger aparatı ile (3 saat) hidrodistilasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Uçucu yağın kimyasal bileşimi Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi (GC-MS) cihazı ile analiz edilmiştir. Uçucu yağın antibakteriyel aktivitesi disk difüzyon yöntemi ile belirlenmiştir. Antibakteriyel aktivite testi 50 mg/disk konsantrasyonda başlatılmıştır. *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa* bakterileri antibakteriyel aktivite testinde kullanılmıştır.

Bulgular: *C. erythraea* uçucu yağında elli sekiz bileşen tanımlanmıştır. Tanımlanan bileşenler uçucu yağın %93,3'ünü oluşturmaktadır. Uçucu yağın ana bileşenleri, 2-metil oktan (8,1%), 1-tetradekanol (7,8%), karyofilen oksit (6,5%) ve 1-dodekanol (5,6%) olarak belirlenmiştir. Uçucu yağ, *B. subtilis* (11 mm), *B. cereus* (10 mm) ve *P. aeruginosa* (8 mm) karşı antibakteriyel aktivite göstermiştir.

Sonuç: Türkiye orijinli *C. erythraea* uçucu yağının kimyasal bileşimi ve antibakteriyel aktivitesi ilk kez araştırılmıştır. Uçucu yağ düşük antibakteriyel aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Mevcut çalışmanın uçucu yağ bileşimi, nitelik ve nicelik açısından önceki çalışmalardan farklılıklar göstermiştir.

Anahtar kelimeler: *Centaurium erythraea*, uçucu yağ, antibakteriyel aktivite, disk difüzyon yöntemi

Esra YILDIRIM SERVİ¹

EYS: 0000-0001-5094-5828

¹Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Istanbul Sabahattin Zaim University, Istanbul, Türkiye

Received/Geliş Tarihi:
20/08/2025

Accepted/Kabul Tarihi:
16/09/2025

Çıkar Çatışması

Çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:
Esra YILDIRIM SERVİ
E-posta: esra.servi@izu.edu.tr

Abstract

Aim: The aim of this study was to determine the chemical composition and antibacterial activity of the essential oil obtained from the plant *Centaurium erythraea*.

Materials and methods: The essential oil of *Centaurium erythraea* was obtained by hydrodistillation using a Clevenger apparatus (3 hours). The chemical composition of the essential oil was analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The antibacterial activity of the essential oil was determined by disc diffusion method. The antibacterial activity test was initiated at a concentration of 50 mg/disc. *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa* bacteria were used in the antibacterial activity test.

Results: Fifty-eight compounds were identified in the essential oil of *C. erythraea*. The identified compounds constituted 93.3% of the essential oil. The main components of the essential oil were determined as 2-methyl octane (8.1%), 1-tetradecanol (7.8%), caryophyllene oxide (6.5%), and 1-dodecanol (5.6%). The essential oil showed antibacterial activity against *B. subtilis* (11 mm), *B. cereus* (10 mm), and *P. aeruginosa* (8 mm).

Conclusion: The chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *C. erythraea*, originating from Turkey, were investigated for the first time. The essential oil was found to exhibit low antibacterial activity. The composition of the essential oil in the present study differed qualitatively and quantitatively from previous studies.

Key words: *Centaurium erythraea*, essential oil, antibacterial activity, disc diffusion method

1. Giriş

Tıbbi bitkiler yeni biyoaktif moleküllerin incelenmesi için önemli bir kaynaktır. Birçok ilaç, tıbbi bitki ürünlerinden elde edilmektedir [1]. Tıbbi bitkilerden elde edilen doğal ürünler arasında, özellikle uçucu yağlar ilgi çekicidir. Uçucu yağlar, aromatik bitkiler tarafından mikroorganizmalara ve hücrel strese karşı savunma gibi belirli işlevleri yerine getirmek için ikincil metabolitler olarak sentezlenir [2]. Son yıllarda uçucu yağlar ve türevlerine özel bir ilgi duyulmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar, uçucu yağların antioksidan, antibakteriyel ve antidiyabetik aktivite gibi birçok biyolojik özelliğe sahip olduğunu göstermiştir [3]. Uçucu yağların sentezi, bitkinin türü, kullanılan kısmı, coğrafi konumu ve fenolojik evresi gibi çeşitli parametrelerden etkilenmektedir [4]. *Centaurium erythraea* Rafn., 20-60 cm boyunda, tek veya iki yıllık otsu bir bitkidir. Bu tür, Gentianaceae familyasına aittir ve *Centaurium* cinsi yaklaşık 28 tür

içermektedir. *C. erythraea* türü, Fas, Cezayir, İtalya, İspanya, Portekiz ve Balkan Yarımadası gibi birçok ülkede yayılış göstermektedir [5]. *C. erythraea* bitkisi, ateş düşürücü, dispeptik şikayetler, iştahsızlık, diyabet, sindirim bozuklukları, atopik dermatit, kanser, zatürre, kardiyovasküler sorunlar, astım, mide ağrısı, böbrek hastalıkları ve cilt hastalıkları gibi çok sayıda hastalığın geleneksel tedavisinde kullanılmaktadır [6-19]. Etno-farmakolojik çalışmalar sonucunda, *C. erythraea*'nın rinit, mide rahatsızlıkları, idrar yolu enfeksiyonu, hemoroid ve idrar söktürücü olarak kullanılmaktadır [16, 20]. Fitokimyasal araştırmalar, *C. erythraea*'nın sekoiridoidler, ksantonoidler, terpenoidler, flavonoidler, fenolik asitler, yağ asitleri ve uçucu yağlar dahil olmak üzere çok sayıda biyoaktif madde içerdiğini göstermiştir [21-32]. Farmakolojik çalışmalar, *C. erythraea*'nın toprak üstü kısımlarından elde edilen ekstre ve uçucu yağların antibakteriyel, antioksidan, antifungal, antileishmanial, sitotoksik, antidiyabetik, antiinflamatuvar, böcek öldürücü

ve larva gelişimini inhibe edici, spazmolitik etki, gastroprotektif, dermatoprotektif, hepatoprotektif, nöroprotektif, analjezik ve antipiretik aktiviteler dahil olmak üzere çeşitli biyolojik etkiler sergilediğini ortaya koymuştur [10, 11, 22, 29, 33-38]. Yapılan literatür çalışmasında *C. erythraea*'nın uçucu yağ bileşimi hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır. Fas, Hırvatistan, Cezayir ve Sırbistan orijinli *C. erythraea* bitkisinin toprak üstü kısmından elde edilen uçucu yağların ana bileşenleri β -kopaen-4 α -ol, mentol, karvakrol, trikosan, neofitadien izomeri III, p-kamforen, timol, linalool, borneol, meton, β -tuyon, borneol, kafur, γ -terpinen, p-simen, neofitadien, karyofilen oksit, δ -kadinen, heksadekanoik asit, linoleik asit ve tetradekanoik asit olarak tespit edilmiştir [22, 25, 39, 40]. Türkiye orijinli *C. erythraea* bitkisinin uçucu yağının kimyasal kompozisyonu hakkında literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırmanın ilk amacı, hidrodistilasyon yöntemi kullanılarak *C. erythraea*'nın toprak üstü kısımlarından uçucu yağ elde etmek ve antibakteriyel aktivitesini belirlemektir. İkinci amaç ise, *C. erythraea*'nın uçucu yağ bileşimindeki çeşitliliği belirlemek ve kimyasal kompozisyon farklılıklarının coğrafi bölgelere göre değiştiğini göstermektir. Son olarak ise, uçucu yağ bileşimindeki çeşitliliğin antibakteriyel aktivite sonucuna etkisini ortaya koymaktır.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1 Bitki materyali

Centaurium erythraea bitkisinin toprak üstü kısımları İstanbul-Bakırköy'de yer alan yerel aktardan satın alınmıştır. Aktardan alınan bilgiye göre bitki çiçeklenme döneminde Haziran ayında toplanılmıştır. Bitkinin teşhisi Dr. Ahmet Doğan tarafından yapılmıştır.

2.2 Uçucu yağ eldesi

C. erythraea bitkisinin kurutulmuş toprak üstü kısımlarından (200 g) uçucu yağ eldesi hidrodistilasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Manuel parçalama işlemi yapılarak küçültülen kuru *C. erythraea* toprak üstü kısımların üzerine 1 L distile su ilave edilerek Clevenger aparatına bağlanmıştır. Kondenzasyon akımı çalıştırılmış ve ısıtıcı açıldıktan sonra 3 saat boyunca distilasyon işlemi yapılmıştır.

2.3 Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) Analizi

GC-MS analizi Agilent 5975 GC-MSD sisteminde Innowax FSC kolonunda (60 m x 0,25 mm, 0,25 μ m film kalınlığı) helyum mobil fazı (1,0 mL/dak) ile yapılmıştır. Uçucu yağ 1:10 oranında n-hekzan içerisinde 1 μ L enjeksiyon hacminde split modda kolona enjekte edilmiştir. GC fırın sıcaklığı 60°C'de 10 dakika tutulmuş ve 220°C'ye 4°C/dakika hızla çıkarılmıştır, bu sıcaklıkta 10 dakika sabit tutulmuştur. Daha sonra 240°C'ye 1°C/dakika hızla çıkarılmıştır. Enjeksiyon ve MS transfer hattının sıcaklığı 250°C'ye ve kütle spektrometresi 70 eV iyonizasyon enerjisine ayarlanmıştır. Kütle spektrometresi tarama aralığı m/z 35-450 atomik kütle birimi aralığına ayarlanmıştır.

2.4 Uçucu Yağ Bileşenlerinin Belirlenmesi

Uçucu yağ bileşenlerinin tanımlanması relatif gecikme zamanlarının, orijinal örneklerin gecikme zamanları ile karşılaştırılması veya relatif gecikme zamanlarının bir n-alkan serisi ile karşılaştırılması ile yapılmıştır. Ayrıca bilgisayarda ticari Wiley GC/MS Library ve NIST17 kütle spektrum kütüphaneleri ve orijinal bileşikler ve bilinen uçucu yağ içerikleri kullanılarak bileşiklerin kütle spektrum profilleri karşılaştırılarak tanımlamalar yapılmıştır.

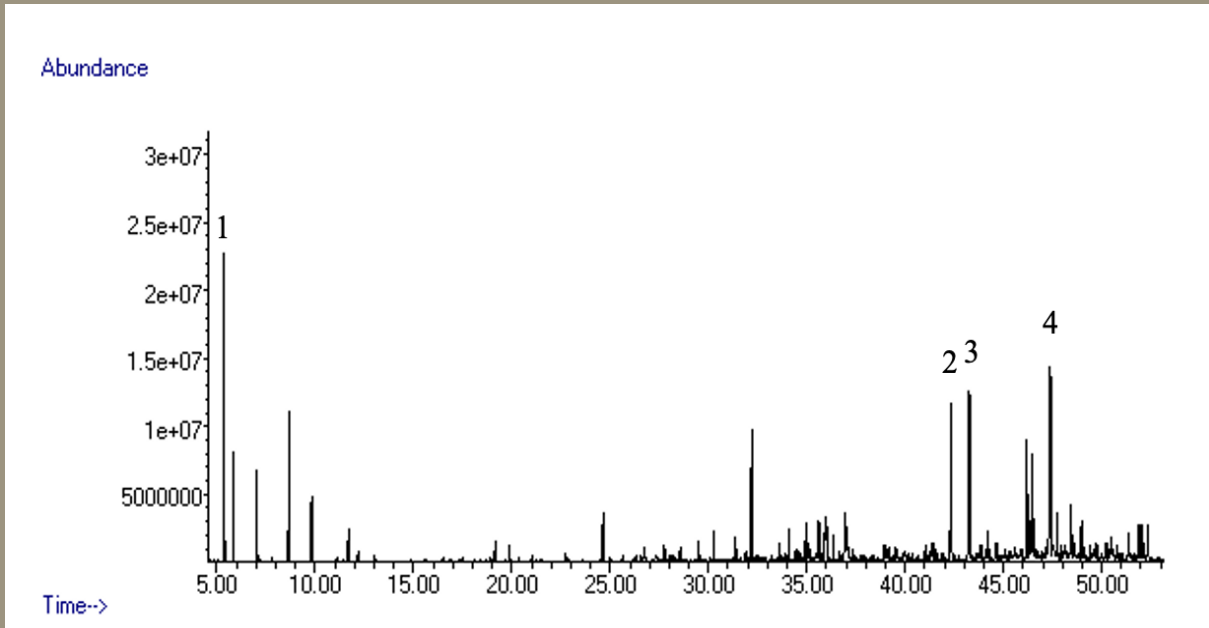
2.5 Antibakteriyel aktivite

Uçucu yağın antibakteriyel aktivitesi, Gram pozitif (+) *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* ve *Bacillus cereus* ile Gram negatif (-) *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa* suşlarına karşı disk difüzyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bakteriler Mueller Hinton agar ekilip 37°C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Üreyen taze kültürlerden Mueller Hinton Broth (MHB, Merck) içerisinde 0,5 McFarland bulanıklığında süspansiyonlar hazırlanmıştır. Uçucu yağ 50 mg/mL konsantrasyonda olacak şekilde stok halinde hazırlanmıştır. Çözücü olarak %10'luk dimetil sülfoksit (DMSO) ilave edilmiş sıvı besi ortamı kullanılmıştır. Hazırlanan stoklar 0,45 μ m por çaplı filtreden geçirilip steril edilmiştir. Bakteriler 100 μ L olarak yayma ekim tekniği ile Mueller Hinton agar besiyerine ekilmiştir. Her bir besiyerinde 3 adet olacak şekilde antibiyotik diskleri (Whatman kağıtları) sırası ile steril pens aracılığı ile yüzeylere yerleştirilmiştir. Ardından her bir besiyeri üzerinde bulunan 3 adet Whatman kağıdından birine

20 µL olarak uçucu yağ, diğerine 20 µL %10 Dimetilsülfoksit (DMSO) (negatif kontrol), diğer diske ise 20 µL kloramfenikol antibiyotiği emdirilmiştir (pozitif kontrol). Tüm deneyler üçer kez tekrarlanmıştır.

3. Bulgular

C. erythraea uçucu yağında elli sekiz bileşen tanımlanmıştır. Tanımlanan bileşenler uçucu yağın 93,3%'unu oluşturmaktadır. Uçucu yağın ana bileşenleri, 2-metil oktan (8,1%), 1-tetradekanol (7.8%), karyofilen oksit (6,5%) ve 1-dodekanol (5,6%) olarak belirlenmiştir. *n*-alkan türevi (38,9%), seskiterpenoid (19,1%) ve seskiterpen (14,8%) uçucu yağın başlıca ana gruplarını oluşturmaktadır (Tablo 1 ve Şekil 1).



Şekil 1. *Centaurium erythraea* uçucu yağının GC-MS kromatogramı (1:2-metil oktan, 2:1-dodekanol, 3:Karyofilen oksit, 4:1-tetradekanol)

Tablo 1. *Centaurium erythraea*'nın uçucu yağ bileşimi

¹ AZ	² BAZ	³ BAZ Lit.	Bileşik	(%)
5.368	847	858	2-Metil oktan	8,1
5.838	895	900	Nonan	1,9
7.036	958	965	3-Metil nonan	2,0
8.681	1040	1032	α -Pinen	4,8
9.816	1097	1065	2-Metil dekan	2,3
11.697	1191	1200	Dodekan	1,0
19.157	1257	1241	2-Metil dodekan	0,6
19.875	1273	1280	<i>p</i> -simen	0,5
24.640	1388	1391	(<i>Z</i>)-3-Hekzenol	1,4
26.724	1444	1450	<i>Trans</i> -linalol oksit	0,6
26.788	1446	1463	Heptanol	0,1
27.752	1473	1482	α -Longipinen	0,6
28.566	1496	1497	α -Kopaen	0,6
29.498	1524	1532	Kafur	1,1
30.276	1547	1553	Linalol	1,0
31.348	1580	1577	α -Sedren	0,8
32.199	1606	1612	β -Karyofilen	4,2
33.626	1653	1658	α -Patçolene	0,6
33.693	1656	1651	Safranal	0,1
34.096	1669	1668	(<i>Z</i>)- β -Farnesen	1,2
34.952	1697	1704	γ -Muuroolen	1,1
35.067	1701	1706	α -Terpineol	0,4
35.612	1720	1726	Germakren D	1,4
35.994	1733	1738	<i>p</i> -Mentha-1,5-dien-8-ol	1,3
36.000	1734	1740	β -Himaşalene	1,3
36.361	1746	1751	Karvon	0,9
36.951	1767	1773	δ -Kadinen	1,9
37.051	1770	1776	γ -Kadinen	1,1

41.063	1918	1915	Nonadesen	0,6
42.348	1969	1973	1-Dodekanol	5,6
43.264	2004	2008	Karyofilen oksit	6,5
43.861	2029	2037	Salvial-4(14)-en-1-on	0,7
44.181	2042	2050	<i>Trans</i> -nerolidol	0,8
44.578	2058	2056	13-Tetradekanolid	Tr
44.645	2061	2084	Oktanoik asit	0,8
46.194	2125	2135	Hekzadekanal	3,6
46.344	2132	2131	Hekzahidrofarnesil aseton	1,2
46.485	2138	2144	Spatulenol	3,3
47.21	2169	2192	Nonanoik asit	0,5
47.379	2176	2179	1-Tetradekanol	7,8
47.498	2181	2187	Öjenol	0,5
47.74	2191	2205	Timol	1,5
47.94	2200	2209	Tau-muurolol	0,5
48.101	2207	2219	δ -Kadinol	0,7
48.447	2223	2239	Karvakrol	2,0
49.000	2247	2256	Kadalen	0,9
49.732	2280	2289	Okso- α -ylangen	0,6
50.235	2302	2300	Trikosan	0,6
50.508	2313	2316	Karyofila-2(12),6(13)-dien-5 β -ol (= karyofiladienol-I)	0,9
51.361	2349	2324	Karyofila-2(12),6(13)-dien-5 α -ol (=karyofiladienol-II)	1,0
52.076	2379	2384	Farnesil aseton	1,3
52.347	2391	2392	Karyofila-2(12),6-dien-5 β -ol (=karyofilenol-II)	1,0
54,971	2485	2503	Dodekanoik asit	0,1
59,410	2614	2622	Fitol	1,1
66,478	2775	2783	1-Dokosanol	3,3
73,267	2910	2931	Hekzadekanoik asit	1,6
			Monoterpen	5,3

			Monoterpenoid	5,4
			Seskiterpen	14,8
			Seskiterpenoid	19,1
			Diterpenoid	1,1
			n-alkan türevi	38,9
			Yağ asidi türevi	3,0
			Aromatik	5,7
			TOTAL	93,3

¹AZ:Alıkonma zamanı; ²BAZ:Bağlı Alıkonma Zamanı; ³BAZ Lit.:Literatürde bağlı alıkonma zamanı

Uçucu yağ, *B. subtilis* (11 mm), *B. cereus* (10 mm) ve *P. aeruginosa* (8 mm) karşı antibakteriyel aktivite göstermiştir. Uçucu yağ *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı inhibisyon zonu gözlenmemiştir (Tablo 2). Uçucu yağın düşük antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. *C. erythraea* uçucu yağının disk difüzyon yöntemi ve inhibisyon zon çapları (mm)

Bakteri Bitki materyali	Gram Negatif (-)		Gram Pozitif (+)		
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus cereus/</i>
Uçucu yağ	-	8	-	11	10
Kloramfenikol (pozitif kontrol)	25	26	30	32	28
DMSO (10%) (negatif kontrol)	-	-	-	-	-

4. Tartışma

Uçucu yağ bileşikleri, bitki orijinine ve kullanılan bitki kısmına göre değişkenlik göstermektedir. *C. erythraea* uçucu yağının antibakteriyel aktivitesi ve kimyasal bileşimi hakkında sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Sırbistan orijinli *C. erythraea* uçucu yağının fitokimyasal analizinde neofitadien izomeri III (10,1%), karvakrol (7,9%), *p*-kamforen (5,6%), hekzadekanoik asit (4,9%) ve timol (4,2%) ana bileşikler olarak tespit edilmiştir [25]. Hırvatistan orijinli başka bir çalışmada, mentol (7,0%), linalool (3,0%), borneol (1,4%) ve menton (2,5%) *C. erythraea* uçucu yağının ana bileşenleri olarak belirlenmiştir [39]. Hırvatistan orijinli uçucu yağın Sırbistan orijinli uçucu yağdan daha düşük oranda monoterpenoid grubunu içerdiği tespit edilmiştir. Hırvatistan orijinli uçucu yağda borneol (1,4%) ve kafur (1,5%) oranında belirlenirken, Sırbistan orijinli uçucu yağda bu bileşikler çok düşük oranda tespit edilmiştir. Fas orijinli *C. erythraea* bitkisinin farklı büyüme evrelerinde (vegetatif, çiçeklenme ve çiçeklenme sonrası) uçucu yağı incelendiğinde karvakrol, mentol ve trikosan ana bileşikler olduğu tanımlanmıştır. Uçucu yağların vegetatif, çiçeklenme ve çiçeklenme sonrası dönemde sırasıyla 51,6%, 44,1% ve 53,7% oranında oksijenli monoterpenlere sahip olduğu belirlenmiştir [22]. Cezayir kökenli *C. erythraea* uçucu yağının ana bileşenleri β -kopaen-4 α -ol (38,4%), manool (8,2%) ve karvakrol (6,4%) olarak tespit edilmiştir [40]. Mevcut çalışmanın uçucu yağ bileşimi, nitelik ve nicelik açısından önceki çalışmalardan farklılıklar göstermiştir. Mevcut çalışmada *n*-alkan türevleri, seskiterpen ve seskiterpenoidler uçucu yağın 72,8%'ini oluştururken, monoterpenler ve monoterpenoidler 10,7%'sini oluşturmaktadır. Fas orijinli uçucu yağın, mevcut çalışmadan 10 kat daha fazla oksijenli monoterpenlere sahip olduğu görülmüştür. Mevcut çalışmada mentol bileşiği belirlenmemiş, karvakrol ve trikosan bileşikler düşük oranda tespit edilmiştir. Sırbistan orijinli uçucu yağda 14,4% monoterpenoid, 18,7% seskiterpenoid, 22,4% diterpenoid ve yağ asidi ve yağ asit türevleri 30,9% oranında belirlenmiştir. Sırbistan orijinli uçucu yağın ana grupları mevcut çalışmadan nicelik olarak farklılık göstermektedir. Ayrıca her iki çalışmada tespit edilen ana bileşikler birbirinden farklıdır. Benzer şekilde Hırvatistan orijinli uçucu yağın ana bileşenleri ile mevcut çalışmanın

ana bileşenleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Cezayir kökenli uçucu yağın kimyasal içeriği mevcut ve literatürde yer alan diğer çalışmalardan tamamen farklılık göstermiştir. Çalışmalar arasında tespit edilen bu farklılıkların, ekstraksiyon metodolojileri, bitkinin vejetatif dönemi, kullanılan bitki kısımları, yetiştirme koşulları ve coğrafi kökenden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çok sayıda çalışma, *C. erythraea*'nın farklı kısımlarından elde edilen uçucu yağların veya ekstraktların antibakteriyel etkinliği olduğunu göstermiştir. Yapılan literatür taramasında araştırmacıların, *C. erythraea*'nın Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı antibakteriyel potansiyelini araştırdığı görülmüştür. *C. erythraea*'nın uçucu yağlarının üç gelişim aşamasında antibakteriyel aktivitesi, disk difüzyon, minimum inhibisyon konsantrasyon (MİK) ve minimum bakterisidal konsantrasyon (MBC yöntemleri) ile belirlenmiştir. Uçucu yağların *Staphylococcus aureus* (28–34 mm) ve *Listeria monocytogenes* (26–31 mm) bakterilerine karşı önemli antibakteriyel inhibitör aktivite göstermiştir. Çalışmadaki diğer bakterilere karşı inhibisyon zon çapları sırasıyla; *B. subtilis* (23-27 mm), *Proteus mirabilis* (19-24 mm), *E. coli* (14-25 mm) ve *P. aeruginosa* (11-15 mm) şeklindedir [22]. Mevcut çalışmada uçucu yağın *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı etkili olmadığı görülmüştür. Diğer bir çalışmada, *C. erythraea* uçucu yağının antibakteriyel aktivitesi *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı disk difüzyon yöntemi ile araştırılmıştır. Uçucu yağın *Pseudomonas fluorescens* ve *Listeria monocytogenes* bakterilerine karşı etkili olmadığı belirlenmiş ve *E. coli* (13 mm), *S. enteritidis* (13 mm), *B. cereus* (7 mm) ve *S. aureus* (8 mm) bakterilerine karşı inhibisyon zon çaplarına sahip olduğu tespit edilmiştir [39]. Mevcut çalışmada uçucu yağın *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerine karşı etkili olmadığı ve *B. cereus* bakterisine karşı ise daha yüksek inhibisyon zon çapına sahip olduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada, *C. erythraea* uçucu yağının antimikrobiyal aktivitesi *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Candida albicans*'a karşı agar disk difüzyon ve

mikrodilüsyon yöntemleri ile araştırılmıştır. Uçucu yağın *S. aureus* (13,0 mm), *E. coli* (10,0 mm) ve *C. albicans* (18,5 mm) mikroorganizmalara karşı etkili olduğu belirlenmiştir [40]. Ticari olarak satın alınan *C. erythraea* uçucu yağının antimikrobiyal aktivite çalışması *S. aureus*, *E. coli*, *Proteus mirabilis* ve *C. albicans* mikroorganizmalarına karşı çalışılmıştır. *C. erythraea*'nın uçucu yağı test edilen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivite göstermemiştir [41]. Çalışmalardaki antibakteriyel aktivite sonuçlarının farklılığı biyoaktif bileşiklerin çeşitliliği ve miktarı, kullanılan bitki kısımları ve türlerin orijinleri gibi faktörler önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin *C. erythraea* uçucu yağlarının karvakrol ve mentol gibi ana bileşikleri antimikrobiyal aktiviteleriyle bilinmektedir [42, 43]. Trombetta ve diğerleri (2005), (+) mentolün antimikrobiyal aktivitesinin, en azından kısmen, mikroorganizma plazma zarının lipid fraksiyonunun bozulmasından kaynaklanabileceğini ve bunun sonucunda zar geçirgenliğinin değişebileceğini ve hücre içi maddelerin sızabileceğini öne sürmüşlerdir [44]. Karvakrolün *E. coli*'ye karşı antibakteriyel etkisi, sitoplazmik zarı geçirgenleştirme ve depolarize etme yeteneğine atfedilmiştir [45]. Ayrıca, karvakrolün bakteri hücre zarını, geçirgenliğini artırarak, zar bütünlüğünü azaltarak, hücre içi algılama sistemini inhibe ederek ve sinyal yollarına müdahale ederek bozduğu görülmüştür [22]. Diğer bir çalışmada, β -karyofilenin *B. cereus*'un zar geçirgenliğini ve bütünlüğünü değiştirebildiğini, zar hasarına ve hücre içi içerik sızmasına yol açtığını ve bunun da sonunda hücre ölümüne neden olduğunu ortaya koymuştur [46]. Alkol fonksiyonel grubuna sahip n-alkan türevi bileşiklerin antibakteriyel aktivitesi bakteri türlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Karbon zincir uzunluğu antibakteriyel aktiviteye katkıda bulunacak faktörlerin başında gelmektedir. Ayrıca alkollü moleküller içindeki çift veya üçlü bağların oluşumu ve stereokimyası da antibakteriyel aktivite sonucunu etkileyen faktörler arasında yer almaktadır [47]. Mevcut çalışmada uçucu yağ bileşiminde mentol bileşiğinin bulunmaması ve karvakrol bileşiğinin düşük miktarda bulunması nedeniyle düşük antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu öngörülmektedir. Ayrıca mevcut uçucu yağın *B. cereus* ve *B. subtilis* üzerine etkisinin β -karyofilen

ve karyofilen oksit bileşiklerinden kaynaklanacağı düşünülmektedir. Türkiye orijinli uçucu yağın ileriye dönük farklı bakterilere karşı MİK/MBK testleriyle antibakteriyel aktivite çalışmasının yapılması faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Lahlou, M. (2013) The Success of Natural Products in Drug Discovery. *Pharmacology & Pharmacy*, 4, 17-31.
- [2] Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
- [3] Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International journal of food microbiology*, 94(3), 223-253.
- [4] Bouyahya, A., Dakka, N., Talbaoui, A., Et-Touys, A., El-Boury, H., Abrini, J., & Bakri, Y. (2017). Correlation between phenological changes, chemical composition and biological activities of the essential oil from Moroccan endemic *Origanum compactum* Benth). *Industrial crops and products*, 108, 729-737.
- [5] Barešová, H. (1988). *Centaurea erythraea* Rafn: micropropagation and the production of secoiridoid glucosides. In *Medicinal and Aromatic Plants I* (pp. 350-366). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Agelet, A., & Valles, J. (2003). Studies on pharmaceutical ethnobotany in the region of Pallars (Pyrenees, Catalonia, Iberian Peninsula). Part II. New or very rare uses of previously known medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 84(2-3), 211-227.
- [7] Benali, T., Khabbach, A., Ennabili, A., & Hammani, K. (2017). Ethnopharmacological prospecting of medicinal plants from the Province of Guercif (NE of Morocco). *Moroccan Journal of Biology*, 14(14), 1-14.
- [8] Benítez, G., González-Tejero, M. R., & Molero-Mesa, J. (2010). Pharmaceutical ethnobotany in the western part of Granada province (southern Spain): Ethnopharmacological synthesis. *Journal of Ethnopharmacology*, 129(1), 87-105.
- [9] Bouyahya, A., Abrini, J., Et-Touys, A., Bakri, Y., & Dakka, N. (2017). Indigenous knowledge of the use of medicinal plants in the North-West of Morocco and their biological activities. *European Journal of Integrative Medicine*, 13, 9-25.

- [10] Bouyahya, A., Bakri, Y., Et-Touys, A., Assemian, I. C. C., Abrini, J., & Dakka, N. (2018). *In vitro* antiproliferative activity of selected medicinal plants from the North-West of Morocco on several cancer cell lines. *European Journal of Integrative Medicine*, 18, 23-29.
- [11] Chda, A., El Kabbaoui, M., Fresco, P., Silva, D., Gonçalves, J., Oliveira, A. P., & Bencheikh, R. (2020). *Centaurium erythraea* extracts exert vascular effects through endothelium- and fibroblast-dependent pathways. *Planta Medica*, 86(02), 121-131.
- [12] El-Hilaly, J., Hmammouchi, M., & Lyoussi, B. (2003). Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plants in Taounate province (Northern Morocco). *Journal of ethnopharmacology*, 86(2-3), 149-158.
- [13] Erarslan, Z. B., Ecevit-geç, G., & Kültür, Ş. (2020). Medicinal plants traditionally used to treat skin diseases in Turkey—eczema, psoriasis, vitiligo. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 44(1), 137-166.
- [14] Idm'hand, E., Msanda, F., & Cherifi, K. (2020). Ethnopharmacological review of medicinal plants used to manage diabetes in Morocco. *Clinical Phytoscience*, 6(1), 18.
- [15] Merzouki, A., Ed-Derfoufi, F., & Mesa, J. M. (2000). Contribution to the knowledge of Rifian traditional medicine. II: Folk medicine in Ksar Lakbir district (NW Morocco). *Fitoterapia*, 71(3), 278-307.
- [16] Mustafa, B., Hajdari, A., Krasniqi, F., Hoxha, E., Ademi, H., Quave, C. L., & Pieroni, A. (2012). Medical ethnobotany of the Albanian Alps in Kosovo. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8(1), 6.
- [17] Orch, H., Zidane, L., & Douira, A. (2020). Ethnobotanical study of plants used in the treatment of respiratory diseases in a population bordering the forest of Izarène. *Journal of Pharmacy Pharmacognosy Research*, 8(5), 392-409.
- [18] Pieroni, A., & Quave, C. L. (2005). Traditional pharmacopoeias and medicines among Albanians and Italians in southern Italy: a comparison. *Journal of Ethnopharmacology*, 101(1-3), 258-270.
- [19] Vinagre, C., Vinagre, S., & Carrilho, E. (2019). The use of medicinal plants by the population from the Protected Landscape of "Serra de Montejunto", Portugal. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 15(1), 30.
- [20] Vokou, D., Katradi, K., & Kokkini, S. (1993). Ethnobotanical survey of Zagori (Epirus, Greece), a renowned centre of folk medicine in the past. *Journal of Ethnopharmacology*, 39(3), 187-196.
- [21] Aberham, A., Pieri, V., Croom Jr, E. M., Ellmerer, E., & Stuppner, H. (2011). Analysis of iridoids, secoiridoids and xanthenes in *Centaurium erythraea*, *Frasera carolinensis* and *Gentiana lutea* using LC-MS and RP-HPLC. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 54(3), 517-525.
- [22] Bouyahya, A., Belmehdi, O., El Jemli, M., Marmouzi, I., Bourais, I., Abrini, J., & Bakri, Y. (2019). Chemical variability of *Centaurium erythraea* essential oils at three developmental stages and investigation of their *in vitro* antioxidant, antidiabetic, dermatoprotective and antibacterial activities. *Industrial Crops and Products*, 132, 111-117.
- [23] Guedes, L., Reis, P. B., Machuqueiro, M., Ressaissi, A., Pacheco, R., & Serralheiro, M. L. (2019). Bioactivities of *Centaurium erythraea* (Gentianaceae) decoctions: Antioxidant activity, enzyme inhibition and docking studies. *Molecules*, 24(20), 3795.
- [24] Hatjimanoli, M., Favre-Bonvin, J., Kaouadji, M., & Mariotte, A. M. (1988). Monohydroxy- and 2, 5-dihydroxy terephthalic acids, two unusual phenolics isolated from *Centaurium erythraea* and identified in other Gentianaceae members. *Journal of natural products*, 51(5), 977-980.
- [25] Jovanović, O., Radulović, N., Stojanović, G., Palić, R., Zlatković, B., & Gudžić, B. (2009). Chemical composition of the essential oil of *Centaurium erythraea* Rafn (Gentianaceae) from Serbia. *Journal of Essential Oil Research*, 21(4), 317-322.
- [26] Kaouadji, M., Vaillant, I., & Mariotte, A. M. (1986). Polyoxygenated xanthenes from *Centaurium erythraea* roots. *Journal of Natural Products*, 49(2), 359-359.
- [27] Mebavý, L. (1987). Phenolic substances in tissue cultures of *Centaurium erythraea*. *Biologia plantarum*, 29(2), 81-87.
- [28] Mihaylova, D., Vrancheva, R., & Popova, A. (2019). Phytochemical profile and *in vitro* antioxidant activity of *Centaurium erythraea* Rafn. *Bulgarian Chemical Communications*, 51(6), 95-100.
- [29] Šiler, B., Živković, S., Banjanac, T., Cvetković, J., Živković, J. N., Ćirić, A., & Mišić, D. (2014). Centauries as underestimated food additives: Antioxidant and antimicrobial potential. *Food chemistry*, 147, 367-376.
- [30] Stefkov, G., Miova, B., Dinevska-Kjovkarovska, S., Stanoeva, J. P., Stefova, M., Petrussevska, G., & Kulevanova, S. (2014). Chemical characterization of *Centaurium erythraea* L. and its effects on carbohydrate and lipid metabolism in experimental diabetes. *Journal of ethnopharmacology*, 152(1), 71-77.
- [31] Subotić, A., Jevremović, S., Grubišić, D., & Janković, T. (2009). Spontaneous plant regeneration and production of secondary metabolites from hairy root cultures of *Centaurium erythraea* Rafn. In *Protocols for in vitro cultures and secondary metabolite analysis of aromatic and medicinal plants* (pp. 205-215). Totowa, NJ: Humana Press.

- [32] Trifunović-Momčilov, M., Krstić-Milošević, D., Trifunović, S., Podolski-Renić, A., Pešić, M., & Subotić, A. (2017). Secondary metabolite profile of transgenic centaury (*Centaureum erythraea* Rafn.) plants, potential producers of anticancer compounds. In *Transgenesis and secondary metabolism* (pp. 205-230). Springer, Cham.
- [33] Bouyahya, A., Bakri, Y., Belmehdi, O., Et-Touys, A., Abrini, J., & Dakka, N. (2017). Phenolic extracts of *Centaureum erythraea* with novel antiradical, antibacterial and antileishmanial activities. *Asian Pac J Trop Dis*, 7(7), 433-9.
- [34] Kachmar, M. R., Oliveira, A. P., Valentao, P., Gil-Izquierdo, A., Dominguez-Perles, R., Ouahbi, A., & Ferreres, F. (2019). HPLC-DAD-ESI/MSn phenolic profile and *in vitro* biological potential of *Centaureum erythraea* Rafn aqueous extract. *Food chemistry*, 278, 424-433.
- [35] Jbilou, R., Amri, H., Bouayad, N., Ghailani, N., Ennabili, A., & Sayah, F. (2008). Insecticidal effects of extracts of seven plant species on larval development, α -amylase activity and offspring production of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae). *Bioresource technology*, 99(5), 959-964.
- [36] Tuluce, Y., Ozkol, H., Koyuncu, I., & Ine, H. (2011). Gastroprotective effect of small centaury (*Centaureum erythraea* L.) on aspirin-induced gastric damage in rats. *Toxicology and Industrial Health*, 27(8), 760-768.
- [37] Mroueh, M., Saab, Y., & Rizkallah, R. (2004). Hepatoprotective activity of *Centaureum erythraea* on acetaminophen-induced hepatotoxicity in rats. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(5), 431-433.
- [38] Berkan, T., Üstünes, L., Lermioglu, F., & Özer, A. (1991). Antiinflammatory, analgesic, and antipyretic effects of an aqueous extract of *Erythraea centaureum*. *Planta medica*, 57(01), 34-37.
- [39] Jerković, I., Gašo-Sokač, D., Pavlović, H., Marijanović, Z., Gugić, M., Petrović, I., & Kovač, S. (2012). Volatile organic compounds from *Centaureum erythraea* Rafn (Croatia) and the antimicrobial potential of its essential oil. *Molecules*, 17(2), 2058-2072.
- [40] Soltani, F. Z., Meddah, B., Chelli, N., Tir Touil, A., & Sonnet, P. (2023). *Atriplex halimus* L. and *Centaureum erythraea* Rafn. Essential oils: the phytochemical profile, antimicrobial and antioxidant properties. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 88(3), 215-223.
- [41] İskender, N. A. (2025). *In vitro* assessment of antimicrobial activity in various commercial essential oils. *Turkish Journal of Biodiversity*, 8(1), 46-51.
- [42] Bassanetti, I., Carcelli, M., Buschini, A., Montalbano, S., Leonardi, G., Pelagatti, P., ... & Rogolino, D. (2017). Investigation of antibacterial activity of new classes of essential oils derivatives. *Food Control*, 73, 606-612.
- [43] Kamatou, G. P., Vermaak, I., Viljoen, A. M., & Lawrence, B. M. (2013). Menthol: A simple monoterpene with remarkable biological properties. *Phytochemistry*, 96, 15-25.
- [44] Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Venuti, V., Cristani, M., Daniele, C., & Bisignano, G. (2005). Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 49(6), 2474-2478.
- [45] Xu, J., Zhou, F., Ji, B. P., Pei, R. S., & Xu, N. (2008). The antibacterial mechanism of carvacrol and thymol against *Escherichia coli*. *Letters in applied microbiology*, 47(3), 174-179.
- [46] Moo, C. L., Yang, S. K., Osman, M. A., Yuswan, M. H., Loh, J. Y., Lim, W. M., Lai, K. S. (2020). Antibacterial activity and mode of action of β -caryophyllene on *Bacillus cereus*. *Polish journal of microbiology*, 69(1), 49.
- [47] Chatterjee, S., Karmakar, A., Azmi, S. A., & Barik, A. (2018, December). Antibacterial activity of long-chain primary alcohols from *Solena amplexicaulis* leaves. In *Proceedings of the Zoological Society* (Vol. 71, No. 4, pp. 313-319). New Delhi: Springer India.