

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALATYA EKOLOJİK KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN
NANE (*Mentha piperita* L.) BİTKİSİNDEN ELDE EDİLEN
UÇUCU YAĞIN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE ANTİMİKROBİYAL ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS

Burcu TAŞTAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER

HAZİRAN 2021

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALATYA EKOLOJİK KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN
NANE (*Mentha piperita* L.) BİTKİSİNDEN ELDE EDİLEN
UÇUCU YAĞIN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE ANTİMİKROBİYAL ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS

**Burcu TAŞTAN
(36173615054)**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER

HAZİRAN 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER' e,

Deneysel çalışmalarım esnasında bana destek olan Dr. Öğr. Üyesi Emir TOSUN'a,

Ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme,

Tezin uygulama aşamasında vermiş olduğu destekten dolayı, İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ne

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Malatya Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Nane (*Mentha piperita* L.) Bitkisinden Elde Edilen Uçucu Yağın Kimyasal Bileşimi ve Antimikrobiyal Etkisi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Burcu Taştan



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1 <i>Lamiaceae (Labiatae)</i> Familyası	4
2.2 <i>Mentha Lamiaceae</i>	4
2.3 <i>Mentha piperita Lamiaceae</i>	7
2.4 Kurutma	9
2.4.1 Kurutma mekanizmaları	10
2.4.2 Kurutma sistemleri	11
2.4.2.1 Gölgede kurutma	11
2.4.2.2 Güneşte kurutma.....	11
2.4.2.3 Sıcak hava yardımıyla kurutma	11
2.4.2.4 Vakum kurutma	12
2.4.2.5 Dondurarak kurutma.....	12
2.4.2.6 Mikrodalga kurutma	13
2.4.2.7 İnfrared kurutma	13
2.4.2.8 Ozmotik kurutma.....	14
2.4.3 Kurutmanın temel aşamaları.....	14
2.4.4 Kurutma kinetiği.....	17
2.4.5 İnce tabaka kurutma modeli	17
2.4.6 Etkin difüzyon katsayı ve aktivasyon enerjisi	20
2.5 Uçucu Yağlar.....	22
2.5.1 Uçucu yağlar hakkında genel bilgiler	22
2.5.2 Uçucu yağların özellikleri	22
2.5.2.1 Fiziksel özellikler	22
2.5.2.2 Kimyasal özellikler.....	23
2.5.3 Uçucu yağların kullanım alanları	26
2.5.4 Uçucu yağların eldesi için kullanılan metotlar	26
2.5.4.1 Destilasyon (Damıtma).....	27
2.5.4.2 Ekstraksiyon	32
2.5.4.3 Soğuk presleme (sıkma)	35
2.6 Uçucu Yağların Antimikrobiyal Etkisi.....	36
2.7 Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Modelleme	37
2.7.1 Sinir hücresinin yapısı	38
2.7.2 Yapay sinir ağlarının genel yapısı	41
2.7.3 Yapay sinir ağlarının öğrenme süreci.....	42
2.7.4 Yapay sinir ağlarında sınıflandırma işlemi.....	42
2.7.5 Yapay sinir ağlarında kullanılan öğrenme algoritmaları	44
2.7.6 Yapay sinir ağlarının eğitim ve test süreci	45
2.7.7 Yapay sinir ağı modellerinin başarı hesaplama yöntemleri	46

3. MATERYAL VE YÖNTEM	47
3.1 Materyal	47
3.1.1 Bitkisel materyal	47
3.1.2 Deneylerde kullanılan kimyasallar.....	47
3.1.3 Deneylerde kullanılan cihazlar, araçlar ve gereçler	48
3.1.3.1 Gaz kromatografisi ve kütle spektrometresi (GC–MS).....	48
3.2 Yöntem	48
3.2.1 Bitkinin başlangıçtaki nem ihtivasının tayini	48
3.2.2 Kurutma deneyleri.....	49
3.2.3 Kurutma eğrileri için modelleme çalışmaları.....	50
3.2.4 Uçucu yağ eldesi	51
3.2.5 GC–MS Analizleri.....	53
3.2.6 Yapay sinir ağı tasarımı.....	53
3.2.7 Antimikrobiyal etki	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
4.1 <i>Mentha piperita</i> Yapraklarının Nem İçeriğinin Zamanla Değişimi	56
4.2 <i>Mentha piperita</i> Yapraklarının Kuruma Hızı	57
4.3 Nane (<i>Mentha piperita</i>) Bitkisinin Kurutma Modellemesi	57
4.3.1 Matematiksel modelleme sonuçları	57
4.3.2 YSA model sonuçları	63
4.4 Etkin Difüzyon Katsayıları ve Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması.....	65
4.5 Kurutma Şartlarının <i>Mentha piperita</i> Uçucu Yağ Bileşimi Üzerine Etkisi	68
4.6 Hasat Zamanının Uçucu Yağ Bileşimine Etkisi.....	71
4.7 Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	78
EKLER	92
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 :	Literatürde yer alan ince tabaka kurutma modelleri	18
Çizelge 2.2 :	Terpenlerde izopren üniteleri	24
Çizelge 2.3 :	Bazı uçucu yağların içerdiği monoterpen, seskiterpen, diterpen, triterpen molekülleri	25
Çizelge 2.4 :	Bazı birleştirme fonksiyonları	39
Çizelge 2.5 :	Transfer fonksiyonlarının grafiksel ve matematiksel gösterimi	40
Çizelge 3.1 :	Çalışma kapsamında kullanılan kurutma modelleri	51
Çizelge 4.1 :	Optimizasyonla bulunan model katsayıları ve istatistiksel başarı göstergeleri	59
Çizelge 4.2 :	Geliştirilen YSA modelinin performansı	64
Çizelge 4.3 :	Kurutma şartlarına göre modellerin kıyaslanması	65
Çizelge 4.4 :	<i>Mentha piperita</i> örneklerinin kurutma verileri yardımıyla hesaplanan etkin difüzyon katsayıları	65
Çizelge 4.5 :	Farklı birkaç nane türü için literatürde yer alan aktivasyon enerjileri	67
Çizelge 4.6 :	Kurutma yöntem/koşullarına göre <i>Mentha piperita</i> örneklerinin uçucu yağ bileşenleri	68
Çizelge 4.7 :	Farklı zamanlarda hasat edilen ve gölgede kurutulan <i>Mentha Piperita</i> 'nın uçucu yağ bileşenleri	71
Çizelge 4.8 :	İlk hasadı 2019 yılı Ekim ayında ikinci hasadı ise 2019 yılı Kasım ayında yapılan <i>Mentha piperita</i> 'ya ait önemli uçucu yağ bileşenleri	72
Çizelge 4.9 :	Farklı konsantrasyonlarda nane uçucu yağının mikroorganizma gelişimine etkisi	74
Çizelge 4.10 :	Nane uçucu yağının antimikrobia test sonuçları (MIC/MİK)	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	: Nane Yaprakları.....	5
Şekil 2.2	: Nane uçucu yağlarının önemli belirteçleri/bileşenleri.....	7
Şekil 2.3	: Tıbbi nane (<i>Mentha piperita</i>), (<i>Mentha spicata</i>) ve (<i>Mentha aquatica</i>)	8
Şekil 2.4	: Kurutma sürecinde oluşan kütle ve ısı aktarımı	10
Şekil 2.5	: Ürün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi	15
Şekil 2.6	: Ürün nem içeriği ile kuruma hızının değişimi.....	15
Şekil 2.7	: Kurutma süresi ile kuruma hızı değişimi.....	16
Şekil 2.8	: İzopren molekülü	23
Şekil 2.9	: Clevenger aparatı	28
Şekil 2.10	: Buhar destilasyon ünitesi.....	29
Şekil 2.11	: Su ve buhar destilasyonu	30
Şekil 2.12	: Vakum destilasyonu düzeneği	31
Şekil 2.13	: Hidrodifüzyon sistemi	31
Şekil 2.14	: Likens–Nickerson sistemi (a) sudan daha ağır çözücü için (b) sudan daha hafif çözücü için.....	35
Şekil 2.15	: Biyolojik sinir hücresi (nöron)	38
Şekil 2.16	: Yapay sinir hücresi	39
Şekil 2.17	: Yapay sinir ağında katmanlar	41
Şekil 2.18	: İleri doğru beslemeli sinir ağı yapısı	43
Şekil 2.19	: Geriye doğru beslemeli bir sinir ağı yapısı.....	43
Şekil 2.20	: Yapay sinir ağı modeli geliştirme süreci	46
Şekil 3.1	: Çalışmada kullanılan <i>Mentha piperita</i> yaprakları	47
Şekil 3.2	: Başlangıç nem içeriği belirlenen <i>Mentha piperita</i> örnekleri.....	48
Şekil 3.3	: Gölge ortamında kurutulmuş <i>Mentha piperita</i> numuneleri.....	49
Şekil 3.4	: Etüv ortamında kurutulmuş <i>Mentha piperita</i> numuneleri	49
Şekil 3.5	: Su destilasyonu düzeneğinin görüntüsü	52
Şekil 3.6	: Destilasyon sonucu kazanılan uçucu yağ görüntüsü	52
Şekil 4.1	: Gölge ve etüv (35°C ve 50°C) ortamında kurutulmuş örneklerin nem muhteviyatının zamanla değişimi.....	55
Şekil 4.2	: Gölge ve etüv (35°C ve 50°C) ortamında kurutulmuş örneklerin nem içeriği ile kuruma hızı arasındaki ilişki	56
Şekil 4.3	: Gölgede kurutulmuş örnekler için süre–MR ilişkisi.....	57
Şekil 4.4	: 35°C kurutulmuş örnekler için süre–MR ilişkisi.....	58
Şekil 4.5	: 50°C kurutulmuş örnekler için süre–MR ilişkisi.....	58
Şekil 4.6	: Deneysel ve Midilli ve ark. modelinden hesaplanan nem oranlarının zamana göre değişimini gösteren PEDKiM yazılımı görüntüsü (Gölge verileri)	61
Şekil 4.7	: Deneysel ve Midilli ve ark. modelinden hesaplanan nem oranlarının zamana göre değişimini gösteren PEDKiM yazılımı görüntüsü (35°C sıcaklık verileri)	61
Şekil 4.8	: Deneysel ve Midilli ve ark. modelinden hesaplanan nem oranlarının zamana göre değişimini gösteren PEDKiM yazılımı görüntüsü (50°C sıcaklık verileri)	62
Şekil 4.9	: Deneysel–YSA model uyumu (eğitim veri seti)	63
Şekil 4.10	: Deneysel–YSA model uyumu (test veri seti)	64
Şekil 4.11	: <i>Mentha piperita</i> örneklerinin kurutma verilerinden elde edilen zaman– $\ln(MR \times \pi^2/8)$ grafikleri	65

Şekil 4.12 : Kurutma sıcaklığı ile etkin difüzyon katsayısı arasındaki ilişki	66
Şekil 4.13 : Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi.....	67



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

D₀	: Difüziviteye eşdeğer bir sabit
D_{eff}	: Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)
DR	: Kuruma hızı (g su/g kuru madde dk.)
E_a	: Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
G	: Model katsayısı (Verma ve ark., Geliştirilmiş Henderson ve Pabis)
I_j	: Nöron çıktısı
L	: Levhanın kalınlığı (m)
m_d	: Örneğin kuru madde içeriği (g)
m_t	: t zamanındaki örnek ağırlığı (g)
M	: t zamanındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
MR	: Boyutsuz nem oranı
M₀	: Başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
M_e	: Denge nem içeriği (g su/g kuru madde)
M_t	: t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
M_{t+dt}	: t+dt anındaki nem içeriği
Net_i	: Net girdi
t	: Kuruma süresi (s)
W_{ij}	: i ile j nöronları bağlantısının ağırlığı
x_i	: i. deneysel değer
$\bar{x}$	: Deneysel değerlerin ortalaması
y_i	: i. tahmin/öngörü değeri
$\bar{y}$	: Model öngörüsünden bulunan değerlerin ortalaması
GC	: Gaz kromatografisi
LMM	: Levenberg–Marquardt metodu
%MAPE	: Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
MS	: Kütle spektrometresi
MSE	: Hata Kareleri Ortalaması
R	: Korelasyon katsayısı
RMSE	: Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü
SDE	: Eş zamanlı destilasyon–ekstraksiyon
SFE	: Süperkritik sıvı ekstraksiyonu
SPME	: Katı faz mikro-ekstraksiyon
T	: Kuruma sıcaklığı (K)
YSA	: Yapay sinir ağları

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MALATYA EKOLOJİK KOŞULLARINDA YETİŞTİRİLEN NANE (*Mentha piperita* L.) BİTKİSİNDEN ELDE EDİLEN UÇUCU YAĞIN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE ANTİMİKROBİYAL ETKİSİ

BURCU TAŞTAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

97+X sayfa

2021

Danışman: Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER

Bu tez çalışmasında, Malatya ili ekolojik koşullarında yetiştirilen, nanenin (*Mentha piperita*) yaprakları gölgede ve etüvde iki farklı yöntemle kurutularak, kurutma kinetiği incelenmiştir. Deneysel olarak elde edilen veriler, dokuz farklı ince tabaka kurutma modeline uyarlanmış ve Midilli modelinin en iyi uyum gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, kurutma verileri kullanılarak, üç katmanlı ileri beslemeli, geri yayımlı ağ yapısına sahip bir yapay sinir ağı kurutma modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen yapay sinir ağı modelinin bu çalışmada kullanılan diğer tüm modellerden çok daha iyi sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Kurutma eğrileri oluşturulmuş, kurutulan nane örneklerinin nem içeriği ve nem oranı, kuruma hızı ve kuruma süresi, etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri belirlenmiştir. Farklı metotlar ile kurutulan örneklerden uçucu yağın çıkarılması cleverger cihazı yardımıyla ve su destilasyonu yöntemiyle sağlanmıştır. Uçucu yağların içeriğini ve bileşimini tayin etmek için GC-MS analizleri gerçekleştirilmiştir. Kurutma yönteminin uçucu yağ bileşimine etkisi araştırılmış, temel bileşen olan mentol içeriğine göre deneyler yapılmış ve gölgede kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın mentol içeriğinin (%41.21) en yüksek yüzdeye sahip olduğu görülmüştür. 2019 yılı Ağustos, Ekim ve Kasım aylarında yapılan hasat sonrası ürünlerden elde edilen uçucu yağlarda en yüksek mentol içeriği Kasım ayında (%49) yapılan hasat örneklerinden elde edilmiştir. Ekim ayında ilk hasadı yapıldıktan sonra yeniden büyüyen bitkiden yapılan Kasım ayındaki ikinci hasat sonrası elde edilen örneklerin GC-MS analizi sonucunda; ikinci hasat örneklerinin mentol oranının, ilk hasat örneklerinden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Nane uçucu yağının antimikrobiyal aktivitesi incelenmiş ve uçucu yağın gram pozitif bakteriler ile gram negatif bakterilere etkisinin farklı seviyede olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Mentha piperita*, uçucu yağlar, ince tabaka kurutma, su destilasyonu, GC-MS, YSA, antimikrobiyal aktivite.

ABSTRACT

Master Thesis

CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL OF PEPPERMINT (*Mentha piperita* L.) GROWN IN MALATYA

Burcu Taştan

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

97+X pages

2021

Supervisor: Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER

In this study, it was investigated that the drying kinetics of *Mentha piperita* leaves grown under the ecological conditions of Malatya province were dried in the shade and in the oven. The obtained data were fitted to nine different thin-layer drying models, and it was determined that the Midilli model was the best fit. An artificial neural network drying model with a three-layer feed-forward back propagation network structure was also developed. The developed artificial neural network model produced much better results than all other models used in this study. The values peculiar to dried peppermint samples such as moisture content, moisture rate, drying rate, drying time, effective diffusion coefficient and activation energy were determined. The essential oil was obtained from peppermint samples by water distillation method. The effect of the drying method on the essential oil composition was investigated, experiments were carried out according to the menthol content, which is the main component, and it was observed that the menthol content of the essential oil obtained from the samples dried in the shade had the highest percentage. The highest menthol ratio in essential oils obtained after the harvest in August, October and November 2019 was obtained from the harvest samples made in November. As a result of the GC–MS analysis of the samples obtained after the second harvest, it was determined that the menthol ratio of the second harvest samples was higher than the first harvest samples. The antimicrobial activity of essential oil was investigated, and it was determined that the effect of essential oil on gram-positive and gram-negative bacteria was at different levels.

Keywords: *Mentha piperita*, essential oils, thin layer drying, hydrodistillation, GC-MS, ANN, antimicrobial activity.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varlığından beri bitkiler ana besin kaynağı ve tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu bitkilerin hangilerinin zehirli ya da zehirsiz olduğu, hangilerinin yenilebilir olduğu deneme ve yanılma yöntemi ile belirlenmiştir [1].

Tıbbi bitkiler, oldukça eski zamanlardan beri ilgi görmektedir. Sümer, Asur, Mısır, Hitit, Roma ve Grek uygarlıkları hastalıkların iyileştirilmesinde bu bitkileri yoğun bir şekilde kullanmışlardır. Dioscorides, Hippokrates, Mithridates, Calinos gibi Roma, Grek ve Bizans dönemlerinde yaşayan hekimler şifalı bitkilerin yer aldığı reçeteler hazırlamışlardır. M.Ö. 460–377 yılları arasında yaşayan Hippokrates, eserlerinde yaklaşık 400 bitkisel kökenli droga yer vermiştir [1].

İslam kültüründe de tıbbi bitkiler tedavi amaçlı kullanılmıştır. Orta Çağdaki Müslüman hekimler hastalıkların iyileştirilmesinde şifalı bitkilerin yer aldığı yapıtlar üretmişlerdir. Bu eserlerden bazıları; Şifa ve Kanun Fi'tTıb (İbni Sina), Kitab al-Saydada fi al-Tıb (Biruni), Tezkeri-i Davud (Davud al-Antaki) olarak sıralanabilir [1].

20. yüzyıl başlarındaki teknolojik gelişmeler, politik ve sosyal değişimler nedeniyle tıbbi ve aromatik bitkilerin ilaç olarak kullanımında azalmalar olduğu görülmüştür. 1930 ve 1940'lı yıllarda organik kimyasalların sentezi, sentetik ilaçların üretimini teşvik etmiştir. Endüstriyel olarak gelişen batı ülkelerinde, sentetik kimyasal ilaçların üretilmesi sonucunda 1970'li yılların sonunda bitkilerin ilaç olarak kullanımında bir düşüş yaşanmıştır [2]. 20. yüzyılın ilk zamanlarında bitkisel esaslı ilaçlar %40 civarında iken, 70'li yılların ortalarına doğru bu oran %5' in altında olmuştur [3]. 80 ve 90'lı yıllarda tüketicilerdeki bilinçlenme ile gelişmiş ülkelerin bitki kaynaklı ilaçlara taleplerinin artması ve organik besin kaynaklarına olan ilgiden dolayı tıbbi/aromatik bitkiler tekrardan ilgi odağı haline gelmiştir [4].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), dünya çapında kullanım bulan tıbbi/aromatik bitkilerin sayısının yaklaşık 20.000 olduğunu, bunların 4.000'inin yaygın olarak tedavi amacıyla kullanıldığını ve dünya çapında 2.000, Avrupanın batısında da 500 civarı tıbbi/aromatik bitkinin ticaretinin olduğunu rapor etmiştir [1,2].

Türkiye; coğrafi yapısının yanında biyolojik zenginliği bakımından da önemli bir konumda olup, tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştirilmesine elverişli iklim koşullarına sahip az sayıda ülkelerden biridir. Geniş yüz ölçümü ile tıbbi ve aromatik bitkilerin çeşitliliğinin zengin olduğu ülkemiz, tıbbi ve aromatik bitkilerin ticareti için dikkate değer bir konumda yer almaktadır. Ülkemiz tarafından ihracı yapılan veya iç pazarda talep bulan tıbbi ve aromatik bitkiler genellikle yine ülkemiz florasından toplanmıştır [5].

Bitki özleri insanlar tarafından binlerce yıldır geleneksel tıpta kullanılmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerden eldesi yapılan bu uçucu yağlar (esansiyel yağlar) dünyada önemli bir pazara sahiptir. Bilinen 3000'den fazla uçucu yağ arasında 300 kadarı ilaç, tarım ve gıda endüstrileri için önemli bir yere sahip olup özellikle; kozmetik ve parfüm sanayisinde, sabun, deterjan ve diş macunu üretiminde kullanılmaktadır [6].

Dünyada üretilen uçucu yağların üretim miktarının yaklaşık 45.000 ton/yıl olduğu belirtilmektedir. Limon, nane, biberiye, portakal, karanfil, okaliptus, lavanta, paçuli, sitronel, küçük limon, sedir ağacı ve sassafras gibi yağların üretimi yapılmaktadır. Kekik, nane, okaliptüs ve portakal yağlarına gösterilen ilgi daha çoktur [7].

Türkiye'deki uçucu yağ eldesinin önemli bir miktarı gül uçucu yağından sağlanmaktadır. Kekik, defne, limon yağları; ihracatı yapılan uçucu yağlar arasında yer alırken nane, portakal, bergamut ve lavanta uçucu yağları ise ithalatı yapılan uçucu yağlardır [7].

Uçucu yağlar önemli ekonomik değere sahiptir ve uygulama alanı çok geniş olduğundan, son zamanlarda uçucu yağlara olan ilgide önemli bir artış kaydedilmiş, bu yağların kimyasal yapılarının incelenmesi, antimikrobiyal ve/veya antibakteriyel etkilerinin araştırılması konularında birçok çalışma yapılmıştır. Uçucu yağ ticaretinde önemli bir konumda olan nane uçucu yağı, ilaç endüstrisi başta olmak üzere diğer alanlarda her geçen gün daha fazla önem kazanmış ve dünya pazarında bu ürünlerin kullanım oranının artması ile araştırmacıların ilgi odaklarından biri olmuştur.

Bu çalışmada; Malatya ili iklim koşullarında yetiştirilen, *Mentha piperita*'nın iki farklı yöntemle kurutma kinetiği araştırılmıştır. *Mentha piperita* yaprakları gölge ve etüv (35°C ve 50°C) ortamlarında kurutulmuş, deneysel verilerden elde edilen nem oranı, literatürde sık karşılaşılan ince tabaka kurutma modelleriyle hesaplanan nem oranı değerlerinin kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, MATLAB ortamında geliştirilen yapay sinir ağı (YSA) modeli ile nem oranları öngörülmesi ve diğer modellerin

sonuçları ile kıyaslanmıştır. Kurutulan nane örneklerinin su destilasyonu metodu ile uçucu yağların eldesi sağlanmış ve kimyasal bileşimi GC-MS ile analizlenmiştir. Farklı hasat zamanları ve u farklı hasat için uçucu yağ bileşimindeki değişiklikler izlenmiştir. Ayrıca, nane uçucu yağının antimikrobiyal etkisi araştırılmıştır. Antimikrobiyal testlerde, oda sıcaklığında kurutulan birinci hasat (Ağustos ayında toplanan) rnlerden elde edilen uçucu yağ kullanılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 *Lamiaceae (Labiatae) Familyası*

Lamiaceae; tek yıllık, çok yıllık, otsu, nadiren de odunsu yapıdaki bitkileri içeren bir familyadır. Birçok habitat tiplerinde ve yüksekliklerde yetişebilen *Lamiaceae* familyası dünyada yaygın bir dağılıma sahip olup 250'den fazla cins ve 7000'e yakın tür içermektedir [8].

Türkiye'de bitki familyaları arasında üçüncü büyük familya olduğu düşünülen *Lamiacea*, son dönemlerdeki verilere göre, 574 türe sahiptir. Bu familyanın 45 cinsi ve 256 endemik türü mevcuttur. Endemizm oranı yaklaşık olarak %44.5'dir [9].

Lamiaceae familyasındaki bitkilerin önemli özelliklerinden biri de kokulu aromatik bileşiklere sahip olmalarıdır. Bu familya daha çok nane, fesleğen, biberiye, kekik, lavanta, adaçayı gibi bitkileriyle tanınmaktadır ve bu bitkiler birçok endüstride hammadde olarak kullanılmaktadır [10]. Familyadaki birçok aromatik bitkilerin kullanım alanları oldukça geniştir. Bunlar geleneksel tıpta, modern tıpta, gıda ve ilaç endüstrilerinde kullanılmaktadır [11]. *Lamiaceae* familyasına ait olan ve Ülkemizde doğal yayılım gösteren *Mentha*, *Salvia*, *Origanum* ve *Thymus* gibi türler baharat olarak değerlendirilmektedir [12].

2.2 *Mentha Lamiaceae*

Mentha Lamiaceae (*Mentha* L.), *Lamiaceae* (ballıbabagiller) ailesine ait olan çok yıllık aromatik bitkidir. *Mentha* türünü oluşturan ve tüm dünyada görülebilen 25–30 türün ortak adıdır. Eski bir kültür bitkisi olup, tıbbi bitkiler arasında yer almaktadır [13]. Bu bitkiler ilaç, koku, kozmetik, lezzet ve parfümeri endüstrilerinde kullanılan önemli bir hammadde kaynağıdır [14]. En çok nane üreticileri ve ihracatçıları başta Hindistan olmak üzere Çin, ABD ve Brezilya'dır [15].

Dünya'da birçok farklı türleri ve melezleri olan nane çeşitleri vardır. *Mentha* cinsini oluşturan türlerin çoğu tropikal / subtropikal koşullarda ve humusça zengin nemli topraklarda en iyi şekilde büyümektedir [16].



Şekil 2.1: Nane Yaprakları [15]

Eski zamanlardan beri nane mide ağrısı ve göğüs ağrılarını tedavi etmek, dişleri beyazlatmak, böcek ısırıklarının (genellikle kafur ile birlikte) neden olduğu kaşıntıyı hafifletmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [15].

Nane türleri, yer altında ve yer üstünde büyüyen, dik, kare, dallı gövdelere sahip geniş yayılan stolon ile karakterize edilir. Yaprakları mızrak ve dikdörtgen şeklinde, zıt yönde düzenlenmiş, tırtıklı kenarlara sahip ve genellikle tüylüdür. Koyu yeşil, gri-yeşil, mor-mavi ve zaman zaman soluk sarı dahil olmak üzere çeşitli renkler de olabilir. Meyve, bir ile dört tohum içeren küçük kuru bir kapsüldür [15].

Dünya çapında kültürü yapılan nane bitkisinin genel olarak 3 türü mevcuttur. Bunlar; *Mentha piperita* (İngiliz nanesi/Tıbbi nane)
Mentha arvensis (Japon nanesi/Mısır Nanesi)
Mentha spicata (Bahçe nanesi) 'dır.

Bunların dışında birçok farklı tür, melez ve özel bileşenli nane türleri de bulunmaktadır. Özel bileşenli olan nane türleri; su nanesi (*Mentha aquatica*), limon /bergamot nanesi (*Mentha citrata*), ananas nanesi (*Mentha gentilis*) ve yabani nane (*Mentha gentilis*) gibi birçok türe sahiptir [1].

Yaygın olarak bulunan ve ticari amaçlı olarak kullanılan nane çeşitleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- *Mentha arvensis* (Japon Nanesi/Mısır Nanesi): Tatlı ve güçlü nane aromasına sahiptir. Bunlar gıdaların aromalarında yaygın olarak kullanılır.
- *Mentha spicata* (Bahçe Nanesi): Lezzet olarak nane şekerinden daha keskin kokulu ve daha az tatlıdır.

- *Mentha piperita* (İngiliz Nanesi): Keskin nane aromasına sahip hibrit (melez) bir nane türüdür. Şeker, sakız ve diş macunları gibi ürünler de yaygın olarak kullanılır.
- *Mentha pulegium* (yarpuz): Ezildiğinde keskin bir kokusu olan ve bahçe nanesine benzer tadı vardır. Eski zamanlardan beri yemeklerde kullanılırken şimdi de aromaterapide kullanılır.

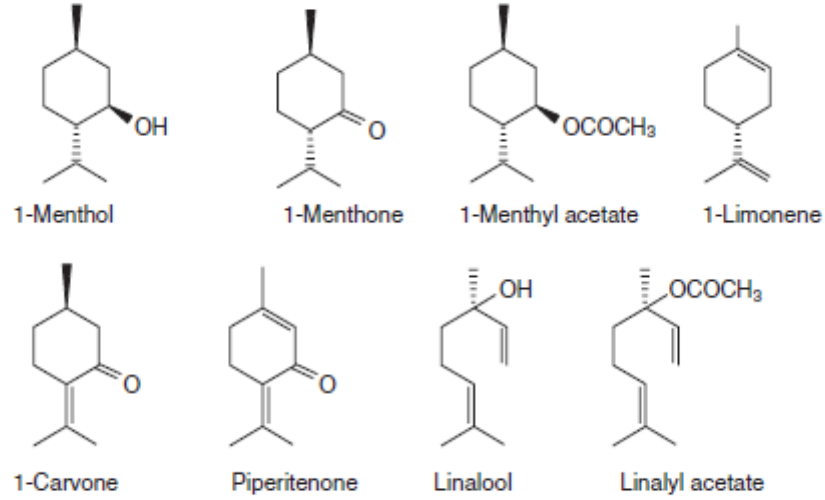
Nane uçucu yağının bileşeni, nanenin türüne, çeşidine, iklim koşullarına, bitkinin coğrafi konumuna ve ekstraksiyon yöntemine bağlıdır. Hindistan şu anda dünyanın en çok mentol ve ilgili ürünlerin tüketici, üretici ve ihracatçısıdır. Diğer büyük nane yağı üretici ülkeler Çin, Japonya, Brezilya ve ABD'dir [15].

Nanelerin yaygın bileşenlerinden bazıları mentol, neo-mentol, metil asetat, neometil asetat, limonen, karvon, menton, izomenton, oktan-3-ol, piperitenon, p-smen, dekanol, piperitenon oksit, linalool, linalil asetat, pulegon, mentofuran, cis-3-heksenil asetat ve cis-3-heksenol'dur. Mentol ve menton *Mentha piperita* ve *Mentha arvensis* uçucu yağlarında olan en önemli maddeler iken, karvon ise *Mentha spicata* türündeki uçucu yağının en önemli etken maddesidir.

Aşağıda çeşitli *Mentha* türlerinin kimyasal belirteçleri / ana kimyasal bileşenlerinin oranları yaklaşık olarak verilmiştir.

- *Mentha piperita* : Mentol (%45–55), Metil asetat (%20), Menton (%10)
- *Mentha arvensis* : Mentol (%75–80), Menton (%6–10)
- *Mentha spicata* : Karvon (%60–70), Limonen (%15–25)
- *Mentha longifolia* : Karvon (%65–73), Limonen (%15–25)
- *Mentha citrate* : Linalol (%45–50), Linalilasetat (%35–40)

Üç ana *Mentha L.* türünün bazı tipik ve önemli kimyasal bileşenleri aşağıda verilmiştir (Şekil 2.2) [15].



Şekil 2.2: Nane uçucu yağlarının önemli belirteçleri/bileşenleri

Hasat da uçucu yağın hem üretimini hem de kalitesini etkileyen önemli bir işlemdir. Bu nedenle, bitki büyümesinin doğru aşamasında hasat edilmesi önemlidir. Erken hasat, daha düşük geri kazanım ve düşük yağ kalitesi ile sonuçlanırken, hasattaki gecikme de düşük yağ üretimi ile sonuçlanır. Japon nanesinin hasadı, ekiminden 100–110 gün sonra ve ikinci hasat, ilk hasattan 65–70 gün sonra yapılmalıdır ve benzer durum bergamot nanesi için de geçerlidir. Tıbbi nane ve bahçe nanesi için hasat, ilk hasat ekiminden 90–95 gün sonra ve ikinci hasat, ilk hasattan 50–60 gün sonra alınmalıdır. Hasat güneşli günlerde yapılmalı ve hasattan bir hafta önce sulama kesilmelidir. Hasat sırasında yağmur veya tarladaki aşırı toprak nemi, bitkideki yağ birikimi üzerinde olumsuz etkiye sahiptir, bu da yağın damıtma sırasında düşük geri kazanılmasına neden olur [17].

Nane, diğer birçok bitki gibi belirli mevsimlerde yetiştirilir. Bu mevsimsel ve son derece bozulabilen bitkinin, korunması ve tüm yıl boyunca tüketicilere düşük fiyatlarla sunulması amacıyla, kurutma ve dondurma gibi hasat sonrası teknolojik işlemlere tabi tutulur [18].

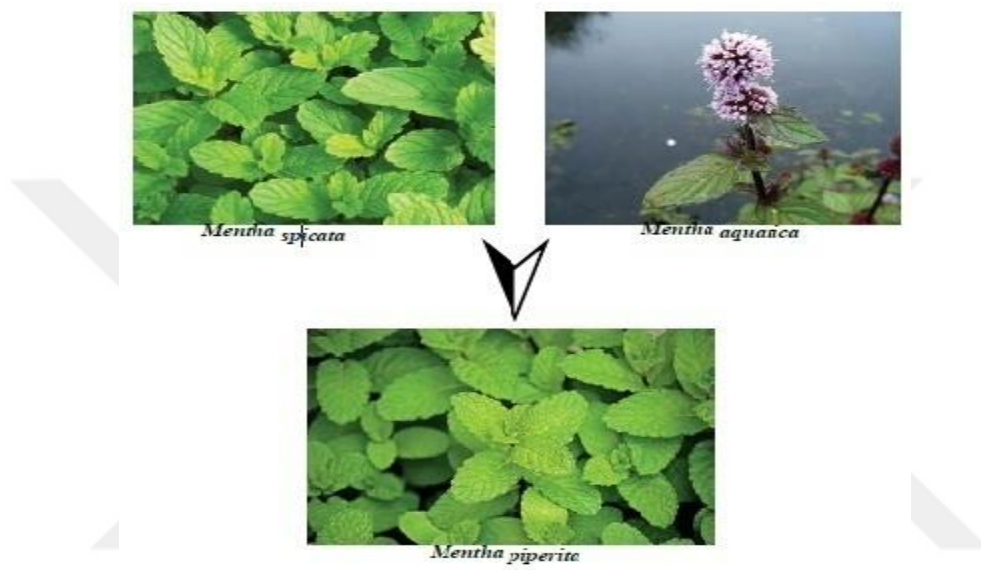
Kurutma sırasında nane uçucu bileşiklerinin konsantrasyonlarındaki değişiklikler, kurutma koşulları (sıcaklık, hava hızı), nem içeriği, bitki çeşiti ve yaşı, iklimi, toprak yapısı ve hasat yöntemi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [19].

2.3 *Mentha piperita* Lamiaceae

Antik çağlardan beri tıbbi bitkiler hastalıkların tedavisinde kullanılan doğal ilaçlardır [20]. Bu bitkilerin özleri ve uçucu yağları, günümüzde dünya nüfusunun %80'inden

fazlasının sağlık ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır [21]. *Lamiaceae* familyasına ait çok yıllık bitki olan *Mentha piperita*, geçmiş zamanlar da Avrupa, Kuzey Amerika, Asya ve Kuzey Afrika'da yani dünyanın ılıman bölgelerinde yetiştirilirken günümüz de ise dünyanın tüm bölgelerinde yetiştirilmektedir [22].

Tıbbi nane veya İngiliz nanesi (*Mentha piperita* L.); Bahçe nanesi (*Mentha spicata* L.) ve su nanesi (*Mentha aquatica* L.) arasında doğal bir melezdir [23,24]. Bu nane türlerinin görselleri şekil 2.3'te yer almaktadır.



şekil 2.3 : Tıbbi nane (*Mentha piperita*), (*Mentha spicata*) ve (*Mentha aquatica*)

Yaprağı; soğuk algınlığı, ağız iltihabı, karaciğer ve mide ağrısı, kusma, ishal, kramplar, şişkinlikleri önlemek için geleneksel tedavide kullanılmaktadır. Esansiyel yağı, antikanser, antidiyabetik, antimutajenik, antibakteriyel, antifungal, antiviral, antioksidan, antimikrobiyal ve antienflamatuar (iltahap önleyici) olarak da kullanılır [25].

Uçucu yağlarında mentol ve menton gibi yüksek değerli monoterpenlerin varlığı nedeniyle ticari olarak önemli bitkiler arasında yer almaktadır [26]. Bu yağlar ve yağların temel kimyasal bileşenleri, gıda endüstrisi, eczacılık, kozmetik ve parfümeri gibi alanlarda farklı uygulamalara sahiptir [27]. Diş macunları, ağız gargaraları, sakızlar, nane şekerleri, şampuanlar, sabunlar ve cilt bakım ürünleri gibi *Mentha piperita* nanesini içeren çok sayıda ürün vardır [28].

Mentha piperita uçucu yağlarının kalitesi mentol, menton, mentofuran ve pulegonun yüzdesine bağlıdır. Mentol ve menton yüzdesinin artması ve mentofuran ile pulegon yüzdesinin azalması ile *Mentha piperita* bitkisinin kalitesi artmaktadır [29].

Mentha piperita bitkisinden uçucu yağ elde etmek için genellikle taze veya kurutulmuş yapraklarından yararlanılır [30]. Nane yapraklarının kimyasal bileşimi, bitkinin olgunluğuna, coğrafi bölgeye ve işleme koşullarına göre değişebilir. Bitki normal olarak tam çiçeklenme aşamasında hasat edilir ve genel olarak 0.75–0.85 (g su / g ıslak madde) nem içeriğine sahiptir [31].

Mentha piperita L.'nin üç çeşidi vardır. İlki dünya çapında en yaygın olan çeşiti, *vulgaris* Sole veya Mitcham nanesi'dir. İkinci çeşiti *sylvestris* Sole veya Macar nanesi'dir. Üçüncüsü ise *officinalis* Sole'dir. Türlerin iki çeşidi, siyah nane (menekşe renkli yaprakları ve sapları olan) ve beyaz nane (saf yeşil yaprakları olan) olarak yetiştirilmektedir [32]. En yaygın şekilde yetiştirilen İngiliz veya siyah nane, *Mentha piperita officinalis rubescens* Camus'dur [33].

Mentha piperita bitkisi fiziksel olarak incelenecek olursa boyu yaklaşık olarak 45 ile 80 cm arasında değişmektedir. Yaprak yapısı *M. spicata*'ya benzer şekildedir ancak yapraklar daha uzun ve daha geniştir, çiçeklenme bakımında nispeten farklılık gösterir. Kökü dörtgen, kanallı, morumsu, biraz tüylü ve tepeye doğru dallanma eğilimi gösterir.

Yapraklar zıt saplı, oval, sivri ve soluk koyu yeşil renktedir. Yaprak laminada (4–14 cm) her iki yüzeyde de saç ve glandüler trikom bulunur. Genellikle yaprakların alt yüzeyi, üst yüzeyden daha fazla glandüler trikom içerir. Çiçekler küçük, mor ve sivridir. Yapraklarda ve bitkinin diğer kısımlarındaki uçucu yağların varlığı, bitkiye keskin bir koku verir [34].

2.4 Kurutma

Kurutma (dehidrasyon, susuzlaştırma), gıdadaki korumanın en eski yöntemi olup farklı endüstrilerde sıklıkla uygulanan önemli işlemlerden biridir [35].

Yüksek nem içeriği nedeniyle, taze tıbbi ve aromatik bitkilerin uzun süre güvenli bir şekilde saklanması mümkün değildir bu yüzden kurutmaya ihtiyaç duyulur. Su, kalite bozulmasına yol açan mikrobiyal ve kimyasal etkileşimlere sebep olur. Kurutma, ısı uygulamasıyla su içeriğinin uzaklaştırılması ile mikroorganizmanın büyümesini yavaşlatarak ve organoleptik özellikleri değiştirebilecek bazı biyokimyasal reaksiyonları önler. Kurutma prosesinin amacı, gıda maddesinin ihtiva ettiği yaklaşık %80 – 90 civarındaki nem oranını yaklaşık %10–20 civarına düşürerek, raf ömrünü uzatmaktadır [36].

Malzemelerin kurutulması, nakliye masraflarını düşürmesi ve kullanım çeşitliliğini arttırması sebebiyle avantaj sağlamaktadır [37,38]. Tarımsal ve gıda maddelerinin işlenmesinde ve korunmasında dehidrasyon önemli olmasına rağmen, uygun olmayan

kurutma yöntemleri ve koşullarının uygulanması kalite bozulmasına ve yüksek enerji kullanımına neden olabilir [39].

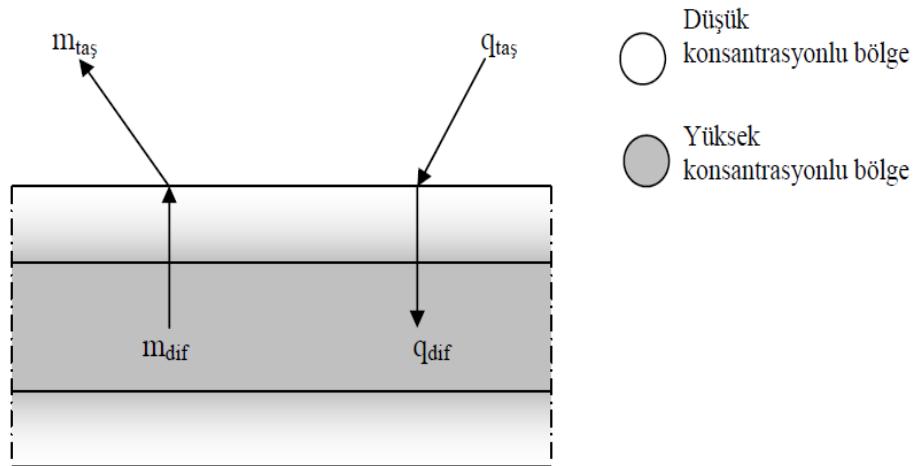
Doğal ve yapay kurutma, yaygın olarak kullanılan iki kurutma yöntemidir. Doğal kurutma; güneşte kurutma, gölgede kurutma gibi kurutma çeşitlerini içerirken yapay kurutma ise mikrodalga kurutma, kızılötesi kurutma, dondurarak kurutma, ozmotik kurutma, vakum kurutma gibi çeşitlere sahiptir [40].

Kurutma, üründe esas olarak koku ve görünüm ile ilişkili değişikliklere neden olmaktadır [41]. Aromatik bitkiler kurutma işlemlerine duyarlıdır ve bu nedenle dikkatli bir dehidrasyon, yüksek kaliteli bir ürün elde etmek için temel bir gereksinimdir [42]. Bu aromatik bitkilerin, meyvelerin ve sebzelerin uçucu yağlarının elde edilmesinde kurutma yönteminin ve kurutma koşullarının (sıcaklık, hava, hız, bağıl nem) kurutma verimine etkisi büyüktür [43,44].

2.4.1 Kurutma mekanizmaları

Gıda maddelerinin kurutulması işlemi, fiziksel, kimyasal ve faz değişim dönüşümleri ile beraber ısı, kütle ve momentum aktarım süreçlerini de içeren karmaşık bir işlemdir [45].

Kurutma, nemli bir maddenin iç tarafından gelen suyun yüzeye çıktığı ve daha sonra doğal veya yapay yollarla buharlaştırıldığı eşzamanlı ısı ve kütle aktarım işlemi olarak tanımlanır [40]. Bu proseste oluşan kütle ve ısı aktarımı olayları Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 : Kurutma sürecinde oluşan kütle ve ısı aktarımı

Eş zamanlı meydana gelen kütle ve ısı aktarımı sayesinde, kurutulan gıda maddelerinden su uzaklaştırılmış olur. İlk olarak kurutma ortamından (ısı kaynağından) gıda maddesinin yüzeyine konveksiyonla ($q_{taş}$, taşınım) ısı aktarımı başlar. Gıda maddesinin iç

kısmına ise difüzyonla (q_{dif} , yayılım) ısı aktarımı meydana gelir. İç taraflardaki nem gıda maddesinin yüzeyine difüzyon (m_{dif} , yayılım) yoluya, gıda maddesinden kurutma ortamına konveksiyon ($m_{taş}$, taşınım) yoluyla (kütle aktarımı) aktarımı olur ve böylece yüzeyden suyun uzaklaştırılması gerçekleşir. Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle aktarımına, havanın içerdiği nem, ortam basıncı ve sıcaklığı ile kurutulan gıda maddesinin yüzey alanı etki eder [47].

2.4.2 Kurutma sistemleri

2.4.2.1 Gölgede kurutma

Gölgede kurutma doğal kurutma yöntemidir. Kurutulacak materyal ince bir tabaka halinde serilir ya da demetler halinde asılır. Yüksek sıcaklıklarda yapısı bozulabilen ve kolaylıkla su kaybeden yaprak ve çiçek gibi bitkilerin kurutulması gölge ortamında sağlıklı bir şekilde yapılabilir. Kurutulacak malzeme üstü kapalı ve yan kısımları kapalı olmayan, hangar ya da sundurma yapıları içinde kurutulabilir. Bu şekilde malzeme direkt olarak güneşe maruz kalmadan açık hava ortamında kurutulmuş olur. Kuruma sırasında bitkinin çürümesini önlemek ve kuruma süresini kısaltmak için bitki sık sık alt üst edilerek karıştırılmalıdır [48].

2.4.2.2 Güneşte kurutma

Eskilerden beri hala yaygın olarak kullanılan doğal kurutma yöntemlerinden biridir. Mevcut yöntemler arasında maliyeti en düşük kurutma yöntemine sahiptir. Güneşte kurutmada, kurutulacak malzeme istenen nem seviyesine ulaşmak için birkaç gün doğrudan güneş ışığına maruz bırakılır. Böcek istilası, kurutulacak malzemede toz ve kir bulunması, doğrudan güneş ışığına uzun süre maruz kalması nedeniyle aşırı ısınma ve buharlaşan nemin yoğunlaşması nedeniyle düşük ısı iletimi güneşte kurutmanın en büyük sorunlarından [49]. Güneş ısısından her zaman yararlanmak mümkün olamadığından, daha hızlı, güvenli ve kontrol edilebilir kurutma yöntemleri gereklidir. Yapay kurutma yöntemleri güneşte kurutma sistemlerinin bu olumsuzlukları nedeniyle tercih edilmektedir [50].

2.4.2.3 Sıcak hava yardımıyla kurutma

Sıcak havanın kullanılmasıyla kurutma prosesi uzun zamandan bu yana kullanılmaktadır. Bu proses, günümüzde de sıkça tercih edilmektedir. Bu proseste çoğunlukla granüllü ve dilimlere ayrılmış sebzelerin veya meyvelerin kurutulmasında tercih

edilen bir yöntemdir. Püskürtmeli kurutucular, tünel/tepsili/bantlı kurutucu sistemleri ya da akışkan yataklı sistemler bu yöntemi kullanan kurutuculara örnek olarak verilebilir [51].

Sıcak hava ile kurutma sırasında ısı, sıcak havadan konveksiyon ile ürüne aktarılır; aynı zamanda buharlaşan su havaya taşınır. Bununla birlikte, yüksek enerji tüketimi ve düşük kalite bu kurutma yöntemi için ciddi dezavantajlardır [52,53]. Sıcak hava ile kurutma, enzimatik olmayan esmerleşme, büzülme ve besin kaybı gibi bazı yaygın problemlere sahiptir [54].

Meyveleri sıcak hava yöntemiyle kurutmak genellikle ürün kalitesini düşürür. Araştırmacılar, sıcak hava ile kurutmanın ısı hasarına neden olabileceğini ve ürünlerin lezzetini, rengini, boyutunu, dokusunu ve besin değerini olumsuz yönde etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, bu sorunların üstesinden gelmek için yeni kurutma yöntemleri ve kurutucular tasarlanmalıdır [55].

Bu kurutma sisteminin avantajları ise basit bir tasarıma sahip olup maliyetinin düşük olmasıdır. Proseste ürüne özgü olarak belirlenmiş hava hızları uygulanarak ürünler kısa zamanda kurutulur [51].

2.4.2.4 Vakum kurutma

Vakumlu kurutma, meyvelerin kurutulması için alternatif bir yöntemdir. Vakum, suyun atmosferik koşullardan daha düşük bir sıcaklıkta buharlaşmasına izin verir. Bu nedenle meyveler yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan kurutulur. Ayrıca, dehidrasyon sırasında hava olmaması oksidasyon reaksiyonlarını azaltır. Bu avantajlar nedeniyle vakumlu kurutma kurutulmuş ürünlerin rengi, dokusu ve lezzetini geliştirmektedir [56]. Düşük sıcaklıkta kurutmayı gerçekleştirdiği için biyoaktif bileşiklerdeki bazı termal hasarları önleyerek uçucu bileşiklerin kaybını azaltır [57].

2.4.2.5 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma, donmuş gıdalardan süblimasyon yoluyla suyu uzaklaştıran yaygın olarak kullanılan bir kurutma tekniğidir. Meyvelerde bulunan suyun yaklaşık %90'ı dondurarak kurutmanın ilk aşamasında giderilir. Dondurularak kurutulmuş ürünün rehidrasyon özelliği hızlıdır ve rehidre edilmiş gıdaların organoleptik özelliği taze ürüne benzerdir. Uçucu bileşen kaybının az olması ve uzun saklama süresi gibi avantajları vardır [40]. Bu proses; gıda kalitesini ve yapısını diğer dehidrasyon işlemlerinden daha iyi tutmaya

izin vermesine rağmen enerji maliyetinin yüksek olması, işlem süresinin uzun olması ve prosesin ekonomik olmaması gibi sebeplerden dolayı çok fazla tercih edilmemektedir [58].

2.4.2.6 Mikrodalga kurutma

Son yıllarda mikrodalga ile kurutma, gıda endüstrisinde alternatif bir kurutma yöntemi olarak popülerlik kazanmıştır. Bu kurutma yönteminin amacı, gıda maddelerinin bünyesinde bulundurduğu su moleküllerinin hareketlerini hızlandırmak ve hareketlerinden dolayı oluşan moleküler sürtünme ile ısı eldesi sağlamaktır. Malzeme mikrodalga enerjisiyle birleştiğinde, ürün içinde moleküler uyarım yoluyla ısı üretilir. Enerjinin gıda maddesinin derinliklerine kadar inebilmesigerekmemektedir. Mikrodalga kurutma, 300 MHz ila 300 GHz frekans aralığında elektrik enerjisi kullanır. Nem giderimi için hava, malzemenin yüzeyinden geçmektedir [59]. Mikrodalga ile dehidrasyon, nemin aktarılması için itici bir güç oluşturan, yiyeceğin iç ve yüzeyi arasındaki buhar basınçlarındaki farklılıklardan kaynaklanır. Bu yöntemin en önemli özelliği hacimsel ısıtmadır, yani yiyecekler mikrodalga enerjisini doğrudan veya dahili olarak emebilir, ısıya dönüştürülebilir [60].

Bu yöntemde; dalga boyu, derinlik, kayıp faktörü ve dielektrik sabiti gibi parametreler enerjinin etki derinliğini etkilemekte olup, frekans artışı ve dalga boyu azalması gıda maddesine nüfuz derinliğini azaltmaktadır [61]. Mikrodalga kurutma, geleneksel sıcak hava kurutmasına kıyasla hızlı, daha homojen ve enerji tasarrufludur [62]. Başlangıç nem oranı yüksek olan gıda maddeleri bu kurutma yöntemiyle başarılı şekilde kurutulabilmektedir.

2.4.2.7 İnfrared kurutma

İnfrared (kızılötesi) kurutma son zamanlarda gıda malzemeleri için tercih edilen bir kurutma yöntemi haline gelmiştir [63]. Bir malzeme kızılötesi radyasyona maruz kaldığında, radyasyon, malzemenin yüzeyiyle etkileşir ve oradan iç tabakalara nüfuz eder [55]. Malzeme molekülleri radyasyonu emdikçe titreşirler. Titreşim aynı anda yüzey ve iç katmanlarda ısı üretir. Isıtma, su moleküllerinin yüzeye doğru hareketini sağlar [52].

Avantajları arasında çok yönlülük, gerekli ekipmanın basitliği, ısıtma ve kurutmanın hızlı olması, herhangi bir kurutma odasına kolay kurulum ve düşük sermaye maliyeti bulunmaktadır [64].

2.4.2.8 Ozmotik kurutma

Bu işlem, gıda maddesinin hipertonik bir çözeltiye daldırılması sonucu su oranının düşürülmesi işlemidir [65]. Kurutulacak yiyecekler, konsantrasyonda bir fark yaratacak ve gıdaların, su içeriğinin numuneden çözeltiye sürülmesine neden olan hipertonik bir çözelti içine yerleştirilir. Çözeltilerden çözünen maddelerin meyve ve sebzelerin dokusuna difüzyonu da gerçekleşir. Bu işlem ürünün fiziksel, kimyasal, besinsel değerlerini, tadını ve yapısal özelliklerini değiştirebilmektedir [49]. Ancak bu yöntemin su giderme verimi diğer yöntemlere göre düşüktür. İstenilen seviyede nem giderilmediği için kurutmadan önce bir ön işlem olarak uygulanabilir [66]. Monosakkaritler, disakkaritler ve sodyum klorür gibi tuzlar en yaygın kullanılan ozmotik çözeltilerdir [49]. Nem kaybı ve katı kazanımı aynı zamanda meydana gelmesine rağmen, nem kaybı oranının katı kazanımı oranından daha yüksek olduğu görülmektedir. Avantajları arasında düşük enerji tüketimi ve kısa kuruma süresine sahip olması sıralanabilir [66].

2.4.3 Kurutmanın temel aşamaları

Kurutulan gıda maddelerinin bünyesinde bulundurduğu nem ile kuruma süresi arasındaki ilişki kuruma eğrileri ile belirlenir. Farklı koşullarda kurutulan gıdaların kurutma eğrileri birbirinden farklı olmaktadır. Gıdaların kurutulmasında genellikle iki farklı periyot mevcuttur. Birinci periyot nemin büyük kısmının uzaklaştırıldığı ve kurumanın hızlı meydana geldiği sabit periyottur. İkinci periyot (azalan hız periyodu) ise gıdanın bünyesinde bulundurduğu su miktarının azalmasıyla kuruma hızının daha çok yavaşladığı ve dolayısıyla suyun daha az giderildiği periyottur [67]. Kurutma hızı, birim zamanda gıda maddesinden aktarılan nem miktarı olarak tanımlanır ve matematiksel ifadesi Eşitlik (2.1)'deki gibidir.

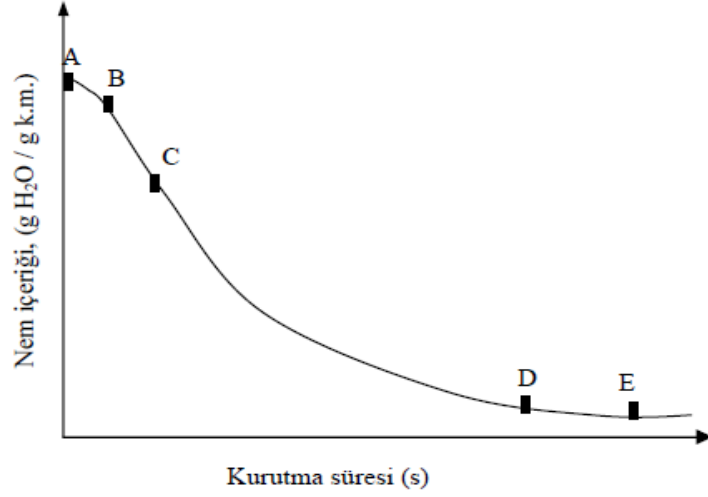
$$DR = \frac{dM}{dt} \quad (2.1)$$

DR: kuruma hızı (g su/g kuru madde dk)

M : t zamanındaki nem içeriği (g su/g kuru madde dk)

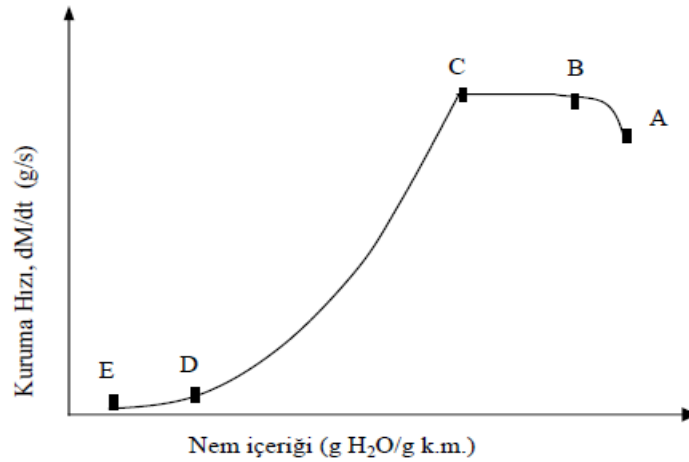
dt: zaman aralığı (dk) dır.

Gıda maddesinin kuruma oranı; o ürünün içerdiği neme, kurutma ortamının sıcaklığına ve bağıl neme bağlıdır. Ürünün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişim grafiği Şekil 2.5'te yer almaktadır.

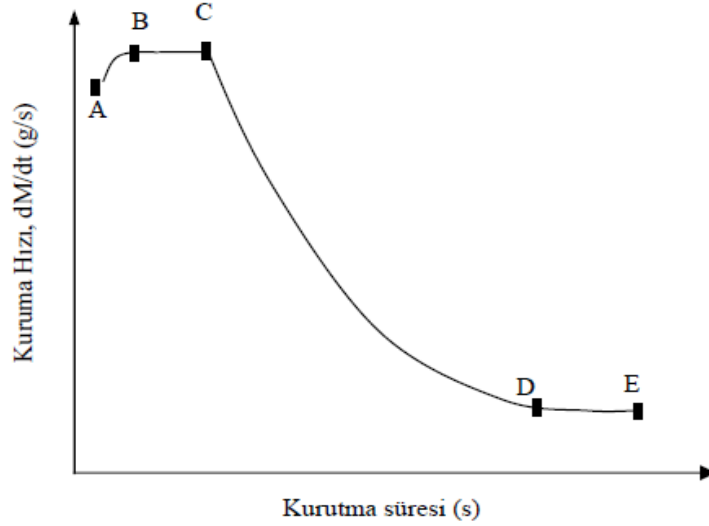


Şekil 2.5 : Ürün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi

Kurutma eğrileri, üç basamaktan oluşturulmuştur. A–B Bölgesi: Şekil 2.5- Şekil 2.7 de gösterilen bu bölge gıdanın ısınma periyodunu gösterir. Gıdadaki yüzey sıcaklığının, kurutulan ortamın sıcaklığıyla dengeye gelmesidir [68,69]. Bu aşamada, kurutma hızında artma görülür ancak tüm kurutma işleminin çok az bir bölümünü oluşturduğundan diğer bölümlere kıyasla kısa sürelidir ve kurutma çalışmalarında genellikle ihmal edilir [46]. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 sırasıyla kuruma hızının ürün nem içeriğiyle değişimini ve kuruma hızının kurutma süresi ile değişimini göstermektedir.



Şekil 2.6 : Ürün nem içeriği ile kuruma hızının değişimi [68,69]



Şekil 2.7 : Kurutma süresi ile kuruma hızı değişimi [68,69]

B–C bölgesi: sabit kuruma hızı periyodu olarak adlandırılır. Bu bölgede, gıda maddesinin yüzey kısmı nemli olup, bölgedeki kurumanın hızı dış etkenlere bağlıdır. Suyun ısıtılan ortama aktarımını sağlamak için katı yüzeyinde bir film tabakası oluşmuştur. Burada, gıda maddesinin ihtiva ettiği bağlı olmayan su, katı yokmuş gibi davranış gösterir. Katıdan bağımsız olan buharlama hızı, aynı koşullardaki serbest durumda bulunan suyun buharlaşma hızıyla aynıdır.

Katı yapısının gözenekli olduğu durumlarda, sabit kuruma hız periyodunda buharlaşan suyun önemli bir bölümü katının iç bölgelerinde konumlanmış nemdir [67,70].

Şekil 2.5–Şekil 2.7’den anlaşılacağı gibi azalan kuruma hız periyodu iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar C–D ve D–E bölgeleridir. Yüzeyde ilk kuru nokta C noktasında oluşur ki buna kritik nokta adı verilir. Azalan hız, kuruma periyodu başlangıcını gösterirken sabit hız ise kuruma periyodu sonunu temsil eder. C noktası kritik nem miktarı olup katı özellikleri ile alakalı faktörlere bağlıdır. Kritik nem noktasından başlayarak yüzey sıcaklığında artış olur ve katının yüzeyinde yer alan ıslaklık oranında sürekli bir azalma görülür [71,72]. Bu bölgede katının yüzey kısmı tamamen kurur ve katı içerisinde bulunan nem, katının yüzey bölgesine doğru difüze olur. Böylece yüzey kısma gelen nemin uzaklaştırılması sağlanır. Bunun sonucu olarak C–D periyodunda kuruma hızının değiştiği görülür [73].

İkinci azalan hız periyodunun başladığı yer D noktasıdır ve katı yüzeyi artık tamamen kurumuş olur. Buharlaşma düzleminin katı yüzeyinden yavaş bir şekilde iç bölgelere çekildiği söylenebilir. Katıdan yol alan buharlaşma ısı, buharlaşma kısmına nakledilir [70].

E noktasında buharlaşma durur. Sonuçta kurutma ortamının buhar basıncıyla katı içerisinde bulunan nemin buhar basıncı dengeye ulaştığında kuruma son bulur [74].

2.4.4 Kurutma kinetiği

Gıdaların kurutma davranışlarını analizlemek için her bir ürünün kinetik modelini incelemek gerekir. Gıda kurutması ile ilgili araştırmalardan elde edilen deneysel bilgileri endüstriyel uygulamalara entegre etmek için, kurutma kinetiği matematiksel olarak modellenmelidir [75].

Kurutma kinetiğinde herhangi bir gıda maddesinin kurumasında, ürün nemiyle kuruma hızı, ürün nemiyle kuruma süresi, kuruma süresiyle kuruma hızı ve nem muhtevasına karşı kurutma oranı arasındaki durumlar göz önünde bulundurulur [76].

Zaman içinde geliştirilen modeller, yeni kurutma sistemlerinin tasarımı ve inşası, kurutma işleminin optimizasyonu ve makroskopik ve mikroskobik ısı ve kütle aktarımı ortamı dahil olmak üzere tüm kurutma davranışının tanımını içeren hesaplamalarda kullanılmıştır. Kurutma koşulları, kurutucu tipi ve kurutulacak malzemenin özelliklerinin tümü kurutma kinetiği üzerinde etkilidir. Bu nedenle kurutma kinetik modelleri, ekipman tasarımı, optimizasyon ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli parametreler olan ideal kurutma koşullarının belirlenmesinde önemlidir [77].

2.4.5 İnce tabaka kurutma modeli

Gıda maddelerinin kurutma kinetiklerini belirlemek için ince tabaka kurutma modellerinin yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir [78]. İnce tabaka kurutma teknolojisinin en önemli yönleri, kurutma işleminin matematiksel modellenmesi ve uygun çalışma koşullarının seçilmesini sağlayan ekipman tasarımıdır [79].

İnce yapısı nedeniyle, örnekler tek tabaka halinde kurutulur ve sıcaklık, malzeme üzerinde eşit şekilde dağılır. İnce tabaka kurutma eşitliklerinin, kullanım kolaylıkları ve kompleks modellere göre daha düşük sayıda veri gerektirmeleri nedeniyle geniş uygulamalara sahip oldukları bilinir [80].

İnce tabaka denklemleri teorik, yarı-teorik ve ampirik modeller olmak üzere gruplandırılabilir. Teorik modeller, ürünün kurutma davranışlarını net bir şekilde açıklamasına rağmen hatalara neden olan birçok varsayımı içermektedir. Teorik modeller tüm işlem koşullarında uygulanabilir olsa da pratik olmamalarından dolayı tercih edilmemektedir.

En yaygın kullanılan teorik modeller II. Fick kanunundan türetilmiştir. Yarı–teorik modeller ise genellikle II. Fick yasasından ve Newton’un soğuma yasasından türetilir. Bu modellerin kullanımında, deney verilerini değerlendirmek için daha az varsayım yapılır ve modellerin uygulanması kolaydır [81].

Ampirik modeller yarı teorik modellerle benzer özelliklere sahiptir. Deney koşullarına bağlı kalırlar ve ürünün kurutma davranışları hakkında sınırlı bilgi verirler. Gıda maddelerinin kurutulması çalışmalarında ince tabaka modellerinden genellikle yarı teorik ve ampirik modeller tercih edildiği görülür [82,83].

İnce tabaka kurutma, kurutma eğrisini tahmin eder ve kurutma davranışını göstermektedir [84]. İnce tabaka kurutma yöntemi, kurutma koşulları ve kurutulacak ürün gibi bir dizi faktöre bağlıdır. İnce tabaka kurutma deneylerinde deneysel verilerin yanlış toplanması, kurutma işlemini ince tabaka modellerinin seçimini etkileyecektir [79]. Gıdaların kurutulmasında sıkça kullanılan ampirik ve yarı–teorik ince tabaka kurutma modellerinin listesi Çizelge 2.1’den görülebilir.

Çizelge 2.1 : Literatürde yer alan ince tabaka kurutma modelleri

No	Model Adı	Model Eşitliği	Referanslar
1	Newton	$MR = e^{-kt}$	[85]
2	Page	$MR = e^{-kt^n}$	[86]
3	Geliştirilmiş Page	$MR = e^{(-kt)^n}$	[87]
4	Henderson ve Pabis	$MR = a e^{-kt}$	[18]
5	Logaritmik	$MR = a e^{-kt} + c$	[88]
6	İki terimli	$MR = a e^{k_0 t} + b e^{k_1 t}$	[89]
7	İki terimli exponansiyel	$MR = a e^{-kt} + (1 - a)e^{-kat}$	[89]
8	Wang ve Sing	$MR = 1 + a t + b t^2$	[88]
9	Thompson	$t = a. \ln(MR) + b. [\ln(MR)]^2$	[83]
10	Difüzyon yaklaşım	$MR = a e^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$	[90]
11	Midilli ve ark.	$MR = a e^{-kt^n} + bt$	[91]

Çizelge 2.1’de verilen modellerdeki a, b, c, k ve n model katsayılarını, ‘t’ kuruma süresini ve ‘MR’ terimi nem oranını göstermektedir. Nem oranı Eşitlik 2.2 ile hesaplanır [92,93].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

M : t anında nem içeriği (g su/g kuru madde)

M₀ : başlangıç nem içeriği (g su/g kuru madde)

M_e : denge nem içeriği (g su/g kuru madde) dir.

Bununla birlikte, ince tabaka kurutmada, M_e, M ve M₀ ile karşılaştırıldığında, çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Böylece, nem oranının sadeleştirilmiş denklemi Eşitlik 2.3’de verildiği hali alır [83,94].

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (2.3)$$

Modeller arasında en uygun modeli belirlerken bazı istatistiksel parametrelerin hesaplanarak değerlendirilmelidir. Korelasyon katsayısı (R), RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü), % MAPE (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) sık kullanılan parametrelere örnek olarak verilebilir. Burada en iyi modeli belirlemek için R’nin ‘1’ veya ‘1’ e yaklaşık olması, RMSE ve %MAPE değerlerinin ise “0” veya “0” a yaklaşık olması ölçüt olarak değerlendirilir. Bu istatistiki kriterlerin hesaplanmasında Eşitlik 2.4 –2.6 kullanılır [95,96].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,d} - \overline{MR_d})(MR_{i,t} - \overline{MR_t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (MR_{i,d} - \overline{MR_d})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (MR_{i,t} - \overline{MR_t})^2}} \quad (2.4)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{i,t} - MR_{i,d})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

$$\%MAPE = \frac{100}{N} \left[\sum_{i=1}^N \frac{|MR_{i,d} - MR_{i,t}|}{MR_{i,d}} \right] \quad (2.6)$$

$MR_{i,d}$: deneysel olarak hesaplanan nem oranı.

$MR_{i,t}$: öngörülen nem oranı

$\overline{MR_d}$: ortalama deneysel nem oranı

$\overline{MR_t}$: öngörülen ortalama nem oranı

N : veri sayısı

2.4.6 Etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

Gıdaların kurutma özelliklerinin II. Fick yasası kullanılarak tanımlanabileceği kabul edilmiştir. Difüzyon denklemi deneysel verilere uyan en iyi denklem olmasa da tüm kurutma işleminde ortalama difüzyon katsayısı için bir açıklama sağlayabildiğinden, nem transferi açısından farklı ürünler arasında ortak bir nicel karşılaştırma sağlar. Crank tarafından yalnızca difüzyonla nem transferinin gerçekleştiği, difüzyon katsayısı ve sıcaklığın değişmediği, gıda maddesinin büzülmediği ve kuruma süresinin uzun olduğu varsayımları yapılarak nem oranı eşitliği oluşturulmuştur. Bu denklemin çözümü, dikdörtgen, silindirik ve küresel ürünler gibi çeşitli cisimler için kullanılabilir [97–99].

Kurutma süresi uzun olan çok uzun bir levha dikkate alındığında, difüzyon denkleminin analitik çözümü aşağıdaki gibi olacağı gösterilmiştir (Eşitlik 2.7) [100].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (2.7)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

D_{eff} : etkin difüzyon katsayısı (m^2/s).

L : Kalınlık (m).

t : kuruma süresi (s).

n : bir pozitif tamsayıdır.

Kurutma süresinin uzun olduğu durumlar için Eşitlik 2.7 denklemi sadeleştirilerek, denklemin sağ bölgesindeki birinci ifade kullanılır (Eşitlik 2.8) [101].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (2.8)$$

Uzun kurutma süresi için bu denklem aşağıdaki gibi logaritmik bir biçimde yazılabilir (Eşitlik 2.9) [98,99].

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (2.9)$$

Zaman – ln(MR) grafiği çizildiğinde bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi etkin difüzyon katsayısını verir. Eşitlik 2.9 incelendiğinde doğrunun eğiminin $\pi^2 D_{eff}/4L^2$ olduğu görülür (Eşitlik 2.10).

$$k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (2.10)$$

Sıcaklık, etkin difüzyon katsayısını etkileyen faktörlerden biridir. Sıcaklık deneyler sırasında kolayca hesaplanabilir veya sabitlenebilir [102,103]. Reaksiyon hızının sıcaklığa bağlılığının tanımlanması için Arrhenius eşitliği kullanılır [104]. Kurutma havası sıcaklığının nem yayılması üzerindeki etkisi genellikle bu denklem kullanılarak ifade edilir. Etkin difüzyon katsayısı üzerine sıcaklığın etkisi, Eşitlik 2.11’de verilen Arrhenius ifadesi ile tanımlanır;

$$D_{eff} = D_0 e^{-E_a/RT} \quad (2.11)$$

Burada;

D_{eff} : etkin difüzyon katsayısı (etkili nem yayılımı) (m^2/s).

D_0 : sonsuz sıcaklıktaki difüzyon katsayısı (m^2/s).

E_a : aktivasyon enerjisi (kJ/mol).

R : evrensel gaz sabiti (8.314 kJ/kmol K).

T : kurutma sıcaklığı (K) dır.

Eşitlik 2.11’in logaritmik yazımı Eşitlik 2.12’deki gibi olacaktır.

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (2.12)$$

Eşitlik 2.12’den yararlanılarak $1/T - \ln(D_{eff})$ grafiği çizildiğinde bir doğru elde edilecektir ki bu doğrunun eğimi (Eşitlik 2.13) aktivasyon enerjisinin hesaplanmasında kullanılabilir.

$$k = \frac{E_a}{R} \quad (2.13)$$

2.5 Uçucu Yağlar

2.5.1 Uçucu yağlar hakkında genel bilgiler

Uçucu/esansiyel yağlar "öz" veya "esansiyel yağlar" olarak da adlandırılır. Aromatik bitkilerin, ağaçların ve otların keskin kokulu sıvı bileşenleridir. Uçucu yağların her biri, belirli bir bitki türünden çıkarılır. Uçucu yağlar, bitkiler tarafından üretilen, bitkilere kokular veren, kolay buharlaşabilen ve konsantre uçucu aromatik bileşiklerdir. Uçucu yağlar (esansiyel yağlar), çiçek, yaprak, sap, kök, tohum, ağaç kabuğu, reçine veya meyve kabuklarından elde edilen yüksek konsantrasyona sahip olan maddelerdir. Bitkilerde bulunan uçucu yağların miktarı, bitkinin %0.01 ile %10'u arasında olabilir. Bu yüzden sadece birkaç yüz kilo yağ için tonlarca bitki materyali gereklidir [105]. Berrak ve nadiren renklidirler, sudan daha düşük bir yoğunluğa sahiplerdir. Organik çözücüler içinde çözünürler. Bitkilerin bünyelerinde ihtiva ettiği uçucu yağlar, ait oldukları bitki ailesine göre salgı hücrelerinde, salgı tüylerinde, salgı ceplerinde, salgı yollarında (kanallarında) ve epidermik hücrelerde veya glandüler trikomlarda bulunurlar [106]. Uçucu yağların bileşimleri bitkinin gelişim aşamasına göre farklılık gösterir. Uçucu yağlar; gül yaprakları içindeki özel hücrelerde, okaliptüs yapraklarında, vetiver çim köklerinde, tarçın bitkisinin odunsu kısmında, limon kabuğunda, kimyon tohumlarında ve sarımsak çiçek soğanında bulunabilir [107,108].

Uçucu yağlar için önemli aileler: *Lamiaceae* ailesi (lavanta, kekik kokulu, adaçayı, nane), *Myrtaceae* ailesi (okaliptüs, cajeput, niaouli), *Apiaceae* (kimyon, anason, rezene), *Cupressaceae* (çam, sedir ağacı, selvi, ardıç), *Rutaceae* (limon, portakal, bergamot), *Asteraceae* (papatya, civanperçemi), *Burseraceae* (mür, sığla), *Lauraceae* (defne, gül ağacı), *Poaceae* (limon otu, vetiver), *Geraniaceae* (sardunya)'dır [109].

2.5.2 Uçucu yağların özellikleri

2.5.2.1 Fiziksel özellikler

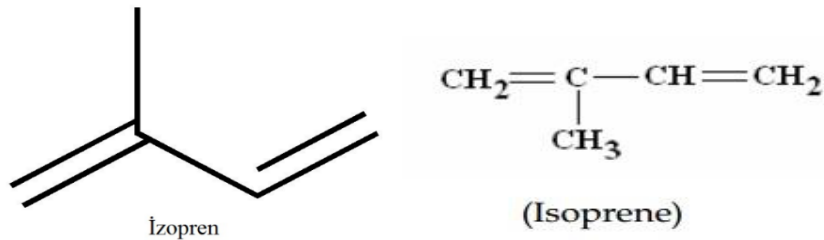
Uçucu yağlar, bitkilerin ürettiği yağlı kıvamlı uçucu kokulu maddelerdir. Kimyasal yapıları sabit yağ asitlerinden epeyce farklı olup, açık havada bırakıldığında buharlaşırlar ve kâğıt üzerinde kalıcı bir iz bırakmazlar [109,110]. Uçucu yağlar sıvı veya reçinelidir olabilirler [109]. Uçucu yağların bazıları renklidir. Nane uçucu yağları sarımsı, lavanta uçucu yağları yeşilimsi, bergamot uçucu yağları kehribar, palchouli uçucu yağları koyu kahverengi, papatya uçucu yağı ise mavidir [111].

Birkaç istisna dışında, uçucu yağlar sudan daha hafif olup yoğunlukları genellikle 1 g/cm³'ten düşüktür [112]. Tarçın, karanfil ve hardal uçucu yağları gibi aroması yüksek veya kükürtlü olanların yoğunluğu ise 1 g/cm³'ten daha yüksektir [113].

2.5.2.2 Kimyasal özellikler

Çoğu uçucu yağın kimyasal yapısı komplekstir. Çünkü bu yağlar birçok bileşiğin karışımından oluşur ve hidrokarbonlar ile bunların oksijenli türevlerini içerirler. Organik bileşikler, aldehit, hidrokarbür, epoksit, keton, aromatik ve alifatik asitler, ester, oksit, eter, kumariniler, terpenoid, asitler, alkoller, laktonlar ve nadiren azot ve kükürt gibi bunlara benzer yapılar bir arada bulunabilirler [114,115].

Uçucu yağların, 2000'i aşkın kimyasal bileşen içerdiği rapor edilmiştir. Bunlardan en dikkat çekicileri terpen bileşikleridir [113]. Uçucu yağlar terpenoidler ve terpenoid olmayan uçucu hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Uçucu yağlarda bulunan ve izoprenoidler olarak da adlandırılan en büyük tek bileşik sınıfıdır [116]. İzopren(2-metil-1,3-butadien) moleküllerinin türevleri terpenler olarak isimlendirilir (Şekil 2.8). Kimyasal formülü (C₅H₈)_n şeklindedir. Terpenler, ihtiva ettikleri izopren sayısı dikkate alınarak; monoterpen, seskiterpen, diterpen ve triterpen olarak 4 sınıfa ayrılabilir. Her izopren molekülü çift bağlı beş karbon atomu içerir. En basit terpenler iki izopren molekülü içeren monoterpenlerdir. Seskiterpenlerin üç izopren molekülü vardır ve diterpenlerin dört izopreni vardır. Her izopren molekülünün beş karbon atomu olduğundan, molekül başına karbon atomu sayısını hesaplamak kolaydır (Çizelge 2.2) [117]. Oksijen ihtiva eden terpenlerin türevleri, terpenoidler olarak isimlendirilirler [118].



Şekil 2.8 : İzopren molekülü

Çizelge 2.2 : Terpenlerde izopren üniteleri [117]

Kimyasal Bileşen	İzopren Biriminin Sayısı	Karbon Atomunun Sayısı
Monoterpenler	2	10
Seskiterpenler	3	15
Diterpenler	4	20
Triterpenler	5	30

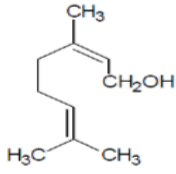
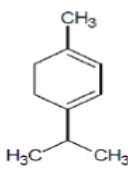
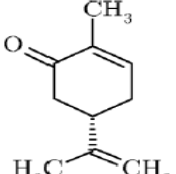
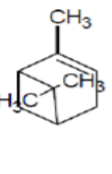
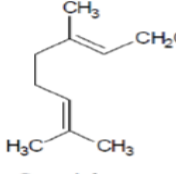
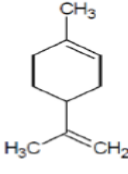
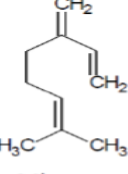
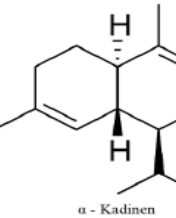
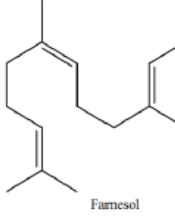
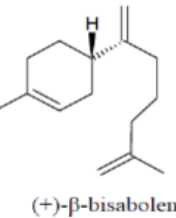
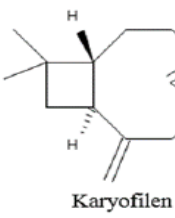
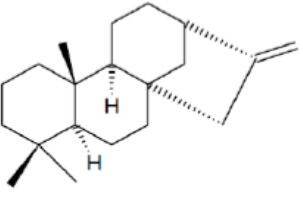
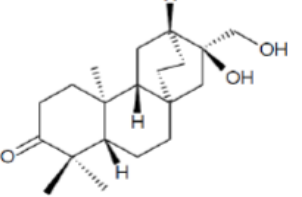
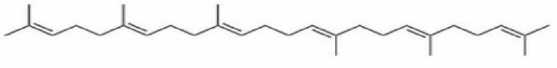
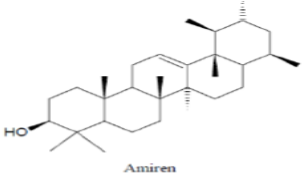
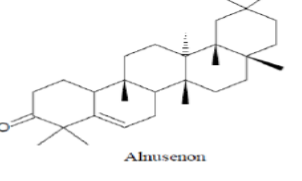
Monoterpenler en basit terpenler olup iki izopren biriminden oluşurlar. Doğada bulunan 400'den fazla monoterpenin olduğu bilinmektedir. Molekül formülleri $C_{10}H_{16}$ 'dır. Terpenler; etkin bileşenlerine göre, monosiklik, asiklik ve bisiklik monoterpenler olmak üzere üç gruba ayrılmışlardır. Mentol, menton, osimen, sitral, sitronel, geraniol, kamfen, sabinen gibi yapılar monoterpenlerdir [118]. Ayrıca monoterpenlerde siklik moleküller (Mentol –Monosiklik; Kafur –bisiklik; Pinenler (α ve β) –Çam) bulunur. Borneol ve kafur iki yaygın monoterpenlerdir. Çam yağından elde edilen Borneol, dezenfektan ve deodorant olarak kullanılırken kafur ise tahriş etmeyi önleyici, anestezik, balgam söktürücü ve kaşıntıyı önleyen olarak kullanılır [105]. Monoterpenler, hızlı bir şekilde buharlaştıkları için parfüm ve gıda endüstrilerinde koku verici grup olarak kullanılırlar [119]. Tüm monoterpenler de antiseptik özelliklere sahiptir. Limonen ve α -pinen gibi bazı monoterpenler antitümör özelliklere sahiptir [120].

Seskiterpenler üç izopren biriminden oluşurlar ve $C_{15}H_{24}$ moleküler formüle sahiplerdir. Bunlar; hidrokarbon ya da aldehitler, alkoller, laktonlar, asitler ve ketonlar gibi oksijen içeren yapıda bulunur [121]. Seskiterpenler, terpenden daha az uçucudur, daha keskin kokulara sahiptir. Terpenlerin en geniş sınıfıdır. Seskiterpenler ilaç sektöründe ve tat endüstrilerinde önemli bileşenler olup büyük değer taşırlar. Seskiterpenlerin etkin maddeleri göz önünde bulundurulduğunda, asiklik/monosiklik/bisiklik/trisiklik şeklinde sınıflandırma yapılabilir. Bunlara örnek olarak; bisabolol, karyofilen, farnesol ve kamazulen bileşikler verilebilir [118,122]. Seskiterpenler stereokimyasal çeşitlilik için de büyük bir potansiyele sahiptir. Bunlar antienflamatuardır ve bakterisidal özelliklere sahiptirler [122].

Dört izoprenden oluşan diterpenlerin molekül formülü $C_{20}H_{32}$ 'dir. Uçucu yağların içeriğinde monoterpenler ve seskiterpenler çok daha fazla miktarlarda bulunurken, diterpenler sadece uçucu yağların birkaçında az miktarda yer alır [119].

Diterpenlerin çoğunlukla reçinelerde bulunduğu bildirilmiştir [117]. Genellikle alkol ve fenolik yapıda bulunan diterpenler doğada serbest bir halde bulunmazlar. Adaçayı, Fitol ve farnesol yağlarındaki sklarol; diterpenlere örnektir [123]. Monoterpenler, seskiterpenler, diterpenler ve triterpenlere örnek molekül yapılarının yer aldığı Çizelge 2.3'te verilmiştir [105].

Çizelge 2.3 : Bazı uçucu yağların içerdiği monoterpen, seskiterpen, diterpen, triterpen molekülleri

Monoterpenler			
			
Nerol	α -terpinen	Karvon	α -pinen
			
Geraniol	Limonen	Mirsen	
Seskiterpenler			
			
α - Kadinen	Farnesol	(+)- β -bisabolen	Karyofilen
Diterpenler			
			
(+)(-)-Kauren	Atisane		
Triterpenler			
			
	Skualen	Amiren	Alusenon

2.5.3 Uçucu yağların kullanım alanları

Eski zamanlardan beri bitkilerden çıkarılan uçucu yağlar, geniş bir kullanım alanına sahiptir. Uçucu yağlar, gıda maddeleri, içecekler, parfümler, farmasötikler, kozmetikler veya yeşil böcek ilaçları gibi çeşitli ürünlerin işlevselliğini arttırmak için bileşen olarak kullanılır [124].

Genellikle, lezzetleri ve kokulu özelliklerinde dolayı gıdalar, ilaçlar ve kozmetikler gibi geniş bir ürün yelpazesinde kullanılır [125].

Uçucu yağların kimyasal bileşenleri; antibakteriyel (bakteri önleyici), antifungal (mantarlara karşı), antikanser (kanseri önleyici), antiviral (virüs önleyici), antiseptik (mikropların üremesini önleyen), antienflamatuar (iltihap önleyici), antidiyabetik (diyabetik karşıtı), uyarıcı ve anti-oksidan gibi farklı biyolojik özelliklerinden sorumludur [126].

Uçucu yağın türüne göre bu etkinlik farklılık gösterir. Örneğin; nane yağının; mikrop öldürücü, okaliptüs yağının; ağrı dindirici, lavanta yağının; baş ağrısı giderici, adaçayı yağının; sindirime yardımcı ve gaz giderici, anason yağının; uyku verici, gaz giderici, süt arttırıcı ve yatıştırıcı, aloevera yağının; cilt nem oranı dengeleyici, biberiye yağının; dolaşım sistemi uyarıcısı, antifungal, antibakteriyel ve egzama sorunların çözümüne yardımcı, defne yağının; saçları güçlendirici, karanfil yağının; ağrı dindirici, hazım sorunlarını giderici, kekik yağının; eklem ve kas ağrılarını azaltıcı ve romatizma iyileştirici, tarçın yağının; sindirim sistemi problemlerini azaltıcı olarak kullanıldığı bilinmektedir [127]. Bu yağların ortak özellikleri; antiseptik, antibiyotik, dezenfektan, bağışıklık sistemini kuvvetlendirici özellikleri taşımaıdır.

2.5.4 Uçucu yağların eldesi için kullanılan metotlar

Bitki cinsi, içerdığı uçucu yağ miktarı ve bitkinin uçucu yağ çıkarılacak bölgesi, uçucu yağ elde etme yöntemini belirlemede önemlidir. Bitkinin ihtiva ettiği uçucu yağın içeriği ve miktarı; o bitkinin, kök, gövde, yaprak gibi kısımlarına, bölgenin iklimine, bitkinin çevresine, kaç yıllık olduğuna ve genetik durumuna bağlıdır [128]. Bitkinin uçucu yağı çıkarılan kısmı (kök, çiçek, yaprak, tohum, kabuk ve gövde), hasat zamanı, vejetasyon dönemi (çiçeksiz, çiçekli, tohum), çevre etkileri, yapısı (kuru, yaş, öğütölmüş), uçucu yağ elde etmek için kullanılan yöntemler uçucu yağ verimi üzerine etkilidir [129,130].

Bitkilerden uçucu yağ eldesinde kullanılacak yöntem, uçucu yağın miktarına, bitkinin bileşenlerine, bitkinin ısıya karşı hassas olup olmamasına göre seçilmelidir [131]. Uçucu yağ elde etmek için kullanılan yöntemler;

Destilasyon Yöntemi

Ekstraksiyon (Anfloraj Yöntemi)

Soğuk Sıkma (Presleme) Yöntemi olarak 3 gruba ayrılabilir.

2.5.4.1 Destilasyon (Damıtma)

Destilasyon, en eski ve en basit uçucu yağ çıkarma yöntemidir. Destilasyon, organik bileşiklerin ayrılması ve saflaştırılması yöntemidir. Destilasyon; basıncın sabit olduğu durumda, uygun sıcaklıklarda karışımındaki daha uçucu olan sıvının buharlaştırılması ve bu buharın bir yoğunlaştırucudan geçerek yoğunlaşması şeklinde gerçekleştirilen ayırma prosesidir [132].

Uçucu yağların kaynama noktası genellikle suyunkinden yüksek olur. Fakat böyle iki fazdan oluşan sıvının kaynama noktası, bu sıvıların ayrı ayrı kaynama noktalarından daima düşüktür. Destilasyon yöntemi kullanılarak uçucu yağlar (esansiyel yağlar) uygun bir şekilde elde edilebilir [133].

Destilasyon yöntemiyle alınan uçucu yağ miktarı, işlemin süresine, sıcaklığına, bitkinin çeşidine ve niteliğine bağlı olarak değişmektedir [134,135].

Uçucu yağların eldesinde kullanılan destilasyon metotları aşağıda sıralanmıştır:

- Su destilasyon yöntemi
- Buhar destilasyon yöntemi
- Su–Buhar destilasyon yöntemi
- Kuru destilasyon yöntemi
- Vakum destilasyon yöntemi
- Hidrodifüzyon yöntemi

Destilasyon yöntemi için belirli bir işlemin seçimi genellikle aşağıdaki hususlarla belirlenir:

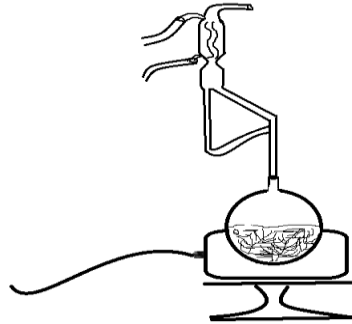
- Uçucu yağın ısı ve suyun etkisine duyarlılığı,
- Uçucu yağın uçuculuğu,
- Uçucu yağın suda çözünürlüğü [105].

Su destilasyonu:

Su destilasyonu (hidrodistilasyon) yöntemi uçucu yağların eldesi için kullanılan kolay ve geleneksel yöntemlerden biridir [136]. Su destilasyonu yöntemi ısının uygulanmasından zarar görmeyen taze veya kuru bitkilere uygulanabilen en iyi yöntemlerden biridir. Su destilasyonu yöntemi birçok farklı bitkilerden ve bu bitkilerin farklı kısımlarından uçucu yağ elde etmek için kullanılır. Bu yöntem de alınacak verim, hammaddenin ağırlığı, suyun hacmi, hammaddenin büyüklüğü gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [137].

Su destilasyonu yöntemindeki temel işlem, su ve bitki parçalarının yer aldığı ortama ısı verilerek uçucu bileşenler buharlaştırılır, sonrasında bu buhar yoğunlaştırucudan geçirilerek yoğunlaştırılır ve uçucu yağ su içerisinde çözünmediğinden bir faz ayırımı oluşur. Böylece, uçucu yağın yoğunluğu suyun yoğunluğundan düşük veya yüksek olmasına göre suyun altında ya da üzerinde toplandığı görülür [138].

Laboratuvar boyutlu işlemlerde destilasyon prosesi Clevenger cihazı ile yapılır. Daha büyük ölçekte veya endüstriyel boyutta ise destilasyon kazanı adı verilen imbikler kullanılır [139]. Laboratuvar boyutlu çalışmalarda için Clevenger sistemi aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Clevenger aparatı [143]

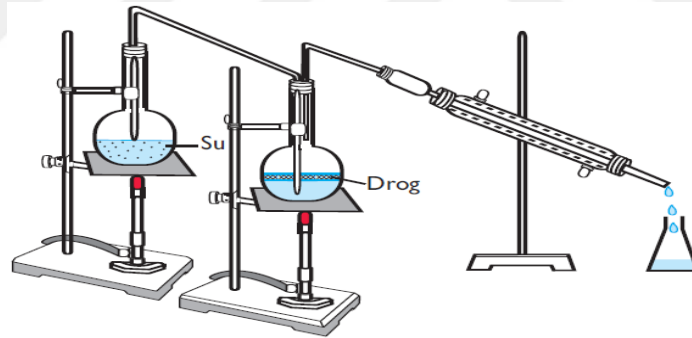
Yöntemin uygulanması sonucunda üretilen yağın miktarı yüksek olmasına rağmen, uygulama sıcaklığının yüksek oluşu birtakım termal reaksiyonları da beraberinde getirdiğinden izomerizasyon ve hidroliz olayları gerçekleşebilmektedir [140]. Gül yağının elde edilmesi için su destilasyonu yöntemi kullanılmaktadır [138].

Su destilasyonun dezavantajları; fenoller gibi oksijenli bileşenlerin durgun suda çözünme eğilimi vardır bu nedenle destilasyon yoluyla tamamen uzaklaştırmak mümkün değildir. Su destilasyonu yavaş bir işlem olduğundan çok fazla yağ birikmesi uzun zaman

alır. Su destilasyonu yöntemi, su ve buhar destilasyon yönteminden ve doğrudan buhar destilasyonu yöntemlerinden daha yavaş gerçekleşir [105].

Buhar destilasyonu

Bitki materyallerinden uçucu yağları elde etmek için kullanılan eski yöntemlerden biridir. Bu yöntem, sıcaklığa duyarlı materyal (doğal aromatik bileşikler) için yapılan ayırma işlemlerindendir. Bu yöntemde imbikte yüklü olan bitki materyalleri su ile temas halinde değildir. Bitki materyalleri, suda ısıtılmadan doğrudan buhara maruz bırakılarak materyal içinden buhar direkt olarak geçirilir. Sistemdeki buhar, bitkilerden imbik tabanından tepeye geçer. Buhar, hammaddenin gözeneklerini parçalayan ve uçucu yağı serbest bırakan maddeler olarak işlev görür. Buhar karışımının soğutucuda yoğunlaşması ile uçucu yağ toplanır [141]. Eğer destilasyona tabi tutulacak materyalin ısı duyarlılığı çok fazlaysa buhar destilasyonunun vakum destilasyonu ile kombine bir şekilde kullanılması uygun olur. Endüstriyel olarak okaliptüs, biberiye, limon otu ve portakal yağlarının buhar destilasyonu metodu ile elde edilmektedir. Bu yöntem, petrokimya alanında sıkça kullanılmaktadır [142]. Buhar destilasyonu sisteminin basit gösterimi aşağıda verildiği gibidir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Buhar destilasyon ünitesi [138]

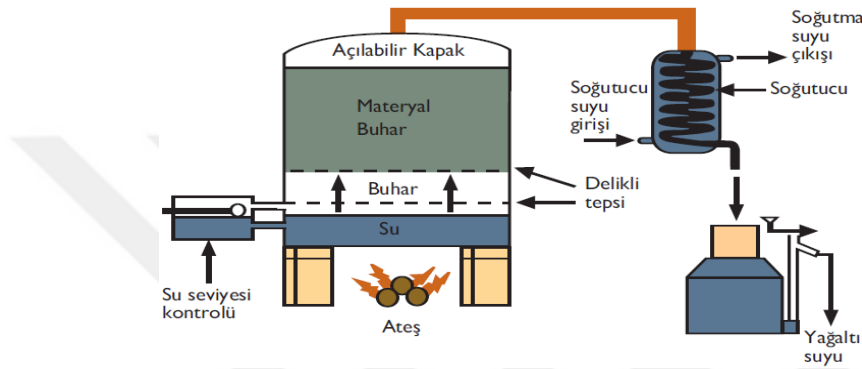
Buhar destilasyonun avantajları; buhar miktarı kolayca kontrol edilebilir. Yağ bileşenlerinin termal ayrışması olmaz. Büyük ölçekli yağ üretimi için yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Buhar destilasyonun dezavantajı ise tesisi inşa etmek için gereken sermayenin daha yüksek oluşudur [105].

Su buharı destilasyonu

Hem buhar destilasyonunun hemde su destilasyonunun birlikte uygulandığı yöntemdir. Bitki örnekleri sisteme yerleştirilerek su eklemesi yapılır. Sistemde üretilen buharın bitki ve su karışımından geçirilir. İçerisinde uçucu yağ barındıran buharın soğutucudan geçirilerek yoğunlaşması sağlanır. Burada faz ayrımı gerçekleşir yani yağ ile

su fazları birbirinden ayrılır [134]. Su buharı destilasyonu prosesine ait görsel aşağıda verilmiştir (Şekil 2.11). Yükselen buharın düşük basıncı nedeniyle, yüksek kaynama noktalı yağların buharlaşmaları için daha fazla miktarda buhar gerekir, bu nedenle destilasyon uzun süre de gerçekleşir. Uygulama sıcaklığının derecesi ve destilasyon süresinin uzunluğu ürünü oluşturan maddelerin kimyasal yapısında farklılık oluşturabilir [135].

Buhar destilasyonun su destilasyonuna göre avantajları; daha yüksek yağ verimi, uçucu yağın bileşenleri olan hidroliz ve polimerizasyona karşı daha az hassiyet ve su destilasyonundan daha hızlı olduğundan enerji tasarrufu sağlaması olarak sıralanabilir [105].



Şekil 2.11 : Su ve buhar destilasyonu [138]

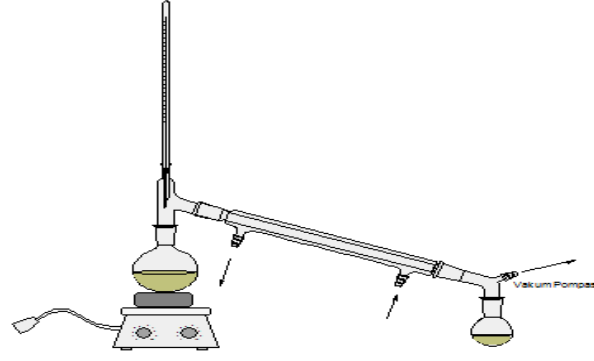
Kuru destilasyon

Sık kullanılan bir yöntem değildir. Bu yöntemde; bitki örnekleri kurutulup, küçük parçacıklar haline getirilip kazana yerleştirilir. Sisteme ısı uygulanarak kuru bir şekilde destilasyon sağlanır. Destilasyondaki ürünler yoğuşturucudan geçirilerek uygun bir aparatta toplanır.

Her bitki için kullanılamayan bu yöntemde bazı bitkilerin uçucu bileşenleri kısmen parçalanma yaşayarak destilasyon gerçekleşir. 'pirojenasyon' adı verilen bu işlem spesifik destilasyonlarda gerçekleşir [143].

Vakum destilasyonu

Bazı bileşiklerin kaynama noktaları yüksek olmasına rağmen, kaynama noktasının altındaki sıcaklıklarda bile bozunabilirler. Bu bileşikleri atmosferik basınç altında elde etmek zor olabilmektedir. Bu nedenle, bozunmayı önlemek için sıcaklığı arttırmak yerine basıncı azaltmak gerekir. Bilindiği gibi, dış basınç azaldıkça kaynama noktası azalır ve basıncın, bileşiğin buhar basıncından daha aşağı seviyeye gelmesi ile destilasyonun başladığı görülür [144].



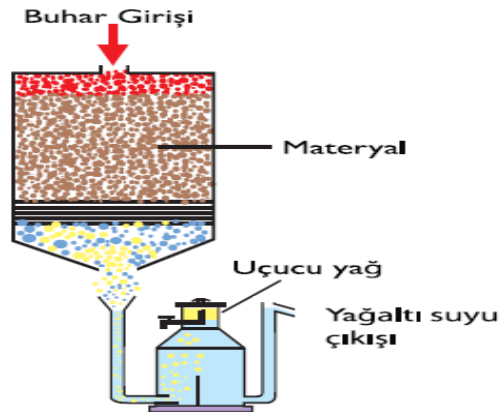
Şekil 2.12 : Vakum destilasyonu düzeneği[138]

Hidrodifüzyon

Bitki zarlarındaki uçucu yağların ve sıcak suyun difüzyonu hidrodifüzyon olarak bilinir. Hidrodifüzyon, buharın kabın içine giriş yolunda farklı olan bir tür buhar destilasyonudur. Yani buhar yönteminde, buhar kazana alttan verilirken bu yöntemde buhar kazana üstten verilir. Buradaki difüzyon olayı ozmotik basınç prensibine göre gerçekleşir [138].

Bu yöntem, kurutulduğunda ve kaynama sıcaklığında hasar görmeyen bitki materyali için tercih edilir [145]. Yöntemde ilk olarak materyalin kazandaki deliklere sahip tepsinin üstüne konması gerekir. Basıncı düşük olan buharın kazanın üst bölümünden sisteme girmesi sağlanır. Bu sistemde deliklere sahip tepsi bölümünün alt kısmında bir adet soğutma aparatı yer alır ve soğutucuda yoğunluk farkından dolayı yağ ve suyu ayrılır [138]. Şekil 2.13’de hidrodifüzyon sistemi görülmektedir.

Yöntemde, az buharla daha yüksek yağ verimi elde edilir ve işlemin kısa sürmesi buhar destilasyonuna göre daha avantajlıdır [146].



Şekil 2.13 : Hidrodifüzyon sistemi [138]

2.5.4.2 Ekstraksiyon

Karışımdan ayrılmak istenen bir maddenin bir fazdan diğer faz ortamına alınması olayıdır [147]. Bir ürünü izole ederken veya saflaştırırken kullanılan oldukça yaygın bir yöntemidir. Uçucu yağların ekstraksiyonu uzun zaman ve çaba gerektiren işlemlerden biridir. Yağların bitkilerden çıkarılma şekli önemlidir, çünkü bazı işlemler terapötik özellikleri yok edebilecek çözücüler kullanır. Ekstraksiyon yöntemi, uçucu yağın kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden biridir.

Uygun olmayan ekstraksiyon yöntemi, uçucu yağın kimyasal yapısının zarar görmesine veya değiştirilmesine neden olabilirken ve aynı zamanda ekstre edilen uçucu yağda istenmeyen renk değişikliği, koku değişikliğine ayrıca artan viskozite gibi fiziksel değişiklikler de meydana getirebilir [148].

Bitkilerden elde edilecek ürün kalitesi; ekstraktör tipinin seçimine, ekstraksiyondan önce ve ekstraksiyon esnasındaki basınç, sıcaklık, süre, çözücü türü, karıştırma hızı, parçacık büyüklüğü, karıştırıcı tipi, yüzey aktif maddenin etkisi, nem, materyal porözitesi gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterir [138].

Ekstraksiyon yöntemleri geleneksel yöntem ve modern yöntem olarak iki gruba ayrılır. Bitkilerden uçucu yağların elde edilmesi geleneksel olarak su damıtma, buhar damıtma ve çözücü ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak yapılır. Maliyetinin düşük olmasından dolayı avantajlı görünse de bu işlemlerin hidroliz ve ısı kaynaklı bozunma gibi olumsuz etkileri de vardır. Uçucu yağlardaki kalıntılar ve uçucu yağın buharlaşma sırasında çözücünden kaybolması nedeniyle çözücü kullanımı önerilmez [149]. İşlemin süresi uzundur ve kullanılan çözücüler çevre kirliliği bakımından tehlike arz etmektedir. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için süperkritik akışkanların kullanıldığı yöntemler önerilmektedir [150]. Süper kritik sıvı ekstraksiyonu yöntemi ve mikrodalga ekstraksiyon metodu etkin, hızlı ve modern yöntemlerdir [151].

Modern yöntemler arasında; katı faz mikro ekstraksiyonu (SPME), süperkritik sıvı ekstraksiyonu (SFE), eşzamanlı damıtma ekstraksiyonu (SDE) gibi birçok ayırma yöntemi vardır [105].

Çözücü ekstraksiyonu

Buharla destilasyon ısisına duyarlı olmayan, kırılğan veya narin çiçekler için kullanılan metot geleneksel çözücü ekstraksiyonu yöntemidir. Hassas bitkilerde yüksek miktarlarda uçucu yağ üretmek için kullanılır.

Uçucu yağın çözünmesine yardımcı olmak için bitki materyaline bir hidrokarbon çözücü eklenir. Çözücü olarak; aseton, hekzan, petrol eteri, metanol veya etanol gibi farklı kimyasallar kullanılabilir [152]. Hekzan ve etanol gibi çözücüler endüstriyel ölçekli üretimlerde tercih edilirken, laboratuvar ölçeğinde pentan–diklormetan ve eter gibi çözücüler kullanılabilir [139]. Genel uygulama için çözücü, bitki materyali ile karıştırılır ve daha sonra uçucu yağı çıkarmak için ısıtılır, ardından süzülür. Süzüntü, çözücü buharlaştırma yoluyla yoğunlaştırılır. Çözelti süzüldüğünde ve destilasyon yoluyla yoğunlaştırıldığında, geriye reçine içeren bir madde ya da bir parafin ve uçucu yağ bileşimi kalır. Yoğunlaştırma adımından sonra yağı çıkarmak ve düşük sıcaklıklarda damıtmak için saf alkol ilave edilir. Alkol kokuyu emer ve alkol buharlaştığında aromatik saf yağ kalır. Bu yöntemde sıcaklık genellikle düşüktür ve böylece üretilen uçucu yağ doğal bir içerik kazanır [139].

Çözücüler (hekzan, aseton, metanol veya izopropanol) uçucu yağlarda kaldığından bu yöntem istenilen sonuçları vermez [111]. Çözücü ekstraksiyon yöntemleri hem kalıntı oluşumuna hem de uçucu yağ kayıplarına neden olur. Yöntem nispeten basit olmasına rağmen, uzun ekstraksiyon süresi, yüksek çözücü tüketimi gibi dezavantajlara sahiptir [153].

Süperkritik akışkan ekstraksiyonu (SFE)

Süperkritik Akışkan Ekstraksiyonu (SFE), ekstrakt çözücü olarak süperkritik akışkanlar kullanarak bir bileşenin (ekstraktan) diğerinden (matris) ayrılması işlemidir. SFE, bir çözücü ekstraksiyonudur ancak yöntemde organik çözücülerin yerini, süperkritik akışkan özelliğine sahip maddeler almıştır. Süperkritik sıvılar, uçucu yağ ekstraksiyonu ve metal katyon ekstraksiyonu gibi çok çeşitli uygulamalar için çözücü olarak kullanılmıştır. Uygulamada, tüm analitik süperkritik sıvı ekstraksiyonunun (SFE) %90'ından fazlası karbondioksit (CO₂) ile gerçekleştirilir. Nispeten düşük kritik basınç (74 bar) ve sıcaklığa (32°C) sahip olmasının yanı sıra CO₂, toksik, yanıcı olmayan ve koroziv olmayan, güvenilir, düşük maliyetli, yüksek saflıkta bulunur ve ekstraktan kolayca ayrılır [154]. SFE ile hazırlanan ekstraktların, diğer yöntemlerle hazırlanan ekstraktlardan daha yüksek bir antioksidan aktivite sağladığı gözlenmiştir. Bu ekstraksiyon yöntemi daha yüksek verim, daha yüksek difüzyon katsayısı ve daha düşük viskozite sağlar. Buhar destilasyonu ile ekstrakte edilemeyen birçok uçucu yağ, karbondioksit ekstraksiyonu ile elde edilebilir. Bununla birlikte, ekipmanın fiyatı pahalıdır ve kolay bulunamayabilir. Süperkritik ekstraktların daha iyi fonksiyonel ve biyolojik aktiviteler ile üstün kalitede olduğu kanıtlanmıştır [155].

Bu yöntemin avantajı, hiçbir çözücü kalıntısının kalmamasıdır. Normal basınç ve sıcaklıkta, CO₂ basitçe gaza döner ve buharlaşır. Süperkritik sıvı ekstraksiyonuyla ekstrakte edilen uçucu yağlar, buharla damıtılmış uçucu yağlardan daha zengin ve daha yoğun bir kokuya sahiptir [156].

Mikrodalga destekli su damıtma ekstraksiyon

Mikrodalga destekli su damıtma, maliyeti düşürmek, ekstraksiyon süresini kısaltmak, elde edilen uçucu yağların kalitesini ve verimliliğini arttırmak için geliştirilmiştir [157]. Mikrodalga destekli su damıtmada kaynama noktasına daha erken erişilen ve uçucu bileşiklerin daha yüksek verimlilikle elde edilen, diğer yöntemlerden daha etkili olan bu metodun kullanılmasında mikrodalga gücü oldukça önemlidir [158]. Kullanılan mikrodalgaın etkinliği çözücüyle bitki arasındaki dielektrik duyarlılığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [159].

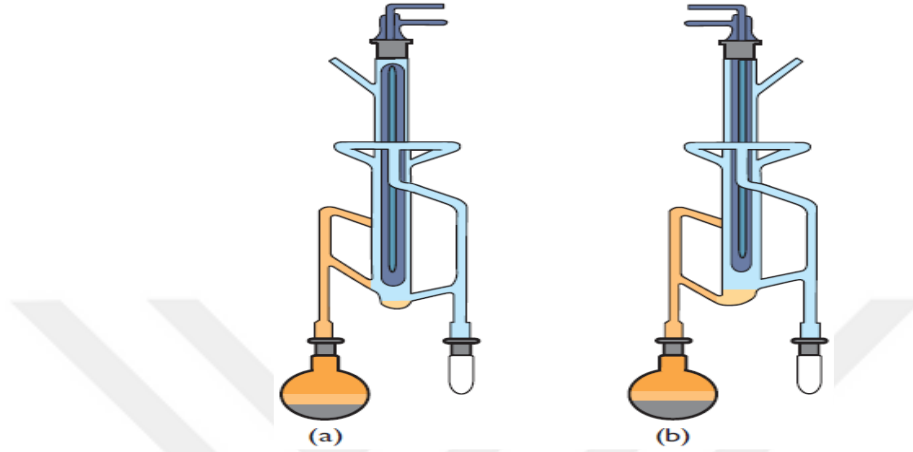
Katı faz mikroekstraksiyon (SPME)

Prosesi, organik çözücüler kullanılmadan tek bir adımda birleştiren katı faz mikroekstraksiyon yöntemi tasarlanmıştır [160]. Bu yöntem, toplam analiz süresini (1–20 dk arası değişmekte) önemli ölçüde kısaltan başka çözücü konsantrasyonuna ihtiyaç duymadan gerçekleştirir. Bu yeni teknoloji, çiçeğe veya bitkinin herhangi bir bölgesine dokunmadan, çiçek yapraklarını çevreleyen aroma moleküllerini yakalar. SPME, adli tıp, toksikoloji, koku, çevresel ve biyolojik matrislerin analizi de dahil olmak üzere birçok uygulama alanında tercih edilen teknik olarak kabul görmüş bir yöntemdir. SPME yöntemi, GC, GC–MS ve sıvı kromatografisinde (HPLC) de uygulanmaktadır [161].

SPME prosesinde, bir tutucuya yerleştirilmiş ve bir mikro litrelik şırıngaya benzeyen polimer ve piston ile kaplanmış silis lifi vardır [160]. Elyaf, bir şişedeki bir numuneye veya numunenin üzerindeki baş boşluğuna maruz bırakılır burada uçucu yağlar, fiber üzerindeki polimer kaplama üzerine adsorbe edilir. Adsorpsiyon dengesine ulaşıldıktan sonra fiber çıkarılır ve analiz için gaz kromatografi enjektörüne gönderilir [160]. Aparatın içerisinde yer alan ve lifleri saran materyalin türü ve kalınlığı yöntem performansını etkilemektedir İşlem süresinin kısa tutulması uçucu bileşiklerden bazılarının eldesinde yeterlidir ancak daha az uçuculuğa sahip bileşiklerin kazanımı için süreyi uzun tutmak gerekecektir [162].

Eş zamanlı destilasyon – ekstraksiyon (SDE)

Yöntem 1964'te Likens ve Nickerson tarafından önerilmiştir. Bu yöntemin, kullanılan kimyasal madde miktarı ve zaman bakımından dezavantajları bulunmaktadır (Şekil 2.14) [163]. Sistem, kullanılacak organik çözücünün spesifik gravitesine göre farklı iki şekilde tasarlanır [138].



Şekil 2.14 : Likens–Nickerson sistemi (a) sudan daha ağır çözücü için (b) sudan daha hafif çözücü için [138]

SDE, karışmayan iki çözücünün sürekli geri dönüşümü nedeniyle bileşenlerinin kısa sürede eş zamanlı ekstraksiyonuna izin verir. Ekstraksiyon için sadece az miktarda çözücü kullanılır, böylece uçucu bileşikler kolayca on kattan daha fazla konsantre edilebilir. İlk ekstraksiyon aşaması sırasında hem numune hem de çözücü aynı anda SDE aparatının kollarına ayrı ayrı bağlanan iki farklı şişede ısıtılır, burada her iki buhar kolların üst kısmında karışır ve soğuk parmak üzerinde yoğunlaşır. Daha sonra; sıvı karışım, farklı sıvı yoğunluğu nedeniyle ayrı ayrı orijinal kaplarına geri akan karışmayan iki faz oluşturmak üzere ayırıcıya akar. Ayrılan fazların karışıt şişelere geri akmasını önlemek için numune ve çözücü şişeleri ekstraktör üzerinde doğru yere yerleştirilmelidir. Bu işlem ekstraksiyon süresini düşürür ve ekstraksiyon verimliliğini artırır [164].

2.5.4.3 Soğuk presleme (sıkma)

Soğuk presleme yöntemi, uçucu yağları çıkarmak için en iyi yöntemlerden biridir. Bu yöntem portakal, limon, greyfurt ve bergamot gibi turunçgil kabuklarından uçucu yağların eldesinde kullanılır. Kabuklar meyveden ayrılır, öğütülür veya doğranır daha sonra preslenir [165]. Ham maddenin harmanlanması sırasında, ısının azaltıldığı bir mekanik ekstraksiyon yöntemidir. Meyve kabuklarının bir bez torbaya yerleştirilmesi ve hidrolik

presler yardımıyla sıkılmasıyla uçucu yağlar elde edilir. İşlem çoğu taşıyıcı yağ ve birçok uçucu yağ için kullanılmaktadır. Elde edilen yağın %100 saf olmasını ve bitkinin tüm özelliklerinin korumasını sağlar [166]. Yöntemin dezavantajı, ekstrakte edilen yağlar kısa bir raf ömrüne sahip olurlar [165].

2.6 Uçucu yağların antimikrobiyal etkisi

Uçucu yağların; gıdaları, patojenik ve bozucu mikroorganizmalara karşı koruyabildiği bilinmektedir [167]. Uçucu yağların antibakteriyel aktivitesini gözlemlemek için yapılan çalışmalarda, uçucu yağlarda bulunan fenolik bileşiklerin, örneğin karvakrol, öjenol ve timolün (çeşitli bitki kökenlerinden) birçok mikroorganizmaya karşı etkin olduğu görülmüştür [168,169]. Gram–negatif ve Gram–pozitif bakterilere karşı, özellikle terpenler de fenolik yapıdaki hidroksil grubunun konumu nedeniyle farklı etkinlik gösterirler [170].

Terpenoidlerin kimyasal yapısında bulunan karbonil fonksiyonu antibakteriyel özellikleri artırır. Uçucu yağların biyoaktivitesini etkileyen bir diğer husus stereokimyası ve Gram–negatif bakterilere karşı aktiviteyi arttıran bir çift bağın uygulanmasıdır [169]. Uçucu yağlarda tanımlanan antimikrobiyal etki mekanizmaları mikroorganizmaların büyümesinin engeller (gıda güvenliği) ve doğal bozulmayı önler (gıda muhafaza) [170].

Uçucu yağlar, biyoaktif bileşikler, monoterpenler, seskiterpenler, terpenoidler, alkoller, aldehytler, ketonlar, fenolikler, esterler ve diğer kompleks aromatik ve alifatik bileşiklerin kompleks karışımlarıdır. Bu fitokimyasallar; antibakteriyel, antifungal, anti–parazitik ve antiviral özelliklere sahiptir [171]. Uçucu yağların farklı biyolojik etkileri, kimyasal bileşenlerinin konsantrasyonundan ve kimyasal bileşenlerinin oranlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, yüksek terpenoid konsantrasyonuna sahip uçucu yağlar, monoterpenler ve seskiterpenler açısından zengin olan uçucu yağlara kıyasla daha yüksek antifungal aktivite sergilerler [171]. Timol ve karvakrol bakımından zengin olan uçucu yağlar ise bakterilerde fenoller açısından daha az zengin olanlara kıyasla daha yüksek zarar veren aktiviteler gösterirler. Uçucu yağların antimikrobiyal etkinliği hakkındaki yayınlanmış verilere göre genel sıralama mercanköşk> karanfil> kişniş> tarçın> kekik> nane> biberiye> hardal> adaçayı gibi olabilir.

Uçucu yağların antimikrobiyal özelliklerine birkaç mekanizma aracılık eder: (a) Uçucu yağlar hücrelerdeki geçirgenlik bariyerini bozar ve çeşitli morfolojik ve fizyolojik değişikliklere neden olur (uçucu yağların lipofilik kısımları sitoplazmik membrana saldırarak membran stabilitesi, hidrofobiklik, akışkanlık ve yağ asidi kompozisyonunda

değişikliklere yol açar) ve (b) Uçucu yağlar ayrıca, hücre zarı yapısını dengesizleştirir, bu da H^+ iyonlarının kontrolsüz bir akışına neden olur ve çözünenlerin zar boyunca H^+ iyonuna bağlı hareketinin engellenmesine ve hücre içi pH 'ın değişmesine neden olur [172]. *Mentha piperita* 'nın uçucu yağ bileşenlerinde bulunan mentol ve menton, antimikrobiyal aktiviteden sorumludur [25].

Mentha piperita uçucu yağının bileşenleri, bakterilerde ve ökaryotik hücrelerde farklı etki biçimlerine sahiptir. Güçlü bakterisidal özellikler sergilerler ve ökaryotikte farklılaşmayı değiştirirler ve bazı karaciğerin zehirli etkisi giderilmiş enzimleri indükler [173]. Bitkilerin antibakteriyel aktivitesi, fenolik bileşiklerin varlığından dolayı yüksek oksidasyona uğradıklarında pro–oksidanlar gibi davranır, bu nedenle serbest radikal zincirinin reaksiyonunu ortadan kaldırmak yerine süperoksit ve kinonların oluşumuna yol açarlar. Quercetin ve gallic asit gibi en kolay oksitlenen fenolikler, pro–oksidan aktiviteye sahiptir, ancak yüksek moleküler ağırlık nedeniyle tanenler çok az pro–oksidan aktiviteye sahiptir. Shehadi ve arkadaşlarına göre, farklı bitki bileşiklerinde bulunan biyoaktivite genellikle fizyolojik etkiler üreten ikincil metabolitlerin varlığına atfedilir. Ekstraktlar, aralarında bakteri, virüs ve tek hücrelilere karşı aktif oldukları bilinen terpenoidler, flavonoidler ve fenolikler olan birkaç sınıfa ayrılabilir [174].

2.7 Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Modelleme

Yapay sinir ağları (YSA'lar), biyolojik sinir hücrelerinin basitleştirilmiş matematiksel modelleridir. Genellikle elektronik bileşenler kullanılarak veya yazılımla benzetim yapılarak uygulanırlar. İnsan beyni ve sinir sisteminin biyo yapısının ve çalışmasının benzetimini geliştirmeye dayalı bir yaklaşımdır. YSA'lar insanın en önemli özelliği olan öğrenme yeteneğinin matematiksel olarak modellenmesi için yapılan çalışmaların bir sonucu olarak geliştirilmiştir [175,176].

YSA'lar ile ilgili araştırmalar başlangıçta insan beynindeki nöron yapılarının modellenmesi ile başlayarak bu modellerin bilgisayar kodları haline dönüştürülmesi şeklinde yürütülmüş ve zaman içerisinde daha da geliştirilerek disiplinlerarası kullanımda oldukça popüler hale gelmiştir. Son yıllarda, kimya, fizik, matematik ve mühendislik gibi disiplinlerde, üretim sanayisinde, endüstride ürün tasarımı ve geliştirilmesinde ve bunun gibi birçok alanda uygulanmaktadır. YSA'ların mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmasının en önemli sebebi, geleneksel yöntemlerle çözülmesi çok zor ve karmaşık

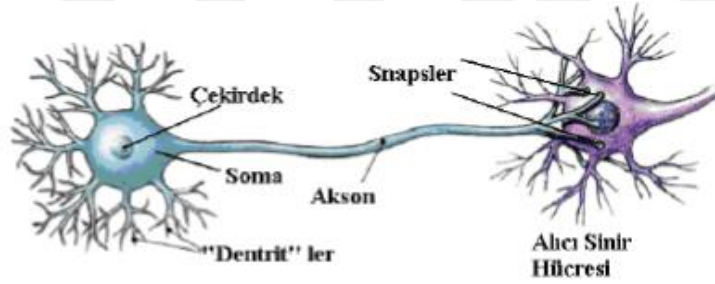
problemlerin analizinde ve çözümünde oldukça etkili bir yöntem olmasından kaynaklanır [177].

YSA'ların doğrusal olmayan problemlere çözüm sağlama, uyarılma, öğrenme, genelleştirme, veri analizi, yanılgılara hassas davranma gibi klasik metotlara göre birçok avantajı vardır. Ağın yapısı belirlenirken deneme yanılma yolunun kullanılması ve bunun için deneyim gerektirmesi, öğrenme oranı, katman sayısı ve katmanlardaki nöron sayıları gibi ağın tasarım parametreleri belirlenirken mutlak bir yöntemin bulunmayışı ve ağ tarafından sunulan problem çözümünün detayının kapsamlı olmayışı gibi dezavantajlar mevcut olmasına karşın, Yapay sinir ağlarının kullanım sahası gün geçtikçe artmaktadır [178].

2.7.1 Sinir hücresinin yapısı

Biyolojik sinir hücresi

Nöron temel bir sinir hücresidir ve biyolojik sinir ağı yapısının ana yapıtaşıdır. Bir sinir hücresine ait gösterim Şekil 2.15’de verilmiştir [178].

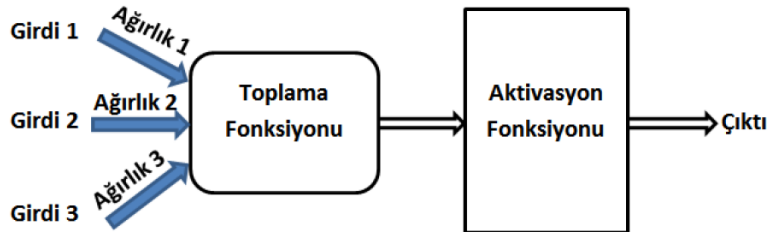


Şekil 2.15 : Biyolojik sinir hücresi (nöron)

Dört ana kısımdan oluşan sinir hücresinin bölümleri; dendritler, soma, akson ve snapsler olarak isimlendirilir. Dendrit, reseptör element olup, hücrenin uç kısmında yer alır, bağlı bulundukları nöron(lar)dan ya da hücre(ler)den aldığı sinyali çekirdek bölümüne iletir. Dendritlerden gelen sinyallerin çekirdek bölümünde toplanmasının ardından bu sinyaller akson bölümüne aktarılır. Akson, çıkış kanalı olup, hücre gövdesinden gelen sinyali diğer hücrelere taşıyan uzun bir lifdir. Aksonda, alınan sinyaller işlenir ve nöron bağlantı elemanları yardımıyla üretilmiş yeni sinyaller diğer nöronlara gönderilir [178]. Soma; hücre gövdesi olup, giriş sinyallerini birleştirir ve tek bir çıktı oluşturur. Soma, çekirdeği içerir ve en fazla enerjinin üretildiği yerdir. Diğer hücrelerin aksine nöronlar bölünmez [179]. Biyolojik snapsler ise akson boyunca gelen bir aksiyon potansiyeli, nöronun bu çıktıyı diğer hücrelere iletmesine neden olur; bu şekilde sinyaller diğer nöronlara iletilir [179,180].

Yapay sinir hücresinin (yapay nöron) yapısı

Biyolojik yapıdan benzetilerek tasarlanmış olan yapay nöron; girdi(ler), ağırlık(lar), toplama ve aktivasyon fonksiyonları ve çıktı(lar) olarak adlandırılan 5 kısımdan oluşur. Şekil 2.16 yapay bir sinir hücresinin diyagramını açıklamaktadır.



Şekil 2.16 : Yapay sinir hücresi

Girdi(ler): Hücrelere dışardan veya diğer bir hücreden aktarılan veriler olarak tanımlanabilir.

Ağırlıklar: Nöronların aralarında yer alan bağlantıların her birinin bir ağırlık katsayısı mevcuttur. Ağırlık katsayıları girdi(ler)in önem derecesini belirlerler. Matematiksel ifadeler olup, sabit ya da değişken değerlere sahip olabilirler. Eğer ağırlıklar değişken değerlere sahip ise, öğrenme sürecinde optimizasyon teknikleri kullanılarak en uygun değeri almaları sağlanır. Ağırlıklar yüksek değer aldığı anda bir nöron diğer nöronun üzerinde daha fazla etkiye sahip olur. Ağırlık değeri sıfır ise o girdinin ağa etkisinin olmadığı söylenebilir.

Birleştirme fonksiyonları: Bu fonksiyonların amacı bir nörona aktarılan bilgiyi birleştirip net girdinin hesaplanmasını sağlamaktır. Aşağıdaki çizelgede sık kullanılan birleştirme fonksiyonları yer almaktadır (Çizelge 2.4).

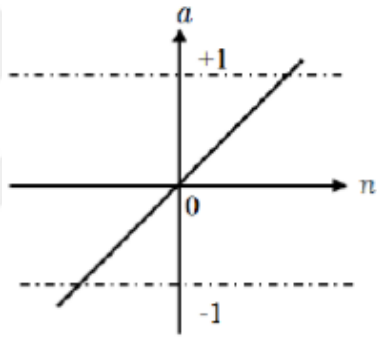
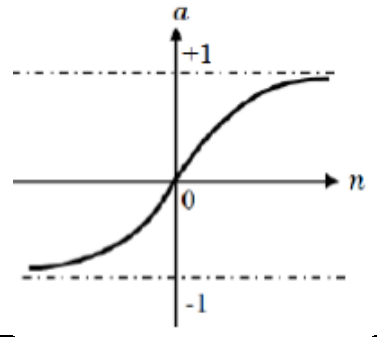
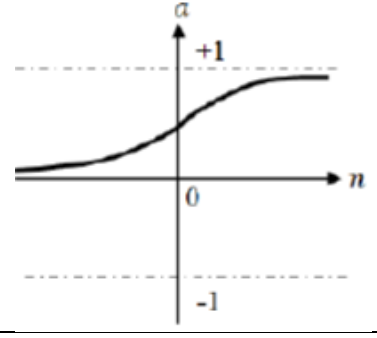
Çizelge 2.4 : Bazı birleştirme fonksiyonları [177].

Toplama $Net_i = \sum_j w_{ij} I_j$	Çarpım $Net_i = \prod w_{ij} I_j$
Maksimum $Net_i = \text{Max}(w_{ij} I_j)$	Minimum $Net_i = \text{Min}(w_{ij} I_j)$
Çoğunluk $Net_i = \sum_j \text{Sgn}(w_{ij} I_j)$	Kümülatif toplam $Net_i = Net_{\text{eski}} + \sum_j w_{ij} I_j$
Net_i : Nörona gelen net girdi I_j : Nöron çıktısı W_{ij} : i ile j nöronlarının arasında bulunan bağlantı elemanının ağırlık değeri	

Birleştirme fonksiyonları arasında en çok tercih edileni toplama fonksiyonudur. Toplama fonksiyonu, nöron girdilerinin bağlantı ağırlıklarıyla çarpılarak toplanması sonucu net girdinin hesaplanmasında kullanılır. Birleştirme fonksiyonu genel olarak deneme-yanılma metodu kullanılarak tayin edilir [177].

Aktivasyon fonksiyonu: Bu fonksiyon, birleştirme fonksiyonu ile belirlenmiş olan net girdiyi işler ve nöron çıktısını oluşturur. Fonksiyonunun seçiminde çoğunlukla nonlinear olan ve türevi daha basit olanlar seçilir. En çok tercih edilen fonksiyonlar; tanjant sigmoid (‘*tansig*’), logaritmik sigmoid (‘*logsig*’) ve doğrusal/lineer (‘*purelin*’) fonksiyonlar olarak sıralanabilir. Çizelge 2.5’te bahsi geçen aktivasyon fonksiyonları ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Birleştirme ve/veya aktivasyon fonksiyonlarının seçiminde çözülmesi istenen problemin yapısı önem arz eder [177].

Çizelge 2.5 : Transfer fonksiyonlarının grafiksel ve matematiksel gösterimi.

Lineer/Doğrusal fonksiyon		$f(x) = x$
Logaritmik-sigmoid Fonksiyonu		$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1$
Tanjant-sigmoid Fonksiyonu		$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$

Çıktı: Aktivasyon fonksiyonunun ürettiği değerler, nöron çıktı değerleri olup, bu değerler ağına dışına aktarılabilir gibi yeniden ağı içerisinde de kullanılabilir. Hücrelerin herbiri bir çıktıya sahiptir, dolayısıyla bu çıktının istenildiği kadar nöronla bağlanabileceği söylenebilir [177].

2.7.2. Yapay sinir ağlarının genel yapısı

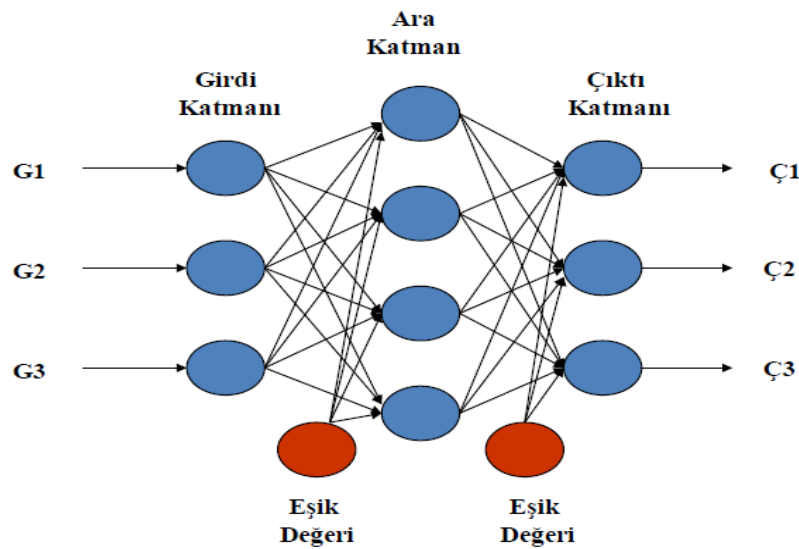
YSA'lar yapı olarak biyolojik sinir hücrelerinin yapısına benzeyen özelliklere sahiptir. Birden fazla yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluşturur. YSA'lar aşağıda sıralandığı gibi üç ana katmandan oluşur (Şekil 2.17).

- Girdi katmanı
- Ara katman(lar)
- Çıktı katmanı.

Girdi katmanı: Ağa gösterilen veriler alınarak ara/gizli katman(lar)a aktarılır. Girdi katmanında bilgilerin işlenmesi yapılmaz.

Ara katman: Girdi katmanı tarafından iletilen bilgilerin işlenmesi ve bu işlenmiş bilgilerin çıktı katmanına iletilmesi sağlanır. YSA'ların bazılarında ara katman bulunmayabilir. Buna karşın bir ve daha fazla ara katmana sahip yapılar da oluşturulabilir. Gizli katmanın nöron sayısı, girdi değişkenlerinin ya da çıktı değişkenlerinin sayısı ile ilgili değildir.

Çıktı katmanı: Son olarak ara/gizli katman(lar)dan aktarılan bilgiler bu katmanda işlenerek nihai ağ çıktı(lar)ı oluşturulur [178].



Şekil 2.17 : Yapay sinir ağında katmanlar

2.7.3 Yapay sinir ağlarının öğrenme süreci

YSA'ların öğrenme süreci; ağın, girdileri işleyerek çıktı/çıktıları oluşturmak amaçlı kendisini uyarlaması işlemidir. Nöron sayıları ile ağ yapısının tasarımı gerçekleştirilir ve öğrenme süreci başlatılır. Öğrenme, ağın nöronları arasında yer alan bağlantı elemanlarının ağırlıkları değiştirilerek sürdürülür [177]. Bağlantılar için ağırlıkların başlangıç değerleri gelişigüzel atanır. Ağ, ürettiği çıktı değerleri ile ulaşılmak istenen çıktı değerlerini kıyaslayarak hatayı minimize edecek şekilde ağırlıkların değerlerini ayarlar. Bu ayarlama işlemi optimizasyon metodu kullanılarak gerçekleştirilir ve işlem ağın optimizasyonu olarak adlandırılır. [181].

Öğrenme ve eğitim kavramları birbirinden farklı terimlerdir. Bir ağ yapısı için öğrenme, ağın ağırlıklarının uygun değerler alması olarak değerlendirilirken, eğitim ise bu ağırlıklara uygun değerler atanması amacıyla kullanılan metottur [182]. Öğrenme işlemi kompleks ve matematiksel ifadesi kolay olmayan bir süreçtir. Dolayısıyla, öğrenme işlemi daha basit forma getiren ve değişik şekillerde ifade eden kurallar geliştirilmiştir. Delta, Kohonen, Hebb ve Hopfield kuralları yaygın olarak kullanılan öğrenme kurallarıdır. Bu dört kuraldan esinlenerek çeşitli öğrenme algoritmaları oluşturulmuştur [183].

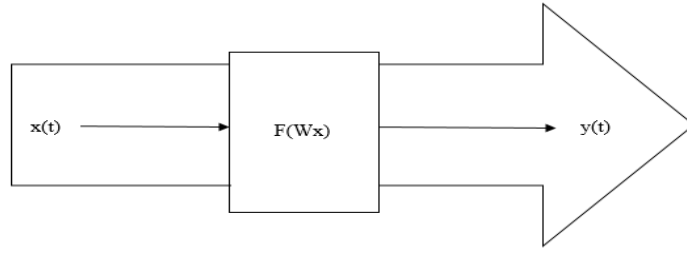
2.7.4. Yapay sinir ağlarında sınıflandırma işlemi

YSA'lar yapılarına ve kullanılan öğrenme algoritmalarına göre ikiye ayrılarak incelenebilir.

Yapıları bakımından sınıflandırmas

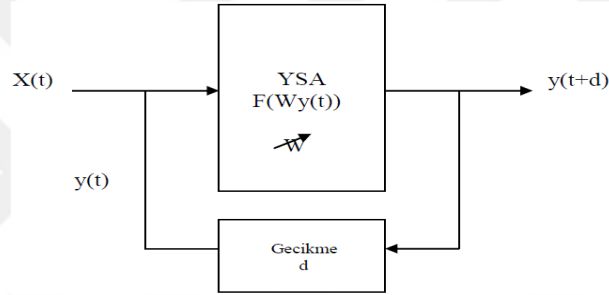
YSA'lar yapı şekilleri dikkate alınarak, ileri beslemeli ağ yapıları ve geri beslemeli ağ yapıları şeklinde iki kısımda incelenebilir.

İleri beslemeli ağ yapıları: Bu tip ağ yapılarında, sinir hücrelerinin giriş kısmından çıkış kısmına düzenli bir şekilde katmanlar sıralanır. Bilginin iletilmesi ileri doğrudur ve tek yönlüdür. İleri yönlü ağ şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 2.18). İleri beslemeli ağ yapılarına örnek olarak çok katmanlı (MLP) ve öğrenmeli vektör kuantalama (LVQ) gösterilebilir [184].



Şekil 2.18 : İleri doğru beslemeli sinir ağı yapısı [183]

Geri beslemeli ağı yapıları: Son ve gizli/ara katmanların çıkışlarının, giriş bölümüne veya ara/gizli katman bölümlerine geri beslenmesi sağlanır. Bu şekilde giriş sinyalleri ileri ve geri yönlerde doğru iletilir. Dolayısıyla bu tip ağların nonlineer ve dinamik bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Şekil 2.19’da geriye doğru beslemeli bir ağı yapısı verilmiştir. Bu tip ağlara Hopfield, Jordan ve Elman ağları örnek olarak gösterilebilir [184].



Şekil 2.19 : Geriye doğru beslemeli bir sinir ağı yapısı [183]

YSA’ların öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması

YSA’ların öğrenmesi oldukça dikkat çekici bir yetenektir. YSA’lar, kendisine tanıtılan örnekler aracılığı ile öğrenme işlemini gerçekleştirirler. Bu işlemi gerçekleştirmek için farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar; danışmanlı (destekli), danışmansız (desteksiz) ve takviyeli (güçlendirme) yöntemler şeklinde üç grupta incelenebilir [183].

Danışmanlı (destekli) öğrenme yapısı: YSA’larda sık tercih edilen bir yöntem olup, bu yöntemde ağın girdi değerleri kullanılarak uygun çıktılar üretilir. Ağa gösterilen çıkış değişkeni değerlerinin, ağın ürettiği çıkış değişkeni değerleri ile kıyaslaması yapılır. Bu öğrenme metodunda başlangıç ağırlıklarının değerleri gelişigüzel atanır ve hata değeri sürekli hesaplanarak bir döngü içerisinde minimizasyon işlemi sağlanır [183].

Danışmansız (desteksiz) öğrenme yapısı: Bu yöntemde; örnek girdiler ağıya tanıtılır ancak hedeflenen çıktı/çıktılar ağıya verilmez. Girdi olarak tanıtılan değerler baz alınarak değişkenlerin aralarındaki ilişkiler ve bağlantıların ağırlık değerleri, aynı özelliklere sahip

örüntü yapıları belirlenerek ağ tarafından ayarlanır ve böylece öğrenme süreci tamamlanır [183].

Takviyeli öğrenme (Güçlendirme) yapısı: Bu tip öğrenmede ağ, girdi değerlerini alıp, bu girdi değerlerine göre çıktı/çıktıları üretir ve üretilen bu çıktı/çıktıların uygun ya da uygun olmama durumu hakkında sonuç alınır. Sonuçlara göre ağ, kendisini tekrardan düzenleyerek öğrenme işlemini sürdürür [183].

2.7.5 Yapay sinir ağlarında kullanılan öğrenme algoritmaları

YSA'lar için geliştirilmiş ve literatürde yer alan çeşitli öğrenme algoritmaları mevcuttur. Bunların arasında sık kullanılanlarının, Geri Yayılım ve Levenberg–Marquardt algoritmaları olduğu söylenebilir [185,186].

Geri yayılım algoritması

Bu algoritma, Rummelhart ve Parker (1986) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, güncelliğini korumakta olup, çoğu alanda farklı problemlerin çözümü için tercih edilmektedir [177]. Algoritma, YSA'nın danışmanlı/destekli öğrenme yapısını kullanmaktadır. Sistemli bir yapıya sahip olan bu yöntemin, kolay anlaşılır olması ve öğrenme kapasitesinin yüksek olması yöntemin çoğu alanda kullanılmasına yol açmıştır. Geri yayılım algoritması, çok katmanlı YSA yapılarında (MLP) sıkça kullanım alanı bulmaktadır [177].

Geri yayılım algoritmasının başarısını, nöronlar arasındaki bağlantılar, aktivasyon fonksiyonları ve ağ eğitimini gerçekleyen ağırlık değerlerinin değişimi tayin eder. Bu yapı; çok katmanlı ve ileri doğru beslemeli bir ağ olduğu için bir katmanın nöronları kendisinden önce yer alan ve sonra yer alan katmanların nöronları ile bağlı haldedir. Ağ, girdi katmanındaki nöronlar tarafından girdileri alır ve çıktı katmanındaki nöronlar tarafından ağın çıktısı üretilir.

Geri yayılım algoritmasında, ağın ürettiği çıktı değerleri ve hedeflenen çıktı değeri kıyaslanarak bir hata değeri hesaplanır. Algoritma, hatanın karesini hesaplayarak, hata fonksiyonunun dereceli olarak azaltılmasını sağlayan bir yöntemi kullanır. Böylece, hata fonksiyonu minimum edilmeye çalışılır [177].

Levenberg–Marquardt Algoritması (LM): Bu yöntem, Levenberg ve Marquardt tarafından önerilmiştir. Yöntem, küçük ve orta boyutlu problemlerin çözümünde sıkça tercih

edilmektedir. LM yönteminin hızlı ve düzenli bir yakınsama gerçekleştirdiği rapor edilmiştir [187].

Sık kullanım alanı bulmasına karşın, yakınsamasının yavaş olması sebebiyle geriye yayılım algoritmasının daha az etkili olduğu söylenebilir. Bu yavaş yakınsama probleminin Gauss–Newton algoritmasının kullanılması ile çözülebileceği görülmüştür [187].

Geri yayılım algoritması ile Gauss–Newton algoritmasının birleştirilmesiyle Levenberg Marquardt algoritması oluşmuştur. LM, Gauss–Newton algoritmasının hız özelliğini alırken geri yayılım algoritmasının ise istikrarını almıştır. LM algoritmasının, eniyileme problemlerinin çözümünde geriye doğru yayılım algoritmasına göre daha etkili olduğu görülmüştür [187].

2.7.6 Yapay sinir ağlarının eğitim ve test süreci

Bir yapay sinir ağı modeli oluşturulurken tüm veri seti çoğunlukla iki bölüme ayrılır. Bunlardan biri eğitim verisi, diğeri ise test verisi olarak isimlendirilir. Toplam veri seti bölünürken, çözümü yapılacak probleme ait verilerin karakteristik özelliği, şekli ve eldeki verilerin sayısı dikkatlice değerlendirilmelidir. Literatürde yer alan çalışmalarda; toplam verinin, %90'ının eğitimde ve %10'unun test işleminde, %80'inin eğitimde ve %20'sinin test işleminde veya %70'inin eğitimde ve %30'unun test sürecinde kullanılması öneri olarak sunulmuştur. Eğitim veri seti, YSA modelini geliştirmek için kullanılır. Geliştirilen modelin tahminleme başarısını tayin etmek için ise test verileri değerlendirilir [183]. Veri sayısı göz önünde bulundurularak veri seti üç kısma da bölünebilir. Bunlar; eğitim, test ve validasyon veri seti olarak adlandırılır.

Eğitimin sonlandırılması için hesaplanan hata fonksiyonu değerinin alabileceği en küçük değere ulaşması beklenir. Geliştirilen ağ yapısının uygunluğunu, eğitim ve test süreçleri sonunda hedeflenen minimum hata değerlerine ulaşıp ulaşılmadığı belirler. Yapay Sinir Ağı modeli geliştirilirken izlenmesi gereken adımlar aşğıdaki Şekil 2.20'de sıralanmıştır [183].



Şekil 2.20: Yapay sinir ağı modeli geliştirme süreci [183]

2.7.7 Yapay sinir ağı modellerinin başarı hesaplama yöntemleri

Bir YSA modelinin öngörü başarısını değerlendirmek için çeşitli istatistiksel hesaplama yöntemleri kullanılabilir. Ağ performansının ve öğrenme sürecinin ne kadar başarılı olduğunu belirlemek için kullanılabilecek bazı istatistiksel hesaplama formülleri Eşitlik 2.4–2.6’da verilmiştir [188].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Aşağıdaki alt bölümlerde, çalışmalarda kullanılan *Mentha piperita* örnekleri hakkında bilgiler, deneylerde kullanılan kimyasallar, deney ve analiz yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1 Materyal

3.1.1 Bitkisel materyal

Tezde çalışılan bitki materyali, Malatya ili Kale ilçesi sınırlarında bir bahçede yetiştirilen *Mentha piperita* olup, aşağıda yapraklarının görüntüsü verilmiştir (Şekil 3.1). Deneysel çalışmalarda kullanılan *Mentha piperita* yaprakları, 2019 yılı Ağustos, Ekim ve Kasım aylarında hasat edilmiştir. Ayrıca hasat zamanın uçucu yağ bileşimine etkisinin araştırılması deneyleri için Ekim ayının birinci ve ikinci hasatları toplanmıştır. Deneylerde uçucu yağ bakımından en zengin olan yapraklar kullanılmış, sap kısımları dikkate değer uçucu yağ içermediğinden değerlendirilmemiştir. Bunun için bitki örneklerinin yaprakları ayıklanarak +4°C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1 : Çalışmada kullanılan *Mentha piperita* yaprakları

3.1.2 Deneylerde kullanılan kimyasallar

- Sodyum sülfat (susuz)
- Destile edilmiş su

3.1.3 Deneylerde kullanılan cihazlar, araçlar ve gereçler

3.1.3.1 Gaz kromatografisi ve Kütle spektrometresi (GC–MS)

Bitki örneklerinden elde edilen uçucu yağların analizlerinde; Shimadzu 2010 (Shimadzu, Kyoto, Japonya) GC ile MS–QP 2010 kütle seçici detektöre sahip cihaz kullanılmıştır. Analizler, TRB–Wax (Teknokroma, Barselona, İspanya) kapiler kolon (silika–6 0m×0,25mm i.d. ve 0,25 µm film kalınlığı) varlığında gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan diğer cihaz ve aletler

- Nüve FN 500 marka/model etüv
- CITIZEN SCALE CX 220 marka/model terazi
- ISOTEX marka/model ceketli ısıtıcı
- Nüve NM 110 marka/model vorteks
- Saf su üretim cihazı
- Clevenger cihazı

3.2 Yöntem

3.2.1 Bitkinin başlangıçtaki nem ihtivasının tayini

Mentha piperita yapraklarından alınan örneklerin başlangıçtaki nemlerinin tayini için 50’şer gram örnekler 105°C sıcaklığa ayarlanmış bir etüv içerisinde bir gün (24 saat) beklemeye alınmıştır (Şekil 3.2). Bu işlem üç kez tekrarlanmış ve kurutma deneyleri tamamlandıktan sonra örneklerin ortalama başlangıç neminin %82.45 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 : Başlangıç nem içeriği belirlenen *Mentha piperita* örnekleri

3.2.2 Kurutma deneyleri

Bitki örnekleri, gölgede ve kabin tipi kurutucu olan etüvde olmak üzere 2 farklı şekilde kurutulmuştur. Örneklerin kuruma süresinin belirlenmesinde, başlangıçtaki nem içeriğinin yaklaşık %10 seviyesine düşmesi için geçen zaman hesaplanmıştır. Örneklerin yaprakları gölgede yer alan uygun bir ortama ve etüv içerisine ince tabaka olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneylerin tümünde başlangıç tartım 20 g ($\pm 0,5$ g) olarak alınmıştır. Gölge ortamında yapılan kurutma işlemi, laboratuvarın geniş ortamında ortalama 23°C sıcaklıkta, etüv içerisinde kurutma deneyleri 35°C ve 50°C olmak üzere farklı iki sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneyleri süresince belirli zamanlarda tartımlar alınarak ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Deneyler her bir kurutma koşulu için üçer kez tekrarlanmıştır. Gölge ortamında kurutulan örneklerin görüntüsü Şekil 3.3'te ve etüv ortamında kurutulan örneklerin görüntüsü de Şekil 3.4'te sunulmuştur.



Şekil 3.3 : Gölge ortamında kurutulmuş *Mentha piperita* numuneleri



Şekil 3.4 : Etüv ortamında kurutulmuş *Mentha piperita* numuneleri

3.2.3. Kurutma eğrileri için modelleme çalışmaları

Kurutma işlemlerinde kullanılan örneklerin belirli sürelerdeki nem ihtivası Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır [74].

$$M_t = \left(\frac{m_t - m_d}{m_t} \right) 100 \frac{g_{su}}{g_{örnek}} \quad (3.1)$$

Burada;

M_t : t zamanındaki nem (g su/g kuru madde)

m_t : t zamanındaki örnek ağırlığı (g)

m_d : örneğin ihtiva ettiği kuru madde miktarı (g) nı göstermektedir.

Eşitlik 3.2'den kuruma hızı (DR) hesaplanmıştır [189,190].

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (3.2)$$

Burada;

DR : kuruma hızı (g su/g kuru madde dk)

M_{t+dt} : t+dt zamanındaki nem (g su/g kuru madde dk)

M_t : t zamanındaki nem (g su/g kuru madde)

Dt : zaman aralığı (dakika) dır.

Nane örneklerinin ince tabaka yöntemi ile kurutulması işleminde ulaşılan nem oranı (MR) değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 2.2 kullanılmıştır. Deney verileri, kurutma kinetiğini modellenmesinde sıkça kullanılan dokuz farklı eşitliğe uygulanmıştır (Çizelge 3.1). Model parametrelerinin optimizasyonu için daha önce grubumuz tarafından geliştirilmiş olan MATLAB tabanlı PEDKiM (*Parameter Estimation for Drying Kinetics Models*) isimli kullanıcı etkileşimli arayüz kullanılmıştır. Deneysel veriler excel dosyasından yazılıma yüklendikten sonra hangi model optimize edilecekse o model seçilmekte ve program çalıştırılarak model parametrelerinin değerleri, istatistiksel performans değerleri (R, RMSE, %MAPE) ve deneysel model uyumunu gösteren grafik yazılım üzerinden görüntülenmektedir. Performans kriterlerine göre en uygun model belirlenmiş ve model parametreleri optimizasyon ile bulunmuştur. Yazılımın kullanımı oldukça kolaydır ve tek bir ekranda tüm sonuçlar gözlenebilmektedir.

Çizelge 3.1 : Çalışma kapsamında kullanılan kurutma modelleri

No	Modelin Adı	Modelin Matematiksel İfadesi
1	Newton	$MR = e^{-k \cdot t}$
2	Page	$MR = e^{-k \cdot t^n}$
3	Henderson ve Pabis	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t}$
4	Difüzyon yaklaşım	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a)e^{-k \cdot b \cdot t}$
5	Midilli ve ark.	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t^n} + b \cdot t$
6	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + b \cdot e^{-g \cdot t} + c \cdot e^{-h \cdot t}$
7	İki terimli exponansiyel	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + (1 - a)e^{k_1 t}$
8	Logaritmik	$MR = a \cdot e^{-k \cdot t} + c$
9	Geliştirilmiş Page	$MR = e^{(-k \cdot t)^n}$

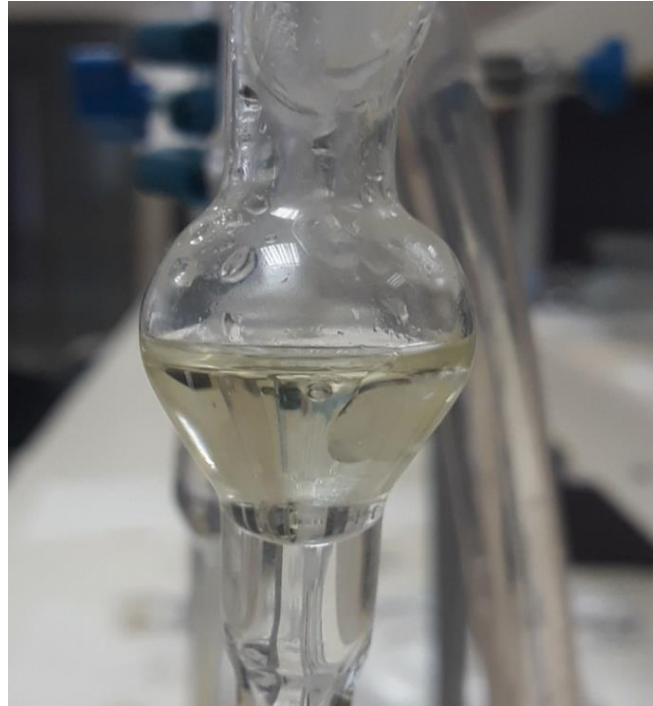
Kurutma kinetiğini açıklayan en uygun modeli belirlerken; R (korelasyon katsayısı) nin “1” olması veya “1” e yakın bir değer olması, RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) ve %MAPE (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) değerlerinin ise “0” a yakın olması kriterleri dikkate alınmıştır.

3.2.4. Uçucu yağ eldesi

Bitki yapraklarından uçucu yağ elde etmek için, cleverger cihazı kullanılarak su destilasyonu yöntemi seçilmiştir. Etüvde (35°C ve 50°C) ve gölgede kurutulmuş örneklerin uçucu yağını çıkarmak amacıyla 100 g bitki drogunun üzerine 1000 mL saf su ilavesi yapılmıştır. Destilasyon işlemi, sistem üzerinde yer alan soğutucu bölümünden ilk yağ damlası alınması başlangıç kabul edilerek yaklaşık 3 saat sürdürülmüştür. Kaynayan suyun buharı ile birlikte sürüklenen yağlar soğutucuda yoğunlaşarak kapiler bir boru içerisinde birikmiştir. Destilasyon işleminin tamamlanması ile cleverger aparatı yardımıyla elde edilen uçucu yağ içerisinde bulunan az miktarda suyun uzaklaştırılması amacıyla susuz sodyum sülfat (Na₂SO₄) kullanılmıştır. Bu şekilde eldesi yapılan uçucu yağ örnekleri viallerde muhafaza edilerek ve GC-MS analizleri yapılncaya kadar +4°C sıcaklıkta saklanmıştır. Uçucu yağ eldesi için kullanılan düzenek Şekil 3.5’te, destilasyon sonucunda alınan uçucu yağ örneği de Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.5 : Su destilasyonu düzeneğinin görüntüsü



Şekil 3.6 : Destilasyon sonucu kazanılan uçucu yağ görüntüsü

3.2.5 GC–MS analizleri

Akış hızı 1 ml/dk olan helyum, taşıyıcı gaz olarak kullanılmıştır. Enjeksiyon işleminin ardından beş dakika süreyle 40°C sıcaklıkta tutulan kolon, 3°C/dk artış hızı ile 240°C sıcaklığa programlanmış ve 15 dk süresince bekletilmiştir.

Soğutma süreciyle birlikte fırının çalışma süresi 86 dk sürmüştür. Transfer hattının sıcaklığı ile iyon kaynağının sıcaklığı 250°C olarak belirlenmiştir. İyonlaşma voltaj değeri 70 eV ve kütle aralığı değer aralığı da 35–450 m/z dir. Böylece, ulaşılan kromatografik piklerin kütle spektrumları NIST (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, Gaithersburg, MD, ABD) ile Wiley kütüphaneleri spektrumları karşılaştırılarak ayrılmış bileşenler belirlenmiştir [191].

3.2.6 Yapay sinir ağı tasarımı

Çalışma kapsamında, *Mentha piperita* örneklerinin kuruma kinetiğini modellemek amacıyla, 3 katmanlı ileri beslemeli ve geri yayımlı ağı yapısı tasarlanmıştır. Girdi katmanında 2 nöron, ara/gizli katmanında 6 nöron ve çıktı katmanında 1 nöron kullanılmıştır. Ara/gizli katmanda tanjant sigmoid (*'tansig'*) ve çıktı katmanında ise lineer (*'purelin'*) transfer fonksiyonu seçilmiştir. Ağı ağırlıklarının ayarlanmasında ve eğitimi için Levenberg-Marquardt (*'trainlm'*) optimizasyon algoritması tercih edilmiştir. Deneylerden toplamda 115 veri elde edilmiş ve bu veriler ağı verilmeden hemen önce normalizasyon işleminden geçirilmiştir. Normalize edilen verilerin eğitim ve test bölümlenmesi gelişigüzel olarak yapılmıştır. Tüm verilerin %70'i ağı eğitimi için, %30'u modelin test basamağında değerlendirilmiştir. Geliştirilen modelin giriş değişkenleri; kurutma yöntemi (Gölge:1, 35°C:2 ve 50°C:3) ve zaman (dakika) olarak, model çıktısı nem oranı (MR) olarak belirlenmiştir.

Yapay Sinir Ağı modelinin oluşturulmasında MATLAB ortamı ve YSA araç kutusu kullanılmıştır. Kodların yazımı MATLAB ortamında gerçekleştirilmiş olup, eğitim için ayrılan veri seti ile ağı eğitilmiş, uygun olan ağı yapısı belirlenmiş ve bu yapıya ait özellikler kaydedilerek YSA modeli ortaya çıkarılmıştır. Geliştirilen YSA modeline ağı görmediği test verileri tanıtılarak modelin başarısı istatistikî yöntemlerle değerlendirilmiştir.

3.2.7 Antimikrobiyal etki

Nane uçucu yağının antimikrobiyal etkisini belirlemek amacıyla broth dilüsyon tekniği kullanılarak mikroorganizma büyümesinin görülmediği en düşük uçucu yağ miktarı

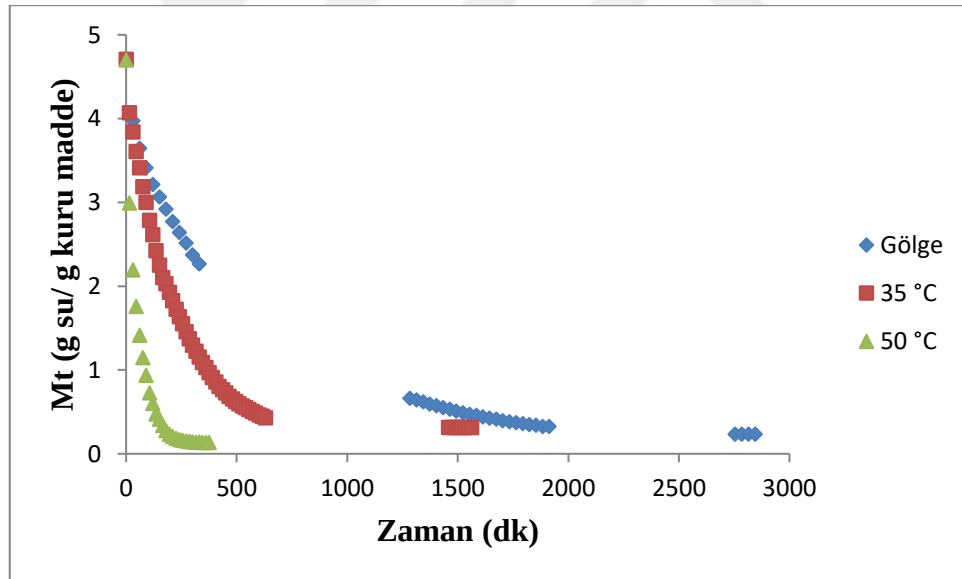
olarak tanımlanan minimum inhibisyon konsantrasyonu (MIC/MİK) belirlenmiştir [192].

Antimikrobiyal testlerde, oda sıcaklığında kurutulan birinci hasat (Ağustos ayında toplanan) ürünlerden elde edilen uçucu yağ kullanılmıştır. Mikroorganizma olarak Gram pozitif bakteriler (*Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Bacillus cereus* (*B. cereus*)), Gram negatif bakteriler (*Escherichia coli* (*E. coli*), *Salmonella*) ve mayalar (*Candida albicans* (*C. Albicans*), *Saccharomyces cerevisiae* (*cerevisiae*)), besiyer olarak da bakteriler için Mueller Hinton (MH) broth, mayalar için ise Sabouraud dextrose (SDB) broth kullanılmıştır. Pozitif kontrol olarak ampicillin, gentamisin ve tetrasiklin antibiyotikleri referans olarak alınmış, negatif kontrol olarak ise uçucu yağ içermeyen besiyerlerine test mikroorganizmalarının ekimi yapılmıştır. Uçucu yağın besiyeri ortamında homojen dağılımını sağlamak amacı ile steril mueller hinton broth (Freshbroth)'un içerisine %10 dimetil sülfoksit (DMSO) eklenmiş böylece besiyer olarak %10 DMSO içeren Mueller Hinton (MH) broth (bakteriler için) ve %10 DMSO içeren Sabouraud dextrose (SDB) besiyeri (mayalar için) hazırlanmıştır. Hazırlanan besiyerleri içeren tüplere mikroorganizmaların (10^8 kob/ml) ekimi yapılmış ve nane uçucu yağı eklenerek bakteriler için son konsantrasyon 400 µL/mL'den 6.25 µL/mL'ye; mayalar için ise 350µL/mL'den 5.41 µL/mL'ye olacak şekilde iki kat seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Referans antibiyotiklerin analizi için de aynı yol izlenmiş ve son konsantrasyonları 100 µg/mL'den 1.56 µg/mL'ye 2 kat seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Bakteri içeren numune tüpleri 37°C'de 24 saat süreyle, maya içeren numune tüpleri ise 30°C'de 48 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda bakteri içeren her bir test tüpüne 50 µL p-nitrotetrazolium violet (INT) (0.2 mg/mL) indikatörü eklenmiş ve tüpler 37°C' de 30 dakika daha inkübe edilerek antimikrobiyal ajanların MİK değerleri tespit edilmiştir. Test tüplerinde bir renk değişimi (kırmızı renge dönme) gözlemlenmesi, test edilen antibakteriyel ajan konsantrasyonunun bakteri inaktivasyonunda yetersiz kaldığını ifade ediyorken, renk değişiminin gözlemlenmemesi, test edilen konsantrasyonda bakterinin inaktive olduğunu ifade etmektedir. Böylece, mikrobiyal gelişmenin olmadığı en düşük konsantrasyon MIC/MİK değeri olarak ifade edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 *Mentha piperita* Yapraklarının Nem İçeriğinin Zamanla Değişimi

Gölge ve etüvde gerçekleşen farklı iki kurutma yöntemiyle kurutulmuş örneklerin zaman–nem içeriği değişimine ait grafik aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 4.1). Deneyler kapsamında örneklerinin nem ihtivasının yaklaşık %10 civarına düşürülmesi amaçlanmıştır. Deneylerin sonuçları değerlendirildiğinde; gölgede kurutulmuş örneklerin kuruma süresi yaklaşık 2840 dk, 35°C sıcaklığa ayarlanmış etüv ortamında kurutulmuş örneklerin kuruma süresi yaklaşık 1560 dk ve 50°C sıcaklığa ayarlanmış etüv ortamında kurutulmuş örneklerin kuruma süresi yaklaşık 375 dk olarak hesaplanmıştır. Kurutma yöntemleri kıyaslandığında, beklendiği gibi 50°C sıcaklığa ayarlanmış etüv ortamında gerçekleştirilen kurutma yönteminin en kısa kurutma süresine sahip olduğu görülmüştür. Bu verilere göre; kuruma süreleri değerlendirildiğinde, *Mentha piperita* örneklerinin etüv ortamında kurutulmasının zaman açısından önemli kazanım sağladığı tespit edilmiştir.



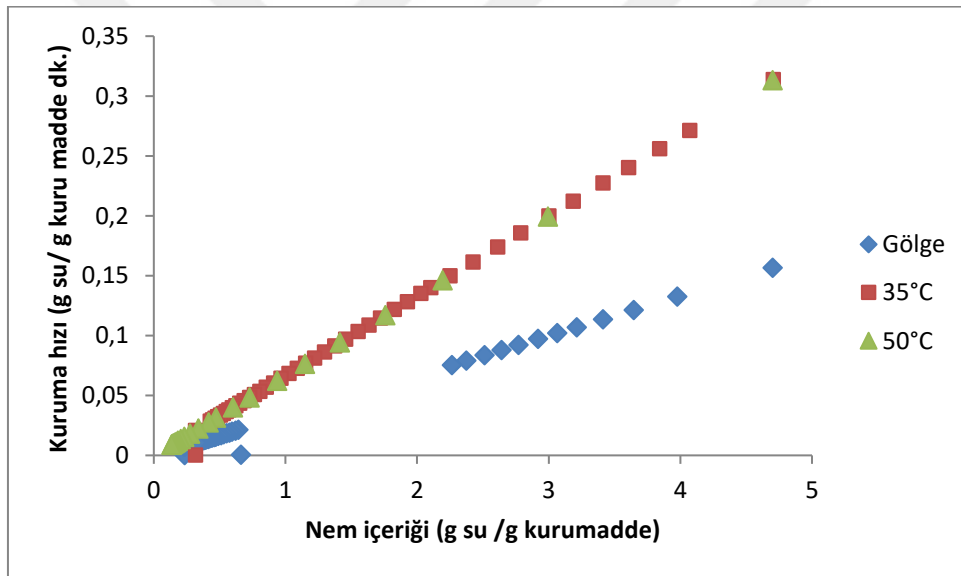
Şekil 4.1 : Gölge ve etüv (35°C ve 50°C) ortamında kurutulmuş örneklerin nem muhteviyatının zamanla değişimi

Yukarıdaki grafik incelendiğinde örneklerin kuruma süresinin, kurutma sıcaklığından büyük ölçüde etkilendiği açıktır (Şekil 4.1). Kurutma sıcaklığı artırıldığında gıdaların iç kısımlarında meydana gelen ısı aktarım hızının artması sonucu yüzeydeki nemin çok daha hızlı bir şekilde uzaklaştığı görülmüştür. Deney verilerinin sonuçlarına göre, ortam sıcaklığının artmasıyla nem giderimi hızlanarak kuruma süresinin kısalmıştır. Doymaz [38] ve Kadam vd. [96] *Mentha spicata* L. için yaptıkları çalışmalarda kurutma sıcaklığının

artmasıyla kuruma süresinin kısaldığını belirtmişlerdir. Beigi [35] nane (*Mentha spicata* L.) yaprakları için 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarda kurutma gerçekleştirmiş ve kuruma sürelerini sırasıyla 100, 60 ve 26 dk olarak bulmuştur. Sonuç olarak kurutma sıcaklığının, kurutma süresini etkilediğini göstermiştir.

4.2 *Mentha piperita* Yapraklarının Kuruma Hızı

Mentha piperita örnekleri için kuruma hızının nem muhteviyatı ile değişimini gösteren grafik Şekil 4.2’de sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere, beklendiği gibi kurutma sıcaklığı artışı ile kuruma hızı artmıştır. Yüksek kurutma sıcaklıklarında kuruma hızı daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Kurutma metotları kıyaslandığında, örneklerin en yüksek kuruma hızına ulaştığı 50°C sıcaklıktaki etüvde kurutma yöntemi öne çıkmaktadır. Örneklerin içerdiği nemin azalmasıyla kuruma hızlarında yavaşlama olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2 : Gölge ve etüv (35°C ve 50°C) ortamında kurutulmuş örneklerin nem içeriği ile kuruma hızı arasındaki ilişki

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Moradi vd.[193] nane yapraklarını sıcak su sirkülasyonlu güneş kurutma makinesi ile dokuz kurutma sıcaklığı seviyesi (ortalama değeri: 41.3, 42.2, 44.1, 45.9, 47, 48.2, 50, 51.5 ve 53.9°C bu sıcaklıklara karşılık gelen kurutma süresi 255, 255, 195, 180, 180, 180, 165, 165 ve 150 dakika olmuştur. Ayrıca, ortalama kurutma hızı seviyeleri için karşılık gelen değerler sırasıyla % 2.19, % 2.33, % 2.96, % 3.21, % 3.35, % 3.44, % 3.51, % 3.57 ve % 3.84 kuru baz / dakika olarak bulunmuştur. Çalışmada kurutma sıcaklığı arttıkça daha yüksek bir kurutma hızı gerçekleştiğini göstermişlerdir.

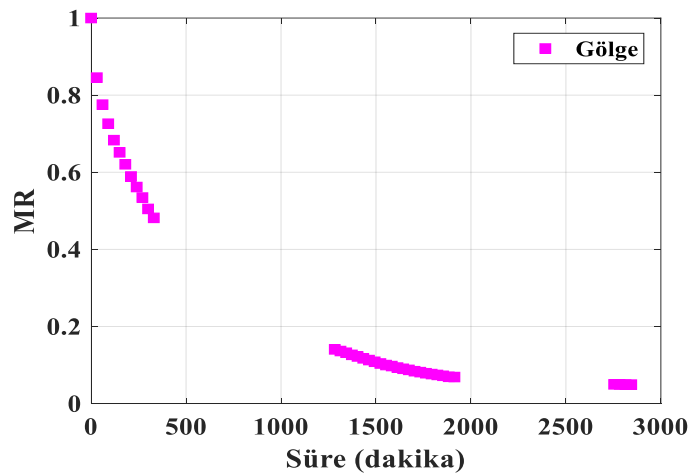
Kadam vd. [96] *Mentha spicata* yapraklarını 45°C–65°C aralığındaki sıcaklıklarda sıcak hava yardımıyla kurutmuş, kuruma sürecinin azalan hız periyoduna uyduğunu ve kurutma sıcaklıklarının tümünde hız periyodunun sabit olmadığını bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada [38] 35°C–60°C aralığındaki sıcaklıklarda yine *Mentha spicata* yaprakları sıcak hava ortamında kurutulmuş, kuruma süresinin sabit olmadığı belirtilmiş ve çalışma koşullarının tümünde difüzyon kontrolüne sahip bir davranış gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak, kuruma havasının sıcaklığı artırıldığında, kuruma hızında artış olduğu ve kurutma hızının 60°C sıcaklıktaki hava ile gerçekleştirildiğinde bu hızın en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir. Kadam vd. [78] fesleğen (*Ocimumsanctum*) yapraklarını 55°C–65°C aralığındaki sıcaklıklarda kurutmuş, kuruma sürecinin azalan hız periyoduna sahip olduğunu ve çalışma koşullarının tümünde difüzyon kontrollü davranış olduğunu belirlemişlerdir. Hava kuruma sıcaklığı artışıyla kuruma hızının da artış gösterdiğini ve 65°C sıcaklığa sahip kurutma havası kullanıldığında en yüksek kuruma hızına ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasındaki sonuçların literatürde yer alan ve daha önce gerçekleştirilen benzer çalışmaların sonuçları ile uyum içinde olduğu yukarıdaki değerlendirmelerden anlaşılabilir.

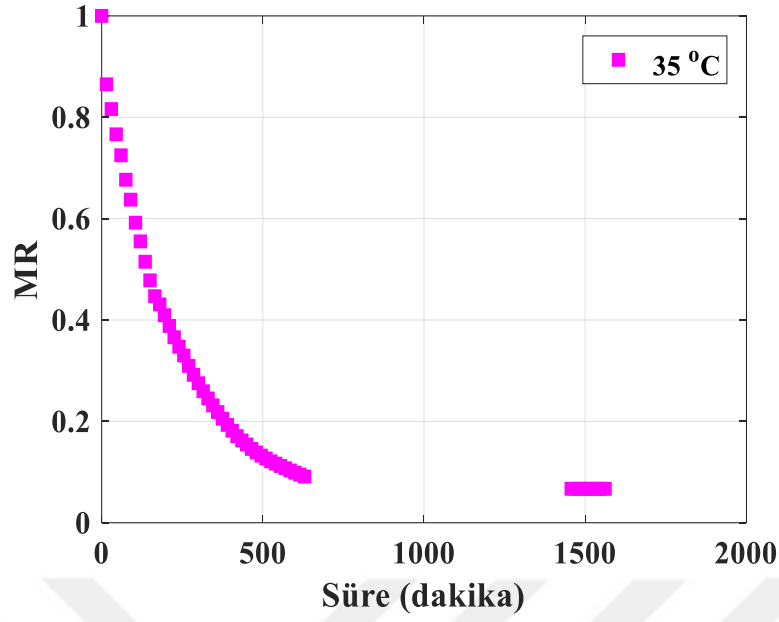
4.3 Nane (*Mentha piperita*) Bitkisinin Kurutma Modellemesi

4.3.1 Matematiksel Modelleme Sonuçları

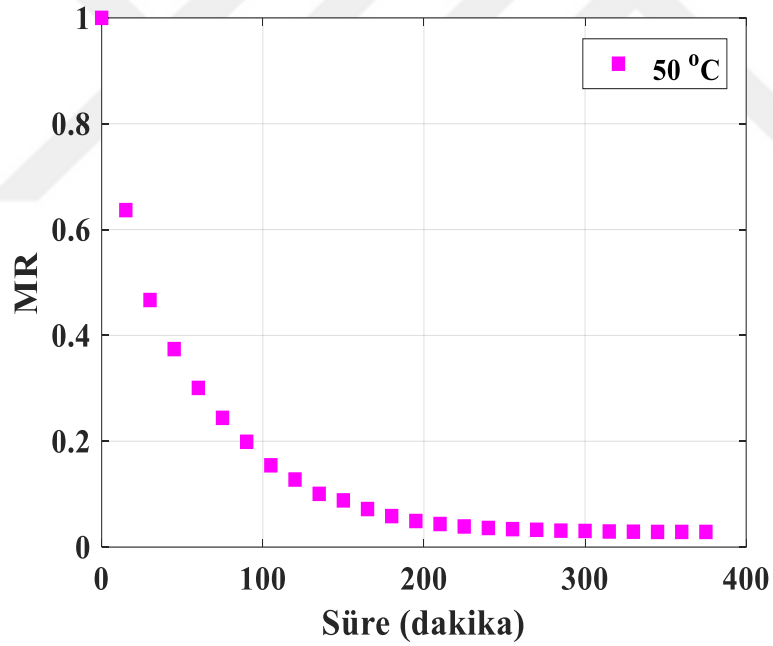
Kurutma çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak nem oranı (MR) değerleri Eşitlik 2.2 yardımıyla hesaplanmıştır. Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'te kuruma zamanı ile Eşitlik 2.2 kullanılarak hesaplanmış MR değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.3 : Gölgede kurutulmuş örnekler için süre–MR ilişkisi



Şekil 4.4 : 35°C kurutulmuş örnekler için süre-MR ilişkisi



Şekil 4.5 : 50°C kurutulmuş örnekler için süre-MR ilişkisi

Kurutma kinetiğini açıklamak için; etüvde (35°C ve 50°C) ve gölgede kurutulmuş örneklerin nem oranlarına ait veriler, Çizelge 3.1’de listelenen ve literatürde yer alan dokuz matematiksel eşitliğe uygulanarak modellerin parametreleri belirlenmiş ve modellerin performans kriterleri (%MAPE, RMSE ve R) hesaplanarak Çizelge 4.1’de verilmiştir.

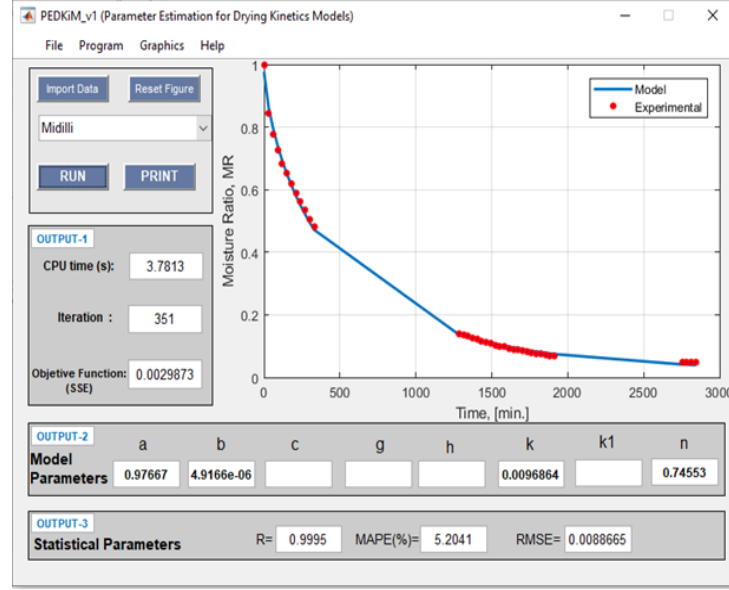
Çizelge 4.1 : Optimizasyonla bulunan model katsayıları ve istatistiksel başarı göstergeleri

GÖLGEDE KURUTMA				
Model	Model Katsayıları	%MAPE	RMSE	R
Page	k=0.012492 n=0.70693	6.9062	0.010036	0.99938
Newton	k=0.0019982	46.0714	0.062205	0.99695
Midilli ve ark.	a=0.97667 b=4.9166×10⁻⁶ k=0.096864 n=0.74553	5.2041	0.0088665	0.9995
Handerson& Pabis	a=0.84539 k=0.0014445	16.615	0.033858	0.99332
Geliştirilmiş Henderson& Pabis	a=0.09480 b=0.094837 c=0.81036 g=321.0072 h=0.0013668 k=603.5978	10.9553	0.019304	0.99786
Difüzyon Yaklaşımı	a=0.23862 b=0.065156 k=0.019783	7.8512	0.011107	0.99929
İki Terimli Exponansiyel	a=0.23862 k=0.019784 k ₁ =0.0054019	7.8513	0.011107	0.99929
Logaritmik	a=0.74738 c=0.25262 k=1.1683	157.8645	0.25284	0.4277
Geliştirilmiş Page	k=5 n=5	97.3684	0.35506	0.4277
35°C SICAKLIKTAKI ETÜVDE KURUTMA				
Model	Model Katsayıları	% MAPE	RMSE	R
Page	k=2.6577×10 ⁻¹³ n=0.47257	80.2852	1.2053	0.67119
Newton	k=0.00036946	51.4429	1.1839	0.74568
Midilli ve ark.	a=4.5734 b=0.00019496 k=0.0069393 n=0.92166	2.3864	0.036452	0.99949
Handerson& Pabis	a=4.3557 k=0.0040511	19.0989	0.13881	0.99528
Geliştirilmiş Henderson& Pabis	a=0.22836 b=0.22835 c=4.2498 g=425.1469 h=0.0039411 k=557.2135	17.9385	0.12697	0.99612
Difüzyon Yaklaşımı	a=4.2499 b=499.9967 k=0.0039412	19.4827	0.53433	0.89215

Çizelge 4.1 (devam):

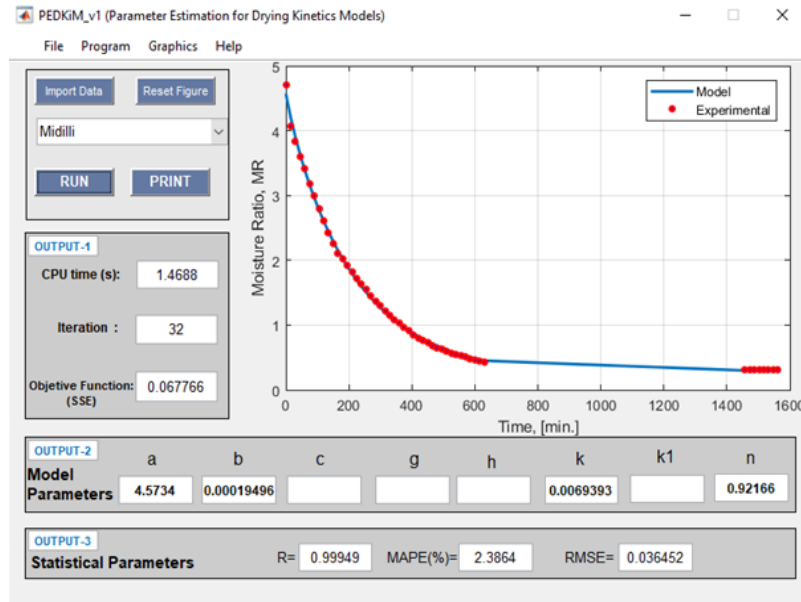
İki Terimli Exponansiyel	a=4.2499 k=0.0039411 k ₁ =0.50005	19.4827	0.53433	0.89215
Logaritmik	a=3.3729 c=1.3337 k=497.2044	109.4576	1.0365	0.41126
Geliştirilmiş Page	k=5 n=5	99.5834	1.7571	0.41126
50°C SICAKLIKTAKİ ETÜVDE KURUTMA				
Model	Model Katsayıları	% MAPE	RMSE	R
Page	k=0.065539 n=0.71542	17.0049	0.0088396	0.9993
Newton	k=0.019984	53.8098	0.038025	0.99486
Midilli ve ark.	a=9972 b=4.3712×10⁻⁵ k=0.057386 n=0.7511	7.2565	0.0060262	0.99965
Handerson& Pabis	a=0.91705 k=0.018102	47.2447	0.033023	0.99276
Geliştirilmiş Henderson& Pabis	a=0.12333 b=0.12363 c=0.75304 g=642.384 h=0.014635 k=133.2827	30.6464	0.015998	0.99843
Difüzyon Yaklaşımı	a=0.40387 b=0.18138 k=0.067459	22.6454	0.011457	0.99897
İki Terimli Exponansiyel	a=0.40387 k=0.067459 k ₁ =0.030295	22.6453	0.011457	0.99897
Logaritmik	a=0.86942 c=0.13058 k=476.8181	173.1851	0.15305	0.73761
Geliştirilmiş Page	k=5 n=5	96.1538	0.19955	0.73761

Yukarıdaki çizelgeye göre, örneklerin gölge ortamında kurutulması sonucu kaydedilen nem oranlarının zamana göre gösterdiği değişimi açıklayan en uygun eşitliğin Midilli ve ark.'nın geliştirdiği model olduğu belirlenmiştir. PEDKiM yazılımı ile değerlendirilen gölge ortamında kurutma metodu verileri kullanılarak elde edilen deneysel-model uyumunun yer aldığı grafik Şekil 4.6'da verilmiştir. Yazılım üzerindeki grafik uyumu ve istatistiki başarı kriterlerinin değerleri incelendiğinde Midilli ve ark. modelinin oldukça başarılı sonuçlar ürettiği söylenebilir.



Şekil 4.6 : Deneyssel ve Midilli ve ark. modelinden hesaplanan nem oranlarının zamana göre değişimini gösteren PEDKiM yazılımı görüntüsü (Gölge verileri)

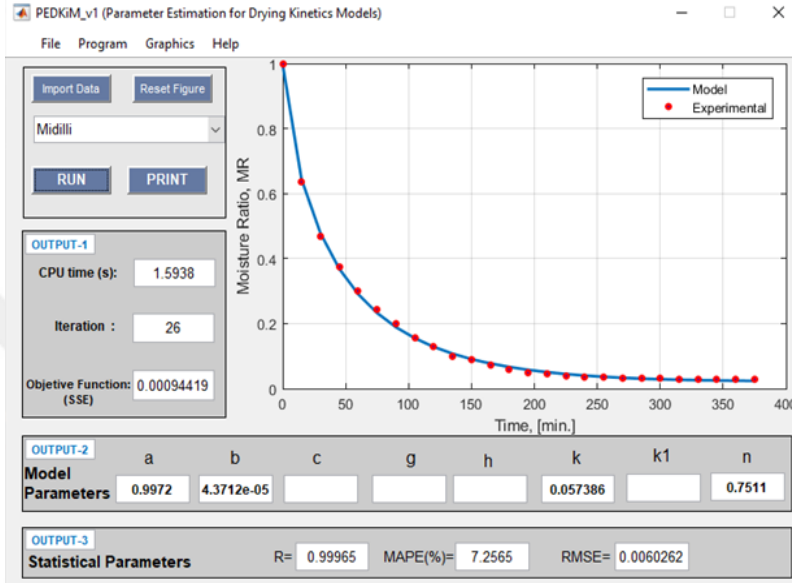
35°C sıcaklığa ayarlanmış etüv ortamında kurutulmuş örneklerin kurutulmasından elde edilen verilere uyan en iyi model Midilli ve ark.'nın önerdiği model olmuştur. Optimizasyon sonuçlarına göre, $R=0.9949$, $RMSE=0.0089$ ve $MAPE=\%5.2$ olduğu tespit edilmiş ve bu modelin deneyssel verilerle en iyi uyum gösterdiği istatistiki kriterlere göre de kanıtlanmıştır. 35°C sıcaklıkta kurutma metoduna ait deneyssel-model uyumu Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Deneyssel ve Midilli ve ark. modelinden hesaplanan nem oranlarının zamana göre değişimini gösteren PEDKiM yazılımı görüntüsü (35°C sıcaklık verileri)

Şekilden de görüldüğü gibi Midilli ve ark. modelinin tahminleme kapasitesinin yüksek olduğu ve iyi bir deneysel–model uyumu sağlandığı söylenebilir.

Örneklerin 50°C sıcaklığa ayarlanmış etüv ortamında kurutulması sonucu elde edilen verilere uyan en iyi modelin yine Midilli ve ark.’nın geliştirdiği eşitlik olduğu tespit edilmiştir. Bu uyum, Şekil 4.8’den hem grafiksel olarak hem de istatistiksel başarı kriterlerinin değerleri değerlendirilerek net şekilde görülebilir.



Şekil 4.8 : Deneysel ve Midilli ve ark. modelinden hesaplanan nem oranlarının zamana göre değişimini gösteren PEDKiM yazılımı görüntüsü (50°C sıcaklık verileri)

Çalışmada değerlendirilen iki kurutma yöntemi ve sıcaklıklar için Midilli ve ark.’nın önerdiği modelin oldukça iyi tahminler ürettiği istatistiksel başarı sonuçlarından ve grafiklerin uyumundan açık bir şekilde görülmektedir. PEDKiM yazılımı; deneysel–model uyumunu grafiksel ve istatistiksel olarak kullanıcıya sunmaktadır. Ayrıca, optimum model parametreleri de yazılım penceresinden görülebilmektedir.

Literatürde yer alan araştırmacıların yaptıkları modelleme çalışmalarından bazıları aşağıda değerlendirilmiştir;

Doymaz [38] sıcak hava kurutucuda 35, 45, 55 ve 60 °C sıcaklıkta kurutulan nane (*Mentha spicata*) yapraklarının ince tabaka kuruma davranışını sunmak için Logaritmik modeli önermiştir.

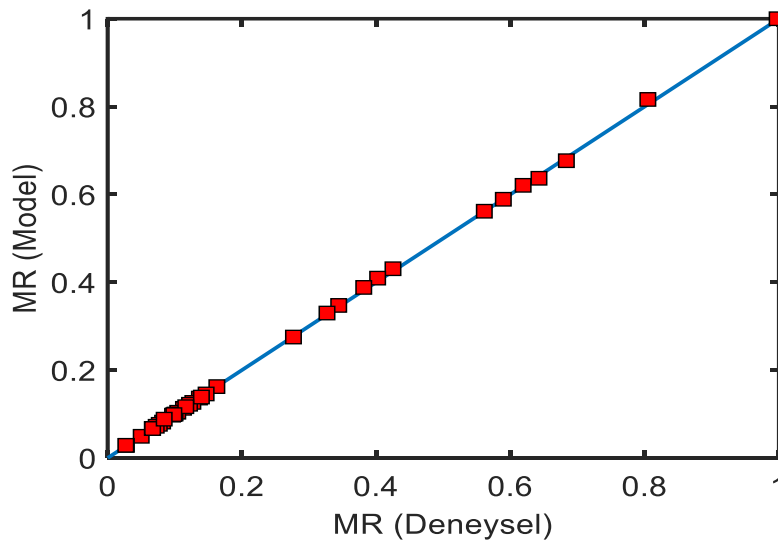
Arslan vd. [18] güneşe açık ortamda, 50°C sıcaklığa sahip havalı kurutucuda ve 700 W güç sağlayan mikrodalga ortamında kurutmuş olduğu *Mentha piperita* örneklerinin

deneysel verilerinin Page, Geliştirilmiş Page, Midilli ve Difüzyon yaklaşım modelleri ile uyum içerisinde olduğunu yayınlamıştır.

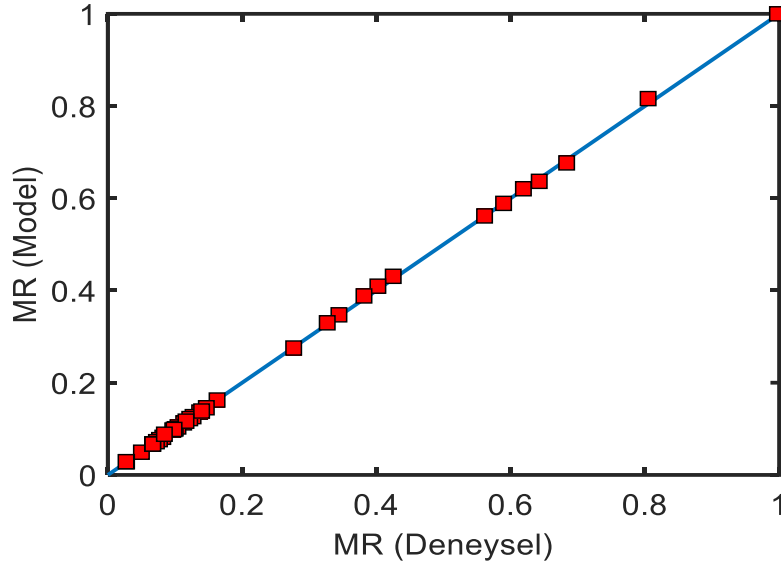
Bir diğer çalışmada [194], 50°C–70°C sıcaklık aralığında sıcak hava ve mikrodalga yardımıyla kurutulmuş *Mentha piperita* yapraklarına ait deneysel verilere uyan en uygun modelin Midilli ve ark. tarafından önerilen eşitlik olduğu bildirilmiştir. Doymaz'ın bir çalışmasında [195], hava akış hızının 2 m/s olduğu ve 40°C–60°C sıcaklık aralığındaki hava yardımıyla kurutulan kekik bitkisine ait deneysel verilerin Midilli ve ark. tarafından geliştirilen modelle iyi bir uyum sağladığı tespit edilmiştir. Ashtianivd. [196] nane yapraklarının (*Mentha piperita*) 30, 40, 50 °C sıcak hava kurutmasında en uygun model Logaritmik model ve 0.5, 1, 1.5 m/s hava hızları olan kızılötesi kurutmasında en uygun model ise Midilli ve ark. olduğunu bildirmişlerdir. Literatürde yayınlanan bu çalışmaların sonuçları, bu çalışmanın sonuçlarını destekler niteliktedir.

4.3.2 YSA model sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda ulaşılan kurutma verilerinin alternatif olarak modellenmesi için etkin bir yöntem olan YSA tekniği kullanılmış ve YSA model sonuçlarının başarısı istatistiki hesaplama yöntemleri kullanılarak teste tabi tutulmuştur. Eğitim verilerine ait deneysel–YSA model uyumu Şekil 4.9'da ve test verileri kullanılarak elde edilen deneysel–YSA model uyumu Şekil 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.9 : Deneysel–YSA model uyumu (eğitim veri seti)



Şekil 4.10 : Deneyisel–YSA model uyumu (test veri seti)

Çizelge 4.2’de sunulan istatistiksel başarı kriterleri geliştirilen YSA modelinin başarısını göstermektedir. Bu çizelgeye göre; YSA modelinin, yüksek başarıya sahip ve gıdalar için kurutma kinetiğini tanımlamada yüksek öngörü kapasitesi ile tercih sebebi olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2 : Geliştirilen YSA modelinin performansı

Eğitim Verisi			
R	%MAPE	RMSE	MSE
1.0000	0.5422	0.0012	1.42×10^{-6}
Test Verisi			
R	%MAPE	RMSE	MSE
0.9999	0.9223	0.0034	1.14×10^{-5}

Çizelge 4.3’te gölge ve etüv (35°C ve 50°C) ortamlarında kurutulmuş *Mentha piperita* yapraklarına ait kurutma kinetiğini en iyi açıklayan ince tabaka kurutma modelleri ile YSA modelinin performans sonuçlarının kıyaslaması verilmiştir. YSA model öngörüsü sonucu hesaplanan %MAPE ile RMSE değerlerinin, Midilli ve ark.’nın önerdiği modelden hesaplananlara nazaran oldukça küçük olduğu çizelgeden net bir şekilde görülmektedir. *Mentha piperita* yapraklarının kurutulması proseslerinde, nem içeriği tahminlenmesi için geliştirilen YSA modelinin, bu çalışmada incelenen diğer modellere kıyasla çok daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İnce tabaka kurutma modellerinin geliştirilmesi için, kurutma koşullarının her biri için ayrı optimizasyon gerektiği ve kalibre edilen modelin sadece ilgili koşullarda geçerli olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kurutma koşullarının tümü için elde edilen verilerin kullanılmasıyla geliştirilen sadece bir YSA modelinin

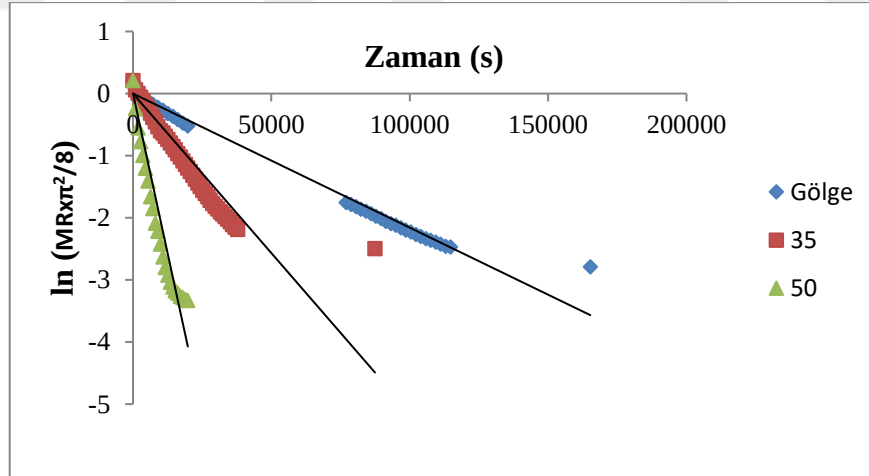
kurutma kinetiğini açıklamada büyük bir avantajı da beraberinde getirdiği büyük önem arz etmektedir.

Çizelge 4.3 : Kurutma şartlarına göre modellerin kıyaslanması

Kurutma Sıcaklığı	Model Adı	R	%MAPE	RMSE
Gölge	Midilli ve ark.	0.9995	5.21	0.0089
35°C	Midilli ve ark.	0.9995	2.39	0.0365
50°C	Midilli ve ark.	0.9997	7.26	0.0060
Gölge, 35°C, 50°C	YSA Modeli Test Verisi	0.9999	0.92	0.0034
Gölge, 35°C, 50°C	YSA Modeli Eğitim Verisi	1.0000	0.54	0.0012

4.4 Etkin Difüzyon Katsayıları ve Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

Çalışmada kurutulan örnekler etkin difüzyon katsayılarının hesaplanmasında Eşitlik 2.9 kullanılmıştır. Eşitlik bir doğru denklemdir ve çizilen grafiklerin eğim değerleri yardımıyla etkin difüzyon katsayısı değerlerine ulaşılmıştır. Kuruma zamanının $\ln(MR \times \pi^2 / 8)$ ile değişimini gösteren grafikler; gölge, 35°C ve 50°C koşulları için Şekil 4.11’de verilmiştir. Ayrıca, hesaplanan etkin difüzyon katsayıları (D_{eff}) Çizelge 4.4 aracılığı ile sunulmuştur.

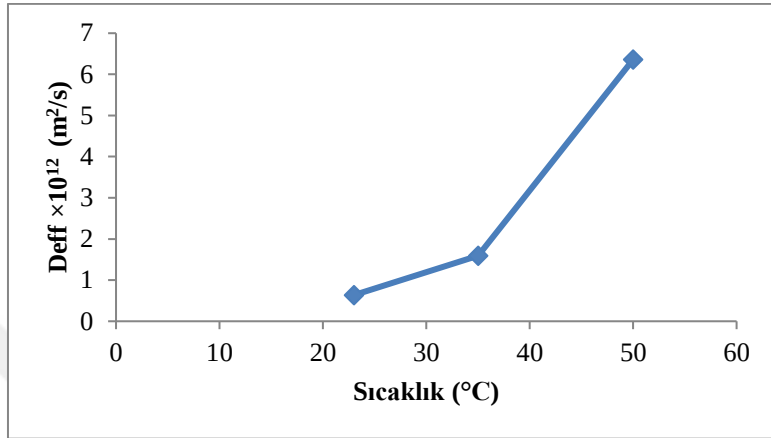


Şekil 4.11 : *Mentha piperita* örneklerinin kurutma verilerinden elde edilen zaman– $\ln(MR \times \pi^2 / 8)$ grafikleri

Çizelge 4.4 : *Mentha piperita* örneklerinin kurutma verileri yardımıyla hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.

Kurutma Sıcaklığı	$D_{eff} \times 10^{12} (m^2/s)$	R
Gölge	0.636	0.9753
35°C	1.59	0.7562
50°C	6.36	0.8993

Bu tez çalışmasında kurutulmuş *Mentha piperita* örneklerine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayılarının $0.636 \cdot 10^{-12}$ – $6.36 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ değer aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak etkin difüzyon katsayılarının değişim grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. Ayrıca, kurutma sıcaklığının artmasıyla katının içerisindeki absorbe edilen ısıнын miktarına göre kütle transferinin de artması sonucu etkin difüzyon katsayısında artış olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.12 : Kurutma sıcaklığı ile etkin difüzyon katsayısı arasındaki ilişki

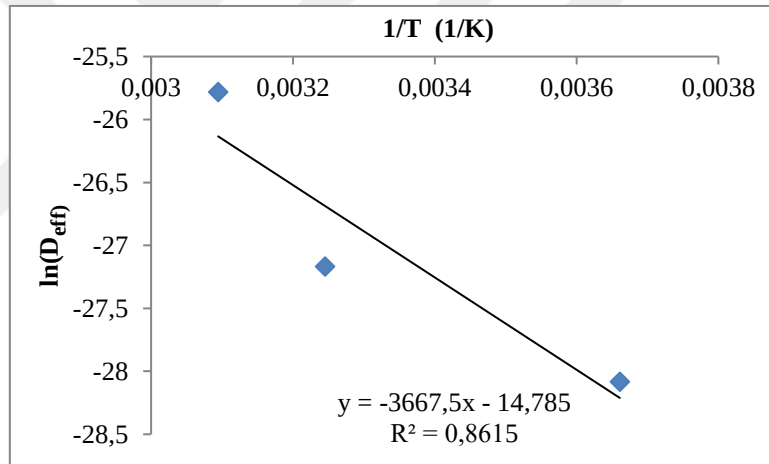
Bu konu ile ilgili olarak literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda değerlendirilmiştir.

Beigi [35] 40°C – 50°C – 60°C sıcaklıklarda sıcak havanın kullanılması ile kurutulan *Mentha spicata* yaprak örnekleri için etkin difüzyon katsayılarını sırasıyla 5.09×10^{-9} – 8.17×10^{-9} – $1.73 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplamıştır ve kurutma sıcaklığının artışıyla etkin difüzyon katsayısının da arttığını gözlemlemiştir. Doymaz [38], 35°C – 45°C – 55°C ve 60°C sıcaklıktaki hava yardımıyla kuruduğu *Mentha spicata* yaprak örnekleri için hesaplanan etkin difüzyon katsayılarının 3.067×10^{-8} ile $1.941 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında değerler aldığını ve sıcaklığın artması sonucu bu değerlerde de artış olduğunu bildirmiştir. Bir diğer çalışmada [18]; güneşe açık ortamda, 50°C sıcaklıktaki hava ortamında ve mikrodalga (700W) yardımıyla kurutulmuş *Mentha piperita* örneklerinin etkin difüzyon katsayıları sırasıyla 3.10×10^{-12} , 2.68×10^{-12} ve $4.09 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Tüm kurutma sıcaklıklarında daha yüksek hava akış hızlarının kullanılması, daha yüksek D_{eff} değerlerine yol açar. Mikrodalga kurutma, güneşte ve fırında (50°C) kurutmadan daha yüksek D_{eff} değerlerini vermiştir. Karakaplan vd. [198], 35°C – 50°C sıcaklıklarda kurutmuş oldukları *Mentha spicata* yaprak örneklerine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayılarının 1.31×10^{-12} ile $4.43 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Torki–Harchegani ve ark. [194],

sıcak hava ile kurutulmuş nane (*Mentha piperita*) yapraklarının D_{eff} değerlerinin (50–70°C'de) 1.809×10^{-9} ile 4.649×10^{-9} m²/s arasında değiştiğini rapor etmiştir. Mikrodalgada kurutulmuş nane yaprakları için D_{eff} değerlerinin 39.555×10^{-9} ile 110.552×10^{-9} m²/s arasında olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada hesaplanan etkin difüzyon katsayılarının, literatürde yer alan benzer türdeki nane örnekleri ile yapılan çalışmaların sonuçları ile uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Aktivasyon enerjisi hesaplamasında Eşitlik 2.12 kullanılmıştır. $1/T$ 'ye karşın $\ln D_{eff}$ değerleri grafiğe geçirilmiş ve oluşturulan doğrunun eğim değeri kullanılarak aktivasyon enerjisi değeri ulaşılmıştır (Şekil 4.13). Böylece, aktivasyon enerjisinin 30.49 kJ/mol olduğu tespit edilmiştir. Aktivasyon enerjisi, difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlı olduğunu, aktivasyon enerjisinin büyük değer almasının da difüzyon katsayısının sıcaklığa daha duyarlı olduğunu göstergesidir Farklı birkaç nane türü için literatür çalışmalarında yer alan aktivasyon enerjileri aşağıdaki çizelgede sunulmuştur (Çizelge 4.5).



Şekil 4.13 : Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi

Çizelge 4.5 : Farklı birkaç nane türü için literatürde yer alan aktivasyon enerjileri

Nane Türü	Kurutma Koşulları	Aktivasyon Enerjisi (E _a) (kJ/mol)	Literatür
<i>Mentha piperita</i>	50°C –70°C	43.46	[194]
<i>Mentha spicata</i>	35°C –60°C	62.96	[38]
<i>Mentha spicata</i>	35°C –50°C	44,31	[198]
<i>Mentha pulegium</i>	40°C–70°C	57.12	[197]
<i>Mentha spicata</i>	40°C –60°C	52.89	[35]
<i>Mentha piperita</i>	30°C–50°C (hava hızı 0.5 m/s)	27.784	[196]
	30°C –50°C (hava hızı 1 m/s)	24.122	
	30°C –50°C (hava hızı 1.5 m/s)	21.476	

4.5 Kurutma Şartlarının *Mentha piperita* Uçucu Yağ Bileşimi Üzerine Etkisi

Kasım ayında hasat edilen ve farklı koşullarda kurutulan *Mentha piperita* yapraklarının, uçucu yağ bileşenlerinin ve % bileşimlerinin yer aldığı çizelge aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.6).

Gölge ortamında kurutulan örneklerden destilasyon yolu ile çıkarılan uçucu yağların GC/MS analizi sonucu, 28 adet bileşen tanımlanmıştır. Bu bileşenler, toplam uçucu yağın %95.83'ünü oluşturmaktadır. Uçucu yağın temel bileşenlerinin, L-Menthol (%41.21), L-Menthon (%30.85), 1,8-cineol (%8.80), piperiton (%2.99), mentil asetat (%2.01), α -pinen (%1.49), β -Pinen (%1.18), sabinen (%1.08) olduğu değerlendirilmiştir.

35°C sıcaklığa ayarlanmış etüv ortamında kurutulmuş örnekler ait uçucu yağ analizinden elde edilen sonuçlara göre tanımlanan bileşen sayısı 34 olup, bunlar yağın %98.3'ünü oluşturmaktadır. Uçucu yağın ana bileşenlerinin, L-Menthol (%23.62), L-Menthon (%30.56), 1,8-cineol (%7.63), piperiton (%3.11), mentil asetat (%2.24), α -pinen (%1.59), β -Pinen (%1.22), sabinen (%1.08) olduğu belirlenmiştir.

50°C sıcaklığa ayarlanmış etüv ortamında kurutulmuş örnekler ait uçucu yağ analizinden elde edilen sonuçlara göre tanımlanan bileşen sayısı 27 olup, bunlar yağın %95.86'sını oluşturmaktadır. Uçucu yağın ana bileşenlerinin, L-Menthol (%24.97), L-Menthon (%28.83), 1,8-sineol (%6.77), piperiton (%2.58), mentil asetat (%19.49), α -pinen (%1.12), β -Pinen (%0.89), sabinen (%0.68) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6 : Kurutma yöntem/koşullarına göre *Mentha piperita* örneklerinin uçucu yağ bileşenleri.

#	Bileşen	Uçucu yağ bileşenleri (%)		
		Gölgede kurutma	Etüvde kurutma (35°C)	Etüvde kurutma (50°C)
1	α -pinene	1.49	1.59	1.12
2	3-p-Menthene	0.19	–	2.37
3	β -Pinene	1.18	1.22	0.89
4	Sabinene	1.08	1.08	0.68
5	β -Myrcene	0.74	0.69	0.39
6	α -Terpinen	–	0.15	–
7	1,8-Cineole	8.80	7.63	6.77
8	β -cis-Ocimene	–	1.06	0.51
9	p-Cymene	0.98	0.46	1.27
10	α - Terpinolen	–	0.26	–
11	Methylbutyl-2- isovalerate	0.32	0.34	0.30

Çizelge 4.6 (devam) :

12	3-Octanol	0.55	0.69	0.51
13	1-Octen-3-ol	0.14	0.19	0.13
14	L-Menthone	30.85	30.56	28.83
15	Menthylacetate	2.01	2.24	19.49
16	trans-Carane	–	19.84	–
17	L-Menthol	41.21	23.62	24.97
18	Piperitone	2.99	3.11	2.58
19	β -Santalene	0.27	0.26	–
20	cis-Geranylacetone	0.22	–	–
21	trans-Geranylacetone	–	0.23	–
22	1-Isopropylidene-4-methylcyclohexane	–	0.37	–
23	p-Menth-4-en-3-one	–	0.13	0.13
24	Cyclopentane, 1-methyl-3-(2-methyl-1-propenyl)-	0.42	–	0.41
25	2-Methyl-1-methylene-3-(1-methylethenyl)-cyclopentane	0.26	0.27	–
26	Ascaridol	–	–	0.35
27	p-Menth-1(7),8(10)-dien-9-ol	–	0.30	–
28	Isovalericacid, phenethyl ester	0.17	–	–
29	Ledol	0.24	0.2	0.14
30	Orcinol, monoacetate	0.17	–	–
31	Thymol	0.10	0.1	0.1
32	α -Cadinol	0.12	0.13	0.15
33	4-tert-Butyl-2-Methylphenol	–	0.12	–
34	2-Methylbenzothiazole	–	0.07	–
35	Lumazine	–	0.04	0.08
36	Nerolidol	–	0.05	–
37	2-Methylbenzo[b]thiophene 1-oxide	0.06	–	–
38	2,5-Dimethoxybenzaldehyde	0.16	–	–
39	Phytol	0.87	0.71	2
40	18-Crown-6 ether	0.15	0.10	0.43
41	Dimethoxyphenol	–	0.42	–
42	Caryophylleneoxide	–	–	0.28
43	Caryophylllicacid	–	0.07	–
44	4-Methyl-2-t-octylphenol	–	–	0.11
45	Heptaethyleneglycolmonodecylether	0.09	–	0.87
Toplam		95.83	98.3	95.86

Farklı kurutma yöntem ve koşullarının, *Mentha piperita* 'dan elde edilen uçucu yağın temel bileşenleri üzerinde fazla bir etkiye sahip olmadığı, ancak temel bileşen yüzdeleri

üzerinde dikkate değer bir etki oluşturduğu sonucunu doğurmuştur. Gölge ortamında kurutulmuş örnekler ve etüv ortamında kurutulmuş örneklerin kıyaslanması yapıldığında etüv ortamında kurutma sonucu ulaşılan uçucu yağın temel bileşenlerinden en önemlisi olan L-Mentol miktarında önemli kayıplar meydana gelmiştir.

Bu kaybın, kurutma sürecinde oluşan birtakım kimyasal dönüşümlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Kurutma sürecinde uçucu bileşiklerde gözlenen değişikliklerin, bitkinin sınıfına ve kurutma yöntemi ile şartlarına bağlı olduğu düşünülmektedir. *Lamiaceae* ailesine dahil olan bitkiler, uçucu yağları yapraklarının yüzey bölgelerine ya da yakınlarına depolarlar [199]. Dolayısıyla, nane örneklerinin etüv ortamında kurutulması sürecinde sıcaklık etkisi ile nane yapraklarında bulunan uçucu bileşiklerin bir miktar kaybı beklenebilen bir durumdur.

Bu konuda yapılan bazı araştırma çalışmaları aşağıda özetlenmiş ve bu çalışmanın sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Beigi vd. [42]; farklı yöntemlerle kuruttukları nane (*Mentha piperita* L.) yapraklarının uçucu yağ bileşiminde bulunan mentol, menton, mentil asetat miktarlarını; taze örneklerin %44.39–%15.36–%4.78, gölgede kurutulanların %39.07–%14.99–%6.10, 50°C–60°C–70°C’de sıcak havayla kurutulanların %35.01–%12.98–%8.66 ve %39.73–%13.8–%7.77 ve %42.32–%14.25–%5.2, 800W, 400W, 200W mikrodalgada kurutulanların %46.22–%9.15–%9.76 ve %47.50–%5.28–%16.26 ve %42.97–%3.66–%16.05 olarak tespit etmişlerdir. Yağın ana bileşiği olan mentolün, minimum 50°C sıcaklığa sahip havayla kurutulan yapraklarda, maksimum ise 400 W gücünde mikrodalgada kurutulmuş yapraklarda olduğu bulunmuştur. Uçucu yağın ikinci bileşeni olan menton yüzdesi, mikrodalga kurutmada önemli ölçüde kaybolmuştur. Özer [200] farklı yöntemler kullanarak kuruttuğu *Mentha piperita* yapraklarından elde edilen uçucu yağ bileşiminde bulunan mentol, menton, mentil asetat miktarlarını; güneşte (24 saat 35°C) kurutmada %38.44–%24.79–%4.32, gölgede (48 saat 25°C) kurutmada %36.87–%25.84–%4.15, etüvde 70°C (3 saat) kurutmada %37.71–%23.79–%5.95 olarak tespit etmiştir. Mentol oranının güneşte kurutmada en fazla, etüvde kurutmada en düşük orana sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışkan vd. [201] farklı yöntemlerle kuruttuğu *Mentha piperita* L.’nin uçucu yağ bileşiminde bulunan mentol, menton ve metil asetat miktarlarını sırasıyla; güneşte kurutmada %17.337–%39.138–%0.749, gölge kurutmada %17.976–%37.178–%1.467, etüv (38°C) de kurutmada %16.078–%40.390–%1.420 olarak tespit etmiştir. Yüksek uçucu yağ içeriklerinin gölgede

kurutulan bitki materyalinde, en düşük yağ içeriği ise güneşte kurutma yönteminde olduğunu belirtmişlerdir.

Nanenin uçucu yağ bileşimindeki mentol oranıyla ilgili farklı görüşler vardır. Duriyaprapan vd. [202] kurutma sıcaklığının artmasıyla mentol oranının arttığını bildirirken, Franz vd. [203] sıcaklığın artmasıyla mentol oranının düşük olabileceğini bildirmiştir.

Literatür çalışmalarında tespit edilen mentol ve menton oranlarının bu çalışmada bulunan oranlardan bir miktar farklı çıktığı görülmüştür. Sonuçların farklı olmasının sebepleri; iklim koşulları, toprağın morfolojisi, hasat yapılan zaman ve kurutma yöntemi ile bunların bir kısmının veya tamamının etkileşimi olarak sıralanabilir.

Çalışmanın devamında, mentol yüzdesi bakımından en zengin sonuç veren gölgede kurutma yöntemi ile devam edilmiştir.

4.6 Hasat Zamanının Uçucu Yağ Bileşimine Etkisi

Çalışmada kullanılan *Mentha piperita*; Malatya ili Kale ilçesinde yetiştirilmiş olup, nane örnekleri 2019 yılının Ağustos, Ekim ve Kasım aylarında hasat edilmiştir. Farklı zamanlarda toplanan ve farklı toprak tipinde yetiştirilen *Mentha piperita* yapraklarından elde edilen uçucu yağın bileşenleri ile % bileşimlerinin yer aldığı çizelge aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 : Farklı zamanlarda hasat edilen ve gölgede kurutulan *Mentha Piperita*'nın uçucu yağ bileşenleri

#	Bileşen	Uçucu yağ bileşenleri (%)		
		Ağustos	Ekim	Kasım
1	α -pinene	1.87	1.89	1.46
2	β -Pinene	2.25	2.99	2.57
3	Sabinene	1.39	—	—
4	β -Myrcene	1.15	1.12	0.76
5	1,8-Cineole	9.74	12.55	9.33
6	p-Cymene	1.21	0.8	0.36
7	L-Menthone	30.4	30.75	—
8	Linalool	1.83	—	—
9	trans-Carane	9.49	—	—
10	L-Menthol	32.31	35.08	49.09
11	α -terpineol	1.23	1.33	—

Çizelge 4.7 (devam) :

12	Piperitone	5.06	3.71	3.78
13	3-p-Menthene	2.14	–	–
14	Menthylacetate	–	–	2.92
15	β -cis-Ocimene	1.15	–	0.41
16	Menthofuran	–	–	22.78
17	Pulegon	22.48	–	–
18	(+)-Carvomenthene	–	2.2	–

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde, *Mentha piperita*'nın uçucu yağındaki önemli bileşen olan mentolün hasat zamanına göre değişimi yaklaşık olarak %30–%49 arasındadır. Ağustos ve Ekim ayında L-menthon'a kayan dönüşüm Kasım ayı için Menthofuran'a yönelmiştir.

İlk hasadı Ekim ayında yapıldıktan sonra aynı yerden Kasım ayında ikinci hasadı yapılan *Mentha piperita* bitkisinin önemli oranda yer alan uçucu yağ bileşenleri ve oranları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : İlk hasadı 2019 yılı Ekim ayında ikinci hasadı ise 2019 yılı Kasım ayında yapılan *Mentha piperita*'ya ait önemli uçucu yağ bileşenleri.

#	Bileşen	Uçucu Yağ bileşenleri (%)	
		2019 Ekim ayının birinci hasadı	2019 Ekim ayının ikinci hasadı (Kasım 2019)
1	α -pinene	1.89	1.68
2	β -Pinene	2.99	1.31
3	Sabinene	–	1.37
4	β -Myrcene	1.12	0.97
5	1,8-Cineole	12.55	8.86
6	p-Cymene	0.8	0.33
7	L-Menthone	30.75	–
8	L-Menthol	35.08	45.47
9	α -terpineol	1.33	–
10	Piperitone	3.71	3.88
11	Menthylacetate	–	2.6
12	Neoisomenthol	–	–
13	β -cis-Ocimene	–	0.99
14	Menthofuran	–	27.08
15	(+)-Carvomenthene	2.2	–
16	Isomentholacetate	–	–

Çizelge 4.8'de gösterildiği gibi *Mentha piperita* uçucu yağ bileşiminde önemli olan L-mentol bileşeni birinci hasata nispeten ikinci hasatta daha fazla bulunmuştur. Bunun

sebebi, Kasım ayında bitkinin mentol bileşeni bakımından zenginleşmesidir. Bu durumu, Çizelge 4.7'deki veriler de doğrulamaktadır. Çizelge 4.7'de uçucu yağ içeriğinde %49.09 olarak tespit edilen mentol içeriği, ikinci hasatta (Kasım ayının aynı gününde yapılmıştır) %45.47 olarak bulunmuştur. İlk hasat ile ikinci hasat ürünleri arasında yaklaşık %3.6'lık bir mentol oranı farkı oluşmuştur ki bu da normal bir durumdur.

Daha önce yapılan çalışmalar incelenirken; Chalchat vd. [204], Bouverat–Bernier'in 1988 yılının haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında nane (*Mentha piperita*) yapraklarını hasat ederek bileşim yüzdesine baktığını rapor etmiştir. Mentol ve metil asetat bileşenleri haziran ayından eylül ayına kadar artış gösterirken, menton bileşeni ise haziran ayından eylül ayına kadar bir düşüş olduğu tespit edildiği vurgulanmıştır. Javanmard [205]. *Mentha piperita* yapraklarını iki kere hasat ederek uçucu yağ bileşenlerine bakmıştır. Birinci hasat zamanında mentol bileşeni %31.82–37.87 menton bileşeni ise %23.85–30.90 olarak bulunurken ikinci hasat zamanında mentol bileşen yüzdesi %44–47.31, menton bileşen yüzdesi de %3.82–10.62 olarak bulunmuştur. İkinci zamanda hasat edilen nane yapraklarının birinci hasat zamanına göre mentol oranı artmışken menton oranı azalmıştır. Sonuçlar, ikinci hasattaki uçucu yağ içeriği ve uçucu yağ veriminin ilk hasattakinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum, ikinci hasat zamanında sıcaklık ve aydınlatma süresi gibi iklim koşullarının daha iyi olduğundan kaynaklanıyor olabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile yukarıda verilen literatür sonuçları uyum içindedir.

4.7 Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları

Nane uçucu yağının minimum inhibisyon konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla yapılan testlerde, kırmızı renge dönmenin gözlemlendiği test tüplerindeki uçucu yağ konsantrasyonu belirlenmiştir. Sıvı besiyeri ortamında görülen kırmızı halka mikroorganizmanın canlı olduğunu, test edilen uçucu yağdan mikroorganizmaların etkilenmediğini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'da belirtilmiştir. Tabloda uçucu yağın mikroorganizmaların gelişimi/çoğalması üzerine etkisi, etkisinin olduğu durumlar '+', olmadığı durumlar ise '-' ile gösterilmiştir. '++' ise negatif kontrolün çoğaldığını/geliştiğini ifade etmektedir.

Çizelge 4.9 : Farklı konsantrasyonlarda nane uçucu yağının mikroorganizma gelişimine etkisi

Mikroorganizma		Uçucu yağ konsantrasyonu (µL/mL)							Negatif Kontrol
		400	200	100	50	25	12.5	6.25	
Gram Pozitif Bakteriler	<i>S.aureus</i>	+	+	+	+	—	—	—	++
	<i>B.cereus</i>	+	+	+	+	+	—	—	++
Gram Negatif Bakteriler	<i>E.coli</i>	+	+	+	—	—	—	—	++
	<i>Salmonella</i>	+	+	+	—	—	—	—	++
		Uçucu yağ konsantrasyonu (µL/mL)							Negatif Kontrol
		350	175	87.5	43.25	21.63	10.82	5.41	
Mayalar	<i>C.albicans</i>	+	+	—	—	—	—	—	++
	<i>S.cereviciae</i>	+	+	+	—	—	—	—	++

(+): Uçucu Yağın Etkisi var (Renk değişimi yok)

(-): Uçucu Yağın Etkisi yok (Renk kırmızıya döndü)

(++): Mikroorganizmalar gelişmekte/çoğalmakta

Çizelge 4.9'daki verilere göre gram pozitif bakteriler, gram negatif bakteriler ve mayalar için belirlenen minimum inhibisyon konsantrasyonları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çizelgede ayrıca pozitif kontrol olarak kullanılan ampisilin, gentamisin ve tetrasiklin antibiyotiklerinin de minimum inhibisyon konsantrasyonları da yer almaktadır.

Çizelge 4.10 : Nane uçucu yağının antimikrobial test sonuçları (MIC/MİK)

Mikroorganizma		Uçucu Yağ Konsantrasyonu (µL/mL)	Negatif Kontrol	Pozitif Kontrol (µg/mL)		
				Tetrasiklin	Ampisilin	Gentamisin
Gram +	<i>S.aureus</i>	50	+	1.56	3.12	1.56
	<i>B.cereus</i>	25	+	1.56	6.25	1.56
Gram –	<i>E.coli</i>	100	+	1.56	12.50	6.25
	<i>Salmonella</i>	100	+	1.56	6.25	3.12
Maya	<i>C.albicans</i>	175	+	Test edilmedi		
	<i>S.cereviciae</i>	87,5	+	Test edilmedi		

* Gelişme var

Bu sonuçlarla, nane uçucu yağının Gram pozitif bakterilere etkisinin Gram negatif bakterilere kıyasla daha yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir. En fazla etkiyi *B. cereus* gram pozitif bakterisine karşı göstermiştir. Gram negatif bakterilere ise aynı oranda etki etmiştir. Her iki gram negatif bakteri türüne karşı da 100 µL/mL konsantrasyonda etki göstermiştir. Gram pozitiflerde ise bakteri türüne göre etki oranı da değişiklik göstermektedir. Mayalara da karşı da etkili olduğu açıkça görülmektedir. *S. cerevisiae*'ya karşı *C. albicans*'a kıyasla daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Nane uçucu yağının *B. cereus* ve *S. aureus*'in gelişmelerini inhibe etmek için sırasıyla 25 ve 50 µL/mL'lik konsantrasyonlar, *E. coli* ve *Salmonella*'nın gelişimlerini inhibe etmek aynı miktarda 100 µL/mL konsantrasyonlar yeterli olurken, *C. albicans* ve *S. cerevisiae*'nin gelişimlerinin engellenmesi sırasıyla 175 ve 87.5 µL/mL'lik konsantrasyonlarla mümkün olmuştur.

Elde edilen bulgulara göre, Gram pozitif bakterilerden *B. cereus*'un nane uçucu yağına karşı en hassas bakteriler olduğu belirlenirken, Gram pozitif bakterilerle gram negatif bakterilere etkisinin farklı seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu durum gram pozitiflerle negatiflerin hücre duvar yapılarının birbirlerinden farklı olması ile açıklanabilir. Mayalarla kıyaslandığında da aynı sonuç söz konusudur. Bu da nane uçucu yağının antimikrobiyal etkide hedefinin hücre duvarı olduğunu göstermektedir. Nane uçucu yağı mücadele edilmesi oldukça zor olan *C. albicans* maya türüne karşı da etkili olması hem de düşük sayılabilecek bir konsantrasyonda etkili bir antimikrobiyal ajan olduğunu göstermektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- 1- *Mentha piperita* türü Malatya ili Kale ilçesinde yetiştirilmiştir. Bitki yörenin iklim ve toprak koşullarına uyum sağlamıştır.
- 2- Toplanan bitki örnekleri; gölgede ve etüvde (etüvde 35°C ve 50°C sıcaklıkta) iki farklı yöntemle kurutularak kurutma kinetiğine bakılmıştır. Kurutma verileri dokuz farklı matematiksel model için uyarlanmış ve her üç durum için de Midilli modelinin en iyi uyum gösterdiği belirlenmiştir. Buna ek olarak üç durum için toplanan veriler bir yapay sinir ağı modeli geliştirmek için kullanılmıştır. YSA modelinin tüm koşullar için çok küçük bir hata ile öngöründe bulunduğu gözlenmiştir. Matematiksel model parametreleri her bir durum için (gölge, etüvde 35°C ve 50°C) ayrı ayrı belirlenirken YSA modelinde yöntem numarası (gölge=1, etüvde 35°C=2 ve etüvde 50°C=3) ve zaman verileri girilerek tek bir model ile sonuca ulaşılabilmektedir.
- 3- Kurutma eğrileri oluşturulmuş, etkin difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri belirlenmiştir.
- 4- Kurutma yönteminin uçucu yağ bileşimine etkisi araştırılmış ve gölgede kurutulan numunelerden çıkarılan uçucu yağın temel bileşeni mentolün en yüksek yüzdeye (%41.21) sahip olduğu tespit edilmiştir.
- 5- Bitkinin hasadı; 2019 yılı Ağustos, Ekim ve Kasım aylarında gerçekleştirilmiştir. Hasat zamanının uçucu yağ bileşeni yüzdesinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Malatya ili Kale ilçesi iklim koşullarında en uygun hasat zamanının Kasım ayı olduğu tespit edilmiştir. Kasım ayında yapılan hasat sonrası elde edilen uçucu yağda yaklaşık %49 mentol içeriğine ulaşılmıştır.
- 6- Aynı bölgeden 2019 yılı Ekim ayında hasat edilen bitkinin tekrardan büyümesi beklenerek 2019 yılı Kasım aylarında yeniden büyüyen bitkiden ikinci hasat yapılmış ve uçucu yağ bileşenleri ve bileşenlerin yüzde miktarları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, mentol oranının yükseldiği (%45.7) görülmüş, bu yükselmenin başlıca sebebinin hasat için Kasım ayının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Kasım ayında ilk hasat ve yeniden büyüyen bitkiden yapılan ikinci hasat kıyaslamasında mentol oranı bakımından yaklaşık %3.6 fark olduğu gözlenmiştir. İlk

hasatı yapılan bitkinin daha olgun olmasından dolayı daha yüksek mentol içeriğine sahip olması beklenen bir durumdur.

- 7- Uçucu yağın antimikrobiyal aktivitesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, Gram pozitif bakterilerden *B. cereus* 'un nane uçucu yağına karşı en hassas bakteriler olduğu belirlenirken, Gram pozitif bakterilerle gram negatif bakterilere etkisinin farklı seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sonuçları değerlendirilerek bazı öneriler oluşturulmuş ve aşağıda sıralanmıştır.

Mentha piperita yapraklarından mentolce zengin uçucu yağ eldesi için Malatya ili Kale ilçesi koşullarında hasat zamanı Kasım ayında yapılmalıdır. Bitkilerin kurutulması için yine mentol içeriği bakımından gölgede kurutma tercih edilmelidir. Kurutma eğrilerinin modellenmesi için geliştirilen YSA modeli, deneysel verilerle çok iyi uyum gösterdiğinden; bu tip modellemelerde yapay zeka tekniklerinin kullanılması çok büyük avantaj sağlayacaktır.

Mentha piperita uçucu yağının oldukça zor olan *C. albicans* maya türüne karşı düşük sayılabilecek bir konsantrasyonda etkili bir antimikrobiyal ajan olması antimikrobiyal etki konusunda yapılacak çalışmalarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Katma değeri yüksek antimikrobiyal/antibakteriyel ürünlerin üretilmesinde büyük oranda ithal edilen *Mentha piperita* uçucu yağının doğal ve etkili bir kaynak olduğu ve bu alanda çalışmalar yapılmasının ekonomiye katkı sağlayacağı bu çalışmanın önerisi olarak sunulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Baydar, H.** (2005). Tıbbi, Aromatik ve Keyf Bitkileri Bilimi ve Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 113–115.
- [2] **Craker, L. E., Gardner, Z. ve Etter, S.C.** (2003). Herbs in American Fields: A Horticultural Perspective of Herb and Medical Plant Production in the United States, *Horticultural Science*, **38**, 977–983.
- [3] **Craker, L. E. ve Gardner, Z.** (2005). Sustaining the Harvest: Challenges in MAP Production and Markets, *Acta Horticulturae*, **676**, 25–30.
- [4] **Başer, K.H.C.** (1998). Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Endüstriyel Kullanımı, *TAB Bülteni*, 13–14, 19–43.
- [5] **Kan, Y.** (2005). Production and consumption potential of medicinal and aromatic plants in Turkey. Pharmacognosy and Phytotherapy Symposium, 27–28 May İstanbul, *Proceedings Book*, 56–61.
- [6] **Ceylan, A.** (1997). Tıbbi Bitkiler–II.p.500. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*.
- [7] **Bektaşoğlu, S.** (2006). *Uçucu yağlar*, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi, Ankara.
- [8] **Thorne, R.F.** (1992). Classification and geography of the flowering plants, *The Bot. Rev.*, **58**, 225–348.
- [9] **Davis, P.H.** (1985). Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. **1–9**, Edinburg Univ. Press, Edinburg.
- [10] **Wagstaff, S.J., Hickerson, L., Spangler, R., Reeves, P.A. and Olmstead, R.G.** (1998). Phylogeny in *Labiataes*.1., inferred from cpDNA sequences, *Plant Systematic Evolution*, **209**, 265–274.
- [11] **Lax, V.** (2014). *Estudio de la Variabilidad química: Propiedades Antioxidantes y Biocidas de Poblaciones Espontáneas de Rosmarinus officinalis L. en la Región de Murcia* (Ph.D. Thesis). University of Murcia, Murcia, Spain.
- [12] **Harley, R.M., Mentha L.** Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Volume 7, Edinburgh University, Edinburgh. 384–395.
- [13] **Kocabıyık H., ve Demirtürk B.S.** (2008). Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5:3, 239–240.
- [14] **Miguel, G., Simoes, M., Figueiredo, A., Barroso, J., Pedro, L., Carvalho, L.** (2004). Composition and antioxidant activities of the essential oils of *Thymus caespitius*, *Thymus camphoratus* and *Thymus mastichina*. *Food Chem.*, **86**, 183–188.
- [15] **Taneja, S.C. and Chandra, S.** (2012). *Woodhead Publishing Series in Food Science Technology and Nutrition*. Handbook of herbs and spices (second edition), **1**, 366–387.
- [16] **Lawrence B.M. (ed.).** (2006). *Mint: The Genus Mentha*. EBSCO Publishers, CRC Press, Ipswich.

- [17] **Bhardwaj, S.D. and L.J. Srivastava, L.J.** (1984). Harvesting management on *Mentha citrata* Ehrh. In mid-hill condition of Himachal Pradesh. *Indian. Perfum.*, **28**(1), 38-41.
- [18] **Arslan, D., Özcan, M. M., and Mengeş, H. O.** (2010). Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.), *Energy Conversion and Management*, **51**(12), 2769–2775.
- [19] **Tarhan, S., Telci, I., Tuncay, M.T., and Polatci, H.** (2010). Product quality and energy consumption when drying peppermint by rotary drum dryer, *Ind. Crop Prod.*, **32**(3), 420–427.
- [20] **Xiao J.** (2016). Report of the international symposium on phytochemicals in medicine and food. *Food Chem.*, **204**, 497–498.
- [21] **Reid, A.M., Oosthuizen, C.B., Fibrich, B.D., Twilley, D., Lambrechts, I.A., de Canha, M.N., Rademan, S., Lall, N.** (2018). Traditional Medicine, in: Lall, N. (ed.), *Medicinal Plants for Holistic Health and Well-Being*. Academic Press, 1–11.
- [22] **Leff, B., Ramankutty, N., Foley, J.A.** (2004). Geographic distribution of major crops across the world, *Global Biogeochemical Cycles*, **18**, 1–27.
- [23] **Khalil, A.F., Elkatry, H.O., El Mehairy, H.F.** (2015). Protective effect of peppermint and parsley leaves oils against hepatotoxicity on experimental rats, *Annals of Agricultural Sciences*, **60**, 353–359.
- [24] **Spirling, L.I, Daniels, I.R.** (2001). Botanical perspectives on health peppermint: More than just an after-dinnermint, *J. R. Soc. Promot Health*, **121**, 62–63.
- [25] **Valente, J.S.S., Fonseca, A.O.S, Denardi, L.B, Dal Ben, V.S., Filho F.S.M., Baptista, C.T., Braga, C.Q., Zambrano, C.G., Alves, S.H., Botton, S.A., Pereira, D.I.B.** (2016). In Vitro Susceptibility of *Pythium insidiosum* to *Melaleuca alternifolia*, *Mentha piperita* and *Origanum vulgare* Essential Oils Combinations, *Mycopathologia Journal*, **181**(7–8), 617–22.
- [26] **Barros, A.D., Morais, S.M., Ferreira, P.A.T., Vieira, I.G.P., Craveiro, A.A., Fontenelle, R.O.S., Menezes, J.E.S.A., Silva, F.W.F., Sousa, H.A.** (2015). Chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha* species, *Industrial Crops and Products*, **76**, 557–564.
- [27] **Shiwakoti, S., Zheljazkov, V.D., Schlegel, V., Cantrell, C.L.** (2016). Growing spearmint, thyme, oregano, and rosemary in Northern Wyoming using plastic tunnels, *Industrial Crops and Products*, **94**, 251–258.
- [28] **Abdou, M., and M. A. H. Mohamed.** (2014). Effect of plant compost, salicylic and ascorbic acids on *Mentha piperita* L. plants, *Biological Agriculture & Horticulture*, **30**, 131–143.
- [29] **Maffei, M., Mucciarelli, M.** (2003). Essential oil yield in peppermint /soybean strip intercropping, *Field Crops Research*, **84**, 229–240.
- [30] **Johari, N.Z., Ismail, I.S., Sulaiman MR, Abas F, Shaari K.** (2015). Acute toxicity and metabolomics analysis of hypocholesterolemic effect of *Mentha piperita* aqueous extract in Wistar rats, *International Journal of Applied Research in Natural Products.*, **8**(1), 1–11.

- [31] **Díaz–Maroto, M. C., Pérez–Coello, M. S., González Vinas, M. A., Cabezudo, M. D.** (2003). Influence of drying on the flavor quality of spearmint (*Mentha spicata* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51(5)**, 1265–1269.
- [32] **Leunge, A.Y., and Foster, S.** (1996). *Encyclopedia of Common Natural Ingredients Used in Food, Drugs, and Cosmetics* (2nd ed., pp.649). New York: John Wiley&Sons, Inc.
- [33] **Masada, Y.** (1976). Analysis of Essential Oils by Gas Chromatography and Mass Spectrometry, *Wiley*, New York, 13–22.
- [34] **Pushpangadan, P., Tewari, S.K.,** (2006). *Handbook of Herbs&Spices*, ed. KV Peter, *Peppermint*, National Botanical Research Institute, India, 460–81.
- [35] **Beigi, M.** (2019). Drying of Mint Leaves: Influence of the Process Temperature on Dehydration Parameters, Quality Attributes, and Energy Consumption, *J. Agr. Sci. Tech*, **21**, 77–88.
- [36] **Mirhosseini, F., Rahimmalek, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Taghipoor, M.** (2015). Effect of different drying treatments on essential oil yield, composition and color characteristics of *Kelussiaodoratissima* Mozaff, *Journal of Essential Oil Research*, **27**, 204–211.
- [37] **Dadali, G., Demirhan, E., Özbek, B.** (2007). Color Change Kinetics of Spinach Under going Microwave Drying, *Drying Technology*, **25**, 1713–1723.
- [38] **Doymaz, I.** (2006). Thin–Layer Drying Behaviour of Mint Leaves, *J. Food Eng.*, **74**, 370–375.
- [39] **Beigi, M.** (2017). Mathematical Modelling and Determination of Mass Transfer Characteristics of Celeriac Slices under Vacuum Drying, *Periodica Polytechnica Chemical Engineer*, **61**, 109–116.
- [40] **Tamboli, T. G., Bhong, M.G.** (2018). Review on Different Drying Methods: Applications & Advancements. *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, **7**, 33–40.
- [41] **Consuelo Diaz–Maroto, M., Soledad Perez Coello, M., Gonzalez Vinas, M. A., Dolores Cabezodo, M.** (2003). Influence of Drying on the Flavour quality of Spearmint (*Mentha spicata* L.), *J. Agric. Food Chem.*, **51(5)**, 1265–1269.
- [42] **Beigi, M., Torki–Harchegani, M., Pirbalouti, A.G.** (2018). Quantity and chemical composition of essential oil of peppermint (*Mentha × piperita* L.) leaves under different drying methods, *International Journal of Food Properties*, **2012**, 1532–2386.
- [43] **Kaya, A., Aydin, O.** (2009). An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves, *Energy Conversion and Management*, **50**, 118–124.
- [44] **De Torres, C., Díaz–Maroto, M.C., Hermosín–Gutiérrez, I., Pérez–Coello, M.S.** (2010). Effect of freeze–drying and oven–drying on volatiles and phenolic composition of grape skin, *Anal. Chem. Acta*, **660**, 177–182.
- [45] **Sabarez, H.T.** (2012). Computational modeling of the transport phenomena occurring during convective drying of prunes, *J. Food Eng.*, **111 (2)**, 279–288.
- [46] **Kaya, A.** (2008). *Kurutmada ısı ve kütle transferinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi* (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- [47] **Dadalı, G.** (2007). *Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- [48] **Akgül, A.** (1993). Baharat bilimi ve teknolojisi, *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, 15, 449.
- [49] **Maisnam, D., Rasane, P., Dey, A., Kaur, S., Sarma, C.** (2017). Recent advances in conventional drying of foods, *Journal Food Technology*, **1**, 25–34.
- [50] **Cemeroğlu, B., Özkan, M.** (2004). ‘Kurutma Teknolojisi’, B. Cemeroğlu (baş editör), *Meyve Sebze İşleme Teknolojisi*, (2. Cilt, pp.479–613). Ankara: Bizim Büro Yayınevi.
- [51] **Dikbasan, T.** (2007). *Determination of effective parameters for drying of apples* (Yüksek Lisans Tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Türkiye.
- [52] **El-mesery, H., Mwithiga, G.** (2015). Performance of a convective, infrared and combined infrared-convective heated conveyor-belt dryer, *J. Food Sci. Technol.*, **52**, 2721–2730.
- [53] **Bar-Ngew, S., Therdthai, N., Dhamvithee, P., Zhou, W.** (2015). Effect of microwave vacuum drying and hot air drying on the physicochemical properties of durian flour, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **50**, 305–312.
- [54] **Kocabıyık, H., Yılmaz, N., Tuncel, N.B., Sumer, S.K., Buyukcan, M.B.** (2014). The effects of middle infrared radiation intensity on the quality of dried tomato products, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **49**, 703–710.
- [55] **Doymaz, I.** (2014). Suitability of thin-layer drying models for infrared drying of peach slices, *J. Food Process. Preserv.*, **38**, 2232–2239.
- [56] **Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S.** (1996). Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Part 11. Quality Evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, **20**, 145–156.
- [57] **Zakipour, E., Hamidi, Z.** (2011). Vacuum Drying Characteristics of Some Vegetables, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, **30(4)**, 97–105.
- [58] **Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J.** (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, **188**, 32–49.
- [59] **Parit, R. K., Prabhu, M.C.S.,** (2017). Microwave Fruit and Vegetables Drying, *IARJSET*, Vol. **4(2)**, 2393–8021.
- [60] **Nunes, C.A.S., Ribeiro, T.I.B. and Nunes, J.M.S.A.** (2015). Comparative analysis of dehydration methods for apple fruit, *282 Revista de Ciências Agrárias*, **38(3)**: 282–290.
- [61] **Erdem, T.** (2007). *Ozonlu Su ile Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması* (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [62] **Decareau, R.V.** (1985). *Microwave in the Food Processing Industry*, Academic Press, Orlando, Florida, New York.
- [63] **Kantrong, H., Tansakul A., Mittakul, G.S.** (2014). Drying characteristics and quality of shiitake mushroom under going microwave-vacuum drying and

microwave–vacuum combined with infrared drying, *J. Food Sci. Technol.*, **51**, 3594–3608.

- [64] **Chua, K.J., Chou, S.K.** (2003). Low–cost drying methods for developing countries, *Trends in Food Science&Technology*, **14**, 519–528.
- [65] **da CostaRibeiro, A. S., Aguiar–Oliveira, E.&Maldonado, R. R.** (2016). Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. *LWT–Food Science and Technology*, **72**, 407–415.
- [66] **Sagar, V. R., Suresh Kumar, P.** (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review, *J. Food Sci. Technol.*, **47(1)**:15–26.
- [67] **Baker, G. J.C.** (1997). *Industrial Drying of Foods*, (1st Ed.), New York: Chapman&Hall Publication.
- [68] **Doymaz, İ.** (1998). *Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen–Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [69] **Demirtaş, C.** (1998). *Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi* (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [70] **Güngör, A.** (2013). Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, (p. 43–63). İzmir, 17–20 Nisan,
- [71] **Saravacos, G.D., Charm, S.E.** (1962). A Study of The Mechanism of Fruit and Vegetable Dehydration, *Food Tech.*, **16:1**, 78–81.
- [72] **Roberts, J. S.** (1999). *Understanding The Heat and Mass Transfer of Hygroscopic Porous Materials*, (Doctoral Thesis). The State University Of New Jersey ABD.
- [73] **Başaran, B.** (2006). *Mısırın Akışkan Yatakta Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [74] **Bani A.** (2014). *Kızılciğın infrared ısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [75] **Puente–díaz, L., Ah–Hen, K., Vega–Gálvez, A., Lemus–Mondaca, R., DiScala, K.** (2013). Combined infrared–convective drying of murta (*Ugnimolinae Turcz*) berries: Kinetic modeling and quality assessment, *Dry Technol*, **31(3)**, 329–338.
- [76] **Bingöl, G.** (2009). *Gıda işlemede kurutma teknolojilerinin temel ilkeleri IV* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [77] **Giri, S.K., Prasad, S.** (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave vacuum and convective–hot air–dried mushrooms, *J. Food Engineer*, **78**, 512–521.
- [78] **Kadam, D.M., Goyal, R.K., Gupta, M.K.** (2011). Mathematical modeling of convective thin–layer drying of basil leaves, *J. Med. Plants Res*, **5(19)**, 4721–30.

- [79] **Daniel I. Onwude, Norhashila Hashim, Rimfiel B. Janius, Nazmi Mat Nawi, and Khalina Abdan.** (2016). Institute of Food Technologists Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol.15, 599-618.
- [80] **Özdemir, M., Devres, Y.O.** (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting, *Journal of Food Engineering*, **42**, 225–233.
- [81] **Fortes, M., Okos, M.R.** (1981). Non-equilibrium thermodynamics approach to heat and mass transfer in cornkernels, *Trans. ASAE*, **22**, 761–769.
- [82] **Keey, R.B.** (1972). *Drying Principles and Practice*. Pergamon Press, Oxford.
- [83] **Zomorodian, A., & Moradi, M.** (2010). Mathematical modeling of forced convection thin layer solar drying for Cuminumcyminum, *Journal of Agricultural Science and Technology*, **12**, 401–408.
- [84] **Murthy, T.P.K., Manohar, B.** (2012). Microwave-drying of mango ginger (*Curcuma amada Roxb*): prediction of drying kinetics by mathematical modeling and artificial neural network, *Intl. J. Food Sci. Technol.*, **47(6)**, 1229–36.
- [85] **Akbulut, A., & Durmus, A.** (2009). Thin layer solar drying and mathematical modeling of mulberry, *International Journal of Energy Research*, **33**, 687–695.
- [86] **Vijayaraj, B., Saravanan, R., & Renganarayanan, S.** (2007). Studies on thin layer drying of bagasse, *International Journal of Energy Research*, **31**, 422–437.
- [87] **Bagheri, H., Arabhosseini, A., Kianmehr, M. H., & Chegini, G. R.** (2013). Mathematical modeling of thin layer solar drying of tomato slices, *Agric Eng Int: CIGR Journal*, **15(1)**, 146–153.
- [88] **Midilli, A., & Kucuk, H.** (2003). Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy, *Energy Conversion and Management*, **44**, 11–22.
- [89] **El-Sebaei, A. A., & Shalaby, S. M.** (2013). Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint, *Energy Conversion and Management*, **74**, 109–116.
- [90] **Balasubramanian, S., Sharma, R., Gupta, R. K., & Patil, R. T.** (2011). Validation of drying models and rehydration characteristics of betel (*Piper betel* L.) leaves, *Journal of Food Science and Technology*, **48(6)**, 685–691.
- [91] **Sacilik, K., & Elicin, A.** (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices, *Journal of Food Engineering*, **73**, 281–289.
- [92] **Midilli, A.** (2001). Determination of pistachio drying behaviour and conditions in solar drying system, *Int. J. Energy Res.*, **25**, 715–725.
- [93] **Erentürk, S., Gülaboğlu, M.S., Gültekin, S.** (2004). The thin layer drying characteristics of rosehip, *Biosyst. Eng.*, **89:2**, 159 – 166.
- [94] **Yousefi, A. R., Niakosari, M., & Moradi, M.** (2013). Microwave assisted hot air drying of papaya (*Carica papaya* L.) pretreated in osmotic solution, *African Journal of Agricultural Research*, **8(25)**, 3229–3235.

- [95] **Toğrul, I.T., Pehlivan, D.** (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot, *Journal of Food Engineering*, **58**, 23–32.
- [96] **Kadam, D.M., Goyal, R.K., Singh, K.K., Gupta, M.K.** (2011). Thin layer convective drying of mint leaves, *Journal of Medicinal Plants Research*, **5**:2,164–170.
- [97] **Crank, J.** (1975). The mathematics of diffusion. Oxford (England): Clarendon Press.
- [98] **Tutuncu, M.A., Labuza, T.P.** (1996). Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient, *J. Food Eng.*, **30**,433–47.
- [99] **Sun, J., Hu, X., Zhao, G., Wu, J., Wang, Z., Chen, F.** (2007). Characteristics of thin-layer infrared drying of apple pomace with and without hot air pre-drying, *Food Sci. Technol. Int.*,**13**(2), 91–97.
- [100] **Agnihotri, V., Jantwal, A., & Joshi, R.** (2017). Determination of effective moisture diffusivity, energy consumption and active ingredient concentration variation in *Inularacemosa* rhizomes during drying, *Industrial Crops and Products*, **106**, 40–47.
- [101] **Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A., Virseda, P.** (2000). Thin-layer drying behaviour of vegetable wastes from wholesale market, *Drying Technology*, **18**:4–5, 995–1006.
- [102] **Crisp, J., Woods, J.L.** (1994). The drying properties of rapeseed, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **57**, 89–97
- [103] **Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A.** (1996). Thin-layer drying characteristics of garlic slices, *Journal of Food Engineering*, **29**, 75–97.
- [104] **Adabi, M. E., Minaei, S., Motavalli, A., Taghizadeh, A., & Azadbakht, M.** (2013). Energy consumption, effective moisture diffusion and activation energy in the drying of thyme leaves, *International Journal of Agronomy and Plant Production*,**4**(9), 2404–2412.
- [105] **Salih, A.E., Salih, M.** (2016). *Extraction of Essential Oil from Spearmint (Mentha spicata var. Viridis L.)* (Master thesis). University of Khartoum.
- [106] **Nakatsu, T., Lupo, A.T., Chinn, J.W., Kang, R.K.L.** (2000). Biological activity of essential oils and their constituents, *Stud. Nat. Prod. Chem.*,**21**, 571–631.
- [107] **Brophy, J. J., Fookes, C. J. R., Lassak, E. V.** (1991). Constituents of *Santalumspicatum*, a wood oil, *Journal of Essential Oil Research*, **396**, 381–385.
- [108] **Nikiforov, A., Buchbaure, G., Jirovetz, L., Remberg, G.** (1992). Headspace constituents of vetiver oil, *Zeitschrift fuer Naturforschung Teil B Chemie Science*, **47** (33) 439–440 in *Chemical Abstracts*, **116**, 22130.
- [109] **Guenther, E.** (1972). *The essential oils, Volume I, History on Plants production, analysis*. Roberts. E. Krieger Publishing Company, New York. 427 pages.
- [110] **Cook, D. and Pickering, D.** (1979). *UNESCO–USP Science Series, Plant products*. University Printing Unit, Suva, 81 pages.
- [111] **Balz, R., Dandrieus, B., Lartaud, P.** (1999). The healing power of essential oils, *Motilal Banarsidass Publishers Private Limited*, 203.

- [112] **Tanker, M., Tanker, N.** (2003). *Farmakognozi*, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 3. Baskı, 2. Cilt, Ankara, p. 347.
- [113] **Ceylan, A.** (1987). *Tıbbi Bitkiler II (Uçucu Yağ içerenler)*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, p. 481.
- [114] **Başer, K.H.C.** (2009). Uçucu yağlar ve aromaterapi, *Fitomed*, 7, 8–25.
- [115] **Grassmann, J., Elstner, E.F.** (2003). Essential oils/ properties and uses. *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition (Elsevier Science Ltd.)*, 2177–2184.
- [116] **Başer, K. H. C., Demirci, F.** (2011). *Kirk–Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 4th edition. Wiley. P 1–37.
- [117] **Başer, K. H. C., Demirci, F.** (2007). In Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability, *Berger RG. Ed. Springer*, 43–86.
- [118] **Cellat, K.** (2011). *Bazı endemik bitkilerin uçucu yağ bileşenlerinin ekstrakte edilmesi ve içeriklerinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Türkiye.
- [119] **Karakaplan, N.** (2017). *Nane (Mentha spicata) Bitkisinden Uçucu Yağ Eldesi için Optimum Koşulların Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [120] **Bhattacharjee, B., Chatterjee, J.** (2013). Identification of proapoptotic, anti-inflammatory, anti-proliferative, anti-invasive and anti-angiogenic targets of essential oils in cardamom by dual reverse virtual screening and binding pose analysis, *Asian Pac J Cancer Prev.*, **14(6)**, 3735–42.
- [121] **Lockwood, G.B.** (2001). Techniques for gas chromatography of volatile terpenoids from a range of matrices, *Journal of Chromatography A*, **936**, 23–31.
- [122] **Jeena, K., Liju, V., Kuttan, R.** (2013). Antioxidant, anti-inflammatory and antinociceptive activities of essential oil from ginger, *Indian J Physiol Pharmacol.* **57(1)**, 51–62.
- [123] **Taşdelen, G.** (2013). *Onopordum anatolicum (Boiss.) Boiss. & Heldr. ex Eig endemik türünün antioksidan aktivitesi, antibakteriyal ve sitotoksik etkilerinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Türkiye.
- [124] **Dima, C., Dima, S.** (2015). Essential oils in foods: extraction, stabilization, and toxicity, *Current Opinion in Food Science*, **5**, 29–35.
- [125] **Rao, V.P.S., Pandey, D.** (2006). *Extraction of Essential Oil and its applications* (Thesis). Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela.
- [126] **Mazzarrino, G., Paparella, A., Chaves-Lopez, C., Faberi, A., Sergi, M., Sigismondi, C., Compagnone, D., Serio, A.** (2015). Salmonella enterica and Listeria monocytogenes inactivation dynamics after treatment with selected essential oils, *Food Control*, **50**, 794–803.
- [127] **Yaylı, N.** (2013). Uçucu Yağlar ve Tıbbi Kullanımları, *1. İlaç Kimyası, Üretimi, Teknolojisi, Standardizasyonu Kongresi*, (pp. 1–8). Antalya, 29–31 Mart.

- [128] **Coelho, J.P., Cristino, A.F., Matos, P.G., Rauter, A. P, Nobre, B.P., Mendes, R.L., Barroso, C.G., Mainar, A., Urieta, C.S., Fareleira, J.M.N.A., Sovová, H., Palavra, A.F.** (2012). Extraction of volatile oil from aromatic plants with supercritical carbon dioxide: experiments and modeling, *Molecule*, **17:9**, 10550–10573.
- [129] **Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., Ghazali, H.M., Bordbar, S., Serjouie, A.** (2015). Optimisation of ultrasound–assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability, *Food Chem*, **172**, 7–17.
- [130] **Fakir, H., Erbaş, S., Özen, M., Dönmez, İ.E.** (2014). Hayıt (*Vitex agnus-castus* L.)’da farklı toplama zamanlarının uçucu yağ oranı ve bileşenleri üzerine etkisi, *European Journal of Science and Technology*, **1:2**, 25–28.
- [131] **Hill, A.F.** (1952). *Economic Botany: A Textbook of Useful Plants Products* (2nd Ed., pp. 560). New York: Mc Graw Hill Book Company.
- [132] **Sarıkaya, Y.** (1997). *Fizikokimya*, Gazi Büro Kitabevi, 2. Baskı, Ankara.
- [133] **İzgü, E.** (1973). *Genel ve Endüstriyel Farmasi*, pp. 339, Ayyıldız Matbaası, Ankara.
- [134] **Kırimer, N., Tabanca, N., Tümen, G., Duman, H., Başer, K.H.C.** (1999). Composition of the essential oils of four endemic sideritis species from Turkey, *Flavour and Fragrance Journal*, **14**, 421–425.
- [135] **Viljoen, A.M., Subramoney, S., Vuuren, S.F.V., Başer, K.H.C., Demirci, B.** (2004). The composition, geographical variation and antimicrobial activity of *Lippia Javanica* (Verbenaceae) leaf essential oils, *Journal of Ethnopharmacology*, **96**, 271–277.
- [136] **Meyer–Warnod, B.** (1984). Natural essential oils: extraction processes and application to some major oils, *Perfume. Flavorist*, **9**, 93–104.
- [137] **Parikh, J.K., Desai, M.A.** (2011). Hydrodistillation of Essential Oil from *Cymbopogon flexuosus*, *International Journal of Food Engineering*, **7**, 1–11.
- [138] **Başer, K.H.C.** (2010), *Tıbbi ve Aromatik Bitkisel Ürünlerin Üretimi ve Kalite Kontrolü*, Yayın No. 2109, Anadolu Üniversitesi Yayınevi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [139] **Linskens, H.F., Jackson, J.F.** (1997). *Modern Methods of Plant Analysis*, **12**, *Essential Oils and waxes*, Springer, Germany.
- [140] **Fakhari, A.R., Salehi, P., Heydari, R., Ebrahimi, S.N., Haddad, P.R.** (2005). Hydrodistillation–Head space solvent micro extraction, a new method for analysis of the essential oil components of *Lavandula Angustifolia* Mill, *J. of Chromatography A*, **1098**, 14–18.
- [141] **Rai, R., Suresh, B.** (2004). In vitro antioxidant properties of Indian traditional paan and its ingredients, *Indian Journal of Traditional Knowledge*, **3(2)**, 187–191.
- [142] **Kumar, R., Tripathi, Y.C.** (2011). Getting fragrance from plants, Training Manual on Extraction Technology of Natural Dyes & Aroma, *Therapy and Cultivation Value Addition of Medicinal Plants*, 1–26.
- [143] **Özath, N.S.** (1999). Bitlis yöresinde yetişen endemik *Thymus Fedtschenkoi* Ronniger var. *Handeli* (Ronniger) Jalas üzerinde morfolojik, anatomik ve korolojik

çalışmalar (Yükseklik Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

- [144] **Kılıç, A.** (2008). Uçucu yağ elde etme yöntemleri, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10, 37–45.
- [145] **Vian, M.A., Fernandez, X., Visinoni, F., Chemat, F.** (2008). Microwave hydrodiffusion and gravity, a new technique for extraction of essential oils, *Journal of Chromatography A*, **1190**, 14–7.
- [146] **Bousbia, N., AbertVian, M., Ferhat, M.A., Petitcolas, E., Meklati, B.Y., Chemat, F.** (2009). Comparison of two isolation methods for essential oil from rosemary leaves: hydrodistillation and microwave hydrodiffusion and gravity, *Food Chem.*, **114**, 355–62.
- [147] **Wang, L., Weller, C.L.** (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants, *Trends Food Sci. Technol.*, **17**, 300–312.
- [148] **Tongnuanchan, P., Benjakul, S.** (2014). Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation, *Journal of Food Science*, Vol. **79(7)**, 1231-1249.
- [149] **Charles, D.J., Simon, J.E.** (1990). Comparison of extraction methods for therapid determination of essential oil content and composition of Basil, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **115(3)**, 458–462.
- [150] **Mostafa, K., Yodallah Y, Fatemah S, Naader, B.** (2004). Comparison of essential oil composition of *Carumcopticum* obtained by supercritical carbondioxide extraction and hydrodistillation methods, *Food Chem.*, **86**, 587–591.
- [151] **Moyler, D.A.** (1993). Extraction Of Essential Oils With Carbon Dioxide, *Flavour and Fragrance J.*, **8**, 235– 247.
- [152] **Kosar, M., Dorman, H.J.D., Hiltunen, R.** (2005). Effect of an acid treatment on the phytochemical and antioxidant characteristics of extracts from selected Lamiaceae species, *Food Chem.*, **91**, 525–33.
- [153] **Dawidowicz, A.L., Rado, E., Wianowska, D., Mardarowicz, M., Gawdzik, J.** (2008). Application of PLE for the determination of essential oil components from *Thymus Vulgaris* L. *Talanta*, **76**, 878–884.
- [154] **Rozzi, N.L., Phippen, W., Simon, J.E., Singh, R.K.** (2002). Supercritical fluid extraction of essential oil components from lemon-scented botanicals. *Lebensm. Wirtschaft und Technologie*, **35**, 319–324.
- [155] **Capuzzo, A., Maffei, M.E., Occhipinti, A.** (2013). Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances, *Molecules*, **18**, 7194–7238.
- [156] **Reverchon, E.** (1997). Supercritical fluid extraction and fractionation of essential oils and related products, *The Journal of Supercritical Fluid*, **10 (1)**, 1–37.
- [157] **Kaufmann, B., Christen, P.** (2002). Recent extraction techniques for natural products: microwave-assisted extraction and pressurized solvent extraction, *Phytochemistry Analysis*, **13**, 105–113.
- [158] **Flamini, G., Tebano, M., Cioni, P.L., Ceccarini, L., Ricci, A.S., Longo, I.** (2007). Comparison between the conventional method of extraction of essentialoil of *Laurusnobilis* L. and a novel method which uses microwaves applied in situ, without resorting an oven, *Journal of Chromatography*, **1143**, 36–40.

- [159] **Wangand, L., Weller, C.L.** (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants, *Trends in Food Science*, **17**, 300–312.
- [160] **Arthur, C.L., Pawliszyn, J.** (1990). Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers, *Anal. Chem.*, **62**, 2145–2148.
- [161] **Vas, G., Vekey, K.** (2004). Solid–Phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis, *Journal of Mass Spectrometry*, **39**, 233–254.
- [162] **Araujo, H.C., Lacerda, M.E.G., Lopes, D., Bizzo, H.R., Kaplan, M.A.C.** (2007). Studies on the aroma of mate (*Ilex paraquariensis* St. Hil.) using head space solid–phase microextraction, *Phytochemical Analysis*, **18**, 469–474.
- [163] **Likens, S., Nickerson, G.** (1964). Detection of certain hop oil constituents in brewing products, *American Society of Brewing Chemists*, **1**, 5–13.
- [164] **Lin, P. C.** (2014). *Comparasion of simultaneous distillation and extraction (SDE) and head spaces olid phasemicroextraction (SPME) for determination of volatiles of muscadine grapes (Vitis rotundifolia)*. (Master Thesis). Clemson University.
- [165] **Kumar, K. S.** (2010). *Extraction of essential oil using steam distillation* (Ph. D. Thesis). Dept. of Chemical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela.
- [166] **Sosa, R.A., Palou, E., Munguía, M.T.J. and Malo, A.L.** (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films, *Int J Food Microbiol*, **153**:1–2, 66–72.
- [167] **Rojas–Grau, M.A., Avena–Bustillos, R.J., Olsen, C., Friedman, M., Henika, P.R., Mart´in–Belloso, O., Pan, Z., McHugh, T.H.** (2007). Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate–apple puree edible films, *J. Food Eng.*, **81**, 634–641.
- [168] **Hammer, K.A., Carson, C.F., Riley, T.V.** (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts, *J. Appl. Microbiol.*, **86**, 985–990.
- [169] **Dorman, H.J., Deans, S.G.** (2000). Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils, *J. Appl. Microbiol.*, **88**, 308–316.
- [170] **Tajkarimi, M.M., Ibrahim, S.A.; Cliver, D.O.** (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food, *Food Control*, **21**, 1199–1218.
- [171] **Ksouri, S., Djebir, S., Bentorki, A.A., Gouri, A., Hadeif, Y., Benakhla, A.** (2017). Antifungal activity of essential oils extract from *Origanum floribundum* Munby, *Rosmarinus officinalis* L. and *Thymusciliatus* Desf. Against *Candidaalbicans* isolated from bovine clinical mastitis, *J. Mycol. Med.*, **27**, 245–249.
- [172] **Kordali, S., Kotan, R., Mavi, A., Cakir, A., Ala, A., Yildirim, A.** (2005). Determination of the chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of Turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *Artemisi asantonicum*, and *Artemisi aspicigera* essential oils, *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 9452–9458.

- [173] **Sharafi, S.M., Rasooli, I., Owlia, P., Taghizadeh, M., Astaneh, S.D.** (2010). Protective effects of bioactive phytochemicals from *Mentha piperita* with multiple health potentials, *Pharmacogn. Mag.*,**6**, 147–153.
- [174] **Shehadi, M., Awada, F., Oleik, R., Chokr, A., Hamze, K., Abou Hamdan, H., Harb, A., Kobaissi, A.** (2014). Comparative Analysis of the Anti-bacterial Activity of Four Plant Extracts, *Int. J. Curr. Res. Aca. Rev.*,**2(6)**, 83–94.
- [175] **Yıldız, Z., Yüceer, M. and Abbasov, T.** (2011). Comparison of Modeling Approaches for Prediction of Cleaning Efficiency of the Electromagnetic Filtration Process, *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, **26:11**, 899-906.
- [176] **Boztepe, C., Solener, M., Yuceer, M., Kunkul, A., Kabasakai, O.** (2015). Modeling of Swelling Behaviors of Acrylamide-Based Polymeric Hydrogels by Intelligent System, *Journal of Dispersion Science and Technology*, **36:11**, 1647–1656.
- [177] **Tufan, M.**, (2008). *Kesikli Bir biyoreaktörde yapay sinir ağlarının kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [178] **Liu, Q., Ikbali, M. F., Yang, J., Lu, X., Zhang, P., Rauf, P.** (2021). Prediction of chloride diffusivity in concrete using artificial neural network: Modelling and performance evaluation. *Food and Bioproducts Processing*,**119**,148-160.
- [179] **Carter, R.** (2014). *The Human Brain Book*, DK Publishing.
- [180] **Maind, S. B., Wankar, P.** (2014). Research Paper on Basic of Artificial Neural Network, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, **2**, 96-100.
- [181] **Sanogo, B.** (2016). *pH ve sıcaklığa duyarlı hidrojellerin sentezlenmesi ve ilaç salım davranışlarının modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [182] **Karadurmus, E., Cesmeci, M., Yuceer, M., Berber, R.** (2012). An artificial neural network model for the effects of chicken manure on ground water, *Applied Soft Computing*, **12:1**,494–497.
- [183] **Demirağ, Y., Özsüer, O.E.** (2015). *Ortaöğretim Öğrencilerinin Sınav Performansı Modellemesinde Yapay Sinir Ağları Kullanımı*, Özel Ege Lisesi Proje, İzmir.
- [184] **Mutlu, Y.** (2004). *Günlük Akışlardaki Boşlukların Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tamamlanması* (Yüksek Lisans Tezi)., Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [185] **Yüceer, M.** (2010). Artificial neural network models for HFCS isomerization process, *Neural Computing and Applications*, **19:7**, 979–986.
- [186] **Karadağ, T., Yüceer, M. and Abbasov, T.** (2016). A large-scale measurement, analysis and modelling of electromagnetic radiation levels in the vicinity of GSM/UMTS base stations in an urban area, *Radiation protection dosimetry*, **168**, 134-147.
- [187] **Ateşoğlu, A.A.** (2015.). *Arima ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak hibrit tahmin modeli geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [188] **Brahima, S., Boztepe, C., Kunkul, A., Yuceer, M.** (2017). Modeling of drug release behavior of pH and temperature sensitive poly (NIPAAm-co-AAc) IPN hydrogels using response surface methodology and artificial neural networks, *Materials Science and Engineering C- Materials for Biological Applications*, **75**, 425–432.
- [189] **Sarimeseli, A., Coskun M. A., Yuceer, M.** (2014). Modeling microwave drying kinetics of thyme (*Thymus Vulgaris* L.) leaves using ANN methodology and dried product quality, *Journal of Food Processing and Preservation*, **38(1)**, 558–564.
- [190] **Sarimeseli, A., Yuceer, M.** (2015). Investigation Of Infrared Drying Behaviour Of Spinach Leaves Using ANN Methodology And Dried Product Quality, *Chemical and Process Engineering*, **36(4)**, 425–436.
- [191] **Stein, S. E.** “Retention indices,” in *NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69*, P. J. Linstrom and W. G. Mallard, Eds., National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md, USA, 2011, <http://webbook.nist.gov/>.
- [192] **Andrews, J.M.** (2001). Determination of minimum inhibitory concentrations, *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, **48**, 5–16.
- [193] **Moradi, M., Fallahi, M.A., Khaneghah, M.A.** (2019). Kinetics and mathematical modeling of thin layer drying of mint leaves by a hot water recirculating solar dryer, *Food Process Eng.*, 13181.
- [194] **Torki-Harchegani M., Ghanbarian D., GhasemiPirbalouti A., Sadeghi M.** (2016). Dehydration behaviour, mathematical modelling, energy efficiency and essential oil yield of peppermint leaves under going microwave and hot air treatments, *Renew Sustain Energy Rev.*, **58**, 407–418.
- [195] **Doymaz, İ.** (2011). Drying of thyme (*Thymus Vulgaris* L.) and selection of a suitable thin-layer drying model, *Journal of Food Processing and Preservation*, **35**, 458–465.
- [196] **Ben Haj Said, L. Najjaa, H., Farhat, A., Neffati, M., Bellagha, S.** (2015). Thin layer convective air drying of wild edible plant (*Allium roseum*) leaves: experimental kinetics, modeling and quality. *J Food Sci. Technol.*, **52(6)**, 3739–3749.
- [197] **Hassan, S., Ashtiani, M. Salarikia, A. and Golzarian, M.R.** (2017). Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments, *Information Processing In Agriculture*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2017.03.001>.
- [198] **Karakaplan, N., Yüceer, M., Tosun, E., Göz, E.** (2019). Kinetic and artificial neural network modelling technique to predict the drying kinetics of *Mentha spicata* L., *Journal of Food Processing and Preservation*, **43 (10)**, 14142.
- [199] **Moyler, D. A.** (1994). Spices—recent advances’, in G. Charalambous (Ed.), Spices, herbs and edible fungi, *Amsterdam: Elsevier*, **34**, 1–70.
- [200] **Özer, E.** (2012). Nane (*Mentha piperita* L.)’nin farklı kısımlarına uygulanan farklı kurutma tekniklerinin uçucu yağın bileşimine ve antimikrobiyel aktivitesi üzerine etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [201] **Çalışkan, T., Maral, H., Prieto, Gutierrez, L. M. V., Kafkas, E., Kırıcı, S.** (2017). The Influence of Different Drying Methods on Essential Oil Content and Composition of Peppermint (*Mentha piperita* L.) in Çukurova Conditions, *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, **51**, 3.
- [202] **Duriyaprapan, S., Britten, E.J. and Basford, K.E.** (1988). The effect of temperature on growth, oil yield and oil quality of Japanese Mint, *Annals of Botany*, **58**, 729–736.
- [203] **Franz, Ch., Ceylan, A., Hölzl, J. and Vömel, A.** (1984). Influence of the growing site on the quality *Mentha piperita* L. oil, *Acta Horticulturae*, **144**, 145-150.
- [204] **Chalchat, J., Gamy R. and Michet, A.** (1997). Variation of the Chemical Composition of Essential Oil of *Mentha piperita* L. during the Growing Time, *Journal of Essential Oil Research*, **9**, 463-465.
- [205] **Ostadia, A., Javanmarda, A., Machiania, M. A., Morshedloob, M. R., Nouraeina, M., Rasoulb, F., Maggic, F.** (2020). Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L., *Industrial Crops & Products*, **148**, 112290.

EKLER

EK A:2019 yılı Ağustos ayında hasat edilerek gölgede kurutulan nane (*Mentha piperita*) uçucu yağının bileşimi

#	RT	Bileşen	% Bileşim
1	5,876	alpha-Pinene	2.02
2	8,033	beta-Pinene	1.64
3	8,462	Sabinene	1.39
4	10,305	Myrcene	1.19
5	12,451	1,8-Cineole	7.34
6	13,629	delta-3-carene	1.15
7	14,951	p-Cymene	0.90
8	15,603	Terpinolene	0.64
9	19,443	3-Octanol	0.35
10	21,217	p-Cymenene	0.09
11	23,036	Menthone	27.71
12	24,198	(+)-Carvomenthene	2.14
13	27,179	Menthol	32.31
14	28,083	alpha-Terpineol	1.33
15	28,632	(+/-)-gamma-Murolene	0.56
16	29,210	d-Piperitone	4.91
17	30,194	(+)-delta-Cadinene	0.69
18	31,453	alpha-Murolene	0.46
19	32,323	L-calamenene	0.81
20	34,097	2-Methyl-6-Nitrophenol	0.11
21	35,350	Piperitenone	1.02
22	36,197	cis-Jasmone	0.17
23	36,964	Cyclopentadiene, 1,2,3,4,5-pentamethyl-	0.43
24	37,891	5-Amino-1-phenylpyrazole	0.41
25	38,606	Caryophylleneoxide	0.96
26	42,497	(+)-Cyclosativene	0.36
27	43,441	Ethanone, 1-(1,3-dimethyl-3-cyclohexen-1-yl)-	0.15
28	44,145	Ledol	0.67
29	44,974	Orcinol, monoacetate	0.14
30	47,080	(-)-Spathulenol	0.53
31	48,900	Eugenol	0.27
32	50,422	Thymol	0.35
33	51,389	alpha-Cadinol	0.18
34	52,047	(-)-delta-Cadinol	0.10
35	53,586	alpha-Cadinol	0.66
36	54,410	(+)-7-Epi-Amitelol	0.16
37	54,936	2-Hydroxy-4,5-dimethylacetophenone	0.30
38	55,743	2-Cyclohexen-1-One, 2,4,4,5-Tetramethyl-3-(3-Oxo-1-Butenyl)-, (E)-(+/-)-	0.26
39	56,264	Mintfuranone	0.49
40	57,380	4A-Methyl-4A,5,6,7,8A-Hexahydro-2(1H)-Naphthalenone	0.51
41	58,833	Farnesylacetone	0.18
42	60,235	1,3-Dimethyl-5-n-hexyladamantane	0.29

EK A (Devam):

43	60,916	Aromadendreneoxide-(1)	0.06
44	62,552	2-Methyl-2-(2-nitrophenyl)propanoicacid	0.26
45	63,519	9-Methyltetracyclo[7.3.1.0(2.7).1(7.11)]tetradecane	0.08
46	64,709	3-Methyl-2-propionyl-benzoicacid	0.41
47	65,505	Tetradecanoicacid	0.06
48	66,249	1,3-Cyclohexadiene-1-methanol, .alpha.,2,6,6-tetramethyl-, (.+-.)-	0.26
49	67,359	3-(Methylsulfanyl)Quinoline	0.22
50	67,788	1,2,3-Thiadiazole-4-CarboxylicAcid 5-Phenyl-, Methyl Ester	0.41
51	69,035	HexadecanoicAcid	0.80
52	70,517	18-Crown-6	0.6
53	73,922	Furoxan, 4-nitro-3-phenyl-, 2-oxide	0.27
54	75,415	Tricyclo[6.3.0.0(2,6)]undecan-10-one, 3-[(2-methoxyethoxy)methoxy]-2-methyl-	0.16
55	77,469	Octaethyleneglycol	0.09
TOPLAM			99.91

EK B:2019 yılıEkim ayında hasat edilerek gölgede kurutulan nane (*Mentha piperita*)
uçucu yağının bileşimi

#	RT	Bileşen	% Bileşim
1	1.89	alpha-Pinene	1.89
2	2.99	beta-Pinene	2.99
3	1.12	Myrcene	1.12
4	12.55	1,8-Cineole	12.55
5	0.80	p-Cymene	0.80
6	0.78	Amylisovalerate	0.78
7	0.64	3-Octanol	0.64
8	0.14	trans-2-Decenol	0.14
9	30.75	Menthone	30.75
10	2.20	(+)-Carvomenthene	2.20
11	35.08	L-Menthol	35.08
12	1.33	alpha-Terpineol	1.33
13	3.71	d-Piperitone	3.71
14	0.43	(+)-δ-Cadinene	0.43
15	0.27	cis-Citral	0.27
16	0.43	Calamenene	0.43
17	0.07	Phenol, 2-methyl-6-nitro-	0.07
18	0.38	2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	0.38
19	0.09	cis-Jasmone	0.09
20	0.21	1-Octen-3-yne, 2-Ethyl-	0.21
21	0.17	Phenethylisovalerate	0.17
22	0.57	Caryophylleneoxide	0.57
23	0.14	Cadinol T	0.14
24	0.40	Ledol	0.40
25	0.26	(-)-Spathulenol	0.26
26	0.10	Eugenol	0.10
27	0.15	Thymol	0.15
28	0.07	Cyclohexanecarboxylicacid, 2-phenylethyl ester	0.07
29	0.25	α-Cadinol	0.25
30	0.15	Phenol, 4-(1,1-dimethylethyl)-2-methyl-	0.15
31	0.16	3-Oxonabicyclo[5.1.0]Oct-2-ene, 2,5,5-Trimethyl-4-(3-Oxo-1-Butenyl)-,Hydroxide, Inner Salt, (1.α.,4E,7.α.)-	0.16
32	0.20	Mintfuranone	0.20
33	0.14	Trans-10-Methyl-.Delta.3-2-Octalone	0.14
34	0.16	Calarenepoxide	0.16
35	0.12	10,10-Dimethyl-4-acetyl-tricyclo[5.2.1.0(1,5)]decane	0.12
36	0.15	α-Gurjunene	0.15
37	0.11	1,3-Diethyladamantane	0.11
38	0.09	1,3-Heptadiyne, 6-(2-methoxyethoxymethoxy)-1-trimethylsilyl-	0.09
39	0.18	18-Crown-6	0.18
40	0.20	Furoxan, 4-nitro-3-phenyl-, 2-oxide	0.20
41	0.31	3,5-Dihydroxybenzoicacid	0.31
42	0.05	Octaethyleneglycol	0.05
TOPLAM			99.29

EK C:2019 yılı Kasım ayında hasat edilerek gölgede kurutulan nane (*Mentha piperita*) uçucu yağının bileşimi

#	RT	Bileşen	% Bileşim
1	5,836	alpha-Pinene	1.46
2	7,947	beta-Pinene	2.57
3	10,21	Myrcene	0.76
4	11,04	alpha-terpinene	0.15
5	12,38	1,8-Cineole	9.33
6	13,53	β -cis-Ocimene;	0.41
7	14,01	γ -Terpinene	0.43
8	14,87	p-Cymene	0.36
9	15,52	Butanoicacid, 2-methyl-, 2-methylbutyl ester	0.3
10	16,15	Methylbutyl-2- isovalerate	0.21
11	19,36	3-Octanol	0.54
12	22,52	Menthofuran	22.87
13	24,2	Menthylacetate	2.92
14	27,03	L-Menthol	49.09
15	29,14	d-Piperitone	3.78
16	31,43	α -Himachalene	0.22
17	32,59	cis-Geranylacetone	0.28
18	35,04	Cyclopentane, 1-methyl-3-(2-methyl-1-propenyl)-	0.18
19	36,9	Cyclopentadiene, 1,2,3,4,5-pentamethyl-	0.22
20	37,84	5-Amino-1-phenylpyrazole	0.19
21	38,56	Caryophylleneoxide	0.34
22	44,04	Ledol	0.3
23	46,97	(-)-Spathulenol	0.15
24	50,33	Thymol	0.13
25	53,52	α -Cadinol	0.24
26	54,98	4-(2-Methyl-cyclohex-1-enyl)-but-3-en-2-one	0.14
27	55,7	Diepi-.alpha.-cedren epoxide	0.12
28	56,24	Mintfuranone	0.55
29	60,2	1,3-Dimethyl-5-n-propyl-adamantane	0.14
30	64,61	Phytolisomer	0.23
31	67.342	18-Crown-6	0.26
32	68,95	3-(3-Thienyl)acrylicacid	0.78
33	71,22	Octaethyleneglycol	0.34
		TOPLAM	99.99

EK Ç :2019 yılı Kasım ayında hasat edilerek (Ekim ayının **ikinci hasadı**) gölgede kurutulan nane bitkisinin (*Mentha piperita*) uçucu yağbileşimi

#	RT	Bileşen	% Bileşim
1	5,853	alpha-Pinene	1.68
2	7,982	beta-Pinene	1.31
3	8,434	Sabinene	1.37
4	10,265	Myrcene	0.97
5	12,410	1,8-Cineole	8.86
6	13,572	β -cis-Ocimene	0.99
7	14,917	p-Cymene	0.33
8	15,592	2-methylbutyl ester	0.30
9	16,221	Methylbutyl-2- isovalerate	0.32
10	17,720	2-Octanol, acetate	0.11
11	19,403	3-Octanol	0.66
12	21,011	1-octen-3-ol	0.10
13	22,676	Menthofuran	27.08
14	24,226	Menthylacetate	2.60
15	27,110	L-Menthol	45.47
16	29,164	d-Piperitone	3.88
17	31,465	Alpha amorphene	0.24
18	32,586	Geranylacetone	0.24
19	35,035	trans-Carane	0.24
20	36,918	2-Methyl-1-methylene-3-(1-methylethenyl)-cyclopentane	0.27
21	37,885	Phenethylpivalate	0.18
22	38,897	Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl-	0.25
23	44,064	Ledol	0.27
24	50,330	Thymol	0.11
25	53,529	α -Cadinol	0.20
26	54,318	1,5-Dibutylallopurinol	0.14
27	54,953	2-Acetyl-4,5-dimethylphenol	0.12
28	56,218	Mintfuranone	0.33
29	58,798	5,9,13-Pentadecatrien-2-one, 6,10,14-trimethyl-	0.05
30	60,206	1,3-Dimethyl-5-n-hexyladamantane	0.12
31	64,601	Phytol	0.34
32	68,949	α -Resorcylicacid	0.71
33	69,705	Furoxan, 4-nitro-3-phenyl-, 2-oxide	0.08
34	70,454	Octaethyleneglycol	0.09
		TOPLAM	100.01

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Burcu Taştan

Doğum Tarihi :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği

