

Uçucu Yağların Antimikrobiyel Özellikleri

Mustafa Evren¹, Belkıs Tekgüler¹

ÖZET

Esansiyel yağlar adı da verilen uçucu yağlar, distilasyon yoluyla veya preslemeyle, bitkilerden veya bu bitkilerin bazı kısımlarından elde edilen kompleks karışımlardır. Bu bileşiklerin çoğu terpenoidler (İsoprenoidler), çoğunlukla monoterpenler ve sesquiterpenlerdir. Bunun yanı sıra diterpenleri, düşük molekül ağırlıklı alifatik hidrokarbonları, asitleri, alkoller, aldehytleri, asiklik esterleri veya laktonları, istisna olarak azot ve sülfür içeren bileşikler, kumarinleri ve fenilpropanoidlerin homologlarını da içerirler.

Uçucu yağlar, antibiyotik ve antiseptik özellikleriyle gıda bozulma ve zehirlenmelerine neden olan *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus spp.*, *Micrococcus spp.*, *Bacillus spp.*, *Campylobacter jejuni*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Shigella spp.*, *Escherichia coli* gibi bakteriler, maya ve küfler (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*) üzerinde etkili olduğu bir çok araştırmada rapor edilmiştir. Uçucu yağların antimikrobiyel özellikleri karşısında gram negatif bakterilerin, gram pozitif bakterilere kıyasla daha dirençli olduğu, gram negatif bakterilerin bu direncinin hücre duvarından kaynaklanabileceği belirtilmektedir. Aromatik ve fenolik bileşiklerin antimikrobiyel etkisi, yapı ve fonksiyon değişikliği ile sitoplazma zarında görülmektedir. Sitoplazma zarının seçici geçirgenliğinin kaybı hücre ölümü olarak tanımlanmaktadır. Pek çok araştırmacı baharatların ve bazı bitkilerin uçucu yağlarının gıda koruyucusu olarak kullanılabileceğini önermektedir. Bu derlemede uçucu yağların antimikrobiyel özellikleri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu yağlar, esansiyel yağlar, antimikrobiyel aktivite.

GİRİŞ

Uçucu yağlar damıtma veya preslemeyle, bitkilerin yaprak, meyve, kabuk ve kök kısımlarından elde edilen kompleks karışımlardır (1-3). Esansiyel yağlar adı da verilen uçucu yağlar, oda sıcaklığında sıvı, kolaylıkla kristalleşebilen, genellikle renksiz veya açık sarı renkli, uçucu, kuvvetli kokulu, doğal bir üründür. Su ile karışmadıkları için yağ olarak tanımlansalar da yağlardan farklıdırlar (1, 4, 5).

Uçucu yağlar su ile sürüklenebilirler. Filtre kâğıdı üzerinde leke bırakmazlar (1, 6, 7). Yapılarında bulunan bileşiklerin çoğu terpenoitler (İsoprenoitler), çoğunlukla monoterpenler ve sesquiterpenlerdir. Bunun yanı sıra diterpenleri, düşük molekül

^{1, 2} Yrd. Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Samsun.
Yazışmadan Sorumlu Yazarın E-Posta Adresi: mustafaevren@hotmail.com

ağırlıklı alifatik hidrokarbonları, asitleri, alkoller, aldehytleri, asiklik esterleri veya laktonları, istisna olarak azot ve sülfür içeren bileşikler, kumarinleri ve fenilpropanoidlerin homologlarını da içerirler (1, 2, 8, 9). Uçucu yağların bileşim ve miktarları; bitkinin cinsine, bitkinin hangi kısmından elde edildiğine, üretim şekline, iklime ve yetiştirildiği bölgenin coğrafik yapısına bağlı olarak değişmektedir (8, 10-14).

Uçucu yağları içeren bitki familyaları *Apiaceae* (Maydonozgiller), *Asteraceae* (Papatyagiller), *Brassicaceae* (Turpgiller), *Chenopodiaceae* (Sirkengiller), *Compositaceae* (Bileşikgiller), *Cupressaceae* (Servigiller), *Iridaceae* (Süsengiller), *Lamiaceae* (Ballıbabagiller), *Lauraceae* (Defnegiller), *Myrtaceae* (Mersingiller), *Pineaceae* (Çamgiller), *Poaceae* (Buğdaygiller), *Rosaceae* (Gülgiller), *Rutaceae* (Sedefotugiller), *Zingiberaceae* (Zencefilgiller) olarak sayılabilir (1, 7, 13).

Uçucu yağlar spazm çözücü, irrite edici, antiseptik ve antimikrobiyel özellikler göstermektedir. Gıdaları bozan, gıda zehirlenmelerine neden olan mikroorganizmalara, bozucu ve mikotoksin üreten küflere, patojenik ve dimorfik mayalara, hayvan ve bitki virüslerine karşı uçucu yağların etkileri konusunda pek çok araştırma bulunmaktadır. Bazı baharatlar ve bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, sahip oldukları antimikrobiyel aktiviteden dolayı gıda sanayinde kullanılan doğal olmayan koruyucu maddelere alternatif olabilirler. Bu bileşiklerin gıda katkıları gibi kullanılmalarında, gıda zehirlenmelerine neden olan patojenlerin gelişmesini önlemede ya da gıda bozulmalarını geciktirmede önemli payları vardır. Doğal antimikrobiyel bileşiklerin kullanımı sadece gıdaların dayanıklı hale getirilmesinde değil, aynı zamanda mikrobiyel bitki ve insan hastalıklarının kontrolünde de önemlidir (15).

Uçucu yağların antibiyotik ve antiseptik özellikleri bakteriler, küf mantarları ve mayalara karşı olabilmektedir. En antiseptik yağlar, geyik otu, tarçın, kekik, karanfil, lavanta ve okalıptüs yağlarıdır. Kekik yağında bulunan bir bileşik olan timol, fenolden 20 kat daha antiseptiktir. Limonen ve α -pinen antibakteriyel ve antifungal etki göstermektedir. Antimikrobiyel aktivitenin muhtemel mekanizması, lipofilik bileşiklerce hücre zarının bozulması, hidroksil grubun girişiyle lipofilikliğin azalması olarak düşünülmektedir (1).

Bu derlemede uçucu yağların, özellikle gıdalardaki mikroorganizmalara karşı antimikrobiyel etkilerinden ve bu konuda yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir.

UÇUCU YAĞLARIN ELDE EDİLME YÖNTEMLERİ VE UÇUCU YAĞLARIN YAPISI

Uçucu yağlar genellikle damıtma yoluyla ve preslemeyle elde edilirse de kullanılan yöntemler daha ayrıntılı bir şekilde Çizelge 1'de verildiği gibi sınıflandırılabilir (5, 16). Klasik damıtma ve ekstraksiyon yöntemleri ile nicel olarak daha fazla yağ elde edilmesine rağmen nitelik olarak çok iyi sonuçlar elde edilememektedir (5). Ayrıca uzun damıtma periyodu maliyeti de etkilemektedir (16, 17).

Uçucu yağların yapılarında bulunan bileşiklerin çoğu terpenoidler (İsoprenoidler), çoğunlukla monoterpenler ve sesquiterpenlerdir. Bunun yanı sıra diterpenleri, düşük molekül ağırlıklı alifatik hidrokarbonları, asitleri, alkoller, aldehytleri, asiklik esterleri veya laktonları, istisna olarak azot ve sülfür içeren bileşikler, kumarinleri ve fenilpropanoidlerin homologlarını da içerirler (1, 2, 8, 9). Bu bileşiklerin bazıları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Uçucu yağ elde edilmesinde kullanılan yöntemler (5, 16).

1. Damıtma yöntemi: Sıvıların kaynama noktaları arasındaki farklardan yararlanılarak gerçekleştirilen bir ayırma işlemidir.	a- Su ile damıtma
	b- Buhar ile damıtma
	c- Vakum ile damıtma
2. Ekstraksiyon yöntemi: Genel anlamda bir çözücü içerisinde uçucu yağ ekstrakte edilmesi işlemidir.	a- Çözücü ekstraksiyonu
	b- Süper kritik sıvı ekstraksiyonu
	c- Mikrodalgayla ekstraksiyon
	d- Sıkıştırılmış çözücü ekstraksiyonu
	e- Katı-faz mikro ekstraksiyon
	f- Çok yönlü ekstraksiyon
3. Mekanik yöntem: Limon ve portakal gibi meyvelerin kabuklarının bez bir torbaya konularak soğuk hidrolik preslerde sıkılarak uçucu yağ elde edilmesinde kullanılan bir işlemdir.	

Çizelge 2. Uçucu yağları oluşturan bileşikler (1).

1 Monoterpenler (MT)	Uçucu yağ içeriğinin çoğunluğunu (%90'dan fazla) oluştururlar. 3 gruba ayrılabilirler (Düzenli MT, düzensiz MT, iridoidler)		
a. Düzenli yapıdaki MT	MT hidrokarbonlar	β-Myrcene Trans- β-ocimene cis- β-ocimene α-terpinene γ- terpinene p-cymene (+)-limonene	(-)-α-Phellandrene (-)-β -Phellandrene (+)-α-Pinene (-)-α- Pinene (-)-β - Pinene (+)-3-carene (-)-camphene
	MT alkoller	Geraniol Nerol (-)-β - citronellol	Linalool (-)-α- terpineol Terpinen-4-ol
	MT aldehitler	Geranial (Cital a) Neral (Cital b) (+)-citronellal	
	MT ketonlar	(S)(+)-carvon (R)(-)-carvon (-)-menthon (+)-pulegone	(-)-campher (+)-campher (+)-fenchone (-)-thujone
	MT eter ve endoperksitler	1,8-cineol, menthofuran, dill ether, ascaridol	
b. Düzensiz yapıdaki MT	Chrysanthem acid, artemisanes, santolinanes, lavandulanes		
c. Iridoidler (Alkoloidlerin biyosentezinde ara ürün olan ve isoprenlerden sentezlenen MT'lerdir)	Baldrinal, valeranone, oleacin, oleuropein, gentisin, sweroside, gentiopicrin		
2. Sesquiterpenler	50'den fazla çeşidi bulunur. <i>Zingibaraceae</i> (Zencefilgiller) familyasının uçucu yağlarının çoğunluğunu oluşturur. Örneğin β-carophyllen-1,2-epoxide karanfil ve adaçayı yağında bulunmaktadır.		
3. Aromatik bileşikler	Uçucu yağlardaki minör bileşenlerdir. Bu grubun tipik üyeleri: anethol veya estragol (rezene ve anason uçucu yağlarında bulunur), timol ve karvakrol de aromatik bileşiklerdir.		
4. Diğer bileşikler	Uçucu yağlar aynı zamanda doymamış yağ asitlerinin degradasyon ürünlerini de içerebilirler: cis- veya trans-hekzanal, hekzanol, çeşitli laktonlar. Ayrıca terpen degradasyonundan kaynaklanan bileşikler (örn: C13-norisoprenoidler), kükürt ve azotlu bileşikler (örn: piridin türevler) içerirler.		

UÇUCU YAĞLARIN ANTİMİKROBİYEL ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Antimikrobiyel aktiviteyi belirlemede genel olarak kullanılan teknikler, agar difüzyon yöntemi, broth dilüsyon yöntemi ve disk difüzyon yöntemidir (3, 7, 13, 14).

Dilüsyon tekniğinde 96 kuyucuklu plaklar kullanılarak, kuyucuklara hazırlanan uçucu yağ veya diğer antimikrobiyel madde dilüsyonları, belirli miktarda kültür eklenerek etkileştirilmektedir. Kullanılan mikroorganizmaya karşı hangi uçucu yağın hangi konsantrasyonda etkili olduğu üremenin varlığına veya yokluğuna göre belirlenmektedir. Üremenin varlığı ya da yokluğu bulanıklık tayiniyle yapılmakta ve üremenin olmadığı en düşük konsantrasyon değeri minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK) olarak tanımlanmaktadır (13,14). Burt, (11) minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) değerinin de bazı araştırmacılar tarafından kullanıldığını belirtmiş, bu değeri, başlangıçta inoküle edilenin %99.9'u veya daha çoğunu öldüren konsantrasyon ya da yeni sıvı besiyerine alındıktan sonra gelişmenin gözlenmediği en düşük konsantrasyon olarak tanımlamıştır.

Agar difüzyon tekniğinde, besiyeri üzerine, belirli çapta açılan kuyulara homojen olarak çözülmüş uçucu yağ karışımı koyulmakta, inkübasyon süresi sonunda kullanılan madde etkili ise çukurların etrafında belirgin biçimde üremenin olmadığı inhibisyon zonları oluşmaktadır. Oluşan inhibisyon zonlarının çapları ölçülerek değerlendirilmektedir (11, 19).

Disk difüzyon yönteminde ise, agarlı besiyeri üzerine çalışılacak uygun dilüsyondaki mikroorganizma kültüründen sürüm yapılarak agarın bakteri solüsyonunu emmesi sağlanmakta, ardından uçucu yağ ekstraktı emdirilmiş steril diskler yerleştirilmektedir. Uygun sıcaklık ve inkübasyon süresi sonunda inhibisyon zon çapları ölçülerek değerlendirilmektedir (18, 20). Ayrıca, uçucu yağın bakteri hücre duvarına vereceği zararlanma ve hücre içerik kaybı elektron mikroskopuyla belirlenebilir (11).

UÇUCU YAĞLARIN ANTİBAKTERİYEL VE ANTİFUNGAL ETKİLERİ

Uçucu yağların antimikrobiyel etkileriyle ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Özellikle gıda patojenlerine karşı koruyucu olarak kimyasal koruyucu ve antibiyotiklere alternatif olabilme potansiyelleri nedeniyle de uçucu yağlar önemli antimikrobiyel ajanlardır (Çizelge 3).

Uçan, (15) 2000 µg/ml DL-limonen kullanımının *Saccharomyces cerevisiae*'nin etil alkol fermantasyonuna inhibe edici etkide bulunduğunu, maya çoğalmasını, şeker kullanımını, etil alkol ve aroma maddeleri miktarını etkilediğini belirlemiştir.

Toroğlu ve ark., (27) defne ve zencefil uçucu yağlarının antimikrobiyel aktivitelerini ve gentamicin, cephalothin ve ceftriaxone antibiyotikleriyle birlikte kullanıldıklarında meydana gelecek etkileşimleri araştırmışlardır. Defne ve gentamicinin birlikte kullanımında *Micrococcus luteus*, *Mycobacterium smegmatis*, *Bacillus megaterium*, *Streptococcus faecalis*, *Bacillus brevis*'e karşı sinerjistik, diğer bakterilere karşı antagonistik etkili olduklarını bulmuşlardır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Uçucu yağların antimikrobiyel etkilerinin araştırıldığı bazı uçucu yağlar ve çalışılan mikroorganizmalar

Uçucu yağ kaynağı / Uçucu yağ/etken madde	Etkili olduğu mikroorganizmalar	Kaynak
Allilisiotiyosiyanat (Hardal uçucu yağı) (şöz konusu küflerin gelişimini tamamen inhibe etmekte)	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Penicillium commune</i> <i>Penicillium corylophilum</i> <i>Penicillium discolor</i> <i>Penicillium polanicum</i> <i>Penicillium roqueforti</i>	21
Ada çayı	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	22
	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Shigella sonnei</i>	23
	<i>Escherichia coli</i> <i>Proteus mirabilis</i> <i>Salmonella typhimurium</i> <i>Aeromonas hydrophila</i> <i>Aeromonas sobria</i> <i>Klebsiella oxytoca</i> <i>Citrobacter spp.</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Staphylococcus epidermidis</i>	24
Biberiye	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	22
	<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (2 suşu)	19
	<i>Candida albicans</i> <i>Trichophyton tonsurans</i> <i>Trichophyton rubrum</i> <i>Microsporum canis</i> <i>Epidermophyton floccosum</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Shigella sonnei</i>	23
	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
Çam	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
Çay ağacı	<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (2 suşu)	19

Çizelge 3. Uçucu yağların antimikrobiyel etkilerinin araştırıldığı bazı uçucu yağlar ve çalışılan mikroorganizmalar (Devamı)

Defne (<i>Laurusnobilis</i> Linn)	<i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas pyocyaneus</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Aeromonas hydrophila</i> <i>Enterococcus faecalis</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Kluyveromyces fragilis</i>	27
Fesleğen (etanol ekstraktı)	<i>Acinetobacter</i> spp. <i>Bacillus</i> spp. <i>Escherichia</i> spp. <i>Staphylococcus</i> spp.	18
Karabiber	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
Karanfil (Eugenol)	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
Kimyon	<i>Aspergillus niger</i> <i>Rhizopus oryzae</i>	28
	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
Kekik (<i>Thymus vulgaris</i>)	<i>Bacillus subtilis</i>	20
Kekik (<i>Corydorthymus capitatus</i>)	<i>Pseudomonas putida</i>	3
Kekik (tür belirtilmemiş)	<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (2 suşu)	19
Keklik otu (Güvey otu, Mercanköşk)	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus parasiticus</i> <i>Aspergillus ochraceus</i> <i>Fusarium moniliforme</i>	21
	<i>Photobacterium phosphoreum</i>	29
	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	22
	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
Kozalaklı ağaçların uçucu yağları (α -pinene en etkili, MİK: %0.019; 1,8-cineole bakterisidal etkili)	<i>Listeria monocytogenes</i>	30
Limon	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
Limon otu (<i>Cymbopogon citratus</i>)	<i>Aspergillus flavus</i> (pirinçte gelişmesi ve toksin oluşturması engellenmiş)	31

Çizelge 3. Uçucu yağların antimikrobiyel etkilerinin araştırıldığı bazı uçucu yağlar ve çalışılan mikroorganizmalar (Devamı)

Menta L. (4 farklı türü) (Bakteriler üzerinde sulbactam, ampicilin, amoxicilin kadar etkili bulunmuş)	<i>Candida albicans</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Enterobacter cloacae</i> <i>Proteus vulgaris</i> <i>Salmonella typhimurium</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Enterococcus faecalis</i>	7
Mentol	<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (2 suşu)	19
Misk gülü (<i>Rosa moschata</i>)	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
İt nanesi (<i>Mentha longifolia</i> subsp. <i>longifolia</i>)	<i>Escherichia coli</i> <i>Enterobacter</i> spp. <i>Bacillus</i> spp. <i>Salmonella</i> spp. <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Candida</i> spp. <i>Fusarium</i> spp. <i>Aspergillus</i> spp. <i>Rhizopus</i> spp. <i>Penicillium</i> spp.	32
Nane	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	22
	<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (2 suşu)	19
Okaliptus	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	22
	<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (2 suşu)	19
Reyhan	<i>Escherichia coli</i> (4 farklı suşu)	25
Sarımsak	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i> <i>Fusarium</i>	33
	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
Tarçın	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
Turunçgil (dl-limonen; etil alkol fermentasyonunu inhibe ediyor)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	15

Çizelge 3. Uçucu yağların antimikrobiyel etkilerinin araştırıldığı bazı uçucu yağlar ve çalışılan mikroorganizmalar (Devamı)

Yenibahar	<i>Brochothrix thermosphacta</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia liquefaciens</i>	26
Zencefil	<i>Aeromonas hydrophila</i> <i>Enterococcus faecalis</i> <i>Kluyveromyces fragilis</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Staphylococcus aureus</i>	27

Defne uçucu yağı diğer antibiyotiklerle birlikte kullanıldıklarında gentamicin için sayılan mikroorganizmalar yanı sıra *Staphylococcus aureus*'a karşı sinerjistik etkili olmuştur. Zencefil uçucu yağı gentamicinle birlikte uygulanmasıyla bütün bakterilere karşı antagonistik etki gösterirken, cephalothinle birlikte *Mycobacterium smegmatis*'e sinerjistik etkili, *Yersinia enterocolitica*'ya karşı additif etki, diğerlerine karşı ise antagonistik etki gösterdiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmalarını sonucunda uçucu yağlar ile antibiyotiklerin birlikte kullanımında sinerjistik, additif ve antagonistik etkiler gözlemlediklerini, kesin yargıya varabilmek in-vivo çalışmalarla desteklenmesi gerektiği önerisinde bulunmuşlardır (27). Buna karşın, Schelz ve ark., (19) mentol içeren maddelerin bakterilerin palsmit direncini elemine edebilecek (antibiyotiklere bakteriyel direncin azalmasını sağlayabilecek) potansiyel ajanlar olduklarını belirtmişlerdir. Nane yağının başlıca bileşeni mentol ve türevleridir (8, 19). Nane yağı ve mentolün ampicillin, oxytetrasiklin, eritromisin ve gentamicin antibiyotikleriyle etkileşiminin araştırıldığı çalışmada nane yağı ile oxytetrasiklinin ve mentol ile oxytetrasiklinin birlikte kullanımında additif etkisi gözlenmiştir. Nane yağının antiplasmit etkisinde mentol önemli rol almaktadır (19).

Soğanda bulunan antibiyotik özellikteki allisinin 1mg'ı penisilinin 15 IU'ne eşittir. Ancak kuvvetli kokusu, pratikte gıda katkısı ve koruyucu olarak kullanımını sınırlandırmaktadır (33).

Valero ve Salmeron, (34) havuç suyundaki *Bacillus cereus*'a karşı 11 uçucu yağın antibakteriyel etkisini inceledikleri çalışmalarında, karabiber ve defne uçucu yağlarının kullanılan hiçbir dozda antibakteriyel etkisinin olmadığını, diğerlerinin değişik düzeylerde lag fazını uzattıklarını, en etkin uçucu yağın tarçına ait olduğunu, uçucu yağ kaynaklarına göre etkinlik sıralamasının tarçın> oregano> kekik> karanfil> adaçayı> biberiye> sasafra şeklinde olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, geleneksel gıda koruyucusu olabilme potansiyellerini değerlendirdikleri maddelerden, duyuusal analiz sonucunda tarçın uçucu yağını alternatif koruyucu olarak önermişlerdir.

Holley ve Patel, (21) kekik, anason ve tarçının aflatoksin üretimini inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Mejlholm ve Dalgaard, (29) kekik otu yağının %0.05 (v/w) oranında kullanımının morina balığı filetolarında bozulma reaksiyonlarını geciktirdiğini, tek koruyucu ve baharat olarak kullanılacaksa %1 veya daha fazla ihtiyaç duyulacağını belirtmişlerdir. Ancak yüksek oranda kullanım, kuvvetli aromaya neden olmaktadır.

Limonotu uçucu yağı *Aspergillus flavus*'a karşı sıvı besiyerinde 0.6 mg/ml konsantrasyonda fungustatik etki gösterirken, 1.0 mg/ml konsantrasyonda fungusidal etki göstermiştir (Çizelge 3) (31).

UÇUCU YAĞLARIN ANTİMİKROBİYEL ETKİ MEKANİZMASI

Uçucu yağlarda bulunan kimyasal bileşiklerin, değişik gruplarının fazlalığı dikkate alınırsa antibakteriyel aktivitenin tek bir mekanizmaya bağlı olmadığı, hücrede birçok hedefin olduğu sonucuna varılır (27). Uçucu yağların antimikrobiyel etkisi, yapı ve fonksiyon değişikliği ile sitoplazma zarında görülmektedir. Yüksek bitkilerden elde edilen antimikrobiyel maddeler, mikrobiyel metabolizmanın enzimatik reaksiyonlarını durdurabilir, ortamdaki besin maddelerinin alımını engelleyebilir, zarın yapısını değiştirebilir, çekirdek ve ribozomal seviyede enzim sentezini engelleyebilir (15).

Keklik otu yağının başlıca bileşenleri olan timol ve karvakrolün inhibe edici etkisi hücre zarı geçirgenliğinin zarar görmesinden kaynaklanmaktadır. Bu maddeler pH ve inorganik iyon dengesini etkilemektedir (35). Gerçekte hücre zarının geçirgenliği, zarı geçmek zorunda olan çözünenlerin hidrofobluğuna ve zarın kompozisyonuna bağlıdır. Polar fenoliklerin suda çözünürlüklerinin yüksek olmaları nedeniyle hedef organizmaya temas etmesi kolaylaşır. Örneğin nane yağı hidrofobik olması nedeniyle gıdanın lipid fraksiyonunda daha iyi çözünür ve hidrofilik kısımda yer alan mikroorganizmalarla teması, dolayısıyla antimikrobiyel etkinliği azdır (21). Keklik otu yağının yağ fazında çözünmesi nedeniyle, keklik otu yağının *Photobacterium phosphoreum*'un su fazındaki gelişimi üzerine etkisi bulunmamaktadır. *Photobacterium phosphoreum*'un yüksek mineral içeriği nedeniyle uçucu yağın antimikrobiyel etkisi sitrat gibi şelatlama ajanlarıyla birlikte kullanılarak artırılabilir (29).

Antimikrobiyel etki mekanizması üzerine gıdanın pH'sı da önemlidir. Düşük pH'da uçucu yağın hidrofobluğu, dolayısıyla gıdanın lipid fazında çözünme eğilimi artar. Fakat aynı zamanda bakteriyel hücre zarının lipid fazında da daha kolay çözünür. Bu durum antimikrobiyel etkinliği artırır (21).

Aromatik ve fenolik bileşikler antimikrobiyel etkilerini sitoplazmik zarın yapı ve fonksiyonunu değiştirerek göstermektedir. K⁺ iyonunun dışarı akması genellikle hücrede görülen zararın erken işaretidir, bunu sıklıkla sitoplazmik yapıların dışarı akması takip eder. Sitoplazmik zarın seçici geçirgenliğinin kaybı çoğunlukla hücre ölümünün nedeni olarak belirtilmektedir. Zar fonksiyon kaybının neden olabileceği diğer olaylar, hücredeki iyon taşınması veya depolarizasyondaki değişikliklerle proton akış kuvvetinin 2 bileşeninin (pH gradienti ve elektriksel potansiyel) dağılma zamanı, membrandaki yapısal değişiklikler, hücredeki enerji üretim sistemiyle girişim veya enerji üretimi için substratın kullanımını önleyen enzim inhibisyonudur (21, 36).

Uçucu yağın yapısında bulunan alkoller vejetatif hücrelere karşı bakteristatik aktiviteden çok bakterisidal etkilidirler. Aldehitler güçlü elektronegatiflikleri nedeniyle güçlü antimikrobiyel aktiviteye sahiptirler. Elektronegatif bileşikler protein ve nükleik asit gibi yaşamsal azotlu bileşiklerle reaksiyona girerek mikroorganizma gelişimini inhibe edebilirler (9).

Uçucu yağların direkt kullanımlarıyla çeşitli maddelere ekstrakte edilerek kullanılmaları antimikrobiyel etkinliğin belirlenmesinde farklı sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Örneğin uçucu yağların antimikrobiyel etkileri çözücülerle veya deterjanlarla azalabilmektedir. Ayrıca ortamdaki diğer maddelerle etkileşimler nedeniyle invitro çalışmalardan elde edilen etkinlik değerlerinin gıda maddelerinde uçucu yağların kullanım oranlarını tam yansıtmayacağı açıktır. Örneğin invitro çalışmada belirlenen uçucu yağın antimikrobiyel konsantrasyonu yarım yağlı süt için 2 kat, yumuşak peynirler için 25-100 kat olarak belirtilmiştir. Bu durumun nedeni, gıda maddelerindeki besin öğelerinin besiyerindekinden bakteriye daha yayarışlı olması, gıda ortamında zararlanmış hücrenin daha hızlı olarak onarılması olarak açıklanmıştır. Gıdanın iç faktörleri dışında sıcaklık, vakum ambalajlama gibi dış faktörler de bakteri duyarlılığını etkilemektedir. Protein içeriği uçucu yağın etkinliğini azaltmaktadır. Karbonhidratlar; yağ ve protein kadar uçucu yağlar üzerinde etkili değildir. Uçucu yağların gıdada bulunabilecek koruyucu maddelerle interaksiyonları olabilir (11). Uçucu yağ kaynağı olan baharatların birkaç tanesi bir arada kullanılabilmektedir. Bu durumda hem diğer koruyucularla hem de baharatların kendi aralarındaki etkileşimleri iyi değerlendirilmelidir (9).

Adaçayı, kimyon, biberiye yağları ve bunların başlıca bileşenlerinin Gram(-) bakterilere karşı etkisiz veya çok az etkili olduğunu, bunun nedeninin Gram(+) bakterilerin hücre duvarı dışında Gram(-) bakterilerde bir de lipopolisakkarit ve proteinden oluşan dış zarları olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Lipopolisakkarit yapı, hidrofobik bileşiklerin difüzyonunu sınırlamaktadır (11, 24, 37). Burt (11) bazı araştırma sonuçlarına göre Gram(-) ile Gram(+) bakteriler arasında fark olmadığını, bazı çalışmalara göre ise Gram(-) ile Gram(+) bakterilerin tepkilerinin farklı olabildiğini belirtmiştir. Bu sonuçlara göre, antimikrobiyel etkinlikte önemli olan faktör sadece hedef mikroorganizmanın özellikleri değil, aynı zamanda uçucu yağın kimyasal bileşiminin farklı olmasıdır (26, 38).

Uçucu yağların antifungal etkileri de bilinmektedir. Holley ve Patel (21) bazı araştırma sonuçlarına göre, kişniş, tarçın, limonotu, geyik otu baharatlarından elde edilen uçucu yağların *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Rhizopus oligosporus*'a karşı etkili olduğunu, kekik, anason ve tarçın yağlarının aflatoksin üretimini inhibe ettiğini, anason, rezene ve çemen uçucu yağlarının *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus ochraceus* ve *Fusarium moniliforme*'ye karşı fungisidal etki gösterdiğini, kekik, keklik otu (güvey otu) ve gazelotu uçucu yağlarının fungutoksik olduğunu ve bu özelliğin fenolik bileşiklerin hidroksil gruplarıyla hedef enzimlerin aktif kısımları arasında hidrojen bağları oluşmasından kaynaklandığını, antimikrobiyel ajan olarak çavdar ekmeğinin aktif ambalajlanmasında 1µl allilisotiyosiyanat kullanımının *Aspergillus flavus*, *Penicillium commune*, *Penicillium colophonium*, *Penicillium polonicum*, *Penicillium roqueforti* ve *Endomyces fibuliger* gelişimini tamamen inhibe ettiğini rapor etmişlerdir.

SONUÇ

Pek çok araştırıcı baharatların ve bazı bitkilerin uçucu yağlarının gıda koruyucusu olarak kullanılabileceğini önermektedir. Kullanılacak uçucu yağın güvenliği ve toksisitesinden emin olunmalıdır. Uçucu yağların direkt kullanımlarıyla çeşitli maddelere ekstrakte edilerek kullanılmaları antimikrobiyel etkinliğin belirlenmesinde farklı sonuçlar vermesi nedeniyle, koruyucu ajan olarak kullanımında bu durum göz

önünde bulundurulmalıdır. Uçucu yağların ortamdaki diğer maddelerle etkileşmelerinden dolayı invitro çalışmalardan elde edilen etkinlik değerleri, gıda maddelerinde uçucu yağların kullanım oranlarını tam yansıtmayacağından gıda maddelerinde direkt kullanımını sınırlayacaktır. Ayrıca uçucu yağların çoğu GRAS olarak sınıflandırılrsa bile, etkili antimikrobiyel dozların organoleptik olarak kabul edilebilir seviyelerde olması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Grassmann, J. ve Elstner, E.F., 2003. Essential Oils/properties and uses. Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition (Elsevier Science Ltd.): 2177-2184.
2. Wallace, R.J., 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. Proceeding of the Nutrition Society. 63:621-629.
3. Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L., Lacroix, M., 2006. Antimicrobial effects of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. Meat Science. 73:236-244.
4. Biçer, A., Özkan, G., Ergen, A., 2003. Lavanta bitkisi çiçeklerinden süperkritik CO₂ ile uçucu yağların ekstraksiyonuna basıncın etkisi. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi. 16(4):717-723.
5. Kılıç, A., 2008. Uçucu yağ elde etme yöntemleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi. 10(13):37-45.
6. Akgül, A., 1993. Baharat Bilimi ve Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği yayınları no:15. Ankara. 451 s.
7. Öztürk, B., Karabay, N.Ü., Gökgünneç, L., 2002. Türkiye’de doğal yayılış gösteren bazı *Menta* L. taxonlarından elde edilen uçucu yağların karşılaştırmalı antimikrobiyel etkileri. 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler (29-31 Mayıs, Eskişehir):341-343. ISBN 975-94077-2-8.
8. Özgüven, M. ve Kırıcı, S., 1999. Farklı ekolojilerde Nane (*Mentha*) türlerinin verim ile uçucu yağ oran ve bileşenlerin araştırılması. Tr. J. of Agriculture and Forestry. 23:465-472.
9. Dorman, H.J.D., Deans, S.G., 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. Journal of Applied Microbiology. 88:308-316.
10. Baydar, H., 2005. Yayla kekiği (*Origanum minutiflorum* O. Schwarz et. P. H. Davis)’nde farklı toplama zamanlarının uçucu yağ içeriği ve uçucu yağ bileşenleri üzerine etkisi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 18(2):175-178.
11. Burt, S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. International Journal of Food Microbiology. 94:223-253.
12. Couladis, M., Özcan, M., Tzakou, O., Akgül, A., 2002. Menengiç (*Pistacia terebinthus* L.) ağacının değişik organlarında uçucu yağ bileşimi. 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler (29-31 Mayıs, Eskişehir):240-245. ISBN 975-94077-2-8.
13. İşcan, G., Demirci, F., Kırimer, N., Kürkçüoğlu, M., Başer, K.H.C., Kıvanç, M., 2002. Bazı Umbelliferae türlerinden elde edilen uçucu yağların antimikrobiyel etkileri.

14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler (29-31 Mayıs, Eskişehir):355-366. ISBN 975-94077-2-8.
14. Çelik, E. ve Çelik, G.Y., 2007. Bitki uçucu yağlarının antimikrobiyel özellikleri. Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi. 05(2):1-6.
15. Uçan, F., 2008. DL-Limonenin mayalar üzerine antifungal etkisi. Ç.Ü., FenBil. Enst.,Biyoteknoloji ABD., Yüksek lisans tezi. Adana. 62 s.
16. Sankarikutty, B., Narayanan, C.S., 1993. Essential Oils/Isolation and production.Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition (Academic Press): 2185-2189.
17. Tepe, B.,Daferera, D., Sokmen, A., Sokmen, M., Polissiou, M., 2005. Antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller (*Lamiaceae*). Food Cemistry. 90:333-340.
18. Adıgüzel, A., Güllüce, M., Şengül, M., Öğütçü, H., Şahin, F., Karaman, İ., 2005. Antimicrobial Effects of *Ocimum basilicum* (*Labiatae*) Extract. Turk J. Biol. 29: 155-160.
19. Schelz, Z.,Molnar, J., Hohmann, J., 2006. Antimicrobial and antiplasmid activities of essential oils. Fitoterapia. 77: 279-285.
20. Benli, M. ve Yiğit, N., 2005. Ülkemizde yaygın kullanımı olan kekik (*Thymus vulgaris*) bitkisinin antimikrobiyel aktivitesi. Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi. 03(08):1-8.
21. Holley, R.A., Patel, D., 2005. Improvement in shelf-life and safety of perishable foods by plant essential oils and smoke antimicrobials. Food Microbiology. 22:273-292.
22. Palmer, A.S.,Stewart, J., Fyfe, L., 1998. Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens. Letters in Applied Microbiology. 26:118-122.
23. Bozin, B.,Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Jovin, E., 2007. Antimicrobial and antioxidant properties of Rosemary and Sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., *Lemiaceae*) essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55:7879-7885.
24. Delamare, A.P.L., Moschen-Pistorello, I.T., Artico, L., Atti-Serafini, L., Echeverrigaray, S., 2007. Antibacterial activity of the essential oils *Salvia officinalis* L. and *Salvia triloba* L. cultivated in South Brazil. Food Chemistry. 100:603-608.
25. Moreira, M.R., Ponce, A.G., del Valle, C.E., Roura, S.I., 2005. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. LWT. 38:565-570.
26. Ouattara, B., Simard, R.E., Holley, R.A., Piette, G.J.P., Bégin, A., 1997. Antimicrobial activity of selected fatty acids and essential oils against six meat spoilage organisms. International Journal of Food Microbiology. 37:155-162.
27. Toroğlu, S., Dıġrak, M., Çenet, M., 2006. Baharat olarak tüketilen *Laurus nobilis* Linn ve *Zingiber officinale* Roscoe bitki uçucu yağlarının antimikrobiyel aktiviteleri ve antibiyotiklere in-vitro etkilerinin belirlenmesi. KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi. 9 (1):20-26.
28. Özcan, M. ve Erkmen, O., 2001. Antimicrobial activity of the essential oils of Turkish plant spices. Eur. Food Res. Technol. 212:658-660.

29. Melholm, O., Dalgaard, P., 2002. Antimicrobial activity of essential oils on the seafood spoilage micro-organism *Photobacterium phosphoreum* in liquid media and fish products. *Letters in Applied Microbiology*. 34:27-31.
30. Mourey, A., Canillac, N., 2002. Anti-*Listeria monocytogenes* activity of essential oils components of conifers. *Food Control*. 3:289-292.
31. Paranagama, P.A., Abeysekera, K.H.T., Abeywickrama, K., Nugaliyadde, L., 2003. Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. isolated from stored rice. DOI: 0.046/j. 472-765X.2003.035.x.
32. Gulluce, M., Sahin, F., Sokmen, F., Ozer, H., Daferera, D., Sokmen, A., Polissiou, M., Adiguzel, A., Ozkan, H., 2007. Antimicrobial and antioxidant properties of essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia*. *Food Chemistry*, 103: 1449-1456.
33. Benkeblia, 2004. Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). *LWT*. 37:263-268.
34. Valero, M. ve Salmerón, M.C., 2003. Antibacterial activity of essential oils against *Bacillus cereus* in tyndallized carrot broth. *International Journal of Food Microbiology*. 85:73-81.
35. Lambert, R.J.W., Skandamis, P.N., Coote, P.J., Nychas, G.-J.E., 2001. A study of minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*. 9:453-462.
36. Kotzekidou, P., Giannakidis, P., Boulamatsis, A., 2006. Antimicrobial activity of some plant extracts and essential oils against foodborne pathogens in vitro and on the fate of inoculated pathogens in chocolate. *LWT*. 41:119-127.
37. <http://biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/canlilar/monera/poznegfark.htm>, erişim tarihi: 30.06.2009.
38. Sağdıç, O. ve Özcan, M., 2003. Antibacterial activity of Turkish spice hydrosols. *Food Control*. 14:141-143.