

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANE (*Mentha spicata*) BİTKİSİNDEN UÇUCU YAĞ ELDESİ İÇİN
OPTİMUM KOŞULLARIN ARAŞTIRILMASI**

NİHAN KARAKAPLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MALATYA
MAYIS 2017

Tezin Başlığı : Nane (*Mentha Spicata*) Bitkisinden Uçucu Yağ Eldesi İçin Optimum Koşulların Araştırılması

Tezi Hazırlayan : Nihan KARAKAPLAN

Sınav Tarihi : 24.05.2017

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Ayşe SARIMEŞELİ PAÇACI
İnönü Üniversitesi



Doç. Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI
Fırat Üniversitesi



Tez Danışmanı: Doç. Dr. Adıgüzel Mehmet YÜCEER
İnönü Üniversitesi



İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Nane (*Mentha spicata*) Bitkisinden Uçucu Yağ Eldesi için Optimum Koşulların Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Nihan KARAKAPLAN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANE (*Mentha spicata*) BİTKİSİNDEN UÇUCU YAĞ ELDESİ İÇİN OPTİMUM KOŞULLARIN ARAŞTIRILMASI

Nihan KARAKAPLAN

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

125+xiii sayfa

2017

Danışman: Doç. Dr. A. Mehmet YÜCEER

Tıbbi ve aromatik bitkiler ve bu bitkilerden elde edilen uçucu yağlar farklı amaçlara yönelik, özellikle bilimsel ve ticari olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda doğal ürünlere olan ilgi bitkilerden elde edilen uçucu yağlara olan talebin artmasına neden olmuştur. Bu çalışmada nane (*Mentha spicata*) yapraklarından uçucu yağ eldesi için kurutma ve destilasyon süreçlerinde optimum koşulların araştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle farklı kurutma yöntemlerinin (gölgede kurutma, 35°C ve 50°C’de etüvde kurutma) nane yapraklarının nem içeriği, nem oranı, kuruma hızı ve kuruma süresi, etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisine etkisi araştırılmıştır. Bunun yanı sıra gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C)

kurutulan nane örneklerinin kuruma kinetiklerinin belirlenmesi amacıyla 6 farklı ince tabaka kurutma modeli (Page, Newton, Difüzyon Yaklaşımı, Henderson ve Pabis, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis, Midilli ve ark.) ve yapay sinir ağları (üç katmanlı ileri doğru beslemeli geriye yayımlı ağ yapısı) kullanılmıştır. Farklı yöntemlerle kurutulan nane örneklerinden uçucu yağ eldesi clevenger aparatı kullanılarak su destilasyonu yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Nane uçucu yağlarının içeriğini ve bileşimini belirlemek amacıyla GC/MS analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda en yüksek karvon miktarı ve yağ oranı gölgede kurutulan örneklerden elde edildiğinden deneysel tasarım yalnızca gölgede kurutulan örneklerle yapılmıştır. Gölgede kurutulan örneklerin uçucu yağ miktarı ve karvon oranı Design Expert-10 (trial) yazılımında merkezi kompozit tasarımı ile yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılarak modellenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: *Mentha spicata*, kurutma yöntemleri, ince tabaka kurutma modelleri, su destilasyonu, uçucu yağlar, GC/MS, modelleme, RSM, YSA

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF OPTIMUM CONDITIONS FOR OBTAIN ESSENTIAL OILS FROM MINT (*Mentha spicata*)

Nihan KARAKAPLAN

İnönü University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

125+xiii pages

2017

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER

Medical and aromatic herbs and essential oils obtained from these herbs are used for various purposes, especially in scientific and commercial areas. In recent years, interest in natural products has led to an increase in demand for essential oils from herbs. In this study, it was aimed to investigate optimum conditions for drying and distillation processes for obtain essential oils from mint (*Mentha spicata*) leaves. For this reason, the effect of different drying technique (shade-drying, oven-drying at 35°C and 50°C) on moisture content, moisture ratio, drying rate and drying time, effective diffusion coefficient and activation energy of mint leaves were investigated. In addition, six different thin layer drying models (Page, Newton, Diffusion

approach, Henderson and Pabis, Modified Henderson and Pabis, Midilli et al.) and artificial neural networks (Three-layer forward feed backward propagation network structure) were used to determine the drying kinetics of the shade-dried and oven-dried (35°C and 50°C) mint samples. Essential oils from the mint samples dried by different methods was obtained by hydrodistillation method using clevenger apparatus. GC/MS analysis was performed to determine the content and composition of mint essential oils. As a result of the analyzes, the highest carvone amount and essential oil ratio were obtained from the shade-dried samples, the experimental design was made only on the shade-dried samples. The essential oils amount and carvone ratio of the shade-dried samples were modeled using the response surface methodology (RSM) with central composite design in the Design Expert-10 (trial) software.

KEYWORDS: *Mentha spicata*, drying methods, thin layer drying methods, hydrodistillation, essential oils, GC/MS, modelling, RSM, YSA.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgileriyle beni yönlendiren, bu tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında ilgi ve desteğiyle her zaman yanımda olan, kıymetli tecrübelerinden faydalanırken sabrını ve hoş görüşünü eksik etmeyen, kendisiyle çalışmaktan büyük onur duyduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet YÜCEER'e,

Tez çalışmamın yürütülmesi sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Kimya Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve değerli öğretim üyelerine,

Çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve her daim destek olan Arş. Gör. Dr. Emir TOSUN'a,

GC-MS analizlerinin gerçekleştirilmesinde yardımlarından dolayı Gıda Mühendisliği Öğretim Üyesi Doç. Dr. Murat YILMAZTEKİN ve Gıda Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na,

Deneysel çalışmalarda kullanılan bitki materyalinin teşhisindeki katkılarından dolayı Eczacılık Fakültesi Farmasötik Botanik Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Turan ARABACI'ya,

Eğitim-öğretim hayatım boyunca desteğini benden esirgemeyen ve çalışmam sürecinde yardımını gördüğüm ağabeyim Öğr. Gör. Ertuğrul KARAKAPLAN'a,

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu süreçte de benden destek ve yardımlarını esirgemeyen ve her zaman yanımda olan çok kıymetli aileme,

2016/24 No'lu proje kapsamında maddi desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Lamiaceae (Labiatae) Familyası	5
2.1.1. Mentha L.	5
2.1.1.1. Mentha spicata	7
2.2. Kurutma.....	8
2.2.1. Kurutma sistemleri	9
2.2.1.1. Gölgede kurutma	9
2.2.1.2. Güneşte kurutma	9
2.2.1.3. Sıcak hava ile kurutma	10
2.2.1.4. Vakum kurutma.....	10
2.2.1.5. Dondurarak kurutma	11
2.2.1.6. Mikrodalga kurutma.....	11
2.2.1.7. İnfrared kurutma.....	11
2.2.1.8. Ozmotik kurutma	12
2.2.2. Kurutmanın temel aşamaları	12
2.2.3. Kurutma kinetiği	14
2.2.3.1. İnce tabaka kurutma modeli	15
2.2.3.2. Etkin difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin belirlenmesi	18
2.3. Uçucu Yağlar.....	20
2.3.1. Uçucu yağların tanımı ve özellikleri	20
2.3.2. Uçucu yağların kimyasal bileşimi	21
2.3.3. Uçucu yağların kullanım alanları	24
2.3.4. Uçucu yağ eldesinde kullanılan yöntemler	25

2.3.4.1.	Destilasyon.....	26
2.3.4.2.	Ekstraksiyon.....	31
2.3.4.3.	Sıkma	35
2.4.	Modelleme ve Optimizasyon	36
2.4.1.	Deney tasarımı.....	36
2.4.2.	Yanıt yüzey yöntemi (RSM)	36
2.4.2.1.	Yanıt yüzey modelinin oluşturulması	37
2.4.2.2.	Model uygunluğunun test edilmesi	38
2.4.2.3.	Model uyumsuzluğu (Lack of Fit) testi.....	38
2.4.2.4.	Optimizasyon	38
2.4.2.5.	Desirability (İstenilen Hedefe Ulaşma) fonksiyonu yaklaşımı	39
2.4.3.	Yapay sinir ağları (YSA).....	39
2.4.3.1.	Sinir hücrelerinin yapısı	40
2.4.3.2.	Yapay sinir ağlarının yapısı	43
2.4.3.3.	Yapay sinir ağlarında öğrenme	44
2.4.3.4.	Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması.....	45
2.4.3.5.	Yapay sinir ağlarında öğrenme algoritmaları.....	47
2.4.3.6.	Yapay sinir ağlarının eğitimi ve testi	48
2.4.3.7.	Yapay sinir ağlarında performans ölçütleri.....	50
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	51
3.1.	Materyal	51
3.1.1.	Bitkisel materyalin temini	51
3.1.2.	Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler	52
3.1.3.	Deneysel çalışmalarda kullanılan cihaz, araç ve gereçler	52
3.1.3.1.	Gaz kromatografisi - Kütle spektrometresi (GC–MS).....	52
3.2.	Yöntem	53
3.2.1.	Bitkisel materyalin başlangıç nem içeriğinin belirlenmesi	53
3.2.2.	Kurutma deneyleri.....	53
3.2.3.	Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi	54
3.2.4.	Clevenger aparatı ile su destilasyonu	56
3.2.5.	GC-MS analizi.....	58
3.2.6.	Deney tasarımı.....	58
3.2.7.	Yapay sinir ağı tasarımı.....	60
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	62
4.1.	Nane (<i>Mentha spicata</i>) Bitkisinin Nem İçeriğinin Değişimi	62

4.2.	Nane (<i>Mentha spicata</i>) Bitkisinin Kuruma Hızının Değişimi	63
4.3.	Nane (<i>Mentha spicata</i>) Bitkisinin Kuruma Eğrilerinin Modellenmesi ...	64
4.4.	Etkin Difüzyon Katsayılarının ve Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi	70
4.5.	Farklı Kurutma Koşullarının Nane Örneklerinin Uçucu Yağ Oranına (%) Etkisi.....	73
4.6.	Farklı Kurutma Koşullarının Nane Örneklerinin Uçucu Yağ Bileşimine Etkisi.....	75
4.7.	Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) Sonuçları	80
4.8.	YSA Modelleme Sonuçları	83
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	87
	KAYNAKLAR	90
	EKLER.....	99
	ÖZGEÇMİŞ	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Mentha L. türlerinin yapraklarının alt yüzeyindeki stomalar yağ hücreleri	6
Şekil 2.2.	<i>Mentha spicata</i>	7
Şekil 2.3.	Kurutma prosesinde meydana gelen ısı ve kütle aktarımının şematik gösterimi	8
Şekil 2.4.	Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi	12
Şekil 2.5.	Kuruma hızının ürün nem içeriği ile değişimi	13
Şekil 2.6.	Kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi	14
Şekil 2.7.	Nane yaprağı yüzeyindeki uçucu yağ keseleri ve salgı tüyleri	21
Şekil 2.8.	İzopren molekülü	22
Şekil 2.9.	Clevenger aparatı	27
Şekil 2.10.	Buhar destilasyonu ünitesi	28
Şekil 2.11.	Su ve buhar destilasyon sistemi	29
Şekil 2.12.	Vakum destilasyonu düzeneği	30
Şekil 2.13.	Hidrodifüzyon sistemi	30
Şekil 2.14.	Sokset aparatı	32
Şekil 2.15.	Faz diyagramı	33
Şekil 2.16.	Katı faz mikroekstraksiyon (SPME) enjektörü	34
Şekil 2.17.	Sudan ağır (a) ve sudan hafif (b) çözücüler için Likens – Nickerson aparatı	35
Şekil 2.18.	Biyolojik sinir hücresi (nöron)	40
Şekil 2.19.	Yapay sinir hücresinin temel yapısı	41
Şekil 2.20.	Yapay sinir ağı katmanları	44
Şekil 2.21.	İleri beslemeli sinir ağı blok diyagramı	46
Şekil 2.22.	Geri beslemeli sinir ağı blok diyagramı	46
Şekil 2.23.	Yapay sinir ağı akış şeması	49
Şekil 3.1.	Deneyisel çalışmalarda kullanılan <i>M. spicata</i> bitkisi	51
Şekil 3.2.	Shimadzu 2010 marka Gaz kromatografi - Kütle spektrometre (GC–MS) cihazı	52
Şekil 3.3.	Gölgede kurutulan nane (<i>M. spicata</i>) örnekleri	54
Şekil 3.4.	Etüvde kurutulan nane (<i>M. spicata</i>) örnekleri	54
Şekil 3.5.	Su destilasyonu deney düzeneği	57
Şekil 3.6.	Su destilasyonu yöntemiyle elde edilen nane uçucu yağı	57
Şekil 4.1.	Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin nem içeriklerinin zaman ile değişimi	62
Şekil 4.2.	Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi	63
Şekil 4.3.	Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin nem içeriklerinin zaman ile değişimi	65

Şekil 4.4.	Gölgede kurutulan nane örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli ve ark. modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi	67
Şekil 4.5.	35°C sıcaklıkta kurutulan nane örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Difüzyon Yaklaşımı modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	68
Şekil 4.6.	50°C sıcaklıkta kurutulan nane örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli ve ark. modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi	69
Şekil 4.7.	Farklı kurutma sıcaklıklarında nane örneklerine ait $\ln(MR)$ değerlerinin zamanla değişimi.....	70
Şekil 4.8.	Farklı kurutma sıcaklığında etkin difüzyon katsayısının değişimi	71
Şekil 4.9.	Etkin difüzyon katsayısına sıcaklığın etkisi	72
Şekil 4.10.	Gölgede kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın kromatogramı	77
Şekil 4.11.	35°C’de etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın kromatogramı.....	78
Şekil 4.12.	50°C’de etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın kromatogramı.....	78
Şekil 4.13.	Katı/sıvı oranı ve zamanın yağ miktarı üzerine etkileri.....	81
Şekil 4.14.	Katı/sıvı oranı ve zamanın karvon oranı üzerine etkileri.....	83
Şekil 4.15.	YSA eğitim sonuçları	84
Şekil 4.16.	YSA test sonuçları	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Türkiye’de bilinen bazı önemli tıbbi ve aromatik bitkiler.....	2
Çizelge 2.1.	Kurutma eğrileri için çeşitli yazarlar tarafından verilen matematiksel modeller.....	16
Çizelge 2.2.	Çeşitli uçucu yağlarda bulunan bazı monoterpen, seskiterpen, diterpen, triterpen molekülleri	23
Çizelge 2.3.	Bazı birleştirme fonksiyonları	42
Çizelge 2.4.	Yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonları	43
Çizelge 3.1.	Kurutma eğrileri için bu çalışmada kullanılan matematiksel modeller.....	56
Çizelge 3.2.	Karvon oranı ve yağ hacmi için iki faktörlü Merkezi Kompozit Tasarımda kullanılan bağımsız değişkenlerin incelenen etkinlik aralığı	59
Çizelge 3.3.	Deneysel tasarım kapsamında önerilen deneyler ve ulaşılan yanıtlar	59
Çizelge 4.1.	Analiz sonucu elde edilen model parametreleri ve model performans değerleri.....	65
Çizelge 4.2.	Farklı kurutma havası sıcaklıklarında kurutulan nane örnekleri için hesaplanan etkin difüzyon katsayısı değerleri.....	70
Çizelge 4.3.	Farklı nane türleri için çeşitli yazarlar tarafından verilen aktivasyon enerjisi değerleri.....	72
Çizelge 4.4.	Farklı kurutma koşullarında kurutulan nane örneklerinden elde edilen uçucu yağ oranları (%).....	73
Çizelge 4.5.	Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulmuş <i>M. spicata</i> 'nın uçucu yağ bileşenleri	76
Çizelge 4.6.	Yağ miktarı için ANOVA testi sonuçları	80
Çizelge 4.7.	Karvon oranı için ANOVA testi sonuçları	82
Çizelge 4.8.	YSA modeli için hesaplanan performans fonksiyonları.....	85
Çizelge 4.9.	Kurutma sıcaklıklarına göre en iyi uyum gösteren modellerin istatistiksel sonuçları	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Model katsayısı (Henderson ve Pabis, logaritmik, iki terimli, iki terimli eksponansiyel, Wang ve Sing, Difüzyon yaklaşım, Verma ve ark., Geliştirilmiş Henderson ve Pabis, Midilli ve ark.)
b	Model katsayısı (İki terimli, Wang ve Sing, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis, Difüzyon yaklaşımı, Midilli ve ark.)
c	Model katsayısı (Logaritmik, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis)
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon hızına eşdeğer bir sabit
D_{eff}	Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s)
DR	Kuruma hızı (g su/g kuru madde dk.)
dt	Zaman aralığı
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
g	Model katsayısı (Verma ve ark., Geliştirilmiş Henderson ve Pabis)
h	Model katsayısı (Geliştirilmiş Henderson ve Pabis)
I_j	Nöronun çıktısı
k	Model katsayısı (Page, Geliştirilmiş Page I, Geliştirilmiş Page II, Henderson ve Pabis, logaritmik, iki terimli eksponansiyel, Difüzyon yaklaşım, Verma ve ark., Geliştirilmiş Henderson ve Pabis, Midilli ve ark.)
k_0	Model katsayısı (İki terimli)
k_1	Model katsayısı (İki terimli)
L	Levha kalınlığı (m)
m_d	Örneğin içerdiği kuru madde miktarı (g)
m_t	t anındaki örneğin ağırlığı (g)
M	t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
MR	Boyutsuz nem oranı
M_0	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
n	Model katsayısı (Page, Geliştirilmiş Page I, Geliştirilmiş Page II)
n	Pozitif tamsayı
N	Veri sayısı
Net_i	Nörona giren net girdi
t	Kuruma süresi (s)
W_{ij}	i ve j nöronları arasındaki bağlantının ağırlığı
x_i	i. deneysel değer
$\bar{x}$	Deneysel değerlerin ortalaması
y_i	i. öngörü değeri
$\bar{y}$	Modelden elde edilen değerlerin ortalaması

GC	Gaz kromatografisi
LMM	Levenberg–Marquardt metodu
% MAPE	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
MS	Kütle spektrometresi
MSE	Hata Kareleri Ortalaması
R	Korelasyon katsayısı
R	Üniversal gaz sabiti
RI	Alıkonma indeksleri
RMSE	Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü
RSM	Yanıt Yüzey Yöntemi
SDE	Eş zamanlı destilasyon – ekstraksiyon
SFE	Süperkritik sıvı ekstraksiyonu
SPME	Katı faz mikroekstraksiyon
T	Kurutma havası sıcaklığı (K)
YSA	Yapay sinir ağları

1. GİRİŞ

Bitkiler insanlığın var oluşundan bu yana hem temel besin kaynağı hem de ilaç olarak kullanılmaktadır. İlk çağlardan beri insanlar hangi bitkinin yenilebilir olduğunu, hangilerinin zehirli ya da şifalı (tıbbi) olduğunu deneme yanılma yoluyla bulmuşlardır [1].

Tıbbi bitkilerin tarihçesi oldukça eski olup Sümerliler, Asurlular, Mısırlılar, Hititliler, Romalılar, Grekler gibi eski büyük medeniyetler hastalıkların tedavisinde bitkileri yoğun bir şekilde kullanmışlardır. Hekimlerin babası olarak bilinen Hippokrates, Mithridates, Dioscorides, Calinos (Galen) gibi Grek, Roma ve Bizans hekimleri reçetelerinde şifalı bitkilere yer vermişlerdir. Hippokratesin (M.Ö. 460-377) eserlerinde 400 kadar bitkisel kökenli drogun yer aldığı bilinmektedir. Roma ve Bizans döneminde kullanılan bitkisel droglar hakkındaki detaylı bilgiler ise Pedanius Dioscorides'in De Materia Medica (Tıbbi Materyaller) adlı eserinde anlatılmaktadır [1].

İslam kültüründe de bitkilerle tedavi yöntemleri önemli bir yere sahip olup özellikle orta çağ İslam hekimleri bitkilerle hastalıkların tedavisi konusunda eserler vermişlerdir. Ebu Reyhan Biruni (973-1051) Kitab al-Saydada fi al-Tıb, İbni Sina (980-1037) Şifa ve Kanun Fi't Tıb, İbn Baytar (1197-1248) Kitab al-Cami al-Müfredat al-Adviye vel-Agdiye ve Davud al-Antaki (1541-1599) Tezkeri-i Davud bu eserlerden bazılarıdır [1].

Yirminci yüzyıldaki tıbbi ve aromatik bitkiler ile ilgili gelişmeler incelendiğinde, yirminci yüzyıl başlarında bitkilerin ilaç olarak kullanımının azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak teknolojinin getirdiği yenilikler, sosyal ve politik değişimler gösterilebilir. Organik kimyasalların sentezi, 1930'lu ve 1940'lı yıllarda sentetik ilaçların üretimini özendirmiştir. Sentetik kimyasal ilaçların üretilmesi sonucunda endüstriyel olarak gelişen batı ülkelerinde, bitkilerin ilaç olarak kullanımında 1970'li yılların sonuna kadar azalma olduğu görülmüştür [2]. Yirminci yüzyılın başlarında ilaçların %40'ından fazlası bitkisel kökenli iken, 1970'li yılların ortalarında bu durum %5' in altına düşmüştür [3]. 1980'li ve 1990'lı yıllarda ise tüketicilerin bilinçlenmeleri, özellikle gelişmiş ülkelerde bitkisel ilaçlara olan talep artışı ve organik besinlere olan ilgi tıbbi ve aromatik bitkileri yeniden gündeme

getirmiştir. Bu yıllarda tıbbi ve aromatik bitkiler ile ilgili yapılan araştırmalar, bitkilerin üretimindeki gelişmelere yol göstermiştir [4].

Bugün dünyada kullanılan tıbbi ve aromatik bitkilerin sayısının Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre 20.000 civarında olduğu ve bunlardan yaklaşık 4.000 drogun yaygın bir şekilde kullanıldığı ve halen dünyada 2.000, Batı Avrupa’da ise 500 kadar tıbbi bitkinin ticaretinin yapıldığı rapor edilmektedir [1,2].

Ülkemiz; coğrafyası, iklimi ve bitki çeşitliliği, tarımsal potansiyeli ve geniş yüzölçümü nedeniyle tıbbi ve aromatik bitkiler bakımından zengin çeşitlilik göstermekte olup tıbbi ve aromatik bitki ticaretinde önemli bir konuma sahiptir [5]. Türkiye’ de yayılış gösteren bitki türü 9 binin üzerindedir ve bu türlerin yaklaşık 500 kadarı ilaç ve koku hammadde olarak kullanılmaktadır [1]. Çizelge 1.1’de Türkiye’de kültürü yapılan bazı önemli tıbbi ve aromatik bitkiler verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye’de bilinen bazı önemli tıbbi ve aromatik bitkiler [1]

Türkçe adı	Latince adı	Türkçe adı	Latince adı
Adaçayı	<i>Salvia fruticosa</i>	Kediotu	<i>Valeriana officinalis</i>
Anason	<i>Pimpinella anisum</i>	Kekik	<i>Thymus spp.</i>
Biberiye	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Kimyon	<i>Cuminum cyminum</i>
Çörek otu	<i>Nigella sativa</i>	Mercan köşk	<i>Origanum spp.</i>
Defne	<i>Laurus nobilis</i>	Nane	<i>Mentha piperita</i>
Deniz üzümü	<i>Ephedra distachia</i>	Papatya	<i>Anthemis nobilis</i>
Dereotu	<i>Anethum graveolens</i>	Rezene	<i>Foeniculum vulgare</i>
Fesleğen	<i>Ocimum bacilicum</i>	Safran	<i>Crocus sativus</i>
Kantaron	<i>Hypericum perforatum</i>	Sedefotu	<i>Ruta graveolens</i>
Kapari	<i>Capparis spinosa</i>	Zakkum	<i>Nerium oleander</i>

Tıbbi ve aromatik bitkilerden ilaç olarak geleneksel ve modern tıpta kullanılmasının yanında besin takviyeleri, bitkisel çay, tat ve çeşni olarakta faydalanılmaktadır. Ayrıca parfümeri ve kozmetik, boya, temizlik ürünleri, parlaticılar hatta böcek ilaçları olarak sanayinin farklı kollarında geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [6].

Tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağlar ise dünyada büyük bir pazar olarak yerini almıştır. Uçucu yağlar parfümeri ve kozmetik sanayinin önemli bir girdisi olup aynı zamanda sabun, deterjan, diş macunu üretiminde önemli bir yere sahiptir. Fizyolojik etkileri nedeniyle uçucu yağlar aromaterapide kullanıldığı gibi tatları ve kokuları güzel olduğundan baharat olarak da kullanılmaktadır [7].

Uçucu yağların dünyadaki üretim miktarlarının 45.000 ton/yıl civarında olduğu tahmin edilmektedir. ABD nanesi, Çin nanesi, limon, biberiye, karanfil, portakal, okaliptus, paçuli, lavanta, sitronel, sedir ağacı, litsea cubeba, küçük limon ve sassafras yağları üretimi yapılan yağlardan bazılarıdır. En çok ilgi gören yağlar ise nane, portakal ve okaliptus yağlarıdır [8].

Ülkemizde ise uçucu yağ üretiminin önemli bir bölümünü gülyağı oluşturmaktadır. Ülkemiz, dünyadaki en büyük gülyağı üreticisi olup, üretilen Rosa damascana adlı gül bitkisinden elde edilen gülyağı dünya piyasalarında “Türk gülyağı” olarak tanınmaktadır. Ayrıca ihracatını yaptığımız başlıca yağlar kekik yağı, defne yağı, limon yağı iken ithalatını yaptığımız başlıca yağlar ise nane yağı, portakal yağı, bergamut yağı ve lavanta yağıdır [8].

Uçucu yağların yüksek ekonomik değerinin olması ve geniş kullanım alanına sahip olması, son yıllarda bu maddelere olan ilginin artmasına, kimyasal yapılarının incelenmesine ve biyolojik aktivitelerinin araştırılmasına neden olmuştur. Nane uçucu yağının ise dünya ticaretinde önemli bir yere sahip olması, başta ilaç endüstrisi olmak üzere birçok alanda gittikçe önem kazanması ve dünya pazarında bu ürünlere her geçen gün talebin artması çalışmalarımızı bu konuya yönlendirmiştir.

Bu tez çalışmasında Malatya ilinin ekolojik koşullarında yetişen, Lamiaceae familyasına ait bir bitki türü olan *Mentha spicata*’dan uçucu yağ eldesi için bitkinin hasatından sonra seçilen kurutma ve destilasyon süreçlerinde optimum koşulların araştırılması amaçlanmıştır. *Mentha spicata* bitkisinin gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) iki farklı yöntem ile kurutulmasında kurutma kinetiğinin belirlenmesi, kurutulan ürünlerden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle, literatürde yer alan ve bu tez çalışmasında kullanılan 6 farklı ince tabaka kurutma modeliyle tahmini olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması ve MATLAB’da yapay sinir ağlarıyla kıyaslanması planlanmıştır. Ayrıca Design Expert-10 (trial) yazılımında yer alan merkezi kompozit tasarım ile cevap yüzey yöntemi kullanılarak

gölgede kurutulan bitkisel örnekden uçucu yağ eldesi için deney tasarımı oluşturmak ve bu tasarıma göre deneyleri gerçekleştirerek elde edilen uçucu yağların bileşiminde bulunan karvon miktarını ve yağ miktarını optimize etmek hedeflenmiştir.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Lamiaceae (Labiatae) Familyası

Lamiaceae familyası halk arasında Ballıbabagiller olarak bilinir. Bu familyaya ait üyeler ülkemizin bitki çeşidi zenginliğinin içinde önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bünyelerinde başta uçucu yağlar olmak üzere, farklı kimyasal bileşikler bulundurmaları nedeni ile ekonomik açıdan da oldukça önemli bitkilerdir.

Lamiaceae familyası içerisinde eski dönemlerden bu yana kullanılagelen nane (*Mentha piperita*), biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), adaçayı (*Salvia officinalis* L.), lavanta (*Lavandula angustifolia* Mill.), kekik (*Thymus vulgaris* L.), mercanköşk/kekik (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum* Ietswaart), oğulotu (*Melissa officinalis* L.) gibi bilinen kokulu ve aromalı bitkiler yer almaktadır [9].

Lamiaceae familyası dünyada yaklaşık 250 cins ve 7000 tür içermekte olup bu familyaya ait üyeler başta Akdeniz ülkeleri, Avustralya, Güney Batı Asya ve Güney Amerika' da yayılış göstermektedir. Türkiye Lamiaceae familyasının önemli gen merkezlerinden biridir ve bu familya ülkemizde 45 cinsten 256'sı endemik olmak üzere yaklaşık 574 türden meydana gelmektedir. Lamiaceae familyasının ülkemizdeki endemizm oranı yaklaşık % 44,5'tir ve içerdiği takson sayısı bakımından Türkiye'nin en zengin üçüncü familyasıdır [10].

Lamiaceae familyası üyelerinin büyük çoğunluğu uçucu yağlar ve benzeri sekonder metabolitler bakımından zengindir. Bu nedenle tıp, eczacılık, gıda, kozmetik ve parfümeri gibi çeşitli alanlarda büyük öneme sahiptir [11].

Bu familyaya ait bitkiler bir ya da çok yıllık otsu, yarı çalimsı veya çalimsı bitkilerdir. Bu familyanın karakteristik özelliği anatomik açıdan salgı tüyü baş kısmının 8 hücreli olmasıdır. Bitkilerdeki uçucu yağ epiderma dokusu üzerinde yer alan salgı tüylerinde bulunmaktadır. Bitkilerde gövde 4 köşeli olup çiçekler erdişi, zigomorftur ve meyva ise 4 kuru nuksa ayrılmış bir şizokarptır [12].

2.1.1. *Mentha* L.

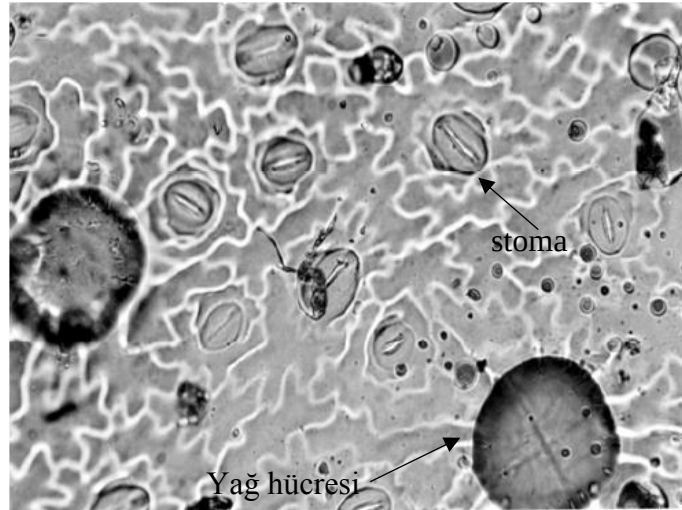
Nane, *Mentha* türlerine verilen genel bir addır ve bu bitkiler çok yıllık sürünücü gövdelere sahip otsu bitkilerdir [13]. Nane lamiaceae familyasına ait

değerli bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Anavatanı Orta Avrupa ve Asya olan nane, dünyanın hemen her bölgesinde yayılış gösterir ve geniş bir tür zenginliğine sahiptir. Dünyada kültürü yapılan üç önemli nane türü;

- İngiliz nanesi (Pepper mint): *Mentha piperita*
- Japon nanesi (Japanese mint): *Mentha arvensis*
- Bahçe nanesi (Spear mint): *Mentha spicata* dir.

Kültürü yapılan bu üç önemli nane türünden başka içerdikleri özel bileşenlerden dolayı bergamot veya limon nanesi (*Mentha citrata*), su nanesi veya kıvırcık nane (*Mentha aquatica*), elma nanesi veya kırmızı nane (*Mentha gentilis*), ananas nanesi (*Mentha gentilis* var. *Variegata*) gibi daha pek çok nane türü bulunmaktadır. Ülkemizde ise nanenin 7 türüne (*M. pulegium*, *M. arvensis*, *M. aquatica*, *M. piperita*, *M. longifolia*, *M. suaveolens*, *M. spicata*) ait 12 takson yayılış göstermektedir [1].

Nane bitkisinin yaprakları (Folia Menthae) ekonomik olarak en değerli kısımlarıdır. *Mentha* cinsinin tüm türleri uçucu yağ taşımaktadır ve uçucu yağ oranı % 1-4 arasında değişmektedir. Şekil 2.1’de *Mentha* türlerinin yapraklarındaki stomalar ve yağ hücreleri görülmektedir. *M. piperita* ve *M. arvensis* türlerinin uçucu yağlarının en değerli etken maddeleri mentol ve menton iken, *M. spicata* türünün uçucu yağının en önemli etken maddesi karvondur [1].



Şekil 2.1. *Mentha* L. türlerinin yapraklarının alt yüzeyindeki stomalar ve yağ hücreleri [14]

Nane subtropik ve ılıman iklim bölgelerinde yoğun olarak yetiştirilir. Fazla yağış alan ılıman iklimlere oldukça iyi adapte olmuştur. Toprak isteği yönünden seçici olmamakla birlikte nemli ve humusça zengin topraklarda iyi yetişmektedir. Üretimi kolay olan bu bitki tohumla, toprak altı sürgünleriyle ve gövde çeltikleriyle kolayca üretilir. Genellikle toprak seviyesinden 5 – 10 cm yukarıdan ideal biçim zamanı olan çiçeklenme başlangıcında hasat edilir. Hasat zamanı geciktikçe mentol oranı artarken, menton oranı azalmaktadır. Hasat edilen ürün gölgede veya özel kurutma sistemleriyle kurutulur, sap ve yaprakları ayıklanır ve yaprak olarak pazarlanır [1].

2.1.1.1. *Mentha spicata*

M. spicata, *M. viridis* olarak da adlandırılır. *M. piperita*' ya benzer, 30-100 cm yükseklikte, parlak yeşil renkli, kuvvetli kokulu, çiçekleri, soluk mavi renkli, dalların ucunda ve başak şeklinde bir arada olan çok yıllık ve otsu bir bitkidir (Şekil 2.2).

Yaprakları sivri uçlu olup hemen hemen sapsızdır. Folium Menthae crispae veya F. Menthae viridis ismi altında ticarete bulunan yaprakları özellikle uçucu yağ eldesinde kullanılmaktadır [15].

Bu türün uçucu yağının özgül ağırlığı (25°C) 0,917-0,934, çevirme (optik) açısı (20°C) -48°/-59° ve kırılma indisi (20°C) 1,484-1,491 dir. *M. spicata* uçucu yağının başlıca bileşenleri; karvon (%40-70), limonen (%20), karveoller, karvon izomerleri, karvil asetatlar, ayrıca mentol, borneol, linalol, menton, jasmon, perilalkol vb. monoterpenler ve seskiterpenlerdir [16].



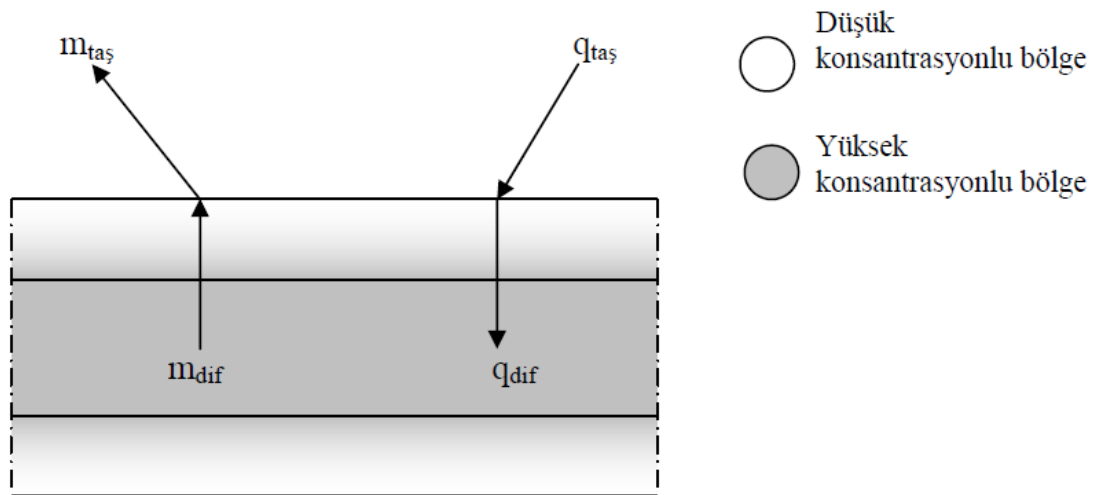
Şekil 2.2. *Mentha spicata*

2.2. Kurutma

Kurutma veya dehidrasyon insanoğlunun ilk çağlardan beri uygulamakta olduğu en eski ve geleneksel gıda muhafaza yöntemlerindendir. Gıda muhafaza yöntemleri gıda güvenliği açısından oldukça önemli olup ürüne uygun olmayan koruma ve muhafaza yöntemi ürün kalitesinde ve ürünün besin değerinde kayıplar meydana getirebilmektedir [17].

Gıda kurutma işleminin amacı, gıda maddesinin ihtiva ettiği %80-90 oranındaki suyu %10-20 oranına düşürerek, ürünün raf ömrünün uzamasını sağlamaktır. Su yokluğunda gıdanın telef olmasına ya da bozulmasına neden olan mikroorganizmalar çoğalamazlar ve gıdada ve diğer biyolojik maddelerde kimyasal değişimlere sebep olan enzimlerin çoğu işlevlerini yerine getiremezler. Gıdalardaki su içeriği % 10'un altına düşürüldüğünde ise mikroorganizmalar aktivitelerini yitirirler. Kurutulan gıdalar daha uzun süre depolanabilir, sevkiyatı kolay, daha az işçilik ile ekipman gerektirir ve masrafı nispeten az olmaktadır [18,19].

Kimyasal proseslerin en önemli basamaklarından biri olarak kabul edilen kurutma prosesi, bir ürünün satışa sunumundan önceki görünüm ve dayanım özelliklerinin en iyi yansıtıldığı nem seviyesine düşürülmesi amacıyla uygulanır. Kurutma işlemi ısı ve kütle transferinin eş zamanlı gerçekleştiği kompleks bir olaydır [20]. Kurutma prosesinde meydana gelen ısı ve kütle aktarımının şematik gösterimi Şekil 2.3'deki gibidir.



Şekil 2.3. Kurutma prosesinde meydana gelen ısı ve kütle aktarımının şematik gösterimi [21]

Şekildeki $m_{taş}$, ürün yüzeyinden kurutma havasına konveksiyonla nem transferini, m_{dif} , ürünün iç kısımlarından yüzeyine difüzyonla nem transferini, $q_{taş}$, kurutma havasından kurutulan ürünün yüzeyine taşınım ile ısı transferini ve q_{dif} ürünün iç kısmına difüzyonla ısı transferini belirtmektedir.

Gıdanın kurutulması sırasında bu eş zamanlı ısı ve kütle aktarımı şu şekilde gerçekleşir; öncelikle gıda, çevresini saran sıcak hava ile temas ederek, ısınmaya başlar (ısı aktarımı). Gıdanın yüzeyindeki nem tamamen aktarıldıktan sonra iç taraflardaki nem, difüzyon yoluyla (kütle aktarımı) yüzeye taşınır ve yüzeyden uzaklaşması sağlanır. Ortamın sıcaklığı, ortamda bulunan havanın nemi, basınç ve kurutulan gıdanın yüzey alanı, kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle aktarımına etki eden parametrelerdir [22].

2.2.1. Kurutma sistemleri

2.2.1.1. Gölgede kurutma

Gölgede kurutmada kurutulacak materyaller üzeri kapalı ve yanları açık, sundurma veya hangarlar içinde kurutulur. Böylece kurutulacak materyal doğrudan doğruya güneş ışınlarına maruz bırakılmadan açık havada kurutulur. Materyal demetler halinde asılır ya da ince bir tabaka halinde serilir. Kuruma sırasında küflenmeyi ya da çürümeyi önlemek ve kurumayı hızlandırmak için materyal sık sık alt üst edilmelidir. Yaprak ve çiçek gibi kolaylıkla su kaybeden ve yüksek sıcaklıklarda yapısı bozulabilen bitkiler gölgede kurutma yöntemiyle iyi bir şekilde kurutulabilir [16].

2.2.1.2. Güneşte kurutma

Güneşte kurutma, yaygın olarak kullanılan doğal bir kurutma yöntemi olmakla birlikte başta kontaminasyon olmak üzere birçok problemi de beraberinde getirmektedir. Güneş ısısından yararlanılarak kurutmanın her zaman mümkün olmaması, ürünün toz, böcek vb. gibi hijyenik olmayan dış etkilere maruz kalması, kurutmayla birlikte fermentasyon oluşma riski zamanla yapay kurutma proseslerinin güneşte kurutma sistemlerine tercih edilmesine neden olmuştur [18]. Güneşte

kurutma metodunun oldukça uzun zaman ve geniş alanlara ihtiyaç duyan bir metod olması, daha sağlıklı, hızlı ve homojen özellik taşıyan endüstriyel ölçekli, değişik kurutma yöntemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır [23].

2.2.1.3. Sıcak hava ile kurutma

Ürünün sıcak havayla kurutulmasının geçmişi çok eskidir ve günümüzde hala yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ürünün içerdiği nemin uzaklaştırılması için gereken gizli ısı hava yardımıyla sağlanır ve buharlaşan nem hava ile üründen uzaklaştırılır. Ürün ile hava arasında ısı ve nem aktarımı eş zamanlı gerçekleşir böylece ürünün nemi azaltılır [24].

Sıcak hava kurutucuları genellikle taneli ve dilimlenmiş meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılırlar. Tepsili/tünel/bantlı kurutucular, püskürtmeli kurutucular ve akışkan yatak kurutucular sıcak hava kurutuculara örnek olarak verilebilir. Bu tür kurutucularda her ürüne göre belirli bir hava hızı uygulanır ve ürün kısa sürede kurutulabilir. Havayı ısıtmak için gerekli olan enerji kaynağı elektrik ya da güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir bir enerji kaynağı olmalıdır [25].

Sıcak hava ile kurutma sistemleri basit tasarıma sahiptir. Bu sistemlerin işletme ve bakım giderlerinin az olması ve farklı ürünlerin mevsime göre kurutulabilir olması bu kurutma sistemlerinin avantajları arasında sayılabilir [26]. Sıcak hava ile kurutmada kurutucu hava hızı, örnek kalınlığı ve sıcaklık kurutma özelliklerini ve hızını etkileyen parametrelerdir [23].

2.2.1.4. Vakum kurutma

Vakum kurutma, meyve ve püreler gibi uzun kuruma süreleri isteyen gıda ürünleri için kullanılan bir yöntemdir. Kurutma oksijensiz ortamda gerçekleştirildiği için kurutma işlem süresi diğer metotlara nazaran çok daha kısadır. Daha da önemlisi, ortamda hava yer almadığı için suyun uzaklaştırılması esnasında oksidasyon tepkimeleri azalır. Vakum tip kurutucularda kurutulan gıda maddelerinin renk, doku ve aroması iyi bir şekilde korunabilmektedir [27].

2.2.1.5. Dondurarak kurutma

Bu kurutma yönteminde, kurutulacak gıdaya ısı geçişi kondüksiyon veya radyasyonla ya da her iki yolla gerçekleşir. Isı iletim hızının kontrolü dondurarak kurutma yönteminde en önemli noktadır. Donmuş haldeki gıda maddesinin erimemesine dikkat edilmelidir. Bu nedenle ısı iletim hızının buzun erimemesini sağlayacak düzeyde düşük olması gerekirken diğer taraftan kurutma işleminin kısa sürede tamamlanabilmesi için ısı iletim hızı yüksek olmalıdır [28]. Farmakolojik ürünler, meyve suları, kahve ve çay özlerinin eldesinde, sebze, et ve süt üretiminde bu yöntem kullanılabilir. Dondurarak kurutma işleminin pahalı olması kullanımını azaltmıştır [29].

2.2.1.6. Mikrodalga kurutma

Mikrodalga yöntemiyle kurutma tekniğinin esas kurutulan ürünün içerisinde bulunan su moleküllerinin hızlı bir şekilde hareket etmelerini sağlamak ve bundan dolayı meydana gelen moleküler sürtünmeyle ısı elde etmektir. Bu yöntem ile materyalin kurutulabilmesi için enerjinin materyalin derinliklerine kadar inebilmesi gerekmektedir. Enerjinin etkileyebildiği derinlik, dalga boyu, dielektrik sabiti ve kayıp faktörü gibi etkenlere bağlı olmakla birlikte dalga boyunun azalması ve frekansın artması materyale girme derinliğini azaltmaktadır. Bu yöntem ile meyveler ve başlangıçtaki nem oranı yüksek olan çoğu gıda maddesi başarılı bir şekilde kurutulmaktadır [30].

2.2.1.7. İnfrared kurutma

Bu yöntem ile gıda maddelerinin kurutulması için gerekli olan ısı infrared enerjisinden sağlanmaktadır. Gıda maddesi üzerine düşürülen infrared ışınları ile oluşan ısı, maddenin iç kısımlarına aktarılır ve böylece kurutma işlemi gerçekleştirilir [31].

Gıda maddesinin çeşidi, kalınlığı ve enerjinin nüfuz edebilme derinliği bu yöntemle kurutmanın başarısını etkileyen faktörler arasındadır. Kurutma ve ısıtmada hızlı olması, önemli oranda enerji tasarrufu sağlaması infrared ile kurutma yönteminin avantajları arasında sayılabilir. Ayrıca gıda maddelerinin bu yöntemle

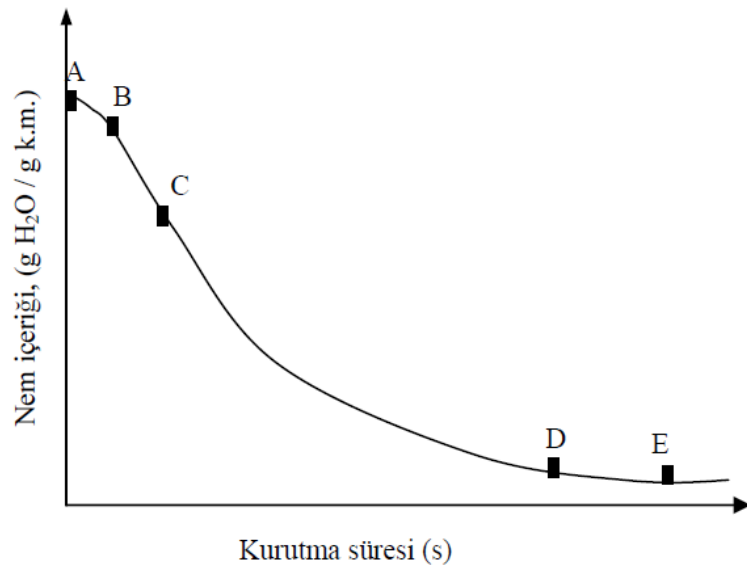
kurutulması sırasında kuruma etkinliğinin yanı sıra ürünün renginin ve besin içeriğinin korunmasına dikkat edilmelidir [32].

2.2.1.8. Ozmotik kurutma

Ozmotik kurutma meyve ve sebze dilimleri gibi gıda maddelerinin bir hipertonic çözelti içerisinde bekletilmesiyle su oranının düşürülmesi işlemidir. Yöntemde su kaybının yanı sıra, ürün ile çözelti arasındaki derişim farkından dolayı çözünen madde molekülleri de ürüne katılmaktadır. Bu kurutma yönteminde eş zamanlı olarak üç farklı kütle aktarımı meydana gelir. İlki, gıda maddesinden çözeltiye doğru olan su akışıdır. İkincisi çözeltiden gıda maddesine çözünenin aktarımıdır. Üçüncü kütle aktarımı ise gıda maddesine ait çözünenlerin (şekerler, organik asitler, mineraller, vb.) çözeltiye çekilmesidir [33].

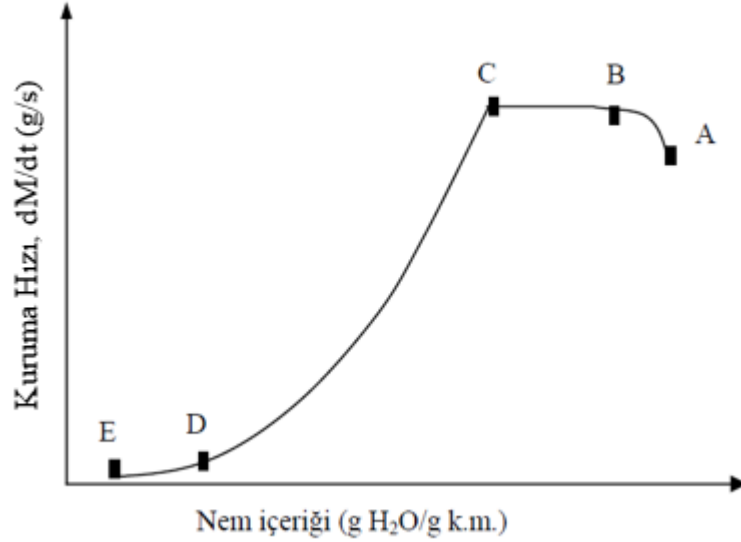
2.2.2. Kurutmanın temel aşamaları

Gıdaların farklı şartlarda kurutulması sonucu çizilen kurutma eğrileri de farklı olmaktadır. Buna rağmen, gıdaların kurutulması sırasında genellikle 2 farklı periyot mevcuttur. İlk periyot kurumanın hızlı gerçekleştiği ve nemin büyük bir bölümünün uzaklaştırıldığı sabit hız periyodu, ikincisi ise katının içerdiği su miktarının azalmış olması sebebiyle kuruma hızının yavaşladığı ve daha düşük miktarda suyun uzaklaştırıldığı azalan hız periyodudur [34].



Şekil 2.4. Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi

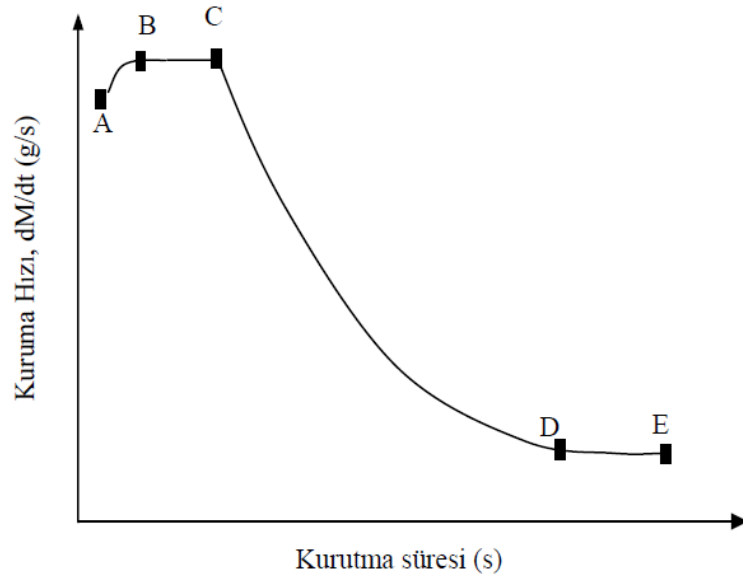
Şekil 2.4-2.6’da görülen A-B bölgesi katının ısınma periyodunu gösterir. Bu bölümde katının yüzey sıcaklığı denge değerine ulaşır. Kurutma hızında bir artış görülmesine rağmen başlangıçtaki bu kararsız hal uyum süreci oldukça kısa olup tüm kurutma sürecinin çok az bir bölümünü oluşturur ve genellikle göz ardı edilir [20].



Şekil 2.5. Kurutma hızının ürün nem içeriği ile değişimi

Şekil 2.4-2.6’da görülen B-C bölgesi sabit kurutma hızı periyodudur. Bu periyotta, katının yüzeyi ıslaktır ve suyun ısıtma ortamına transferini gerçekleştirmek için katının yüzeyinde bir film tabaka meydana gelmiştir. Bu, katının içerisinde bulunan tamamen bağlı olmayan sudur ve sanki katı yokmuş gibi davranır. Buharlaşma hızı, katıdan bağımsız olup aynı şartlardaki serbest haldeki suyun, buharlaşma hızı ile esas olarak aynı değerdedir.

Eğer katının yapısı gözenekli ise, sabit kurutma hızı periyodunda buharlaştırılan suyun büyük bir kısmı katının iç kısımlarında bulunan bünye nemidir [20,34].



Şekil 2.6. Kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi

Şekil 2.4-2.6'da görüldüğü üzere azalan kuruma hızı periyodu iki bölgeye ayrılmaktadır; C-D bölgesi ve D-E bölgesi. Burada C noktası kritik nem miktarı olup katının özellikleriyle ilgili birçok faktöre bağlıdır. Kritik nokta yüzeyde ilk kuru noktanın olduğu duruma verilen addır ve sabit hızda kuruma periyodunun sonunu, azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını gösterir. Kritik nemden itibaren yüzey sıcaklığı artar ve katı yüzeyinde ıslak alan miktarında sürekli azalma söz konusudur [35,36]. Bu periyotta katı yüzeyi tamamen kurduğundan katı içerisindeki nem katı yüzeyine difüze olur ve yüzeye ulaşan nem uzaklaştırılır. Bu nedenle kuruma hızı C-D bölgesinde değişmektedir [37].

D noktasında katı yüzeyi artık tamamen kurudur ve ikinci azalan hız periyodu bu noktada başlar. Buharlaşma düzlemi katı yüzeyinden yavaşça iç noktalara doğru çekilir ve buharlaşma ısısı, katıdan geçerek buharlaşma bölgesine aktarılır [20]. E noktasına gelindiğinde ise artık buharlaşma durmuştur çünkü kurutucu havanın içerisindeki nemin buhar basıncı ile katının içerisindeki nemin buhar basıncı dengeye geldiğinde kuruma sona erer [38].

2.2.3. Kurutma kinetiği

Bir ürünün kuruma davranışını analiz etmek için kurutma kinetiğini incelemek gerekir. Kurutma, kinetik açıdan incelenirken ürün ile kurutma havası arasındaki nem alışverişi ve kuruma süresince geçen zaman da dikkate alınmalıdır.

Kinetik açıdan herhangi bir ürünün kuruması incelenirken, ürünün nemi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile ürünün nemi, kuruma hızı ile kuruma süresi ve ürünün sıcaklığı ile nemi arasındaki durumlar göz önünde bulundurulur [24].

Kurutma işlemlerinde kullanılan matematiksel modeller gıda maddeleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesinin yanında yeni bir proses dizaynında ve geliştirilmesinde de kullanılmaktadır. Transfer katsayısı, kurutma sabitleri vb. gibi kurutma koşullarını belirleyen faktörlerin hepsi modellerin oluşturulmasında kullanılmaktadır [39].

2.2.3.1. İnce tabaka kurutma modeli

İnce tabaka kurutma modeli, gıda maddeleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesinde en çok kullanılan modeldir [40]. İnce tabaka kurutma modelinde örnekler tek bir tabaka halinde kurutulur ve böylece sıcaklığın homojen bir şekilde dağıldığı kabul edilir [41]. İnce tabaka kurutma modeli diğer modellere göre birçok avantaja sahip olması, kullanım kolaylığı ve az veri gereksinimi sebebiyle son yıllarda birçok kurutma çalışmasında yer almıştır [40].

İnce tabaka kurutma modellerini teorik, yarı teorik ve ampirik modeller olarak üç grupta toplamak mümkündür. Teorik modeller tüm proses koşulları için kullanılabilir olsa da pratik olmamalarından dolayı tercih edilmemektedir. Bu modeller Fick' in ikinci yasasından yararlanılarak türetilmektedir.

Yarı teorik modeller türetilirken Fick' in ikinci yasasının yanı sıra Newton'un soğuma kanunundan da yararlanılır. Yarı teorik modeller kolayca uygulanabilir ve deneysel verileri kullanmak için daha az varsayıma gereksinim duyulur.

Ampirik modeller ise yarı teorik modellere benzer özellik göstermektedir. Bu modeller deney koşullarına bağlıdır. Gıda maddelerini kurutma çalışmalarında genellikle yarı teorik ve ampirik ince tabaka modelleri tercih edilir [42,43]. Çizelge 2.1' de gıda kurutma proseslerinde kullanılan bazı yarı teorik ve ampirik ince tabaka kurutma modelleri görülmektedir.

Çizelge 2.1. Kurutma eğrileri için çeşitli yazarlar tarafından verilen matematiksel modeller [18,44-47]

NO	MODEL ADI	MODEL EŞİTLİĞİ
1	Newton	$MR = e^{-kt}$
2	Page	$MR = e^{-kt^n}$
3	Geliştirilmiş Page I	$MR = e^{(-kt)^n}$
4	Geliştirilmiş Page II	$MR = e^{-(kt)^n}$
5	Henderson ve Pabis	$MR = a e^{-kt}$
6	Logaritmik	$MR = a e^{-kt} + c$
7	İki terimli	$MR = a e^{-k_0 t} + b e^{-k_1 t}$
8	İki terimli exponansiyel	$MR = a e^{-kt} + (1 - a) e^{-kat}$
9	Wang ve Sing	$MR = 1 + a t + b t^2$
10	Difüzyon yaklaşım	$MR = a e^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$
11	Verma ve ark.	$MR = a e^{-kt} + (1 - a) e^{-gt}$
12	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	$MR = a e^{-kt} + b e^{-gt} + c e^{-ht}$
13	Midilli ve ark.	$MR = a e^{-kt^n} + b t$

Çizelge 2.1’de verilen modellerdeki ‘MR’ terimi boyutsuz nem oranıdır ve Eşitlik 2.1 ile hesaplanır [48,49]. ‘n, a, k, c, b, g, h’ model katsayıları ve ‘t’ kuruma süresidir.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2.1)$$

Burada;

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

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

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

M_e değeri, M_0 ve M ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür bu yüzden ihmal edilebilir. Buna göre nem oranının sadeleştirilmiş şekli Eşitlik 2.2'deki gibi gösterilebilir [50,51].

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

Uygun model belirlenirken bazı parametrelerin hesaplanması gerekir. Bu parametrelerden en sık kullanılanlar, korelasyon katsayısı (R), % MAPE (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) ve RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) dir. En uygun model belirlenirken korelasyon katsayısının (R) bire yakın olması, % MAPE (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) ve RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) değerlerinin sıfıra yakın olması istenir. Bu parametrelerin değerleri Eşitlik 2.3-2.5 yardımıyla hesaplanır [44,52].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,d} - \overline{MR_d})(MR_{i,t} - \overline{MR_t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (MR_{i,d} - \overline{MR_d})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (MR_{i,t} - \overline{MR_t})^2}} \quad (2.3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{i,t} - MR_{i,d})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$\% MAPE = \frac{100}{N} \left[\sum_{i=1}^N \frac{|MR_{i,d} - MR_{i,t}|}{MR_{i,d}} \right] \quad (2.5)$$

Burada;

$MR_{i,d}$: deneysel nem oranı.

$MR_{i,t}$: tahmini nem oranı.

$\overline{MR_d}$: deneysel nem oranı değerlerinin ortalaması.

$\overline{MR_t}$: tahmini nem oranı değerlerinin ortalaması.

N: deneysel veri sayısıdır.

2.2.3.2. Etkin difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin belirlenmesi

Gıda maddelerinin kurutma davranışları Fick'in ikinci difüzyon eşitliği kullanılarak belirlenebilir [53,54]. Bu eşitlik, Crank [55] tarafından nem transferinin yalnızca difüzyonla gerçekleştiği, ürünün büzülmediği, sıcaklık ve difüzyon katsayısının sabit olduğu ve kuruma süresinin uzun olduğu varsayımları yapılarak çıkarılmıştır.

Uzun kurutma süreleri için sonsuz bir düzlem levha içerisindeki dağılım Eşitlik 2.5'deki analitik çözüm ile verilmektedir [47].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2.5)$$

Burada;

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

L : levha kalınlığı (m).

t : kuruma zamanı (s).

n : pozitif tamsayıdır.

Uzun kurutma süreleri için Eşitlik 2.5'de yalnızca sağ tarafındaki ilk terim kullanılır [56].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.6 logaritmik formda yazıldığında aşağıdaki Eşitlik 2.7 elde edilir.

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (2.7)$$

Etkin difüzyon katsayısının değeri, zamana karşı $\ln(MR)$ değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanır. Eşitlik 2.7'den görüleceği üzere çizilen grafik, eğimi $\pi^2 D_{eff}/4L^2$ olan bir doğru verir.

Etkin difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Eşitlik 2.8'deki Arrhenius denklemi ile açıklanmaktadır;

$$D_{eff} = D_0 e^{-E_a/RT} \quad (2.8)$$

Burada;

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

D_0 : sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit.

E_a : aktivasyon enerjisi (kJ/mol).

R : universal gaz sabiti ($8,314 kJ/kmol K$).

T : kurutma havası sıcaklığı (K) dır.

Eşitlik 2.8 logaritmik formda yazıldığında aşağıdaki Eşitlik 2.9 elde edilir.

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9 kullanılarak $1/T$ değerlerine karşılık $\ln D_{eff}$ değerleri grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğiminden (Eşitlik 2.10) aktivasyon enerjisi hesaplanabilir.

$$K = \frac{E_a}{R} \quad (2.10)$$

2.3. Uçucu Yağlar

2.3.1. Uçucu yağların tanımı ve özellikleri

Uçucu yağlar bitkilerin kök, gövde, yaprak, çiçek, kabuk, meyve gibi bölümlerinden çeşitli metotlarla elde edilen, oda sıcaklığında sıvı formda bulunan, genellikle renksiz veya açık sarı renkli, uçucu özelliğe sahip, kolaylıkla kristalleşebilen yağimsı karışımlardır [57,58]. Açıkta kaldıklarında oda sıcaklığı koşullarında buharlaşabildiklerinden ‘uçucu yağ’, eter gibi hızlıca uçtuklarından ‘eterik yağ’ ve genellikle hoş kokulu oldukları için ‘esansiyel yağ’ olarak da adlandırılırlar [58,59].

Uçucu yağların kimyasal yapısı sabit yağlarından oldukça farklıdır. Uçucu yağlar su buharı ile sürüklenebilirler ve süzgeç kağıdı üzerinde leke bırakmazlar fakat sabit yağlar su buharında sürüklenmezler ve süzgeç kağıdı üzerinde leke bırakırlar. Sabit yağlar gibi yağ asidi trigliserit yapısında değildirler. Uçucu yağlar ışık, hava ve ısı karşısında zamanla oksitlenir ve reçineleşirler. Bu yağları sabit yağlardan ayıran diğer önemli bir fark petrol eteri, kloroform, benzen, eter, etanol gibi organik çözücülerde çözünbilme özellikleridir [57].

Uçucu yağlar yeni destile edildiğinde çoğunlukla renksiz veya açık sarı renklidir ancak karanfil yağı gibi kahverengi, papatya yağı gibi mavi renkli olanları da vardır [57,60,61].

Uçucu yağlar geniş ve yüksek kaynama noktası aralığına sahiptirler. Genel olarak sudan hafiftirler ancak tarçın yağı, karanfil yağı ve hardal yağı gibi bazı yüksek aromalı veya kükürtlü uçucu yağların yoğunluğu 1 g/cm^3 ’ten büyüktür [57]. Yoğunlukları genellikle 0,8 ile $1,3 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir [62].

Bitkilerin bünyelerinde bulunan uçucu yağlar, bağlı bulundukları familyaya göre bitkilerin salgı sistemleri olan salgı tüylerinde, salgı hücrelerinde, salgı kanallarında ve salgı ceplerinde bulunurlar [63]. Ayrıca Piperaceae familyasındaki gibi değişikliğe uğramış parenkima hücrelerinde ya da gülde olduğu gibi dağılmış olarak epiderma veya parenkima hücrelerinde bulunabilirler [64]. Uçucu yağlar, Labiatae üyelerinin (kekik, lavanta, biberiye, fesleğen, nane) yapraklarında bulunan salgı tüylerinden; Umbelliferae üyelerinin (anason, kimyon, rezene, kişniş) meyvelerinde bulunan salgı kanallarından; Citrus türlerinin (portakal, limon,

greyfurt, mandarin) kabuklarında bulunan salgı ceplerinden; Pinus türlerinin (karaçam, sarıçam, kızılçam) ise gövde kabuklarında bulunan reçine kanallarından salgılanırlar. Şekil 2.7’de nane yaprağı yüzeyinin renkli taramalı elektron mikroskobu altındaki görünümü verilmiştir.



Şekil 2.7. Nane yaprağı yüzeyindeki uçucu yağ keseleri ve salgı tüyleri

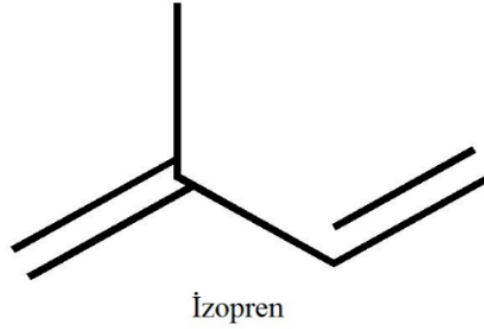
Uçucu yağların bitkilerde neden oluştuğu bilinmemekle birlikte bitkinin yaralanması esnasında oluşan reçinelerin çözünmesini sağladığı, böceklere karşı koruyucu ve cezbedici özellik gösterdiği, tozlaşmaya yardımcı olduğu ayrıca uçucu yağ ihtiva eden bitkilerin hayvanlar tarafından yenilmediği de düşünülürse bitkiyi koruduğu ve neslinin devamı için yardımcı olduğu söylenebilir [63].

2.3.2. Uçucu yağların kimyasal bileşimi

Uçucu yağların çoğu çok sayıda bileşiğin karışımından meydana geldiği için kimyasal yapıları oldukça karmaşıktır. Uçucu yağlar genellikle hidrokarbonlar ve hidrokarbonların oksijenli türevlerinden oluşurlar. Yapılarında organik bileşiklerin bir çoğuna, hidrokarbür, aldehit, keton, alkol, asit, epoksit, amin, ester, oksit, eter ve bunlara benzer yapılara bir arada rastlamak mümkündür [65].

Uçucu yağlarda bugüne kadar 2000’den fazla kimyasal bileşenin bulunduğu tespit edilmiştir ki bunların en önemlileri terpenlerdir ve uçucu yağlarda bulunan maddelerin çoğu terpen kökenlidir. Ayrıca çok sayıda azot ve kükürt içeren bileşiklerin var olduğu da görülmüştür [57].

Terpenler, yapısı Şekil 2.8’de gösterilen izopren (2-metil-1,3-butadien) moleküllerinin türevleridir ve kimyasal formülleri $(C_5H_8)_n$ şeklinde ifade edilir. Terpenleri içerdikleri izopren biriminin sayısına göre; monoterpen, seskiterpen, diterpen ve triterpen olarak dört gruba ayırmak mümkündür. Terpenlerin oksijen içermesiyle meydana gelen terpen türevleri ise terpenoidler olarak adlandırılırlar [66].



Şekil 2.8. İzopren molekülü

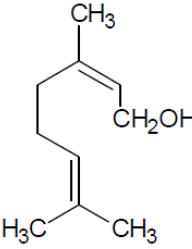
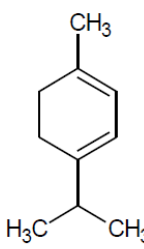
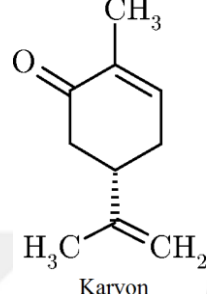
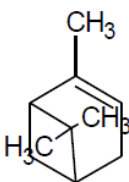
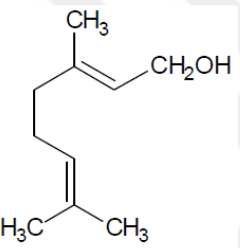
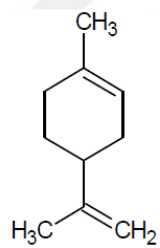
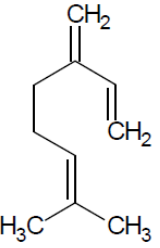
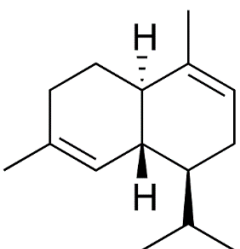
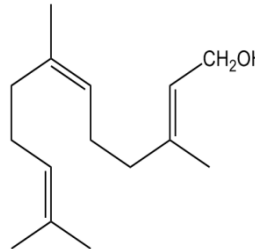
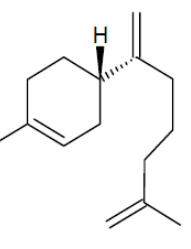
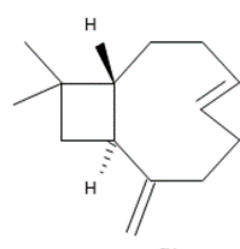
Monoterpenler iki izopren ünitesinden oluşurlar. Molekül formülleri $C_{10}H_{16}$ dir. Monoterpenler parfümeride ve gıda maddelerinde koku verici bir grup olarak kullanılırlar. Etkin maddelerine göre asiklik monoterpenler, monosiklik monoterpenler ve bisiklik monoterpenler olmak üzere 3 grupta toplanabilir. Monoterpenlere örnek olarak osimen, sitral, sitronel, geraniol, mentol, menton, sabinen, kamfen gibi yapılar verilebilir [66].

Seskiterpenler üç izopren ünitesinden oluşurlar ve molekül formülleri $C_{15}H_{24}$ dir. Bu yapılar, hidrokarbon olarak veya doğada alkoller, ketonlar, aldehytler, asitler veya laktonlar gibi oksijenli formlarda bulunurlar [67]. Terpenlerin en geniş sınıfıdır ve günümüzde 1000’den fazla seskiterpen bilinmektedir. Seskiterpenler tat ve ilaç sektörünün önemli bileşeni olarak büyük değere sahiptir. Seskiterpenler de etkin maddelerine göre asiklik, monosiklik, bisiklik ve trisiklik seskiterpenler olarak gruplandırılır. Karyofilen, bisabolol, kamazulen, farnesol gibi bileşikler bu yapılarla örnek olarak verilebilir [66].

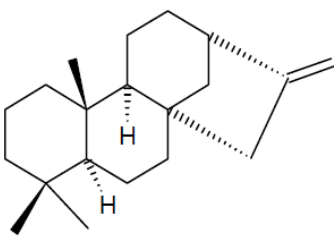
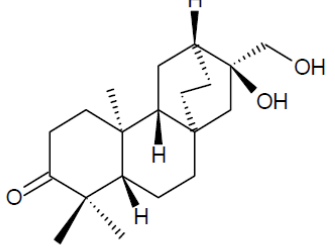
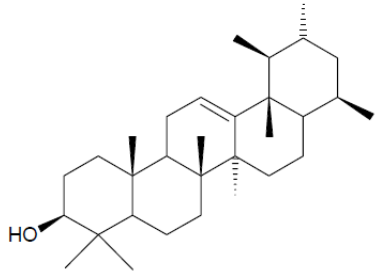
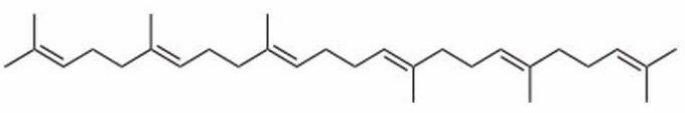
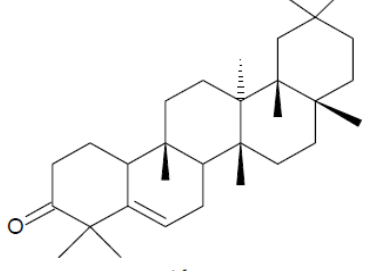
Diterpenler dört izopren birimden oluşurlar ve $C_{20}H_{32}$ moleküler formülüne sahiptirler. Uçucu yağlarda monoterpenlere ve seskiterpenlere önemli miktarlarda rastlanırken diterpenlere küçük miktarlarda ve yalnızca birkaç yağda rastlanır [68,69]. Diterpenler genellikle alkol ve fenolik yapıdadır ve doğada bu yapılarla

serbest halde rastlanmaz. Fitol, farnesol ve adaçayı yağında bulunan sklarol diterpenlere örnek olarak verilebilir [70]. Çizelge 2.2’de bazı monoterpen, seskiterpen, diterpen ve triterpen moleküllerinin yapıları görülmektedir.

Çizelge 2.2. Çeşitli uçucu yağlarda bulunan bazı monoterpen, seskiterpen, diterpen, triterpen molekülleri

Monoterpenler	İzopren sayısı: 2	C atomu sayısı: 10	
 Nerol	 α-terpinen	 Karvon	 α-pinen
 Geraniol	 Limonen		 Mirsen
Seskiterpenler	İzopren sayısı: 3	C atomu sayısı: 15	
 α - Kadinen	 Farnesol	 (+)-β-bisabolen	 Karyofilen

Çizelge 2.2. (devam)

Diterpenler	İzopren sayısı: 4	C atomu sayısı: 20
 (+)(-)-Kauren		 Atisane
Triterpenler	İzopren sayısı: 6	C atomu sayısı: 30
 Amiren	 Skualen	 Alnusenon

2.3.3. Uçucu yağların kullanım alanları

Bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, eski zamanlardan beri farklı amaçlara yönelik, özellikle bilimsel ve ticari olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu alanların başında gıda sanayi, kozmetik, ilaç, ağız bakım ürünleri, dişçilik, parfümeri, deterjan, boyacılık ve alternatif tıbbın bir dalı olan fitoterapi ve aromaterapi gelmektedir [71]. Kullanım alanı çok geniş olan bu bileşiklerin öneminin her geçen gün artması birçok bilim adamının ilgisini çekmiş ve son zamanlarda bitkilerden elde edilen uçucu yağların kimyasal yapıları ve biyolojik aktiviteleri incelenmiştir. [72].

Son zamanlarda aromaterapiye karşı duyulan ilgi, uçucu yağ kullanımının artmasına sebep olmuştur. Aromaterapide uçucu yağlar, uygulanan masajlarda ve rahatlatıcı banyolarda kullanılmaktadır. Bu yağlar aynı zamanda koku ve tat

endüstrileri için önemli bir konuma sahiptir. Ayrıca sedir ve lavanta gibi bazı yağlar böcek kovucu özelliği ile dikkat çekmektedir [73].

Bütün bu kullanım alanlarının yanında uçucu yağların çeşitli biyolojik aktivite özelliği göstermesinden dolayı ilaç endüstrisindeki yeri gittikçe artmaktadır. Bunun nedeni, analjezik (ağrı dindiren), antiseptik (mikropların üremesini önleyen), antifungal (mantara karşı), antiviral (virüsün tesirini önleyen), bakterist (bakterilere karşı), sedatif (sakinleştirici), stimulan (uyarıcı), antioksidan (serbest radikallerin olumsuz etkilerini giderici) gibi çeşitli etkilere sahip olmasıdır [73]. Bu özellikler uçucu yağ türüne göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; nane yağı; mikrop öldürücü, migren ağrısını giderici, okaliptüs yağı; ağrı giderici, lavanta yağı; baş ağrılarını giderici ve uykusuzluk, adaçayı yağı; sindirim düzenleyici, gaz söktürücü ve idrar artırıcı, anason yağı; uyku verici, gaz söktürücü, süt artırıcı, spazm giderici ve yatıştırıcı, aloe vera yağı; cildin nem oranını düzenleyici ve hücre yenilenmesine yardımcı, biberiye yağı; dolaşım sistemini uyarıcı, antibakteriyel, antifungal, akne ve egzamada etkili, çay ağacı yağı; cilt lekelerinin azaltılması, defne yağı; saç kökleri besleyici ve kepek giderici, karanfil yağı; ağrı kesici, antiseptik ve hazım kolaylaştırıcı, kekik yağı; kas ve eklem ağrılarında, romatizmal rahatsızlıkların tedavisinde, tarçın yağı; sindirim sistemi enfeksiyonlarında kullanılabilmesi nedeniyle tıbbi açıdan oldukça önemli uçucu yağlardan bazılarıdır [74]. Fakat hepsinin ortak özelliği ise antiseptik, antibiyotik, dezenfekte edici, bağışıklık sistemini güçlendirici etkilere sahip olmalarıdır.

2.3.4. Uçucu yağ eldesinde kullanılan yöntemler

Bitkilerden uçucu yağ eldesi için 1300'lü yılların başında Fransa ve İspanya'da destilasyon yöntemi geliştirilmiş, 1550'li yıllara gelindiğinde ise farmakoloji gibi farklı bilim dallarının ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır [75].

Uçucu yağlar, bitkinin cinsine, uçucu yağ eldesi için kullanılan bitki kısmına ve bitkilerde bulunan uçucu yağ miktarına göre çeşitli yöntemlerle elde edilebilmektedirler. Bitkilerdeki uçucu yağ miktarları bitkinin organlarına, gelişme dönemine, gün içindeki sıcaklık değişimlerine, iklim, çevre, topografik koşullara, yaşına ve genetik yapısına göre farklılık göstermektedir [76]. Uçucu yağ verimi ise;

bitki kısmına (çiçek, kök, tohum, yaprak, kabuk, gövde), hasat zamanına, vejetasyon dönemine (çiçekli, çiçeksiz, tohum), çevresel faktörlere, uçucu yağ eldesi için kullanılan yöntemlere ve yapısına (kuru, yaş, öğütülmüş) bağlı olarak değişmektedir [77-79].

Bitkilerden uçucu yağ elde etmek amacıyla uygulanacak olan yöntem, bitkinin ısıya dayanıklılığına, uçucu yağın miktarına, suda çözünürlüğüne ve bileşenlerine göre seçilir [80]. Uçucu yağ eldesi için uygulanan yöntemleri Destilasyon, Ekstraksiyon ve Sıkma olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür.

2.3.4.1. Destilasyon

Destilasyon işleminin tarihi M.Ö. 3000 yıllarına kadar uzanmaktadır ki o zamanlarda Hindistan Harappa'da kullanılan toprak imbik ilk kabul edilmektedir. 12. yy'da sert alkollü içeceklerin üretimi için tekrar gündeme gelmiş ve 13. yy'dan itibaren alkollü içeceklerin bu yöntemle üretimi oldukça benimsenmiştir [81].

Destilasyon organik bileşikler için ayırma ve saflaştırma yöntemlerinin en önemlisidir. 'Destilasyon' veya 'damıtma' sabit basınç altında kaynatılarak buharlaştırılan bir sıvı karışımının buharının soğutucudan geçirilerek yoğunlaştırıldığı işlemlere genel olarak verilen addır [82].

Uçucu yağların kaynama noktası genellikle suyunkinden yüksek olmasına rağmen bu tür iki fazlı bir sıvı sisteminde kaynama derecesi, her iki sıvının kaynama derecelerinden her zaman küçük olacaktır. Bu nedenle uçucu yağlar destilasyon yöntemiyle bozunmadan elde edilebilmektedir [83].

Bu yöntemle elde edilen uçucu yağın miktarı, destilasyon süresi ve sıcaklığı, çalışma basıncı, bitki çeşidi ve kalitesine bağlıdır [84,85]. Uçucu yağ üretimi amacıyla uygulanan başlıca destilasyon yöntemleri şunlardır:

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

Su destilasyonu

Su destilasyonu uçucu yağ eldesinde sıklıkla kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Destilasyon işlemi küçük ölçekli üretimlerde Clevenger tipi bir aparatla yapılırken endüstriyel uygulamalarda büyük destilasyon kazanlarında (İmbik) gerçekleştirilmektedir [86].

Su destilasyonu yönteminde esas işlem, su içinde bulunan bitkisel materyale ısı uygulayarak uçucu bileşenlerinin buharlaştırılması ve daha sonra soğutularak yoğunlaştırılmasıdır. Uçucu yağ suda çözünmediğinden faz ayrımı oluşur ve elde edilen yağın yoğunluğunun sudan ağır veya hafif olmasına göre suyun üzerinde ya da altında toplanır [81]. Şekil 2.9’da laboratuvar ölçekli çalışmalar için kullanılan bir Clevenger aparatı görülmektedir.



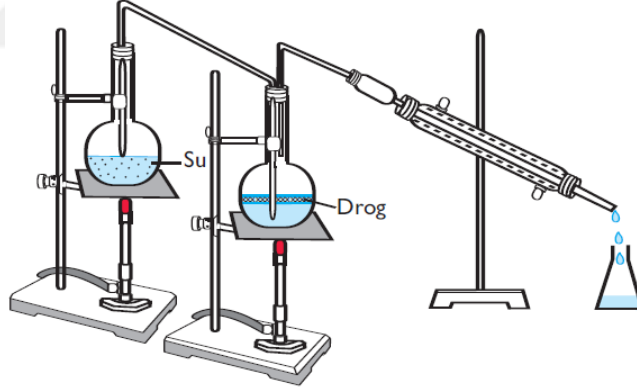
Şekil 2.9. Clevenger aparatı [81]

Bu yöntem ile elde edilen yağ miktarı oldukça fazladır ancak yöntemde uygulanan yüksek sıcaklık, termal bazı reaksiyonlara neden olmaktadır ve böylece hidroliz ve izomerizasyon olayları meydana gelmektedir [87]. Bunun yanında en temel avantajı ise buhar destilasyonunda görülen materyal topaklaşması ve birbirine yapışması sonucu penetrasyon özelliğinin azalması ya da ortadan kalkması ile kütle aktarımının durması bu yöntemde gözlenmemektedir. Su destilasyonu uygulamasına örnek olarak ülkemizdeki gül yağı üretimi verilebilir [81].

Buhar destilasyonu

Buhar destilasyonu ısıya karşı hassasiyeti olan materyallere uygulanır. Bu yöntemde materyal su ile temas halinde değildir, materyalin içinden buhar geçirilir. Materyalden hedef bileşiklerin bazıları buharlaşır. Oluşan buhar karışımı soğutucuya gelerek yoğunlaşır ve genellikle su ve yağ tabakası olmak üzere iki faz elde edilir. Çeşitli aromatik bitkilerin ve çiçeklerin buhar destilasyonunda uçucu yağ ve sulu bitkisel destilat olmak üzere iki ürün ortaya çıkar. Uçucu yağlar genellikle parfümeri ve aromaterapide kullanılırken sulu destilat aromaterapi, gıda işleme ve cilt bakımı gibi bir çok uygulamada kullanılır. Buhar destilasyonu doğal aromatik bileşikler gibi ısıya duyarlı malzemeler için özel bir ayırma işlemidir [88].

Birçok organik bileşik, yüksek sıcaklıkta bozunma eğilimi gösterir. Eğer destile edilecek maddelerin ısıya duyarlılığı oldukça fazla ise buhar destilasyonu, vakum destilasyonu ile birlikte kullanılabilir. Endüstriyel ölçekte okaliptüs yağı ve portakal yağı bu yöntemle elde edilir. Aynı zamanda petrokimya tesislerinde ve petrol rafinerilerinde yaygın olarak kullanılır [88]. Şekil 2.10'da laboratuvar ölçekli buhar destilasyon sistemi görülmektedir.

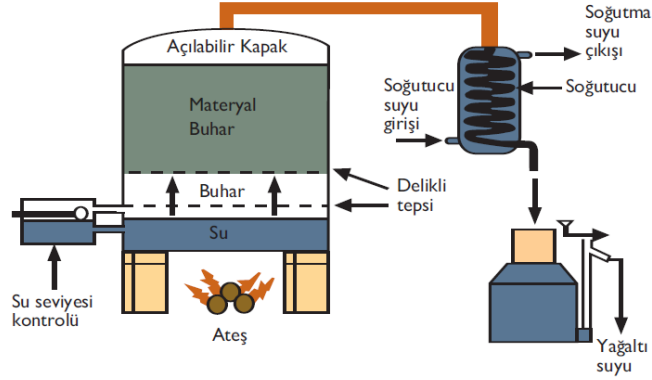


Şekil 2.10. Buhar destilasyonu ünitesi [81]

Su – buhar destilasyonu

Bu yöntem temel olarak, su destilasyonu ile buhar destilasyonunun birleşimidir. Bitki, destilasyon aparatına yerleştirilir ve üzerine su eklenir, daha sonra buhar, su ve bitki karışımına gönderilir. Uçucu yağ içeren buhar karışımı, soğutucudan geçerek yoğunlaşır ve yağ fazı su fazından ayrılır [84]. Şekil 2.11'de su ve buhar destilasyon sistemi görülmektedir.

Su ve buhar destilasyonunda materyale uygulanan sıcaklık ve destilasyon zamanının uzun olması uçucu yağın bileşenlerinin kimyasal yapılarının değişimine ve kaybına neden olabilir [85].



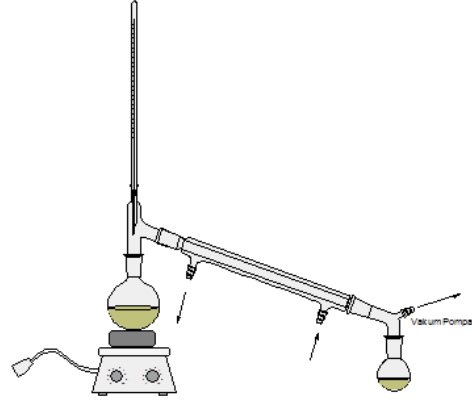
Şekil 2.11. Su ve buhar destilasyon sistemi [81]

Kuru destilasyon

Kuru destilasyon çok yaygın olarak kullanılmayan bir yöntemdir. Bazı bitkiler kuru kuruya ısıtıldıklarında uçucu bileşenler kısmen de olsa parçalanarak destile olurlar. Bu işleme pirojenasyon denir ve özel imbiklerde gerçekleştirilir. Kuru destilasyon uygulanacak materyal kurutulup küçük parçalar halinde kazanlara doldurulur ve yüksek ısıda kuru kuruya destile edilir. Destilasyon ürünleri soğutucuda yoğuşturularak toplama kabında toplanır [89].

Vakum destilasyonu

Kaynama noktaları oldukça yüksek olan bazı bileşiklerin eldesi için vakum destilasyonu yöntemi kullanılır. Bu bileşikleri elde etmek için sıcaklığı artırmak yerine basıncı düşürmek tercih edilir. Basıncı, bileşiğin buhar basıncının altına düşürüldüğünde, destilasyon işlemi başlamaktadır. Şekil 2.12’de vakum destilasyonu düzeneği görülmektedir [90].

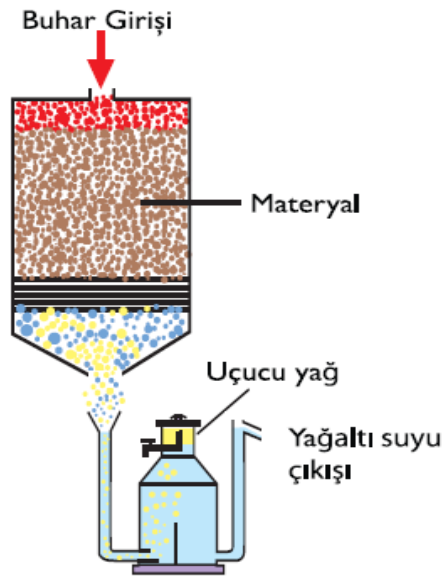


Şekil 2.12. Vakum destilasyonu düzeneği [81]

Hidrodifüzyon

Hidrodifüzyon yönteminde buhar, materyalin bulunduğu kazana alttan değil üstten verilir. Bu yöntemde difüzyon olayı ozmotik basınç prensibiyle gerçekleşir.

Yöntemde bitki materyali kazanın içinde bulunan delikli bir tepsi üzerine yerleştirilir ve düşük basınçlı buhar kazanın üst kısmından verilir. Hidrodifüzyon sisteminde delikli tepsinin altında bir soğutucu bulunur ve soğutucudan çıkan yağ ve su karışımı yoğunluk farkından dolayı ayrılır [81]. Şekil 2.13’de hidrodifüzyon sistemi görülmektedir.



Şekil 2.13. Hidrodifüzyon sistemi [81]

2.3.4.2. Ekstraksiyon

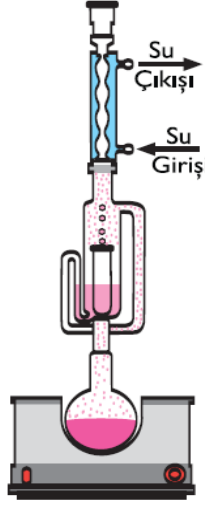
Ekstraksiyon, bir karışımdan ayırmak istediğimiz maddenin bir fazdan başka bir faza çekilmesi işlemidir.

Ekstraksiyon işleminin uygun şartlarda ve yüksek verimle gerçekleştirilebilmesi çeşitli parametrelerin doğru seçimine bağlıdır. Kaliteli ürünün alınabilmesi için uygun ekstraktör tipi seçiminin yanı sıra ekstraksiyon işlemi öncesinde ve işlem sırasında, sıcaklık, basınç, çözücü, parçacık büyüklüğü, süre, karıştırma hızı ve karıştırıcı tipi, nem, yüzey aktif madde etkisi, materyalin gözenek özelliği vb. gibi sıralayabileceğimiz, dikkat edilmesi gereken birçok parametre vardır [81].

Ekstraksiyon metotlarını geleneksel ve yeni metotlar olmak üzere iki grupta sınıflandırabiliriz. Sokslet ekstraksiyonu ve maserasyon işlemi geleneksel yöntemlerdendir. Bu yöntemlerde işlem süresi uzundur ve büyük miktarlarda çevreyi kirletici çözücüler kullanılmaktadır. Son zamanlarda geliştirilen süperkritik sıvı ekstraksiyonu ve mikrodalga ekstraksiyonu ise hızlı, etkin ve modern yöntemlerdendir [91].

Çözücü ekstraksiyonu

Çözücü ekstraksiyonu geleneksel ekstraksiyon yöntemidir. Bu yöntemde bitki materyali, doğrudan oda sıcaklığında çözücü içerisinde bekletilebileceği gibi bir sokslet (Şekil 2.14) aparatı içerisinde organik çözücü ile kaynatılabilir. Hekzan ve etanol organik çözücü olarak endüstriyel çalışmalarda kullanılırken, laboratuvar ölçekli çalışmalarda eter ve pentan-diklormetan (2:1) kullanılmaktadır. Ekstraksiyon işleminin sonunda, organik çözücünün geri kazanılması için destilasyon işlemi uygulanır. Kalan yağimsı kısımda ise uçucu bileşikler bulunmaktadır [86].



Şekil 2.14. Sokslet aparatı [81]

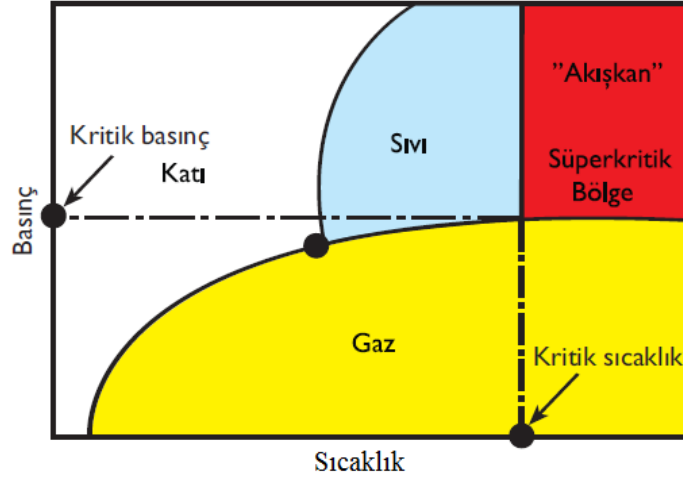
Çözücü ekstraksiyonu işlemi sırasında düşük sıcaklık kullanılmakta olup sıcaklık genellikle, sokslet cihazında 60°C'den az ve daldırma yönteminde ise 5–25°C arasındadır. Sistemde uygulanan düşük sıcaklık, elde edilen uçucu yağın doğal bir içerik kazanmasını sağlamaktadır [86].

Bu yöntemin iki dezavantajı mevcuttur. Birincisi ekstraksiyon işlemi sonrası uygulanan yoğunlaştırma işlemi sırasında molekül ağırlığı düşük olan uçucu bileşiklerin kaybı ve artifakların oluşumu, ikincisi ise geri kalan organik çözücüdür [66].

Süperkritik akışkan ekstraksiyonu (SFE)

Süperkritik sıvı ekstraksiyonu yöntemi diğer ekstraksiyon yöntemlerine göre daha az çözücü harcanması, işlem süresinin daha kısa olması ve normal koşullarda yüksek sıcaklıkta çözünen bileşikleri ayrıştırma özelliği ile son yıllarda dikkat çekmektedir [92].

Süperkritik sıvı ekstraksiyonu (SFE), bir çözücü ekstraksiyonu olmasına rağmen bu yöntemde çözücü olarak organik çözücüler yerine, süperkritik sıvı özelliği gösteren maddeler kullanılmaktadır. Şekil 2.15'deki faz diyagramından görüldüğü üzere bir madde, kritik sıcaklık (T_c) ve kritik basınç (P_c) noktasının üzerinde süperkritik sıvı özelliği gösterir ki bu noktada, süperkritik sıvı termodinamik özellikleri bakımından sıvı ile gaz arasındadır [86].



Şekil 2.15. Faz diyagramı [81]

Karbondiyoksit (CO_2), kolayca bulunabilmesi, maliyetinin düşük, saflık oranının yüksek olması, kullanımının kolay ve çevre etkisinin oldukça az olması nedeniyle süperkritik sıvı ekstraksiyonunda kullanılan çözücülerin başında gelmektedir [93].

Mikrodalga destekli ekstraksiyon

Mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi ekstraksiyon süresinin hızlı, enerji ve çözücü kullanımının az olması nedeniyle oldukça kullanışlıdır. Mikrodalga yöntemiyle bitki ve çözücünün ısıtılması hızlı bir şekilde enerji verimi sağlar. Bu yöntemde mikrodalga enerjisinin etkinliği çözücü madde ile bitki materyali arasındaki dielektrik duyarlılığına bağlıdır [94-96].

Sıkıştırılmış çözücü ekstraksiyonu

Sıkıştırılmış çözücü ekstraksiyonu yönteminin ekstraksiyon süresi, çözücü kullanımı, verim ve tekrarlanabilirlik gibi çeşitli avantajları mevcuttur. Yöntemde kullanılan yüksek basınç ve sıcaklıktaki organik çözücüler etkinliği arttırmaktadır. Sıcaklığın artması, ekstraksiyonun kinetiğini hızlandırırken, basıncın yükseltilmesi çözücüyü sıvı fazda tutarak güvenli ve hızlı bir ekstraksiyon sağlamaktadır [97].

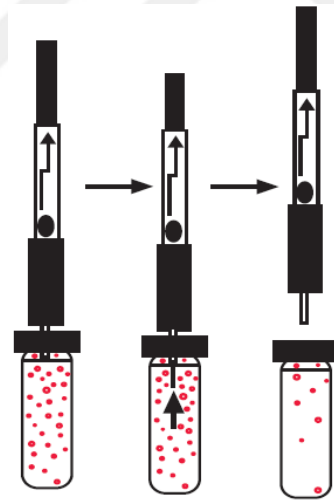
Sıkıştırılmış çözücü ekstraksiyonu yönteminde, materyal çelik bir kap içerisine yerleştirilir ve çözücü ile bir fırın içerisinde $50\text{--}200^\circ\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklarda ısıtılır. Isıtma sırasında fırına $500\text{--}3000$ psi değerleri arasında basınç

uygulanır. İşlemin 5 ile 10. dakikalarında ortama yeni çözücü pompalanır. Böylece, örneğin ve kabın yıkanması sağlanır. Sistem içerisindeki çözücü ise genellikle azot gazı kullanılarak toplanır [97].

Katı faz mikroekstraksiyon (SPME)

Katı faz mikroekstraksiyon (SPME) yöntemi, örnek hazırlama, ekstraksiyon ve yoğunlaştırma aşamalarını çözücü içermeyen tek bir aşamada topladığından işlem süresinde ve maliyetlerde önemli kazançlar sağlamaktadır. SPME yöntemi, GC veya GC-MS ile birlikte özellikle çevre, biyoloji ve gıda örneklerindeki uçucu ve yarı uçucu organik bileşiklerin ekstraksiyonunda kullanılmasının yanı sıra yüksek performanslı sıvı kromatografisinde (HPLC) de uygulanmaktadır [98].

SPME cihazı basit bir cihaz olup modifiye edilmiş bir şırıngaya benzerlik göstermektedir. Şekil 2.16'da bu cihaz görülmektedir. Bu yöntemin performansını etkileyen en önemli faktör cihazın iç kısmında bulunan lifi kaplayan materyalin tipi ve kalınlığıdır.

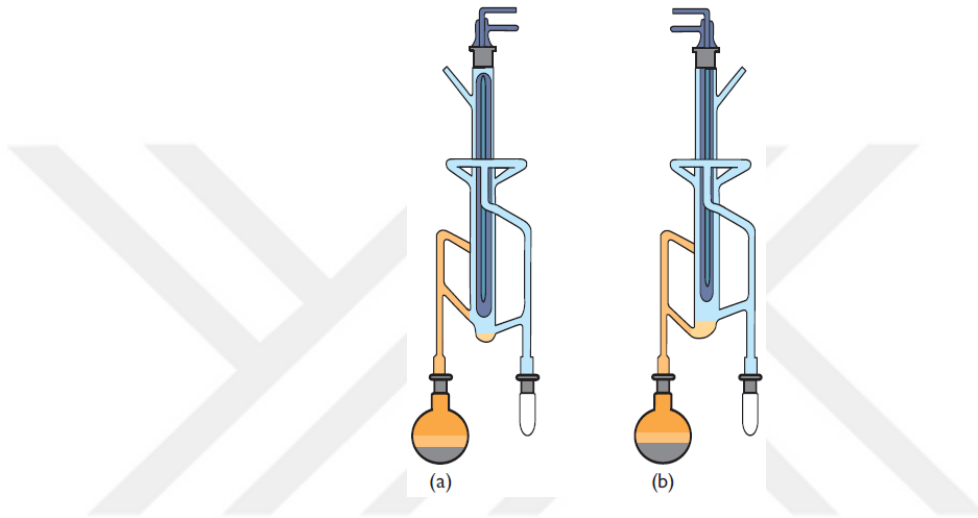


Şekil 2.16. Katı faz mikroekstraksiyon (SPME) enjektörü [81]

SPME yönteminde terpenler gibi önemli uçucu bileşiklerin tutulmasında genellikle PDMS/DVB [poly(dimethylsiloxane)-divinilbenzene] tipi lifler kullanılır. Ekstraksiyon süresi oldukça kısa olup 1 ile 20 dakika arasında değişmektedir. Sürenin kısa olması bazı uçucu bileşiklerin kazanımı için yeterli olsa da daha az uçucu bileşikler için daha uzun süreler gerektirmektedir [99].

Eş zamanlı destilasyon – ekstraksiyon (SDE)

Eş zamanlı destilasyon – ekstraksiyon yöntemi Likens ve Nickerson tarafından 1964 yılında ortaya konulmuştur. Bu yöntemde zaman ve harcanan kimyasal miktarı bakımından önemli azalmalar söz konusudur [90]. SDE işlemi laboratuvar ölçekli çalışmalarda Likens-Nickerson aparatı ile gerçekleştirilir. Bu aparat kullanılan organik çözücünün sudan ağır veya hafif olmasına göre iki farklı tasarıma sahiptir [81]. Şekil 2.17a’da sudan ağır ve Şekil 2.17b’de sudan hafif çözücüler için kullanılan Likens – Nickerson aparatı görülmektedir.



Şekil 2.17. Sudan ağır (a) ve sudan hafif (b) çözücüler için Likens – Nickerson aparatı [81]

Çözücü türü ve destilasyon-ekstraksiyon süresi SDE yöntemini etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Yöntemde maksimum verim genellikle 30–45. dakikalarda alınmaktadır. Ancak genel bir kural olarak işlem 1–2 saat sürmektedir [100].

2.3.4.3. Sıkma

Uçucu bileşikler limon, portakal, mandalina, greyfurt, bergamot gibi narenciye meyvelerinin taze kabuklarından sıkma yoluyla elde edilirler. Bu gibi meyvelerin kabuklarındaki uçucu bileşikler destilasyon yöntemi uygulandığında ısının etkisiyle bozunmaktadırlar. Sıkma yönteminde uçucu yağ eldesi için meyvelerin kabukları bez bir torbaya koyulup, soğuk hidrolik preslerde sıkılmaktadır [101]. Bu yöntemde materyale sıcaklık uygulanmaması ve uçucu olmayan

bileşenlerin de ortamda kalması elde edilen yağlara daha üstün aroma özelliği sağlar [102].

2.4. Modelleme ve Optimizasyon

2.4.1. Deney tasarımı

Deney tasarımı ilk olarak 1920’lerde R. A. Fisher ve ark. tarafından tarımda verimlilik incelemeleri için geliştirilmiştir. Günümüzde ise kalite gelişimi, parametre optimizasyonu ve süreç gelişimi için kullanılmaktadır [103]. Deney tasarımında bağımsız değişkenler, tasarım değişkenleri ve gürültü değişkenleri ürünlerin kalitesini veya işlevsel süreci etkileyen değişkenlerdir. Yöntemde, gürültü değişkenlerinden etkilenmeyen tasarım değişkenlerinin, cevap değişkenleri üzerine etkileri belirlenerek çıktılar analiz edilir [104].

Deneysel hataların en aza indirilmesi deney tasarımının temel amaçlarından olup bu amaç, rastgeleleştirme ile sağlanır. Bir deneyde göz önünde bulundurulmayan, ancak sonuçları etkileyecek olan gürültü değişkenlerinin etkisini tüm çıktılara eşit dağıtabilmek için rastgeleleştirme kullanılır. Deney tasarımları rastgeleliği sağlamak, çıktılar üzerine etki edecek etkenleri ve bu etkenler arasındaki ilişkileri belirlemek ve düşük maliyetle en fazla güvenilebilir bilgiyi elde edebilmenin yollarını araştırmak için kullanılır [105,106].

2.4.2. Yanıt yüzey yöntemi (RSM)

Optimizasyon, belirlenen yanıtlar doğrultusunda, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ile yanıtla olan etkilerinin göz önüne alınarak bir araya getirilip uygulanması işlemidir [107]. Üretim ve kaliteyi iyileştirip maliyeti en aza indirerek proses tasarımlarını verimli hale getirmek amacıyla kullanılmaktadır [108]. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM), içeriğinde basit ampirik modellerin bulunduğu, gıda bilimi ve teknolojisi alanında da yaygın olarak kullanılan, bir optimizasyon yöntemidir.

1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilen yanıt yüzey yöntemi, “Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” ismi ile tanımlanmıştır ve ilk olarak

kimya endüstrisine uygulanmıştır. Yanıt yüzey yöntemi, proses değişkenlerinin deneysel uzayını araştırmak amacıyla sistemin yanıtı üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan ampirik modelleme yöntemlerini ve proses değişkenlerinin sistemin yanıtında istenilen etkiyi gösterdiği seviyelerinin bulunması için kullanılan optimizasyon yöntemlerini içermektedir [109]. Bu yöntem genel olarak eleme denemeleri, bölge araştırması ve sürecin veya ürünün optimizasyonu olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir.

İlk aşama olan eleme denemeleri, daha az sayıda ve daha verimli deneme yapılmasına imkan sağlamaktadır. İlk aşama ile belirlenen bağımsız değişkenlerin sistemin yanıtında oluşturdukları değerlerin, optimum noktaya yakın sonuçlar verip vermediği ise ikinci aşama olan bölge araştırmasıyla tayin edilmektedir. Yöntemin son aşaması ise, işlem optimum noktaya yaklaştığında başlar. Gerçek yanıt fonksiyonu optimum nokta etrafında bir eğrilik göstermektedir ve bu eğriliğin tahminlenmesinde lineer olmayan modeller, çoğunlukla da ikinci dereceden polinomiyal modeller, üstel modeller ya da eksponensiyel modeller kullanılır. Uygun bir model seçilir ve bu model optimum noktanın araştırılması için kullanılır [110].

2.4.2.1. Yanıt yüzey modelinin oluşturulması

Yanıt yüzey yöntemi problemlerinde, yanıt ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden fonksiyonun matematiksel formunun çoğunlukla tahmin edilmesi gerekmektedir. Sistemin yanıtı, bağımsız değişkenin bir doğrusal fonksiyonu olarak iyi bir uyum sağlıyorsa, birinci dereceden polinomiyal denklem, eğer sistemin yüzeyinde bir eğrilik varsa, ikinci dereceden polinomiyal denklem ya da daha yüksek dereceli polinomiyal denklemler model olarak kullanılabilir. Yanıt yüzeyindeki eğriliğin tahminlenmesinde genellikle birinci dereceden polinomiyal modeller yetersiz kalmaktadır ancak ikinci dereceden (kuadratik) polinomiyal modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. İkinci dereceden (kuadratik) polinomiyal modeller çok çeşitli fonksiyonel formlar alabildiğinden gerçek yanıt fonksiyonun tahminlenmesinde tercih edilmektedir. Yanıtların temsilinde kübik veya daha yüksek dereceli polinomiyal modeller ise karmaşık yapılarından dolayı daha az tercih edilmektedir [111].

2.4.2.2. Model uygunluğunun test edilmesi

Regresyon modeli belirlendikten sonra bu model denkleminin ilişkili ne ölçüde açıkladığının ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin hassasiyetinin araştırılması gerekmektedir [112]. Bu nedenle,

- Varyasyon katsayısının (C.V) hesaplanması,
- Regresyon analizine hipotez testlerinin uygulanması,
- Hipotez testlerinin regresyon katsayılarına uygulanması,
- Regresyon katsayısının (R^2) ve düzeltilmiş regresyon katsayısının (R^2_{adj}) hesaplanması,
- Tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamının (PRESS) hesaplanması,
- Yeterli tahminleme (adequite precision) değerinin hesaplanması,
- Model uyumsuzluğunun test edilmesi (lack of fit testi),
- Kalıntı analizi yapılması gibi çeşitli test yöntemleri uygulanmaktadır [110].

2.4.2.3. Model uyumsuzluğu (Lack of Fit) testi

Yanıt yüzey yönteminde, tasarlanmış deneylerden elde edilen veriler, regresyon modelinin oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Belirlenen bu model gerçek yanıt fonksiyonuna bir yaklaşımdır ve tahminlenen değerler ile deneysel veriler arasındaki fark (kalıntı), yalnızca deneysel hatayı değil aynı zamanda modelin matematiksel ifadesinin uyumsuzluğundan kaynaklanan hatayı da kapsar. Model uyumsuzluğu (Lack of fit), modelin matematiksel ifadesinin uyumsuzluğundan meydana gelen hatadır. İstatistiksel açıdan modelin matematiksel ifadesinin uyumsuzluğunun (lack of fit) önemsiz olması gerekmektedir [113-115].

2.4.2.4. Optimizasyon

Yanıt yüzey yönteminde uygun model belirlendikten sonra, prosesin optimizasyonun yapılması gereklidir. Optimizasyonda prosesin performansını veya ürünün kalitesini belirleyen çok sayıda yanıtla eş zamanlı olarak çalışılır. Bu yanıtların bazılarının maksimum veya minimum seviyede tutulması, bazılarının da kabul edilebilir değerler alması sağlanır. Çoğu durumda, bir yanıtın geliştirilmesi

diğer bir yanıt üzerinde olumsuz bir etki oluşturabileceğinden bu aşamada prosesi karakterize eden tüm yanıtların hep birlikte ele alınması gerekmektedir [110].

Tek yanıtlı optimizasyon problemlerinin çözümünde modelde yer alan bağımsız değişkenlerin her biri için kısmi türevler alınarak sıfıra eşitlenir ve elde edilen denklem sistemi çözülür. Bağımsız değişken için bulunan değerler modelde yerlerine konarak yanıt hesaplanır. Çok yanıtlı optimizasyon problemlerinde ise doğrusal olmayan programlama yaklaşımı kullanılarak sonuca ulaşılır [110].

2.4.2.5. Desirability (İstenilen Hedefe Ulaşma) fonksiyonu yaklaşımı

Desirability fonksiyonun ilkesi, tüm yanıtların, “desirability fonksiyonu” olarak tanımlanan tek bir fonksiyon altında toplanmasını ve bu fonksiyonun istenilen sonuçları verecek şekilde maksimize edilmesidir. Bu yöntemin önemli avantajları, farklı değere sahip yanıtların birlikte incelenebilmesi, yanıtların tek bir fonksiyona kolayca dönüştürülebilmesi ve kalitatif ve kantitatif yanıtların kullanılabilmesidir [110].

Desirability fonksiyonu, tüm yanıtların bir araya getirildiği tek bir yanıt indeksidir ve bu değer 1’e yaklaşması belirlenen kriterlerin sağlandığını belirtir. Desirability fonksiyonu her bir yanıt için ayrı ayrı hesaplanır. Hesaplanan bu bireysel fonksiyonların geometrik ortalaması alınarak tek bir desirability fonksiyonu oluşturulur [110].

2.4.3. Yapay sinir ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA) insan beyninin çalışma prensibini ve insan sinir sisteminin biyolojik yapısını taklit ederek yeni bir sistem geliştirme yaklaşımına dayanır. Yapay sinir ağları insan beyninin temel özelliği olan öğrenme kabiliyetinin matematiksel modellenmesi çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır [116,117].

Yapay sinir ağları üzerine çalışmalar ilk olarak beyni oluşturan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış olup son yıllarda oldukça disipline bir hal almıştır. Günümüzde, fizik, matematik ve mühendislik gibi çeşitli bilim dallarında, imalat sanayide, askeri proje uygulamalarında, endüstriyel ürün tasarımı ve buna benzer birçok alanda uygulama sahası bulabilmektedir.

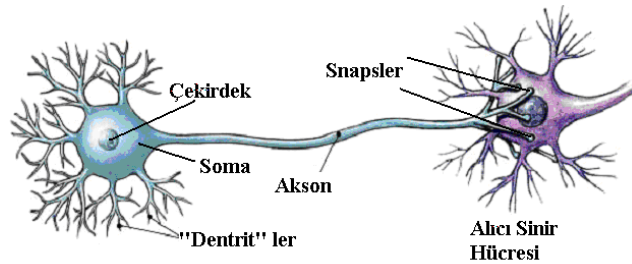
YSA'nın mühendislik uygulamalarındaki geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, geleneksel metotlar ile çözümü çok zor veya imkânsız olan problemlerin çözümünde etkin bir yol olmasıdır [118].

Yapay sinir ağlarının klasik yöntemlere göre doğrusal olmama, öğrenebilme, genelleme yapma, uyarılma, veri işleme, yanılğı ve gürültüye karşı duyarlı olma gibi avantajları vardır. Ancak uygun ağ yapısının belirlenmesinin deneyim ve deneme yanılma yolu ile bulunması, öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi ağ parametrelerinin belirlenmesinde kesin bir kuralın olmaması, öğrenilecek problemin ağa tanıtılmasının ve ağın eğitiminin bitirilme zamanının kullanıcı performansına bağlı olması ve ağın probleme ürettiğı çözümün neden ve nasıl olduğuna dair ipucu vermemesi gibi dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlara rağmen gün geçtikçe YSA'ların uygulama alanları genişlemekte ve gelişmektedir [119].

2.4.3.1. Sinir hücrelerinin yapısı

Biyolojik sinir hücresi yapısı

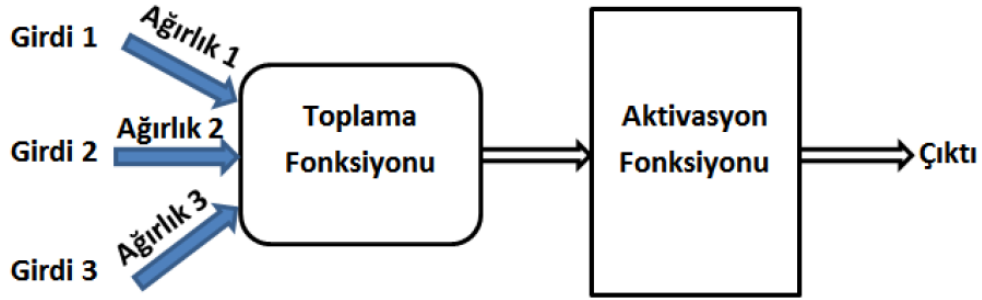
Nöron olarak adlandırılan basit sinir hücresi, biyolojik sinir ağının temel yapı taşıdır. Şekil 2.18'de tipik bir sinir hücresinin şematik diyagramı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bir sinir hücresi dentrit, akson, soma ve snapslerden oluşan 4 ana bölümden meydana gelir. Dendritler sinir hücresinin ucunda bulunurlar ve görevleri bağlı oldukları diğer nöronlardan veya duyu organlarından gelen sinyalleri çekirdeğe iletmektir. Dentrit tarafından gelen sinyaller çekirdekte bir araya toplanarak aksona iletir. Aksona gelen bu sinyaller burada işlenerek nöronun diğer ucunda bulunan bağlantılara gönderilir. Bağlantılar ise yeni üretilen sinyalleri diğer nöronlara taşır [119].



Şekil 2.18. Biyolojik sinir hücresi (nöron)

Yapay sinir hücresinin (yapay nöron) yapısı

Yapay sinir hücresi biyolojik sinir hücresinden esinlenilerek tasarlanmıştır. Yapay bir nöronda girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu (birleştirme fonksiyonu), aktivasyon fonksiyonu ve çıktı/çıkış olmak üzere beş bölüm bulunmaktadır. Şekil 2.19'da temel bir yapay sinir hücresi yapısı görülmektedir.



Şekil 2.19. Yapay sinir hücresinin temel yapısı

Girdiler: Yapay sinir hücrelerine dış dünyadan ya da bir diğer hücreden gelen verilerdir.

Ağırlıklar: Yapay nöronlar arasında bulunan her bağlantının bir ağırlığı vardır. Ağırlıklar bir nöronu etkileyen girdilerin önemini gösterirler. Matematiksel olarak ifade edilir ve sabit veya değişken değerler alabilir. Değişken değer alan ağırlıklar, öğrenme sırasında optimize edilir. Ağırlıkların değeri büyüdükçe bir nöronun diğer nöron üzerindeki etkisi artar. Ağırlığın sıfır değerine sahip olması hiçbir etkinin olmadığı anlamına gelir.

Toplama fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu): Birleştirme fonksiyonunun görevi bir nörona gelen bilgileri birleştirerek net girdiyi hesaplamaktır. Çizelge 2.3'de en çok kullanılan birleştirme fonksiyonu çeşitleri verilmiştir.

En yaygın kullanılan fonksiyon toplama fonksiyondur. Toplama fonksiyonunda nörona gelen girdilerin ilgili bağlantıların ağırlıkları ile çarpılıp toplanması ile net girdi hesaplanır. En uygun birleşme fonksiyonu genellikle deneme yanılma yöntemi ile belirlenir [118].

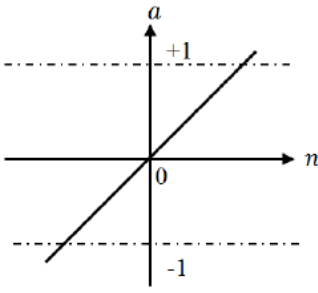
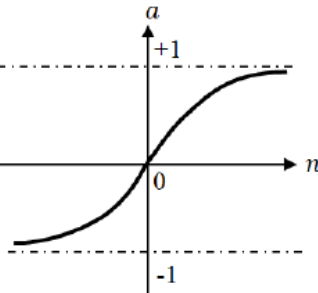
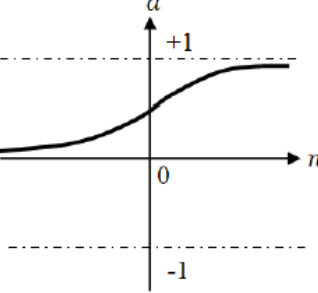
Çizelge 2.3. Bazı birleştirme fonksiyonları [118]

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 giren net girdi I _j = Nöronun çıktısı W _{ij} = i ve j nöronları arasındaki bağlantının ağırlığı	

Aktivasyon fonksiyonu: Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonu tarafından belirlenen net girdiyi alarak nöronun çıktısını belirleyen fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken genellikle doğrusal olmayan ve türevi kolay alınabilen bir fonksiyon olması tercih edilir. En yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları logaritmik sigmoid (logsig), tanjant sigmoid (tansig) ve lineer (purelin) transfer fonksiyonlarıdır. Çizelge 2.4’de bu transfer fonksiyonları gösterilmiştir. Birleştirme ve aktivasyon fonksiyonları problemin yapısına göre seçilir [118].

Çıktı: Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değer nöronun çıktı değeri olmakla birlikte bu değer dış dünyaya verilebileceği gibi tekrardan ağırlık içinde kullanılabilir. Her hücrenin bir tek çıktısı vardır ve bu çıktı istenilen sayıda nörona bağlanabilir [118].

Çizelge 2.4. Yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonları

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

2.4.3.2. Yapay sinir ağlarının yapısı

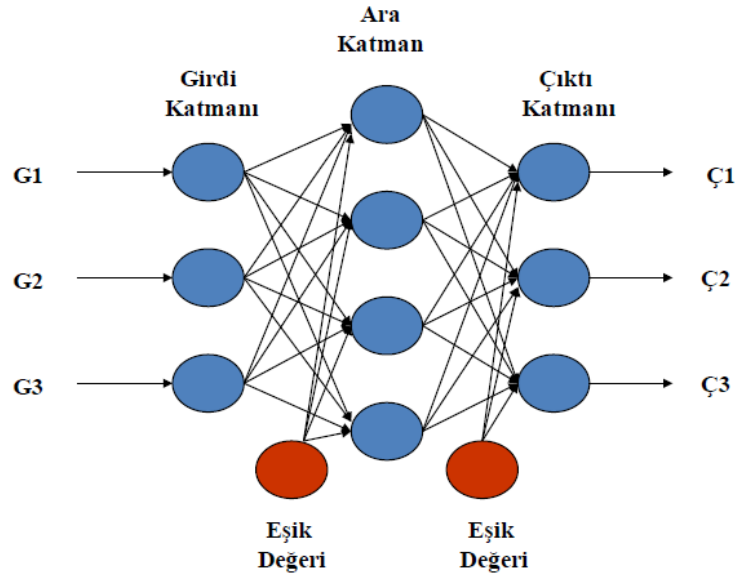
Yapay sinir ağlarının yapısı biyolojik sinir hücrelerinininkilerle benzer özellik gösterirler. Yapay sinir ağları çok sayıda yapay sinir hücrelerinin aralarında bağ kurmasıyla oluşmaktadır. Yapay sinir ağları üç temel katmandan meydana gelmektedir (Şekil 2.20). Bunlar;

- Girdi katmanı
- Ara katman
- Çıktı katmanıdır.

Girdi katmanı: Dışarıdan gelen verileri kabul eder ve diğer katmanlara iletir. Bu katmandaki bilgiler işlenmeden ara katmanlara aktarılır.

Ara katman: Girdi katmanından gelen bilgiler bu katmanda işlenerek çıktı katmanına iletilir. Bazı yapay sinir ağlarında ara katman bulunmazken bazılarında ise birden fazla ara katman bulunmaktadır. Bu katmandaki nöronların sayısı girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısından bağımsızdır.

Çıktı katmanı: Bu katmanda ara katmanlardan gelen bilgiler işlenir ve ağın çıktıları üretilir [119].



Şekil 2.20. Yapay sinir ağı katmanları

2.4.3.3. Yapay sinir ağlarında öğrenme

Yapay sinir ağlarında öğrenme, ağın giriş verilerini kullanarak çıktı üretmek amacıyla kendini adapte etmesidir. Öğrenme işlemi nöron ve ağ yapısı tasarlandıktan sonra başlatılabilir. Öğrenme, ağdaki nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının değerlerinin değiştirilmesiyle gerçekleştirilir [118]. Bağlantıların ilk ağırlık değerleri rastgele atanır ve ağ, üretmesi gereken çıktıya göre bu ağırlık değerlerini bir optimizasyon yöntemi ile sürekli değiştirerek çıktının gerçek değerleri ile ağın ürettiği çıktı değerleri arasındaki farkın minimizasyonu sağlanır [120].

Öğrenme ile eğitme anlam bakımında birbirinden farklı kavramlardır. Ağın öğrenmesi, ağın bağlantı ağırlıklarının uygun değer almasıdır ancak ağın eğitilmesi bağlantı ağırlıklarının uygun değer alması için kullanılan yöntemdir [121].

Öğrenme oldukça karmaşık ve matematiksel olarak ifadesi zor olan bir işlem olduğundan bugün bu işlemin basitleştirilmiş ve farklı formatlarda sunulmuş biçimleri olan öğrenme kuralları kullanılmaktadır. Delta, Hebb, Hopfield ve Kohonen olmak üzere farklı dört öğrenme kuralı mevcuttur. Literatürde bulunan öğrenme algoritmaları ise bu dört öğrenme kuralından esinlenerek oluşturulmuştur [122].

2.4.3.4. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması

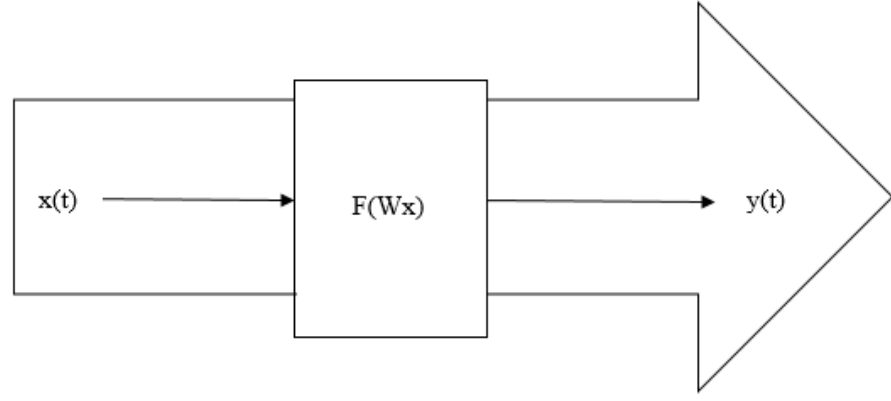
Yapay sinir ağlarını yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre iki ayrı başlık altında incelemek mümkündür.

Yapılarına göre YSA'ların sınıflandırılması

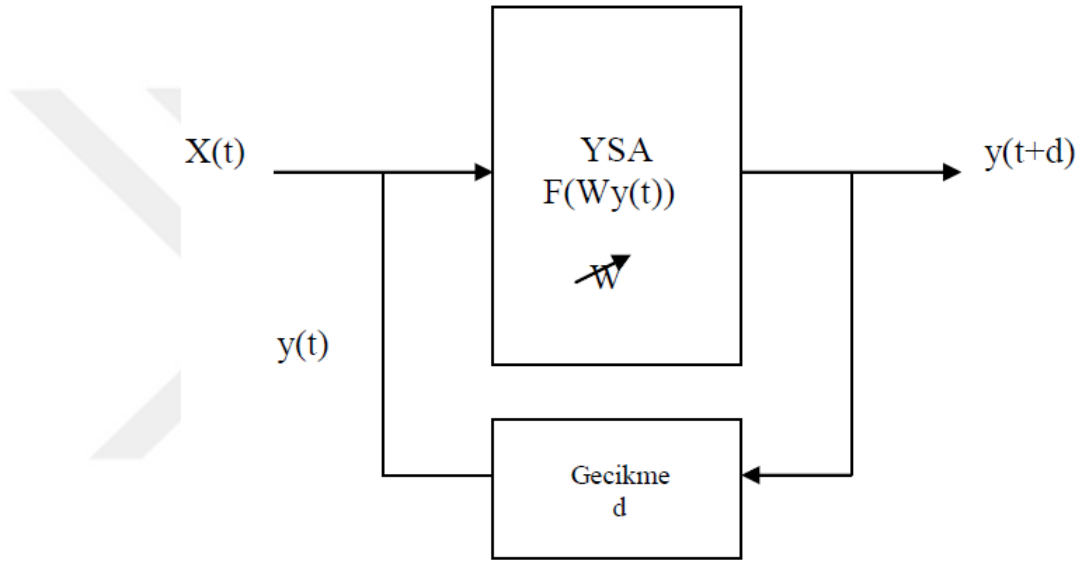
Yapılarına göre yapay sinir ağları ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

İleri beslemeli ağlar: Bu tür ağlarda yapay sinir hücreleri girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklindedir. İleri beslemeli ağlarda bilgi aktarımı ileriye doğru tek yönlüdür. Şekil 2.21'de ileri beslemeli ağ blok diyagramı verilmiştir. Çok katmanlı perseptronlar (multilayered perceptrons-MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları ileri beslemeli ağlara örnek olarak verilebilir [123].

Geri beslemeli ağlar: Geri beslemeli ağlarda, çıkış ve ara katman çıkışları, giriş birimlerine ya da önceki ara katmanlara geri beslenir. Böylece girişler, hem ileri yöne doğru hem de geri yöne doğru aktarılmış olur. Bundan dolayı bu ağlar doğrusal olmayan dinamik davranış gösterirler. Şekil 2.22'de bir geri beslemeli ağın blok diyagramı görülmektedir. Geri beslemeli sinir ağlarına örnek olarak Elman, Hopfield ve Jordan ağları verilebilir [123].



Şekil 2.21. İleri beslemeli sinir ağı blok diyagramı [122]



Şekil 2.22. Geri beslemeli sinir ağı blok diyagramı [122]

Öğrenme algoritmalarına göre YSA'ların sınıflandırılması

Yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneği çok önemli bir özelliktir ve örnekler yardımıyla sağlanmaktadır. Yapay sinir ağlarında öğrenme işleminin çok çeşitli yöntemleri vardır. Öğrenme stratejileri; danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olarak üç katagoride toplanabilir [122].

Danışmanlı öğrenme: Danışmanlı öğrenme yapay sinir ağlarında sıkça kullanılan bir öğrenme yöntemidir. Bu öğrenme yönteminde ağa giriş değerleri için çıktı değerleri de verilir. Ağa verilen çıktı değerleri ile ağ tarafından üretilen çıktı değerlerinin kıyaslanması sağlanır. Danışmanlı öğrenmede ağırlıkların başlangıç

değerleri rastgele verilir ve hata payı ağ tarafından azaltılarak işlemler döngüsel şekilde gerçekleştirilir [122].

Danışmansız öğrenme: Danışmansız öğrenme ağa sadece örnek girdi değerlerinin verildiği ve ulaşılmak istenen herhangi bir çıktı değerlerinin verilmediği bir yöntemdir. Ağ, girişte verilen değerlere göre parametreler arasındaki ilişkiyi ve bağlantı ağırlıkları aynı özellikte olan örüntüleri belirleyerek gerekli ayarlamaları kendisi gerçekleştirerek öğrenme işlemini tamamlar [122].

Takviyeli öğrenme: Takviyeli öğrenme yönteminde ağa giriş değerleri verilerek sistemin bu değerlere karşılık çıktı verileri üretmesi beklenir ve üretilen çıktının iyi veya kötü olup olmadığına dair bir bilgi verilir. Ağ bu bilgilere göre kendini yeniden düzenler ve öğrenme sürecini devam ettirir [122].

2.4.3.5. Yapay sinir ağlarında öğrenme algoritmaları

Yapay sinir ağlarının geliştirilmesi için literatürde çok sayıda öğrenme algoritması bulunmasına rağmen en yaygın kullanılan algoritmalar; Geri Yayılım Algoritması ve Levenberg-Marquardt metodudur [124,125].

Geri yayılım algoritması

Geri yayılım algoritması ilk olarak 1974 yılında Paul Werbos tarafından ortaya atılmasına rağmen bu algoritmanın bilim dünyasında kabulü 1986 yılında Rummelhart ve Parker tarafından geliştirilmesiyle olmuştur. Günümüzde geri yayılım metodu, yapay sinir ağı kullanılarak çözüm bulan birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır [118].

Geri yayılım algoritması, yapay sinir ağının danışmanlı öğrenme sınıfına giren sistematik bir metot olup kolay anlaşılır olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır. Bu algoritma çok katmanlı yapay sinir ağları (MLP) için yaygın olarak kullanılmaktadır [118].

Diğer ağlara benzer olarak geri yayılım ağını, nöronlar arası bağlantılar, kullanılan aktivasyon fonksiyonları ve ağın eğitimini sağlayan ağırlık değerlerinin değişim kuralları belirler. Geri yayılım ağı çok katmanlı ileri beslemeli bir ağ olup

bir katmandaki nöronlar bir önceki ve bir sonraki katmanlardakilerle bağlantılıdır. Katmanlarda bulunan nöronlar arasında ve bir katmandan öteki katmana geriye doğru besleme olmaz. Geri yayılım ağı, ağıın çıktı değeri ile ulaşılmaq istenen çıktı değeriinin karşılaştırılması ile bulunan hatayı dikkate alarak, karesi alınmış hata fonksiyonunu dereceli azaltma yöntemini kullanarak minimize etmeye çalışan bir algoritmadır [118].

Levenberg-Marquardt Metodu (LMM)

Levenberg–Marquardt metodu, Kenneth Levenberg ve Donald Marquardt tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritma küçük ve orta ölçekli problemler için uygun olup hızlı ve istikrarlı bir yakınsama gerçekleştirmektedir [126].

Geri yayılım algoritması günümüzde çok kullanılmasına rağmen yavaş yakınsaması nedeniyle etkisiz bir algoritmadır. Geri yayılım algoritmasının yavaş yakınsamasının iki sebebi vardır. Bunlar; eğimlerde adım genişliği yeterli olmalıdır ve hata yüzey genişliği her yönde aynı olmayabilir. Bu yöntemin yavaş yakınsaması Gauss-Newton algoritmasıyla geliştirilebilir [126].

Levenberg–Marquardt algoritması, Gauss-Newton ve geri yayılım algoritmasından oluşmuştur. Bu algoritma Gauss-Newton algoritmasının en iyi özelliğı olan hızını ve geri yayılım algoritmasının ise istikrarını almıştır. Levenberg-Marquardt metodu yavaş yakınsama probleminden etkilenmez. Bu algoritma optimizasyon problemlerinde geri yayılım algoritmasından daha etkilidir [126].

2.4.3.6. Yapay sinir ağlarının eğitimi ve testi

Yapay sinir ağlarında model geliştirilirken veri setleri genellikle eğitim verisi seti ve test verisi seti olmak üzere ikiye ayrılır. Veri setlerinin ayırımı yapılırken çözümü aranan problemin karakteristik yapısı, veri tipi ve mevcut veri sayısının göz önünde bulundurulması gerekir. Literatürde veri sayısının %90'ının eğitim veri seti %10'unun test veri seti, %80'inin eğitim verisi %20'sinin test verisi ya da %70'inin eğitim verisi %30'unun test verisi olarak kullanılması tavsiye edilmiştir. Yapay sinir

ağı modelini geliştirmede eğitim veri seti kullanılırken, modelin tahmin yeteneğinin belirlenmesinde test veri seti kullanılmaktadır [122].

Eğitim aşaması sonlandırıldığında hata oranının kabul edilebilir bir değere inmesi beklenir. Yapay sinir ağının uygunluğunu eğitim ve test işlemlerinde istenen başarıya ulaşılması gösterir. Bir YSA modellenirken Şekil 2.23'deki gibi bir algoritmayı takip etmek gerekir [122].



Şekil 2.23. Yapay sinir ağı akış şeması [122]

2.4.3.7. Yapay sinir ağlarında performans ölçütleri

Performans ölçütleri tahminin doğru yapılıp yapılmadığını gösterirler. Bu ölçütler ağın performansını ve öğrenme başarısını ölçmek için de önem kazanmaktadırlar. Yaygın olarak kullanılan performans fonksiyonlarının eşitlikleri aşağıda verilmiştir [127].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} \quad (2.14)$$

$$\% MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{y_i - x_i}{x_i} \right| \right) \cdot 100 \quad (2.15)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \quad (2.16)$$

Burada;

x_i : i. deneysel değer,

y_i : i. öngörü değeri,

N: veri sayısı,

$\bar{x}$: deneysel değerlerin ortalaması,

$\bar{y}$: modelden elde edilen değerlerin ortalamasıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, bitki örneklerinin temini, deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler, araç ve gereçler ile kullanılan yöntemler ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Bitkisel materyalin temini

Bu çalışma kapsamında bitkisel materyal olarak Malatya ilinin Battalgazi ilçesinde yetişen bir nane türü olan *Mentha spicata* kullanılmıştır (Şekil 3.1). Deneylerde kullanılan *M. spicata* bitkisi Battalgazi ilçesinden 2015 yılının Eylül ayında toplanmıştır. Bitkinin tanımlanması İnönü Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Turan ARABACI tarafından yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda bitkinin en değerli kısmı olan yapraklarından yararlanılmıştır. Kurutma deneylerine başlamadan önce nane örnekleri ayıklanmış ve +4°C’de saklanmıştır.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan *M. spicata* bitkisi

3.1.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler

- Na₂SO₄ (susuz sodyum sülfat)- (VWR Chemicals)
- Destile su

3.1.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihaz, araç ve gereçler

3.1.3.1. Gaz kromatografisi - Kütle spektrometresi (GC–MS)

M. spicata uçucu yağlarının analizleri, Shimadzu 2010 (Shimadzu, Kyoto, Japonya) marka, GC, bir MS-QP 2010 serisi kütle seçici detektör ile donatılmış olan cihazda gerçekleştirilmiştir. Kolon olarak TRB-Wax (Teknokroma, Barcelona, Spain) erimiş silika kapiler kolon (60m×0,25mm i.d. ve 0,25 µm film kalınlığı) kullanılmıştır. Analizler, İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. GC-MS analizlerinin yapıldığı cihaz Şekil 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.2. Shimadzu 2010 marka Gaz kromatografi - Kütle spektrometre (GC–MS) cihazı

Kullanılan diğer cihaz ve aletler:

- Etüv, Nüve FN 500
- Hassas Terazî, CITIZEN SCALE CX 220
- Ceketli ısıtıcı, ISOTEX
- Vorteks, Nüve NM 110
- Saf su cihazı
- Clevenger aparatı

3.2. Yöntem

3.2.1. Bitkisel materyalin başlangıç nem içeriğinin belirlenmesi

Nane örneklerinin başlangıç nem içeriklerinin belirlenmesi amacıyla 50 g nane örneği 105°C sıcaklıktaki bir etüvde 24 saat bekletilmiştir. Deneyler üç tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Kurutulan nane örneklerinin başlangıç nem içeriği %84,1 olarak bulunmuştur.

3.2.2. Kurutma deneyleri

Kurutma deneylerine başlamadan önce deneyler için alınan nane örnekleri laboratuvar ortam sıcaklığına ulaşması için bekletilmiştir. Bitki örnekleri, gölgede ve kabin tipi kurutucuda (etüv) iki farklı kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Kuruma zamanı nane örneklerinin başlangıç nem içeriğinden yaklaşık olarak %10 nem seviyesine ulaşmaya kadar geçen süre olarak belirlenmiştir. Nane yaprakları gölgeye ve kurutucuya ince tabaka şeklinde serilmiştir. Tüm deneyler için sabit kütle 20g ($\pm 0,5$ g) alınmıştır. Gölgede kurutma deneyleri, kapalı bir ortamda yaklaşık 28°C sıcaklıkta, etüvde kurutma deneyleri ise 35°C ve 50°C sıcaklıklarda yapılmıştır. Kurutma işlemi boyunca çeşitli zaman aralıklarında ağırlık kaybı ölçülmüştür. Deneyler her bir kurutma sıcaklığı için üç tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3 ve 3.4'de gölgede ve etüvde kurutulan nane örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Gölgede kurutulan nane (*M. spicata*) örnekleri



Şekil 3.4. Etüvde kurutulan nane (*M. spicata*) örnekleri

3.2.3. Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Kurutma deneylerinde kullanılan nane örneklerinin nem içeriği değerleri Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır [38].

$$M_t = \frac{m_t - m_d}{m_t} \quad (3.1)$$

Burada;

M_t : t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

m_t : t anındaki örneğin ağırlığı (g)

m_d : örneğin içerdiği kuru madde miktarı (g) dır.

Kurutma hızı ise Eşitlik 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır [128,129].

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

Burada;

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

M_{t+dt} : t+dt anındaki nem içeriği

M_t : t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

dt: zaman aralığı (dk) dır.

Nane yapraklarının ince tabaka kurutulması sırasında elde edilen nem içeriği verileri, Eşitlik 2.1'den yararlanılarak nem oranı (MR) olarak ifade edilmiştir. Deneysel veriler, kurutma kinetiğini ifade etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan altı farklı matematiksel modele uygulanmıştır (Çizelge 3.1). Modelleme çalışmalarında MATLAB paket programından yararlanılmıştır. Model parametrelerinin belirlenmesinde etkin bir optimizasyon yöntemi olan '*Sequential Quadratik Programming (SQP)*' yöntemi kullanılmıştır [130-133].

Çizelge 3.1. Kurutma eğrileri için bu çalışmada kullanılan matematiksel modeller

No	Model Adı	Model Eşitliği
1	Newton	$MR = e^{-kt}$
2	Page	$MR = e^{-kt^n}$
3	Henderson ve Pabis	$MR = a e^{-kt}$
4	Difüzyon yaklaşım	$MR = a e^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$
5	Midilli ve ark.	$MR = a e^{-kt^n} + b t$
6	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	$MR = a e^{-kt} + b e^{-gt} + c e^{-ht}$

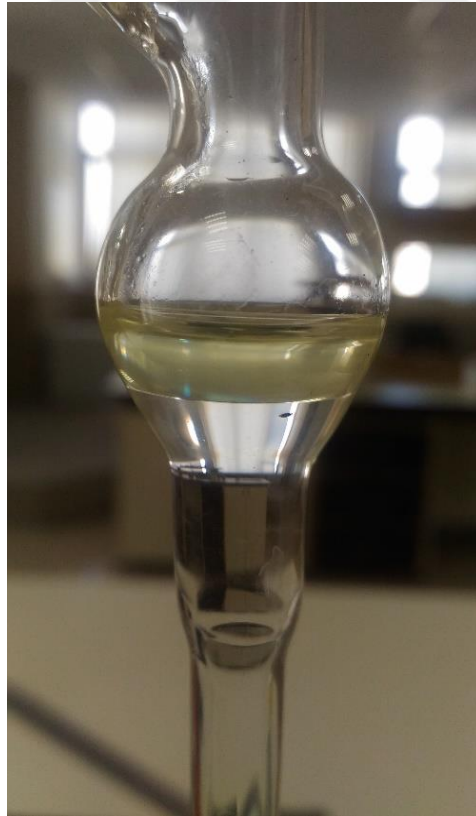
Kurutma kinetiğini ifade eden en uygun model belirlenirken korelasyon katsayısının (R) bire yakın olması, % MAPE (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) ve RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) değerlerinin sıfıra yakın olması göz önünde bulundurulmuştur.

3.2.4. Clevenger aparatı ile su destilasyonu

Bitkisel materyallerden uçucu yağ eldesi clevenger aparatı kullanılarak su destilasyonu yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan örneklerden uçucu yağ eldesi için 50 g bitkisel drog üzerine 500 ml su ilave edilmiştir. Destilasyon süresi soğutucudan ilk damla düştüğünden itibaren 3 saat olarak belirlenmiştir. Kaynayan su buharı ile sürüklenen yağ soğutucudan geçerek yoğunlaşmış ve kapiler boruda toplanmıştır. Destilasyon işlemi sonrasında clevenger aparatından alınan yağ ve su karışımına susuz sodyum sülfat (Na_2SO_4) ilave edilerek su fazı yağ fazından uzaklaştırılmıştır. Elde edilen nane yağları viallere alınmış ve GC-MS analizine kadar +4°C’de muhafaza edilmiştir. Şekil 3.5’de deneysel çalışmalarda kullanılan su destilasyonu düzeneği ve Şekil 3.6’da destilasyon sonrası elde edilen nane uçucu yağı görülmektedir.



Şekil 3.5. Su destilasyonu deney düzeneği



Şekil 3.6. Su destilasyonu yöntemiyle elde edilen nane uçucu yağı

Su destilasyonu yöntemiyle elde edilen uçucu yağların oranları Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Uçucu yağ oranı(\%)} = \frac{\text{Uçucu yağ miktarı (ml)}}{\text{Kuru örneğin toplam ağırlığı (g)}} \times 100 \quad (3.3)$$

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen uçucu yağların GC-MS analizi yapılmış olup elde edilen sonuçlara göre en yüksek yağ oranı ve karvon yüzdesi gölgede kurutma yöntemiyle elde edildiğinden deney tasarımı yalnızca gölgede kurutulan örnekler için gerçekleştirilmiştir.

3.2.5. GC-MS analizi

GC-MS analizlerinde taşıyıcı gaz olarak 1 ml/dk'lık akış hızında helyum gazı kullanılmıştır. Kolon, enjeksiyondan sonra 5 dakika süreyle 40°C'de tutulduktan sonra 3°C/dakika artış ile 240°C'ye programlanarak 15 dakika boyunca tutulmuştur. Soğutma da dahil olmak üzere fırının toplam çalışma süresi 86 dakikayı bulmuştur. Enjektör, transfer hattı sıcaklığı ve iyon kaynağı sıcaklığı 250°C olarak alınmıştır. Uygulanan iyonlaşma voltajı 70 eV ve kütle aralığı 35-450 m/z dir. Her bir bileşiğin RI (Retention Index) değerlerini hesaplamak için n-alkanlar (C₈-C₂₀ + C₂₀-C₄₀) referans olarak kullanılmıştır [134].

Ayrılmış bileşenler, elde edilen kromatografik piklerin kütle spektrumlarının NIST (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, Gaithersburg, MD, ABD) ve Wiley kütüphanelerinin spektrumlarıyla karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Buna ek olarak, bileşiklerin deneysel RI değerleri NIST Standart Referans Veritabanından [135] elde edilen teorik RI değerleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

3.2.6. Deney tasarımı

Gölgede kurutulan bitkisel örneklerden uçucu yağ eldesi için deneysel tasarım Design Expert-10 (trial) yazılımı ile yapılmıştır. Bağımsız değişkenler zaman ve katı-sıvı oranı olarak belirlenmiş, belirlenen bu değişkenlere ait değişim aralıkları

yazılıma tanıtılarak deney planı oluşturulmuştur. Yağ hacmi ve karvon oranı cevap değişkenleri olarak alınmıştır. Yazılımın önerdiği deneyler yapılarak elde edilen cevap sonuçlarına göre modeller oluşturulmuştur. Sonuç olarak yağ hacmi için lineer model, karvon oranı için kuadratik model önerilmiş ve önerilen modellerin doğruluğu varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir. Karvon miktarı öngörüsünde kullanılacak kuadratik model modifiye edilerek daha yüksek doğrulukta sonuçlar üretebilen 3. derece bir model değerlendirilmiştir. Çizelge 3.2’de nane yağı miktarının ve karvon oranının optimizasyonu için gerçekleştirilen deney tasarımında kullanılan bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin limit değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Karvon oranı ve yağ hacmi için iki faktörlü Merkezi Kompozit Tasarımda kullanılan bağımsız değişkenlerin incelenen etkinlik aralığı

Faktör	Kod	Alt Limit	Üst Limit
Zaman (dk)	A	100	240
Katı/Sıvı oranı	B	0,1200	0,0550

Limit değerler kullanılarak oluşturulan deney tasarımında 13 deney önerilmiş olup bu deneylerin yapılması sonucunda elde edilen yanıtlar belirlenmiştir. Çizelge 3.3’de önerilen 13 deney için bağımsız değişkenlerin ve yanıtların sayısal değerleri görülmektedir. Deney tasarımı kapsamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen uçucu yağların GC-MS sonuçları EK 1-13’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneysel tasarım kapsamında önerilen deneyler ve ulaşılan yanıtlar

Deney No	Zaman (dk)	Katı/Sıvı Oranı	Sıvı hacmi (ml)	Yağ hacmi (ml)	% Karvon
1	268,99	0,0875	571,4	1,74	23,46
2	240,00	0,0550	909,1	2,1	20,38
3	240,00	0,1200	416,7	2,02	27,01
4	170,00	0,0875	571,4	1,76	28,67
5	170,00	0,0875	571,4	1,45	28,47

Çizelge 3.3. (devam)

6	170,00	0,0875	571,4	1,31	26,95
7	170,00	0,0875	571,4	1,54	26,89
8	170,00	0,0875	571,4	1,51	27,42
9	170,00	0,1335	374,5	1,22	27,59
10	170,00	0,0415	1204,8	1,69	23,63
11	100,00	0,0550	909,1	1,92	24,24
12	100,00	0,1200	416,7	1,1	29,76
13	71,01	0,0875	571,4	1,12	27,02

3.2.7. Yapay sinir ağı tasarımı

Bu tez çalışmasında nane yapraklarının kuruma kinetiğini ifade etmek amacıyla, üç katmanlı ileri doğru beslemeli geriye yayımlı ağ yapısı kullanılmıştır. Ağın giriş katmanındaki nöron sayısı 2, ara katmandaki nöron sayısı 15 ve çıkış katmanındaki nöron sayısı ise 1 olarak belirlenmiştir. Ara (gizli) ve çıkış katmanlarında sırasıyla, logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu ve lineer transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Ağın eğitimi ve ağırlıkların ayarlanmasında hızlı cevap veren ve yaygın olarak kullanılan bir optimizasyon yöntemi olan Levenberg-Marquardt yöntemi seçilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen toplam 243 veri ağa tanıtılmadan önce model başarısını arttırmak için normalize edilmiştir. Düzenlenen bu veriler gelişigüzel olarak üç kısma ayrılmıştır. Tüm verilerin %60'ı ağın eğitimi için, %15'i validasyon için ve %25'i ise modeli test etmek için kullanılmıştır. YSA modelinin girdileri zaman (dakika) ve kurutma yöntemi olmak üzere 2 değişkenden oluşmuştur. Modelin çıkış değişkeni ise nem oranı (MR) olarak belirlenmiştir.

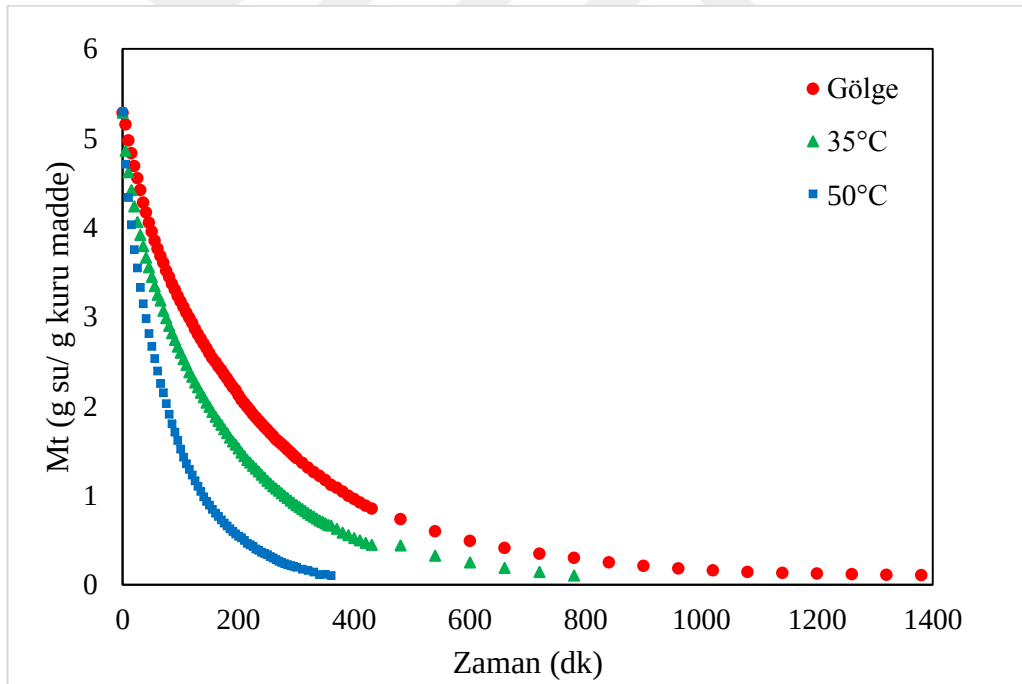
YSA modelinin geliştirilmesinde MATLAB ve Neural Network Toolbox kullanılmış olup MATLAB ortamında yazılan kodlar yardımıyla veri seti ağa tanıtılarak eğitim gerçekleştirilmiş, en uygun ağ yapısı ortaya konmuş ve bu yapı kayıt altına alınarak model oluşturulmuştur. YSA ile geliştirilen model ağın görmediği test verileri ile sınanarak model başarısı istatistiksel olarak ölçülmüştür.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Nane (*Mentha spicata*) Bitkisinin Nem İçeriğinin Değişimi

Gölge ve sıcak hava koşullarında iki farklı yöntemle kurutulan nane örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişim grafiği Şekil 4.1’de sunulmuştur. Deneylerde nane örneklerinin nem içeriğinin yaklaşık olarak %10 (y.b) oranına düşürülmesi hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda nane örneklerinin kuruma süreleri gölgede kurutulan örnekler için 1380 dakika, 35°C sıcaklıkta kurutulan örnekler için 780 dakika ve 50°C sıcaklıkta kurutulan örnekler için 360 dakika olarak belirlenmiştir. Kurutma şartları karşılaştırıldığında en kısa kurutma süresinin beklenildiği üzere 50°C’de sıcak hava ile kurutma yönteminde olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre kuruma süreleri dikkate alındığında nane örneklerinin sıcak hava ile kurutma yöntemiyle kurutulmasının zaman kazanımı açısından büyük avantaj sağladığı görülmüştür.



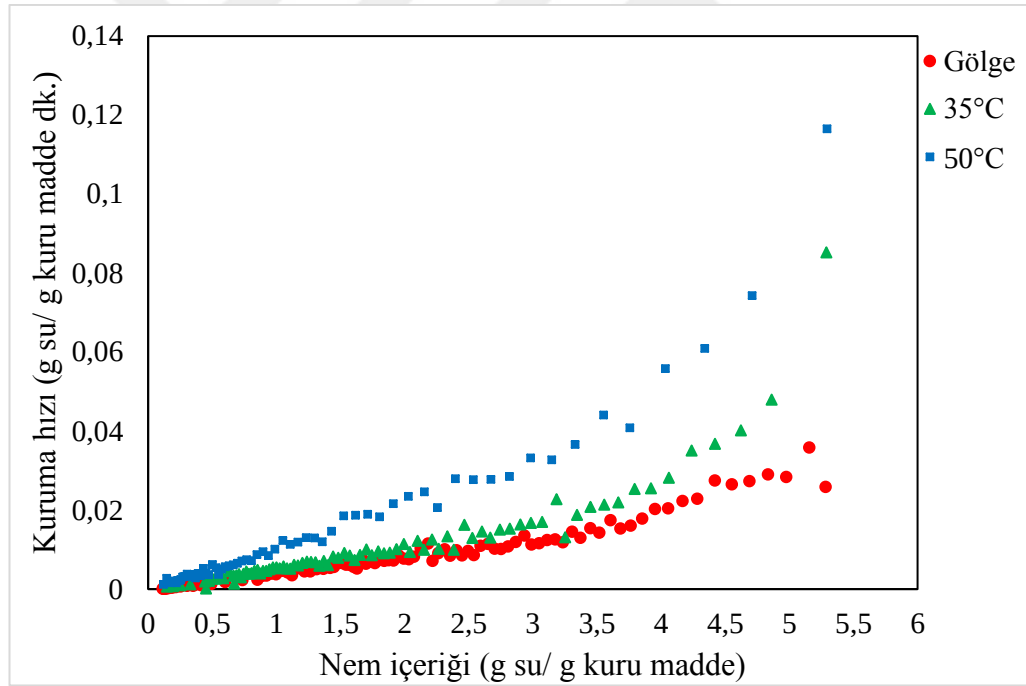
Şekil 4.1. Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin nem içeriklerinin zaman ile değişimi

Şekil 4.1’den de anlaşılabacağı üzere kuruma süresi kurutma sıcaklığından oldukça etkilenmektedir. Kurutma sıcaklığının artışı ile gıda maddelerinin iç kısımlarına olan ısı aktarım hızı artar ve yüzey nemi daha yüksek hızla uzaklaşır. Bu nedenle deneysel verilerden elde edilen sonuçlara göre hava sıcaklığının

yükselmesine bağılı olarak nem kaybı hızlanmış ve kuruma süresi kısalmıştır. Benzer şekilde Doymaz [136] ve Kadam vd. [137] nane (*Mentha spicata* L.) yaprakları için, Çakmak vd. [138] defne (*Laurus nobilis* L.) yaprakları için kurutma sıcaklığının artmasıyla kuruma süresinin kısaldığını belirtmişlerdir.

4.2. Nane (*Mentha spicata*) Bitkisinin Kuruma Hızının Değişimi

Şekil 4.2’de nane örneklerinin kuruma hızı ile nem içeriği arasındaki ilişki verilmiştir. Burada kurutma sıcaklığının artmasıyla kuruma hızının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda kuruma hızının daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Kurutma yöntemleri karşılaştırıldığında nane örneklerinin kuruma hızının en yüksek değerinin 50°C’de sıcak havayla kurutma yönteminde olduğu gözlemlenmiştir. Örneklerin nem içerikleri azaldıkça kuruma hızlarının yavaşladığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi

Nane örneklerinin kurutulması deneylerinden elde edilen sonuçlara göre nem kaybının zamanla sürekli olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum kuruma işleminin yalnızca azalan hız periyodunda gerçekleştiğini göstermektedir. Böylece

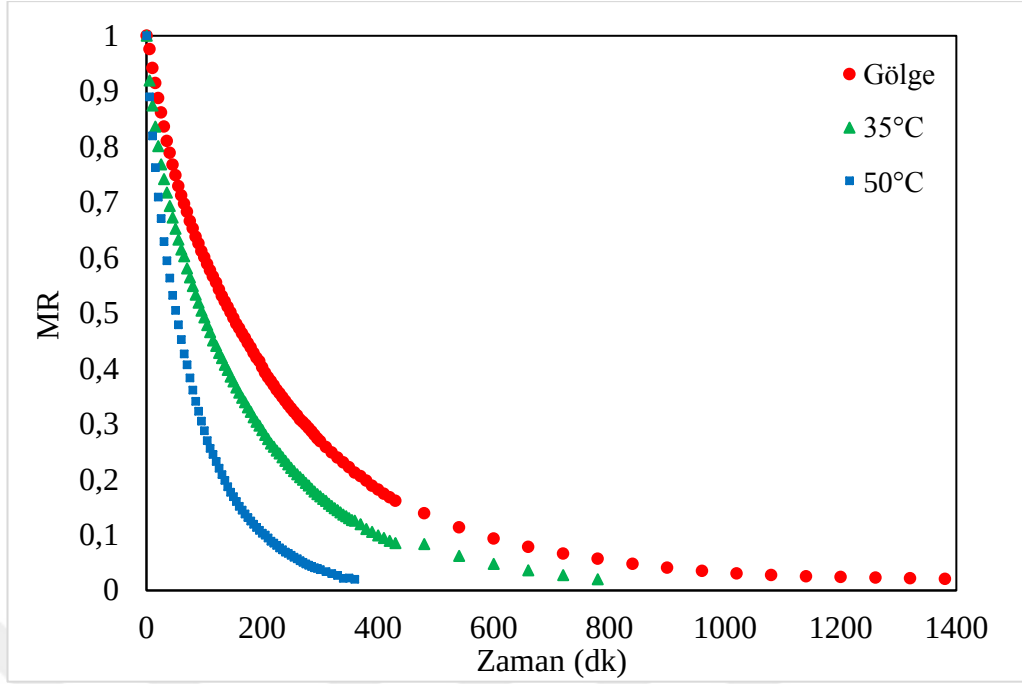
nane örneklerinin kurutulmasında kütle aktarımının difüzyon yoluyla gerçekleşmesi söz konusudur.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Kadam vd. [137] nane (*M. spicata*) yapraklarının 45°C-65°C sıcaklık aralığında sıcak hava ile kurutulmasında kurumanın azalan hız periyodunda gerçekleştiğini ve tüm kurutma sıcaklıklarında sabit bir hız periyodunun olmadığını belirtmişlerdir. Doymaz [136] 35°C-60°C sıcaklık aralığında nane (*M. spicata*) yapraklarının sıcak hava ile kurutulmasında sabit bir kuruma süresi tespit etmemiş olup tüm çalışma koşullarında difüzyon kontrollü kurutma davranışı gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca kuruma hızının, kuruma havası sıcaklığının artması ile arttığını ve en yüksek kurutma hızı değerlerinin 60°C kurutma havasında olduğunu tespit etmiştir. Günhan vd. [139] defne (*Laurus nobilis* L.) yapraklarının 40°C-60°C sıcaklık aralığında sıcak hava ile kurutulmasında, kurutma eğrilerinde sabit bir kuruma süresinin olmadığını ve tüm kurutma işlemlerinin azalan hız periyodunda gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Kadam vd. [140] fesleğen (*Ocimum sanctum*) yapraklarının 55°C-65°C sıcaklık aralığında sıcak hava ile kurutulmasında kurumanın azalan hız periyodunda gerçekleştiğini ve tüm çalışma koşullarında difüzyon kontrollü kurutma davranışı gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca kuruma hızının, hava kuruma sıcaklığının artmasıyla birlikte arttığını ve en yüksek kuruma hızının 65°C kurutma havasında olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmadaki sonuçlarla daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldıklarında benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

4.3. Nane (*Mentha spicata*) Bitkisinin Kuruma Eğrilerinin Modellenmesi

Nane örneklerinin kurutulması deneylerinden elde edilen nem içeriği değerleri Eşitlik 2.1'den yararlanılarak nem oranı (MR) olarak ifade edilmiştir. Şekil 4.3'de kuruma zamanına karşı hesaplanan nem oranı değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Bu grafik incelendiğinde nane örneklerinin nem oranlarındaki azalışın kurutma sıcaklığının artışı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin nem içeriklerinin zaman ile değişimi

Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin nem oranı değerleri kurutma kinetiğini ifade etmek amacıyla Çizelge 3.1’de verilen ve literatürde yaygın olarak kullanılan altı farklı matematiksel modele uygulanmıştır. Analiz sonucu bulunan model parametreleri ve model performans değerleri (% MAPE, RMSE ve R) Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Analiz sonucu elde edilen model parametreleri ve model performans değerleri

GÖLGE				
Model Adı	Model Katsayıları	% MAPE	RMSE	R
Page	k= 0,0098 n= 0,8575	4,7269	0,0053	0,9998
Newton	k= 0,0046	14,7064	0,0238	0,9990
Midilli ve ark.	a= 1,0019 b= $7,9321 \times 10^{-6}$ k= 0,0096 n= 0,8634	1,5053	0,0045	0,9998
Handerson & Pabis	a= 0,9448 k=0,0043	10,9677	0,0154	0,9985

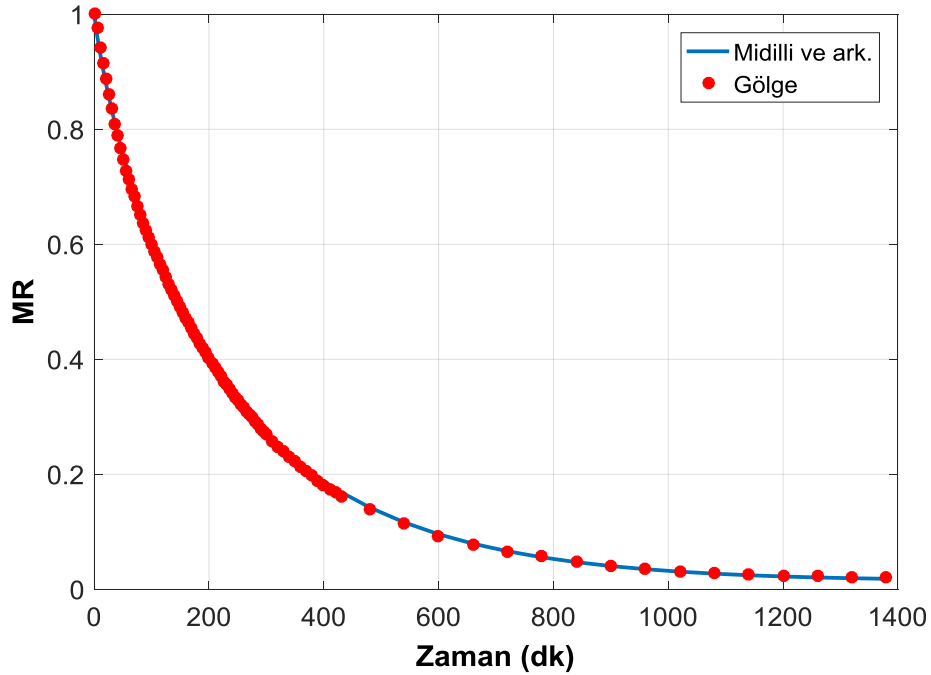
Çizelge 4.1. (devam)

Geliştirilmiş Henderson & Pabis	a= 0,0307 b= 0,9387 c= 0,0307 g=0,0042 h= 330,1163 k= 600,9424	10,5135	0,0141	0,9988
Difüzyon Yaklaşımı	a= 0,1468 b= 0,1676 k= 0,0227	7,2421	0,0061	0,9998
35°C				
Model Adı	Model Katsayıları	% MAPE	RMSE	R
Page	k= 0,0183 n= 0,7996	3,1740	0,0081	0,9994
Newton	k= 0,0065	14,1078	0,0359	0,9982
Midilli ve ark.	a= 0,9696 b= 0 k= 0,0146 n= 0,8359	2,3731	0,0065	0,9996
Handerson & Pabis	a= 0,8959 k= 0,0057	6,1416	0,0169	0,9975
Geliştirilmiş Henderson & Pabis	a= 0,0591 b= 0,8819 c= 0,0590 g= 0,0056 h= 513,5453 k= 486,4449	4,9979	0,0119	0,9988
Difüzyon Yaklaşımı	a= 0,1615 b= 0,0829 k= 0,0642	2,3429	0,0041	0,9999
50°C				
Model Adı	Model Katsayıları	% MAPE	RMSE	R
Page	k= 0,0254 n= 0,8467	4,0425	0,0057	0,9997
Newton	k= 0,0125	17,5120	0,0255	0,9989
Midilli ve ark.	a= 0,9800 b= 0 k= 0,0226 n= 0,8681	2,6275	0,0048	0,9998
Handerson & Pabis	a= 0,9181 k= 0,0115	8,7362	0,0140	0,9984

Çizelge 4.1. (devam)

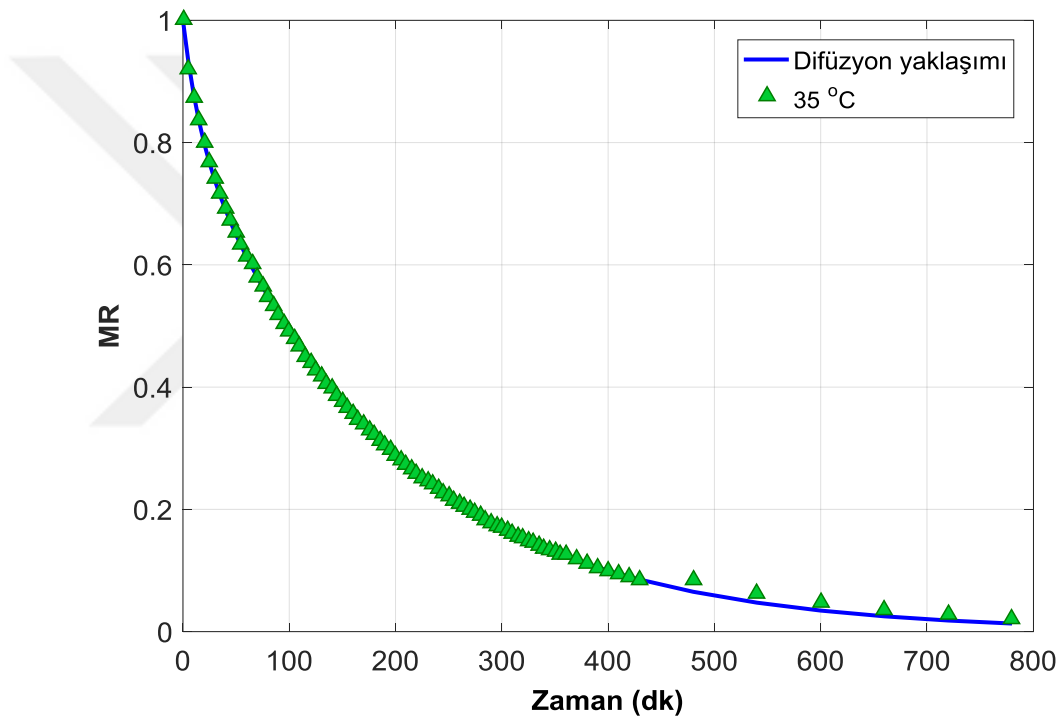
Geliştirilmiş Henderson & Pabis	a= 0,0518 b= 0,8964 c= 0,0518 g= 0,0112 h= 499,9914 k= 500,0063	6,3768	0,0084	0,9995
Difüzyon Yaklaşımı	a= 0,1437 b= 0,1040 k= 0,1031	3,2325	0,0034	0,9999

Çizelge 4.1 incelendiğinde nane örneklerinin gölgede kurutma yöntemiyle kurutulmasından elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimini en iyi açıklayan modelin Midilli ve ark. modeli olduğu görülmüştür. Page, Midilli ve ark. ve Difüzyon yaklaşımı modellerinde R (0,9998) değeri aynıdır. Ancak % MAPE (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) ve RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) değerleri incelendiğinde Midilli ve ark. modelinin en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Gölgede kurutma yöntemine ait model uyum grafiği Şekil 4.4’de sunulmuştur. Şekilden de anlaşılabacağı üzere, Midilli ve ark. modelinden elde edilen tahmini değerlerle deneysel olarak elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.



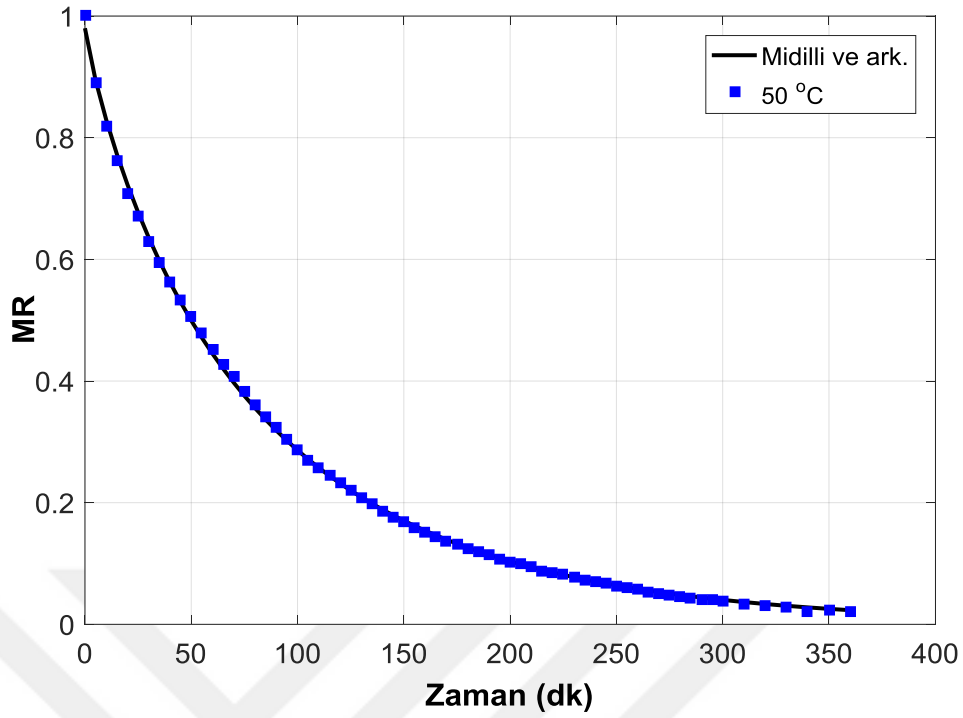
Şekil 4.4. Gölgede kurutulan nane örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli ve ark. modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Etüvde 35°C sıcaklıkta kurutulan nane örneklerinin kurutulmasını tanımlayan en uygun modelin Difüzyon Yaklaşımı modeli olduğu belirlenmiştir. Difüzyon yaklaşımı modelinde, kolerasyon katsayısı olan R (0,9999) değeri en yüksek, % MAPE (Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) ve RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) değerleri en düşük olduğundan bu model uygun bulunmuştur. Aynı kurutma yöntemiyle nane örneklerinin 50°C sıcaklıkta kurutulmasını tanımlayan en uygun modelin ise Midilli ve ark. modeli olduğu tespit edilmiştir. Burada her ne kadar R'nin en yüksek değeri Difüzyon Yaklaşımı modelinde olsa da % MAPE'nin en düşük değeri Midilli ve ark. modelinde olduğundan bu model uygun bulunmuştur.



Şekil 4.5. 35°C sıcaklıkta kurutulan nane örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Difüzyon Yaklaşımı modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.5'de 35°C sıcaklıkta etüvde kurutulan nane örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin Difüzyon Yaklaşımı modeliyle uyumu görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bu modelden elde edilen tahmini değerler deneysel değerlerle uyum içerisinde.



Şekil 4.6. 50°C sıcaklıkta kurutulan nane örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli ve ark. modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

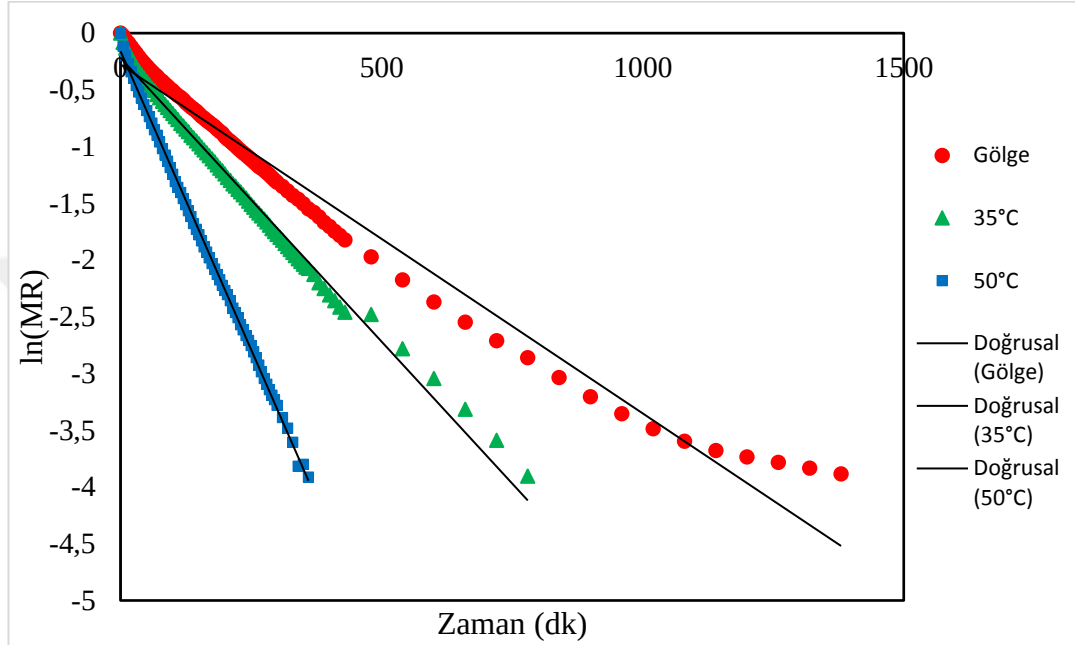
Şekil 4.6'da ise nane örneklerinin 50°C'de etüvde kurutulmasını tanımlayan en uygun model olan Midilli ve ark. modelinden elde edilen tahminler ile deneysel veriler arasındaki uyum sergilenmiş ve sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu anlaşılmıştır. Her üç durum için de önerilen modellerin yüksek doğrulukta tahminleme yaptığı istatistiki sonuçlardan ve grafiklerden açıkça görülmektedir.

Daha önce farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde, Torki-Harchegani vd. [141], 50°C-70°C'de sıcak havayla ve mikrodalga ile kuruttuğu nane (*Mentha × piperita*) yapraklarının kuruma karakteristiğini tanımlayan en iyi modelin Midilli ve ark. olduğunu, Çakmak vd. [138], defne yapraklarının 50°C ve 70°C'de kurutulmasında kuruma karakteristiğini tanımlamada en iyi modelin Midilli ve ark. olduğunu, Doymaz [142], 2 m/s hava akış hızıyla 40°C-60°C'de sıcak hava ile kuruttuğu kekik örneklerinin kuruma karakteristiğini tanımlayan en iyi modelin Midilli ve ark. olduğunu bildirmişlerdir.

Literatürdeki bu sonuçlar, nane örneklerinin farklı kurutma koşullarıyla kurutularak modellenmesi çalışmasından elde edilen sonuçlarla uyum içeresindedir.

4.4. Etkin Difüzyon Katsayılarının ve Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi

Nane örneklerinin kurutulması amacıyla kullanılan her bir kurutma sıcaklığı için etkin difüzyon katsayısı değerleri Eşitlik 2.7’de verilen ifadenin eğiminden yararlanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.7’de kuruma zamanı ile $\ln(MR)$ değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Çizelge 4.2’de ise hesaplamalar sonucu bulunan etkin difüzyon katsayılarının (D_{eff}) değerleri sunulmuştur.



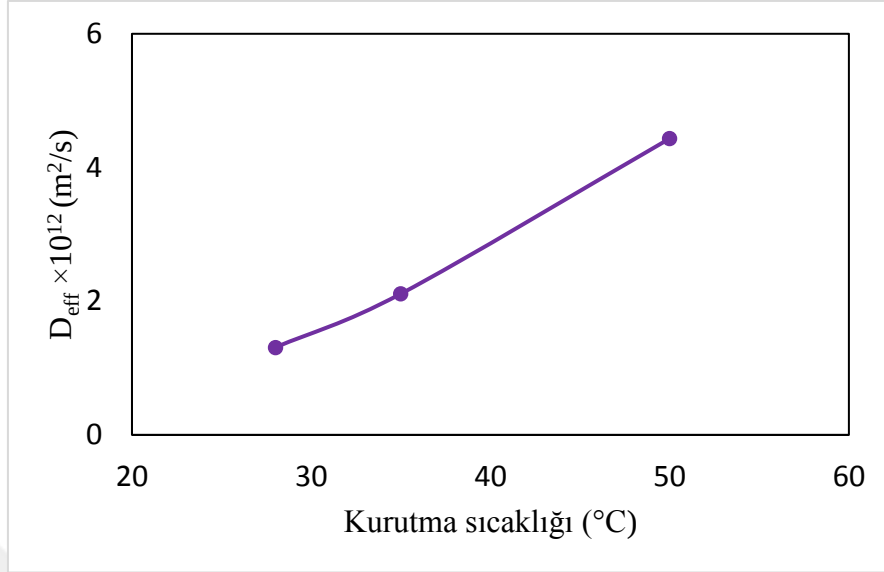
Şekil 4.7. Farklı kurutma sıcaklıklarında nane örneklerine ait $\ln(MR)$ değerlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.2. Farklı kurutma havası sıcaklıklarında kurutulan nane örnekleri için hesaplanan etkin difüzyon katsayısı değerleri

Kurutma Sıcaklığı	$D_{eff} \times 10^{12} (m^2/s)$	R^2
Gölge	1,31	0,9742
35°C	2,11	0,9913
50°C	4,43	0,9987

Kurutulan nane örneklerinin etkin difüzyon katsayısı değerlerinin $1,31 \times 10^{-12}$ ile $4,43 \times 10^{-12} m^2/s$ arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 4.8’de etkin difüzyon katsayısı değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği verilmiştir. Şekilden anlaşılabacağı üzere, kurutma sıcaklığı arttıkça katı içerisinde absorblanan ısı miktarına bağlı olarak

kütle aktarımının artmasıyla difüzyon katsayısının arttığı deneysel olarak ispatlanmıştır.

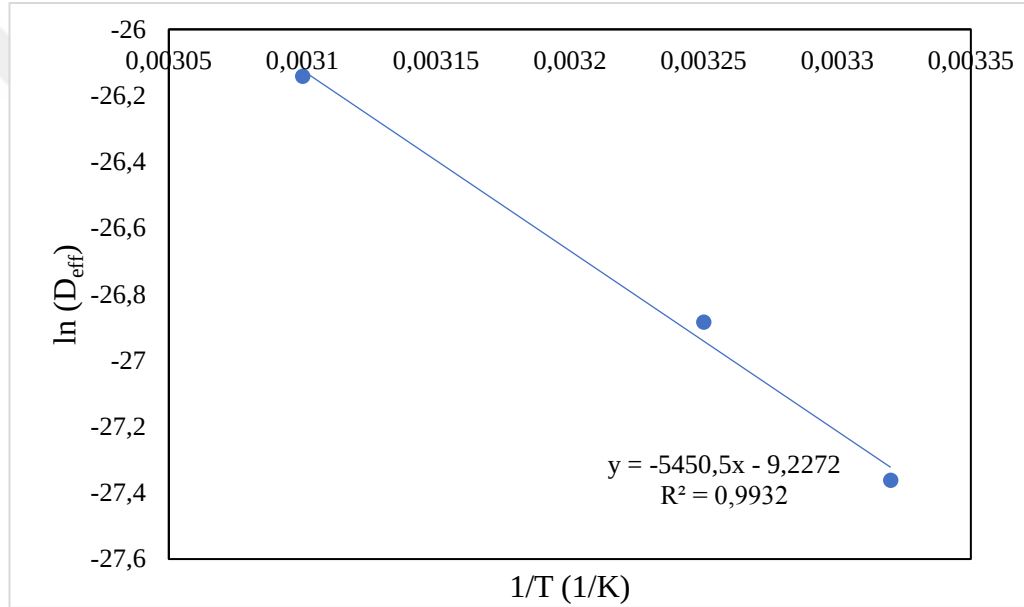


Şekil 4.8. Farklı kurutma sıcaklığında etkin difüzyon katsayısının değişimi

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde Kadam vd. [140], 45°C-65°C sıcaklık aralığında sıcak hava ile kuruttukları nane (*Mentha spicata*) yaprakları için etkin difüzyon katsayılarını $1,2325 \times 10^{-10}$ ile $2,6568 \times 10^{-10} m^2/s$ aralığında bulmuştur ve artan kurutma sıcaklığı ile etkin difüzyon katsayısı değerlerinin arttığını belirtmişlerdir. Doymaz [136], 35°C-60°C sıcaklık aralığında sıcak hava ile kurutulan nane (*Mentha spicata*) yaprakları için etkin difüzyon katsayısı değerlerinin $3,067 \times 10^{-9}$ ile $1,941 \times 10^{-8} m^2/s$ aralığında olduğunu ve artan sıcaklık ile bu değerlerin arttığını tespit etmiştir. Kane vd. [143], 40°C-70°C sıcaklık aralığında kuruttukları nane (*M. pulegium*) yaprakları için etkin difüzyon katsayısı değerlerinin $1,9871 \times 10^{-11}$ ile $1,4221 \times 10^{-10} m^2/s$ arasında değiştiğini ve artan sıcaklık ile etkin difüzyon katsayılarının arttığını belirtmişlerdir. Arslan vd. [144], güneşte, 50°C’de sıcak hava ile ve mikrodalgada (700W) kuruttuğu nane (*Mentha x piperita*) örnekleri için etkin difüzyon değerlerini sırasıyla $3,10 \times 10^{-12}$, $2,68 \times 10^{-12}$ ve $4,09 \times 10^{-10} m^2/s$ olarak bulmuştur. Akpınar [145], güneşte kuruttuğu nane, maydanoz ve fesleğen için etkin difüzyon katsayısı değerlerini sırasıyla $7,04 \times 10^{-12}$, $4,53 \times 10^{-12}$ ve $6,44 \times 10^{-12} m^2/s$ olarak tespit etmiştir. Park vd. [146], 30°C, 40°C ve 50°C’ de 1 m/s hava hızıyla kuruttuğu nane (*Mentha crispa*) örnekleri için etkin difüzyon katsayısı değerlerinin $5,129 \times 10^{-13}$ ile $2,945 \times 10^{-12} m^2/s$ aralığında olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmadan elde edilen etkin difüzyon katsayısı sonuçlarının, daha önce farklı yazarlar tarafından nane örnekleri için verilen değerlerle uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Aktivasyon enerjisinin değeri ise Eşitlik 2.9'dan yararlanarak $\ln D_{\text{eff}}$ değerleri ile $1/T$ değerleri arasında çizilen grafikten (Şekil 4.9) elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanmıştır. Bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi 44,31 kJ/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlılığını, değerinin büyük olması ise difüzyon katsayısının sıcaklığa daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Çeşitli nane türleri için literatürde bulunan aktivasyon enerjisi değerleri Çizelge 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.9. Etkin difüzyon katsayısına sıcaklığın etkisi

Çizelge 4.3. Farklı nane türleri için çeşitli yazarlar tarafından verilen aktivasyon enerjisi değerleri

Materyal	Kurutma şartları	Aktivasyon enerjisi (E_a) (kJ/mol)	Kaynak
Nane (<i>M. spicata</i>)	35°C -60°C	62,96	[130]
Nane (<i>M. crispa</i>)	30°C-50°C	82,93	[146]
Nane (<i>Mentha</i> × <i>piperita</i>)	50°C -70°C	43,46	[141]

Çizelge 4.3. (devam)

Nane (<i>Mentha × piperita</i>)	30°C-50°C (hava hızı 0,5 m/s)	27,784	[147]
	30°C-50°C (hava hızı 1 m/s)	24,122	
	30°C-50°C (hava hızı 1,5 m/s)	21,476	
Nane (<i>M. pulegium</i>)	30°C-50°C	57,12	[143]

Bu çalışmadan elde edilen aktivasyon enerjisi değeriyle daha önce Torki-Harchegani vd. [141] tarafından yapılan nane kurutma çalışmasından elde edilen aktivasyon enerjisi değeri arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir.

4.5. Farklı Kurutma Koşullarının Nane Örneklerinin Uçucu Yağ Oranına (%) Etkisi

Farklı kurutma koşulları altında kurutulan nane örneklerinin destilasyonu sonucunda berrak, açık sarı renkli uçucu yağlar elde edilmiştir. Elde edilen uçucu yağların oranı (%v/w kuru ağırlık bazında) hesaplanmıştır ve bulunan değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre farklı kurutma koşullarında (gölge, etüv 35°C ve 50°C) kurutulan nane örneklerinin uçucu yağ oranları arasında önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. En yüksek uçucu yağ oranı (%1,7) gölgede kurutulan örnekler için elde edilmiştir. Etüvde kurutulan örnekler bakıldığında ise 35°C’de kurutulan örneklerden elde edilen yağın oranı %1,3 iken 50°C’de kurutulan örneklerden elde edilen yağ oranının %0,6 ile en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Sıcaklık arttıkça yağ oranının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı kurutma koşullarında kurutulan nane örneklerinden elde edilen uçucu yağ oranları (%)

Kurutma metodu	Uçucu yağ oranı (% v/w)
Gölgede kurutma	1,7
Etüvde kurutma (35°C)	1,3
Etüvde kurutma (50°C)	0,6

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Kripanand vd. [148]; taze, gölgede, 45°C-65°C’de sıcak havayla ve mikrodalgada (180W, 900W) kuruttuğu nane (*Mentha spicata* L.) yapraklarından su destilasyonu ile elde ettikleri uçucu yağların oranlarını sırasıyla %3,13 %1,89, %3,16, %2,10, %2,10, %1,04, %0,95 olarak bulmuştur. Özer [149]; nane (*Mentha piperita* L.) örneklerini uç, orta ve alt olmak üzere üç kısma ayırmış, güneşte, gölgede ve 70°C’de etüvde kurutmuş ve su destilasyonu işlemine tabi tutmuştur. Buna göre uç kısmında en yüksek yağ oranını %3,18 ile gölgede kurutulan örneklerden, orta kısmında maksimum yağ oranını %2,07 ile etüvde kurutulan örneklerden ve alt kısmında en yüksek yağ oranını %1,11 ile etüvde kurutulan örneklerden elde etmiştir. Wang vd. [150]; elma nanesi (*Mentha rotundifolia* ‘variegata’) yapraklarını gölgede (22°C) ve 60°C’de kurutmuş ve uçucu yağları su destilasyonu ile elde etmiştir. Gölgede kurutulan örneklerden elde edilen yağ oranını % 0,63 ve etüvde kuruttuğu örneklerden elde edilen yağ oranını ise % 0,31 olarak bulmuştur. Stanisavljević vd. [151]; nane (*Mentha longifolia* L. Hudson) örneklerini gölgede, 45°C’de etüvde ve 35°C’de yoğuşmalı fırında kurutmuştur. Nane örneklerinin uçucu yağlarını su destilasyonu ile elde etmiş ve yağ oranlarını 35°C’de yoğuşmalı fırında %1,1, gölgede kurutmada %0,9 ve 45°C’de etüvde %0,6 olarak bulmuştur. Jalal vd. [152]; biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) yapraklarını 45°C’de etüvde, gölgede ve güneşte kurutup su destilasyonu ile elde ettikleri yağların maksimum oranının %1,8 ile gölgede kurutmada olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutma yöntemlerinin uçucu yağ miktarını ve kalitesini etkilediğini artan sıcaklığın ise uçucu yağ miktarını azalttığını belirtmişlerdir. Khalid vd. [153]; oğulotunu (*Melissa officinalis* L.) taze, gölgede, güneşte ve 45°C’de kurutmuş ve her bir örneğin uçucu yağını su destilasyonu ile elde etmişlerdir. En yüksek yağ oranını taze örneklerden (%0,33, 0,390 g bitki başına) elde etmişler ve bunu sırasıyla gölgede kurutma (%0,29, 0,069 g bitki başına), etüvde kurutma (%0,18, 0,033 g bitki başına) ve güneşte kurutmanın (%0,13, 0,028 g bitki başına) izlediğini belirtmişlerdir. Hassanpouraghdam vd. [154]; gölgede, güneşte, 40°C ve 60°C’ de kuruttuğu fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) örneklerinden su destilasyonu ile elde ettikleri uçucu yağların oranları sırasıyla %0,9, %0,5, %0,8, %0,4 olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutma yöntemlerinin uçucu yağ üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ve bitkisel materyalin güneş ve 60°C gibi yüksek sıcaklıklarda kurutulmasının uçucu yağ kaybına yol açtığını bildirmişlerdir.

Daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

4.6. Farklı Kurutma Koşullarının Nane Örneklerinin Uçucu Yağ Bileşimine Etkisi

Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan nane örneklerinin, uçucu yağ bileşenleri, alıkonma indeksleri (RI) ve yüzde bileşimleri Çizelge 4.5'de gösterilmektedir.

Gölgede kurutulmuş örneklerden elde edilmiş uçucu yağın GC/MS analizi sonucunda, 33 tane bileşen tanımlanmış olup bu bileşenler toplam yağın %97,90'ını oluşturmaktadır. Bu yağdaki temel bileşenler, karvon (%35,01), D-limonen (%14,55), 1,8-sineol (%7,96), dihidrokarveol (%6,57), karveol (%4,26), dihidrokarvil asetat (%3,12), trans dihidrokarvon (%2,10), trans karvil asetat (%1,84), cis-karveol (%1,39) olarak tespit edilmiştir.

35°C' de etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın analizi sonucunda 39 adet bileşen tanımlanmış olup bu bileşenler yağın %97,01'ini temsil etmektedir. Bu yağdaki ana bileşenlerin, karvon (%26,42), D-limonen (%9,19), 1,8-sineol (%8,49), dihidrokarveol (%9,55), karveol (%4,45), dihidrokarvil asetat (%7,68), trans dihidrokarvon (%3,25), trans karvil asetat (%5,99), cis-karveol (%3,08) olduğu gözlemlenmiştir.

Etüvde 50°C' de kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın GC/MS sonucunda ise yağın % 98,06'sını oluşturan, 34 tane bileşen saptanmıştır. Bu yağdaki major bileşenler, karvon (%26,62), D-limonen (%6,84), 1,8-sineol (%8,12), dihidrokarveol (%10,63), karveol (%4,65), dihidrokarvil asetat (%7,56), trans dihidrokarvon (%3,09), trans karvil asetat (%6,17), cis-karveol (%6,69) olarak belirlenmiştir.

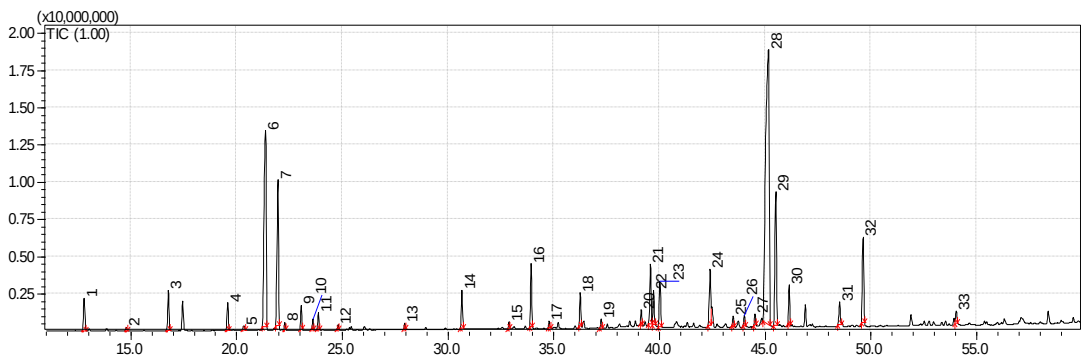
Çizelge 4.5. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulmuş *M. spicata*'nın uçucu yağ bileşenleri

	Bileşen	RI	Esansiyel yağ bileşenleri (%)		
			Gölgede kurutma	Etüvde kurutma (35°C)	Etüvde kurutma (50°C)
1	α -Pinen	1011	1,40	1,29	1,00
2	Kamfen	1054	0,12	0,06	-
3	β -Pinen	1098	1,91	1,67	1,35
4	β -Mirsen	1155	1,18	0,80	0,52
5	α -Terpinen	1171	0,16	0,11	-
6	D-Limonen	1191	14,55	9,19	6,84
7	1,8-sineol	1203	7,96	8,49	8,12
8	<i>trans</i> -2-Hekzenal	1210	0,22	-	-
9	<i>cis</i> - β -Osime	1226	0,97	0,46	0,20
10	γ -Terpinen	1238	0,41	0,29	0,15
11	<i>trans</i> - β -Osime	1243	0,50	0,36	0,14
12	β -Sime	1262	0,21	0,19	0,18
13	α -Terpinolen	1275	-	0,06	-
14	3-Oktil asetat	1328	0,25	0,36	0,30
15	3-Oktan	1387	1,72	0,97	0,68
16	Hekzil valer	1437	0,26	0,05	-
17	1 Octen 3 ol	1442	-	0,07	0,11
18	<i>trans</i> -Sabinen hidrat	1460	2,75	2,61	2,40
19	<i>cis</i> -3-Hekzenil valer	1480	0,28	0,07	-
20	α -Burbonen	1508	-	-	0,14
21	β -Burbonen	1514	1,40	2,37	2,29
22	Linalol	1538	0,37	0,11	0,14
23	β -Yılan	1570	-	0,28	0,34
24	Bornil asetat	1577	-	0,08	-
25	β -Elemen	1583	0,56	0,38	0,29
26	β -Karyofillen	1594	3,14	1,48	1,41
27	Terpinen-4-ol	1598	1,54	1,03	1,08
28	<i>trans</i> -Dihidrokarvon	1605	2,10	3,25	3,09
29	<i>cis</i> -Dihidrokarvon	1625	-	0,25	0,34

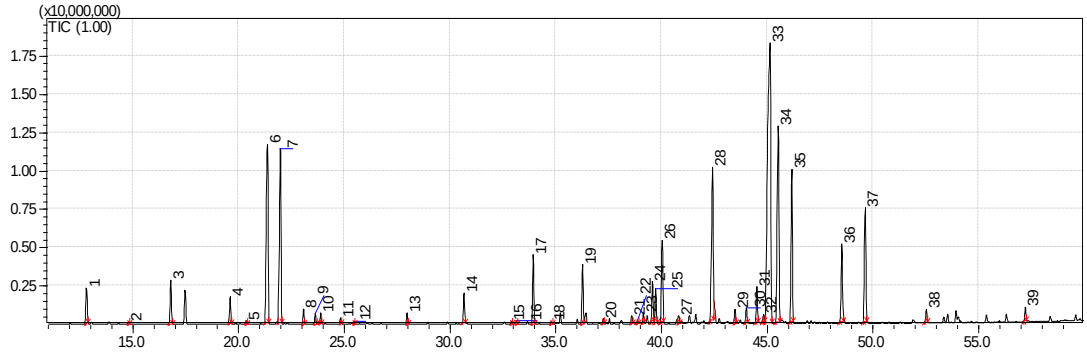
Çizelge 4.5. (devam)

30	Pulegon	1645	-	-	0,20
31	Dihidrokarvil asetat	1665	3,12	7,68	7,56
32	α -Terpineol	1692	0,37	0,49	0,44
33	Germakren D	1706	0,52	0,63	0,63
34	Neodihidrokarveol	1720	0,44	1,08	2,37
35	<i>cis</i> -Karvil asetat	1728	-	0,26	-
36	Karvon	1736	35,01	26,42	26,62
37	Dihidrokarveol	1746	6,57	9,55	10,63
38	<i>trans</i> -Karvil asetat	1764	1,84	5,99	6,17
39	<i>cis</i> -Karveol	1828	1,39	3,08	6,69
40	Karveol	1859	4,26	4,45	4,65
41	Karyofillen oksit	1985	0,53	-	-
42	<i>cis</i> -Jasmon	1941	-	0,49	0,40
43	Viridiflorol	2083	-	0,54	0,59
Toplam			97,90	97,01	98,06

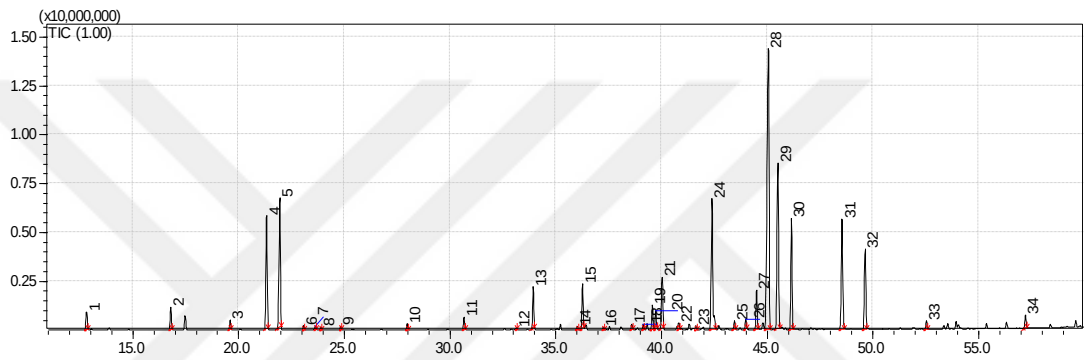
Gölgede, etüvde 35°C ve 50°C sıcaklıkta kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağların GC/MS kromatogramları sırasıyla Şekil 4.10-4.12 arasında sunulmuştur.



Şekil 4.10. Gölgede kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın kromatogramı



Şekil 4.11. 35°C’de etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın kromatogramı



Şekil 4.12. 50°C’de etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın kromatogramı

Sonuçlar farklı kurutma yöntemlerinin, *M. spicata* uçucu yağındaki temel bileşenler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını fakat bu temel bileşenlerin yüzde miktarları üzerinde belirgin bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Gölgede kurutulan örnekler ile karşılaştırıldığında, etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağdaki temel bileşenlerden olan karvon ve D-limonen miktarlarında önemli kayıplar meydana gelirken, 1,8-sineol, dihidrokarveol, karveol, dihidrokarvil asetat, trans dihidrokarvon, trans karvil asetat ve cis-karveol miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Bu durum, kurutma işlemi sırasında meydana gelen bazı kimyasal dönüşümlere bağlı olabilir. Ayrıca Uçucu bileşiklerin kurutma işlemi sırasında konsantrasyonunda meydana gelen değişiklikler, bitkinin ait olduğu sınıf ve kurutma yöntemleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Nane, Lamiaceae familyasına ait bir bitki türüdür. Bu familyaya ait bitkilerin uçucu yağlarını yaprak yüzeyleri üzerine veya yakınına depoladıkları bilinmektedir [155]. Bu durum, nanenin etüvde kurutulması sonucunda yapraklarındaki uçucu bileşiklerin kaybını açıklayabilir.

Karvon ve D-limonen *M. spicata* bitkisinden elde edilen uçucu yağın önemli bileşenleridir. Karvon güzel kokusu nedeniyle likör ve ciklet gibi gıda maddeleri için koku ve tat maddesi olarak, sabun, parfüm, diş macunlarının aromalarını geliştirmek amacıyla, patates filizlenme inhibitörü, yapı bloğu ve biyokimyasal çevre indikatörü olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda karvon antibakteriyel ve antifungal gibi çeşitli biyolojik etkilere sahip olmasından dolayı ilaç endüstrisinde de kullanım alanı bulmuştur [156]. D-limonen ise hoş narenciye kokusu nedeniyle, parfüm, sabun, gıdalar, ciklet ve içeceklerde bir lezzet ve koku katkı maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Klinik olarak ise kolesterol içeren safra taşlarını çözmek için ve mide asidini nötralize edici etkisi ve peristaltizmi iyileştirmesi nedeniyle mide yanması/GÖRH'nin hafifletilmesi için de kullanılmaktadır. Ayrıca D-limonenin, birçok kanser türüne karşı bir kemopreventif etkinliğe sahip olduğu bilinmektedir [157].

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Kripanand vd. [148]; farklı yöntemlerle kuruttukları nane (*Mentha spicata* L.) yapraklarının uçucu yağ bileşimde bulunan karvon ve limonen miktarlarını, taze örneklerin % 67,62 ve % 14,21, gölgede kurutulanların %66,84 ve %13,08, 45°C-65°C'de sıcak havayla kurutulanların %66,83-%55,36 ve %7,37-%23,57 ve 180W ve 900W mikrodalgada kurutulanların %31,28-%40,42 ve %9,09-%15,28 olarak tespit etmişlerdir. En yüksek karvon yüzdesinin gölgede kurutulan örneklerden elde edildiğini ve mikrodalgayla kurutmanın nane örneklerinin uçucu yağlarında önemli kayıplar meydana getirdiğini bildirmişlerdir. Antal vd. [158]; çeşitli yöntemlerle kuruttuğu nane (*Mentha spicata* L.) örneklerinin uçucu yağında bulunan karvon ve limonen yüzdelerini, taze örneklerin %60,54 - %9,44, 43°C'de sıcak hava ile kurutulan örneklerin %35,924 - %1,618, düşük ve yüksek basınçta dondurarak kurutulan örneklerin %47,631-%51,904 ve %4,516-8,961 olarak bulmuşlardır. Ayrıca sıcak hava ile kurutma sırasında uçucu maddelerin yüksek oranda azalmasının, bileşenlerin kimyasal yapısına ve termal duyarlılığına bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Zheljazkov [159]; gölgede kuruttuğu nane (*Mentha spicata* L.) yapraklarının karvon miktarını %52,4, güneşte kuruttuğu örneklerin karvon miktarını ise %51,9 olarak bulunmuştur. Ayrıca kuruma süresi ve kurutma koşullarının uçucu yağ bileşimi üzerine etkisi olduğunu belirtmiştir.

Literatürdeki bu sonuçlar incelendiğinde nane örneklerinin gölgede kurutma yöntemiyle en yüksek karvon ve limonen içeriğine sahip olduğu görülmüş ve yapılan bu çalışmada benzer sonuca varılmıştır. Ancak literatürde verilen karvon ve limonen miktarlarının bu çalışmadan elde edilen miktarlarla farklı olduğu anlaşılmıştır. Genel olarak sonuçlar arasındaki bu farklılığın, bitkinin yetiştirildiği bölgenin iklim şartları, toprak yapısı, güneşli gün sayısı, sıcaklık ve bunun yanında hasat zamanı ve kurutma yönteminden ya da bu etkenlerin tümünün etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.7. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) Sonuçları

Gölgede kurutulan nane yapraklarından elde edilen uçucu yağ miktarının optimizasyonunda kullanılan modelin ANOVA testi sonuçları Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelgede görülen $\text{prob} > F$ değerleri için kıyaslama yapılmış ve yağ miktarı yanıtına en önemli etkinin zaman (A) olduğu belirlenmiştir. Parametrelerin etkinlikleri $\text{prob} > F$ değerlerine göre zaman (A) ve katı/sıvı oranı (B) olarak sıralanmaktadır. Modelin F-değeri 7,60 olup model önemlidir. " $\text{Prob} > F$ " değerinin 0.05'ten düşük olması model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermiştir. Bu durumda, A ve B önemli model terimleridir. 0,1'den büyük olan model terimleri önemsiz olarak değerlendirilebilir. Standart sapma, 0,23, regresyon katsayısı (R^2), 0,6031 ve düzeltilmiş regresyon katsayısı (R^2_{adj}), 0,5237 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Yağ miktarı için ANOVA testi sonuçları

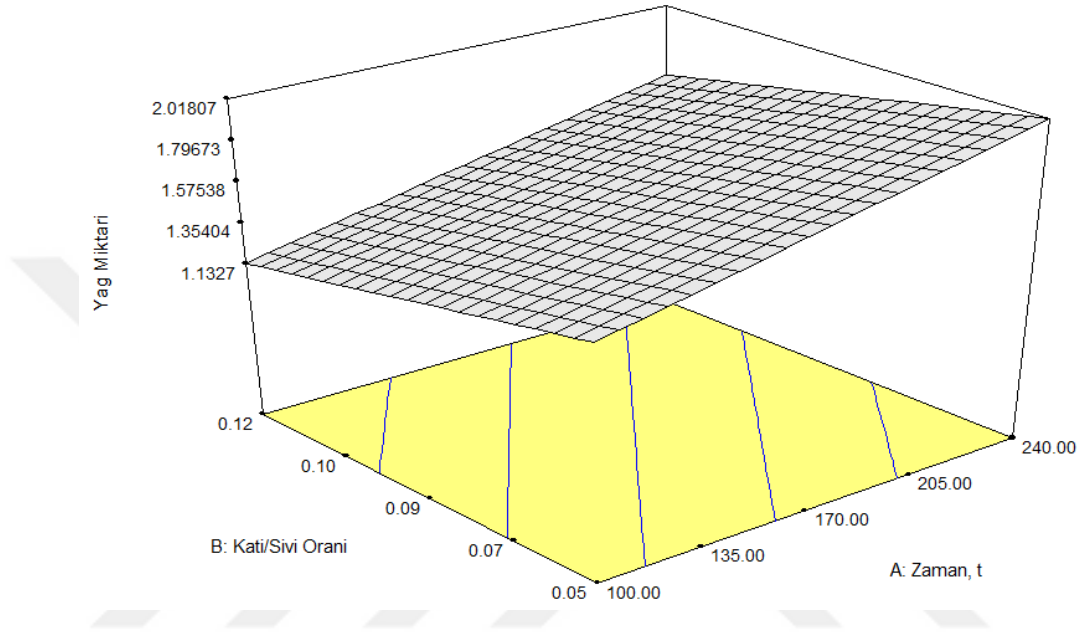
Kaynak	Kareler Toplamı	F değeri	Prob > F	
Model	0,79	7,60	0,0098	Önemli
A	0,49	9,34	0,0121	
B	0,31	5,85	0,0361	
Artık	0,52			

Kodlanmış ve gerçek faktörler cinsinden uçucu yağ miktarı sırasıyla Eşitlik 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

$$\text{Yağ Miktarı} = 1,58 + 0,25 \cdot A - 0,20 \cdot B \quad (4.1)$$

$$\text{Yağ Miktarı} = 1,50186 + 3,53002 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Zaman} - 6,018 \cdot \text{Katı/Sıvı Oranı} \quad (4.2)$$

Şekil 4.13'de katı/sıvı oranı ve zaman faktörlerinin yağ miktarı üzerindeki etkileri üç boyutlu grafik ile verilmiştir.



Şekil 4.13. Katı/sıvı oranı ve zamanın yağ miktarı üzerine etkileri.

Yağ miktarının maksimize edildiği optimizasyon sonucuna göre zaman 240 dk. ve katı/sıvı oranı 0,06 için yağ miktarının yaklaşık 2,018 ml olacağı öngörüsünde bulunulmuştur. Bu optimum koşullarda deney yapılmış ve yağ miktarının yaklaşık 2,1 ml olduğu görülmüştür.

Gölgede kurutulan nane yapraklarından elde edilen uçucu yağda bulunan karvon oranı optimizasyonunda kullanılan modelin ANOVA testi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelgede görülen prob>F değerleri için kıyaslama yapılmış ve karvon oranı yanıtına en önemli etkinin zaman (A) olduğu belirlenmiştir. Parametrelerin etkinlikleri prob>F değerlerine göre zaman (A), zamanın karesi (A²), katı/sıvı oranı (B), katı/sıvı oranının karesi (B²), zamanın karesi ile katı/sıvı oranının çarpımı (A²B) ve zaman ile katı/sıvı oranının çarpımı (AB) olarak sıralanmaktadır. Modelin F-değeri 24,86 olup model önemlidir. "Prob> F" değerinin 0.05'ten düşük olması model

terimlerinin anlamlı olduğunu göstermiştir. Bu durumda, A, B, A², B², AB, A²B önemli model terimleridir. 0,1'den büyük olan model terimleri önemsiz olarak değerlendirilebilir. Standart sapma, 0,72, regresyon katsayısı (R²), 0,9613 ve düzeltilmiş regresyon katsayısı (R²_{adj}), 0,9227 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Karvon oranı için ANOVA testi sonuçları

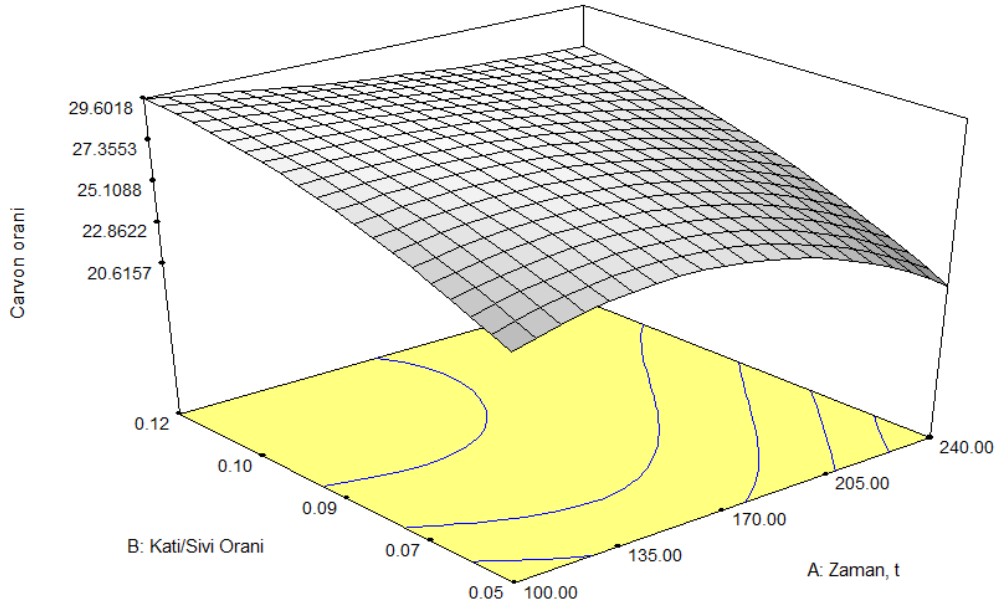
Kaynak	Kareler Toplamı	F değeri	Prob > F	
Model	78,33	24,86	0,0005	Önemli
A	16,95	32,27	0,0013	
B	7,84	14,93	0,0083	
A ²	10,69	20,35	0,0041	
B ²	7,73	14,73	0,0086	
AB	0,31	0,59	0,4728	
A ² B	5,36	10,21	0,0187	
Artık	3,15			

Kodlanmış ve gerçek faktörler cinsinden karvon oranı sırasıyla Eşitlik 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Karvon oranı} = & 27,68 - 1,46 \cdot A + 1,4 \cdot B - 1,24 \cdot A^2 - 1,05 \cdot B^2 + 0,28 \cdot A \cdot B \\ & + 1,64 \cdot A^2 \cdot B \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Karvon oranı} = & - 11,69340 + 0,36042 \cdot \text{Zaman} + 494,18565 \\ & \cdot \text{Katı/Sıvı oranı} - 1,15262 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Zaman}^2 - 998,22485 \\ & \cdot \text{Katı/Sıvı oranı}^2 - 3,37394 \cdot \text{Zaman} \cdot \text{Katı/Sıvı oranı} + 0,010282 \\ & \cdot \text{Zaman}^2 \cdot \text{Katı/Sıvı oranı} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Şekil 4.14'de katı/sıvı oranı ve zaman faktörlerinin karvon oranı üzerindeki etkileri üç boyutlu grafik ile gösterilmektedir.

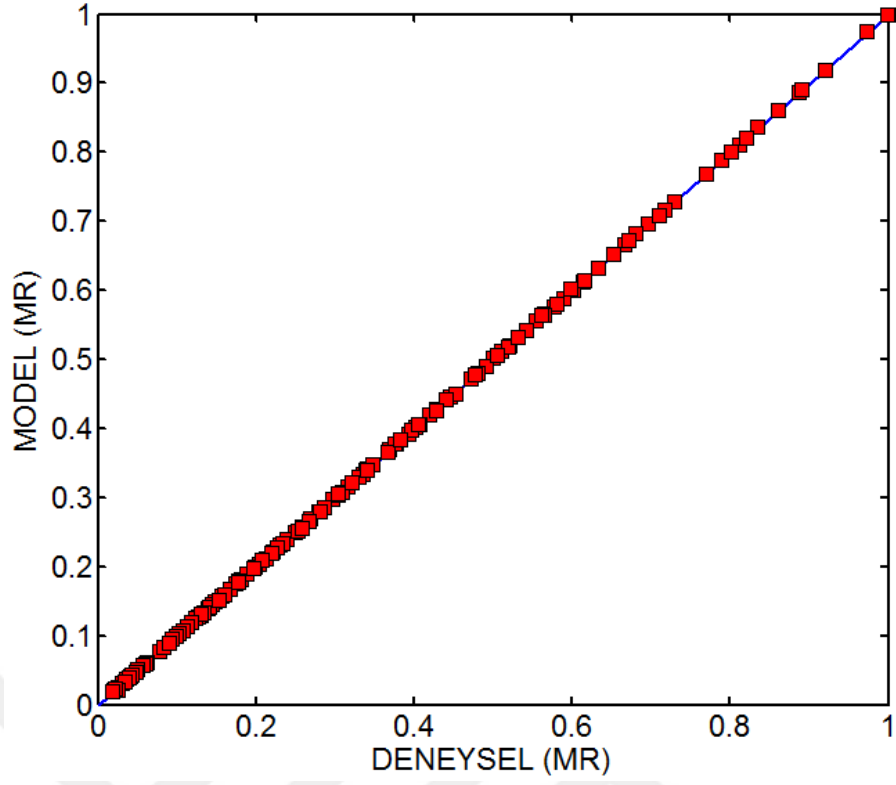


Şekil 4.14. Katı/sıvı oranı ve zamanın karvon oranı üzerine etkileri

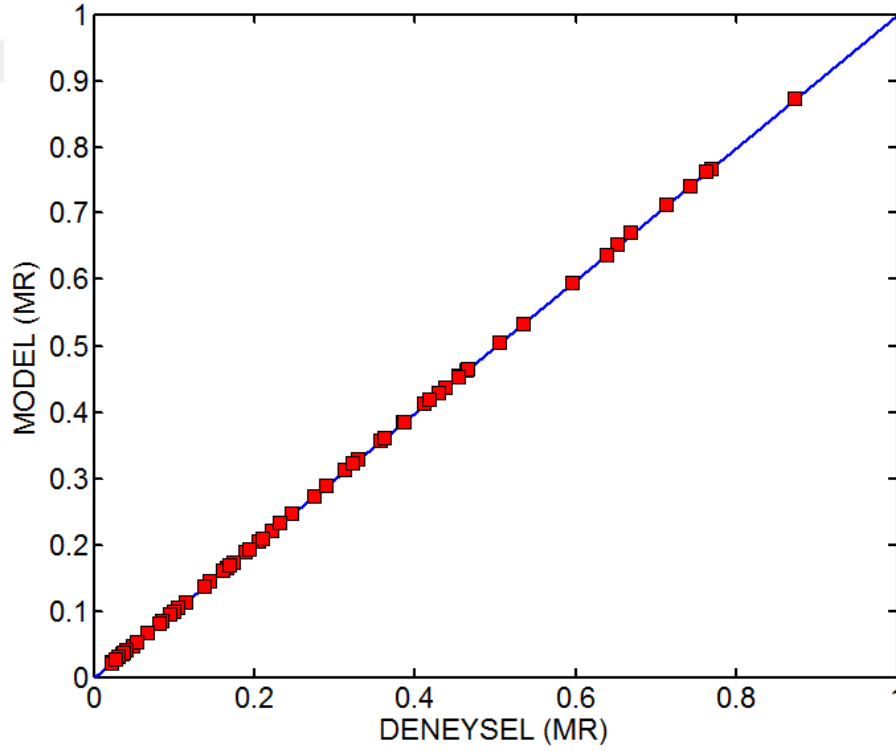
Karvon oranının maksimize edildiği optimizasyon sonucuna göre zaman 100 dk. ve katı/sıvı oranı 0,12 için karvon oranının yaklaşık %29,60 olacağı öngörüsünde bulunulmuştur. Bu optimum koşullarda deney yapılmış ve karvon oranı yaklaşık olarak %29,76 bulunmuştur.

4.8. YSA Modelleme Sonuçları

Deneyssel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler YSA ile modellenmiş olup geliştirilen modelin başarısı istatistiksel metotlarla test edilmiştir. Şekil 4.15 ve 4.16'da sırasıyla eğitim ve test verileri için YSA model öngörülleri ile deneyssel veriler arasındaki uyum verilmiştir.



Şekil 4.15. YSA eğitim sonuçları



Şekil 4.16. YSA test sonuçları

Model başarısı değerlendirilirken RMSE (Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü), MSE (Hata Kareleri Ortalaması) ve % MAPE (Ortalama Mutlak Hata

Yüzdesi) değerlerinin düşük, Korelasyon Katsayısı (R) değerinin ise 1'e yakın olması göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 4.8'de model başarısının değerlendirilmesi için hesaplanan performans ölçütlerinin değerleri sunulmuştur. Bu çizelge incelendiğinde YSA modelinin başarılı sonuçlar verdiği ve gıdaların kurutma kinetiğinin tanımlanmasında kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.8. YSA modeli için hesaplanan performans fonksiyonları

Eğitim Verisi			
R	% MAPE	RMSE	MSE
1,0000	0,3703	$8,7291 \times 10^{-4}$	$7,6198 \times 10^{-7}$
Test Verisi			
R	% MAPE	RMSE	MSE
1,0000	0,2257	$5,9447 \times 10^{-4}$	$3,5340 \times 10^{-7}$
Validasyon Verisi			
R	% MAPE	RMSE	MSE
1,0000	0,3057	$8,0692 \times 10^{-4}$	$6,5113 \times 10^{-7}$

Çizelge 4.9'da sırasıyla gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan nane yapraklarının kurutma kinetiğini en iyi ifade eden ince tabaka kurutma modellerinin ve yapay sinir ağı modelinin istatistiksel sonuçları sunulmuştur. Bu çizelge incelendiğinde, yapay sinir ağı modelinden elde edilen % MAPE ve RMSE değerlerinin ince tabaka kurutma modellerindeki değerlere göre çok daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yapay sinir ağının, nane yapraklarının nem içeriğinin tahminlenmesinde ince tabaka kurutma modellerine göre daha doğru ve daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. İyi eğitilmiş bir YSA tarafından verilerin tahminlenmesinin matematiksel modellere göre çok daha hızlı olduğu görülmüştür. Kurutma kinetiği modellerinin her bir durum için ayrı ayrı kalibre edilerek optimizasyonla yapıldığı dikkate alındığında, tüm kurutma yöntemi verilerinin tek bir YSA modelinde toplanması kuruma karakteristiğini tanımlamada önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Çizelge 4.9. Kurutma sıcaklıklarına göre en iyi uyum gösteren modellerin istatistiksel sonuçları

Kurutma sıcaklığı	Model Adı	R	% MAPE	RMSE
Gölge	Midilli ve ark.	0,9998	1,5053	0,0045
35°C	Difüzyon Yaklaşımı	0,9999	2,3429	0,0041
50°C	Midilli ve ark.	0,9998	2,6275	0,0048
Gölge, 35°C, 50°C	YSA Modeli Test Verisi	1,0000	0,2257	$5,9 \times 10^{-4}$
Gölge, 35°C, 50°C	YSA Modeli Validasyon Verisi	1,0000	0,3057	$8,1 \times 10^{-4}$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında nane (*Mentha spicata*) yapraklarının gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulmasında, kurutma yöntemlerinin ve sıcaklığın nem içeriğine, kuruma hızına, uçucu yağ oranına ve bileşimine etkisi araştırılmıştır. Gölgede kurutulan örneklerin uçucu yağ miktarı ve karvon oranı Design Expert-10 (trial) yazılımıyla optimize edilmiştir. Ayrıca farklı yöntemlerle kurutulan örneklerin kuruma kinetiklerinin tahminlenmesinde ince tabaka kurutma yöntemlerinin yanı sıra yapay sinir ağları ile modelleme yöntemi de kullanılmıştır.

Nane örneklerinin kuruma süresinin nem içeriğiyle değişimi incelendiğinde, kuruma süresinin artan kurutma sıcaklığıyla azaldığı tespit edilmiştir. Kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi incelendiğinde ise sıcaklığın artmasının kuruma hızını arttırdığı görülmüştür. Her iki kurutma yönteminde de kuruma işleminin yalnızca azalan hız periyodunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Nane örneklerinin kuruma kinetiğini tanımlamak amacıyla literatürde bulunan ve yaygın olarak kullanılan 6 farklı matematiksel model seçilmiştir. Uygun model belirlenirken istatistiksel başarı kriterlerinden R değerinin en yüksek, % MAPE ve RMSE değerinin en düşük olması göz önünde bulundurulmuştur. Bu doğrultuda gölgede kurutulan örneklerin kuruma kinetiğini tanımlayan en iyi modelin Midilli ve ark. olduğu, 35°C’de kurutulan örneklerin kuruma kinetiğini tanımlayan en uygun modelin Difüzyon Yaklaşımı modeli olduğu ve 50°C’de kurutulan örneklerin kuruma karakteristiğini tanımlayan en uygun modelin ise Midilli ve ark. modeli olduğu belirlenmiştir. Nane örneklerinin kurutulması amacıyla kullanılan her bir kurutma sıcaklığı için etkin difüzyon katsayıları hesaplanmış ve artan kurutma sıcaklığı ile etkin difüzyon katsayısı değerinin arttığı görülmüştür. Gölge, 35°C ve 50°C sıcaklık değerleri için etkin difüzyon katsayısı değerleri sırasıyla $1,31 \times 10^{-12}$ m²/s, $2,11 \times 10^{-12}$ m²/s, $4,43 \times 10^{-12}$ m²/s olarak bulunmuştur. Ayrıca aktivasyon enerjisinin değeri ise 44,31 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Gölgede ve etüvde (35°C ve 50°C) kurutulan örneklerden uçucu yağ, clevenger aparatı kullanılarak su destilasyonu yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre farklı kurutma koşullarıyla kurutulan nane örneklerinin uçucu yağ oranları arasında önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Gölgede, 35°C ve 50°C’de kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağların oranları (%v/w) sırasıyla %1,7,

%1,3, %0,6 olarak bulunmuştur. Sıcaklık arttıkça yağ oranının önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir.

Nane (*Mentha spicata*) uçucu yağlarının bileşimlerini belirlemek amacıyla örnekler GC-MS analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre *M. spicata* uçucu yağındaki temel bileşenler üzerinde farklı kurutma yöntemlerinin önemli bir etkisinin olmadığı fakat bu temel bileşenlerin yüzde miktarları üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Gölgede kurutulmuş örneklerden elde edilen uçucu yağın temel bileşenleri, karvon (%35,01), D-limonen (%14,55), 1,8-sineol (%7,96), dihidrokarveol (%6,57), karveol (%4,26), dihidrokarvil asetat (%3,12), trans dihidrokarvon (%2,10), trans karvil asetat (%1,84), cis-karveol (%1,39) olarak tespit edilmiştir. 35°C’ de etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın ana bileşenlerinin, karvon (%26,42), D-limonen (%9,19), 1,8-sineol (%8,49), dihidrokarveol (%9,55), karveol (%4,45), dihidrokarvil asetat (%7,68), trans dihidrokarvon (%3,25), trans karvil asetat (%5,99), cis-karveol (%3,08) olduğu gözlemlenmiştir. Etüvde 50°C’ de kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağın temel bileşenlerinin, karvon (%26,62), D-limonen (%6,84), 1,8-sineol (%8,12), dihidrokarveol (%10,63), karveol (%4,65), dihidrokarvil asetat (% 7,56), trans dihidrokarvon (%3,09), trans karvil asetat (%6,17), cis-karveol (%6,69) olduğu saptanmıştır. Bu durumun, kurutma işlemi sırasında meydana gelen bazı kimyasal dönüşümlere bağlı olabileceği varsayılmıştır. Gölgede kurutulan örnekler ile karşılaştırıldığında, etüvde kurutulan örneklerden elde edilen uçucu yağdaki ana bileşenlerden olan karvon ve D-limonen miktarlarında önemli kayıplar olurken, 1,8-sineol, dihidrokarveol, karveol, dihidrokarvil asetat, trans dihidrokarvon, trans karvil asetat ve cis-karveol miktarlarında artış gözlemlenmiştir.

GC-MS sonuçlarından yola çıkarak en yüksek yağ oranı ve karvon miktarı gölgede kurutulan örneklerden elde edildiğinden deneysel tasarım bu örnekler kullanılarak yapılmıştır. Gölgede kurutulan nane örneklerinden uçucu yağ eldesi için deneysel tasarım Design Expert-10 (trial) yazılımı ile yapılmıştır. Sonuç olarak yağ miktarı için lineer model, karvon oranı için 3. dereceden modifiye model önerilmiştir. Önerilen modelin doğruluğu varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir. Yağ miktarının maksimize edildiği optimizasyon sonucuna göre zaman 240 dk ve katı/sıvı oranı 0,06 için yağ miktarının yaklaşık 2,018 ml olacağı öngörüsünde bulunulmuştur. Karvon oranının maksimize edildiği optimizasyon

sonucunda ise zaman 100 dk ve katı/sıvı oranı 0,12 için karvon oranının yaklaşık %29,60 olacağı öngörüsünde bulunulmuştur.

Nane yapraklarının farklı kurutma koşullarıyla kurutulmasında nem içeriğinin tahminlenmesi amacıyla yapay sinir ağları ile modelleme yapılmıştır. Bunun için üç katmanlı ileri doğru beslemeli geriye yayımlı ağ yapısı kullanılmıştır. Seçilen model 2-15-1 (giriş katmanında 2 nöron, ara katmanda 15 nöron, çıkış katmanında 1 nöron) giriş ve çıkış parametreleri arasındaki ilişkiyi başarılı bir şekilde öğrenmiştir. Sonuçlara göre, yapay sinir ağı modeliyle ince tabaka kurutma modelleri karşılaştırıldığında yapay sinir ağı modelinin nane yapraklarının nem içeriğinin tahminlenmesinde ince tabaka kurutma modellerine göre daha doğru, hızlı ve genellenebilen sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Bu tez çalışması sonucunda ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan ve önemli bir tıbbi ve aromatik bitki olan *Mentha spicata*'dan uçucu yağı eldesi için bitkinin hasatından sonraki seçilen kurutma ve destilasyon süreçlerinde optimum koşullar belirlenmiş, uçucu yağ üretim süreci düşünüldüğünde geliştirilen modellerin yüksek öngörü kapasitesiyle kullanılabileceği görülmüştür.

Ülkemiz bitki çeşitliliği ve tarımsal potansiyeli nedeniyle tıbbi ve aromatik bitkiler bakımından zengin çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle tıbbi ve aromatik bitkiler ve bu bitkilerden elde edilen ürünlerin ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Ülkemiz piyasasında bulunan bitkisel ürünlerin ve yağların çoğu ithal ürünlerden oluşmaktadır. Oysaki bu ürünlerin büyük çoğunluğunun elde edildiği kaynaklara ülkemizde kolaylıkla ulaşılabilir. Ülke ekonomisine katkıda bulunmak için ve dünya bitkisel ürünler pazarında üretici olarak lider konuma gelebilmek için tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştiriciliğini yapmak ve bu bitkilerden yüksek verimle kaliteli ürünler üretmek gerekmektedir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçların gelecekte tıbbi ve aromatik bitkilerden uçucu yağ ve diğer bitkisel ürünler elde edilmesini amaçlayan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmada araştırılan bitki türü farklı kurutma yöntemi ve sıcaklığı altında incelenebilir, uçucu yağları farklı yöntemlerle (buhar destilasyonu, çözücü ekstraksiyonu gibi) elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] H. Baydar, *Tıbbi, Aromatik ve Keyf Bitkileri Bilimi ve Teknolojisi*, SDÜ Yayın No: 51, Isparta, 2005, p. 216.
- [2] L.E. Craker, Z. Gardner and S.C. Etter, *Herbs in American Fields: A Horticultural Perspective of Herb and Medical Plant Production in the United States, 1903–2003*, **Horticultural Science**, 38 (2003) 977–983.
- [3] L.E. Craker and Z. Gardner, *Sustaining the Harvest: Challenges in MAP Production and Markets*, **Acta Horticulturae**, 676 (2005) 25–30.
- [4] K.H.C. Başer, *Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Endüstriyel Kullanımı*, **TAB Bülteni**, 13-14 (1998) 19-43.
- [5] E. Bayram, S. Kırıcı, S. Tansı, G. Yılmaz, O. Arabacı, S. Kızıl, D. Telci, *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretiminin Arttırılması Olanakları*, Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-I, Ankara, 11–15 Ocak, (2010), pp.437–456.
- [6] Anonim, *Tıbbi ve aromatik bitkiler sektör raporu*, Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, Aralık, 2012, pp.1-30.
- [7] A. Ceylan, *Tıbbi Bitkiler-II*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1997, p.500.
- [8] S. Bektaşoğlu, *Uçucu yağlar*, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi, 2006.
- [9] Ş. Ellialtıoğlu, Ş. Sevgör, E. Sezik, *Şanlıurfa’ da Nane tarımının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar*, Şanlıurfa GAP GİDEM Bilgilendirme Toplantısı, 8-9 Nisan, (2007), pp. 1-16.
- [10] A. Kahraman, F. Celep, M. Doğan, *Morphology, Anatomy and Palynology of Salvia indica L. (Labiatae)*, **World Applied Sciences Journal**, 6:2 (2009) 289-296.
- [11] K.H.C. Başer, *Essential Oils of Anatolian Labiateae: A Profile*, **Acta Horticulturae**, 333 (1993) 217-237.
- [12] P.H. DAVIS, *Flora of Turkey and the East Aegean Island*, Vol. 7, Edinburg Univ. Press, Edinburg, 1982, p. 384-394.
- [13] T. Baytop, *Türkçe Bitki Adları Sözlüğü*, Türk Dil Kurumu, Ankara, No:578, 1992.
- [14] Gökhan Dualı. *Bazı Türk Nane (Mentha L.) Uçucu Yağlarının Biyolojik Aktiviteleri*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Türkiye, 2010.
- [15] T. Baytop, *Türkiye’ de Bitkiler ile Tedavi*, 2. Baskı, Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, 1999, p. 302-305.
- [16] A. Akgül, *Baharat bilimi ve teknolojisi*, **Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları**, 15 (1993) 449.
- [17] O. Yıldız and C. Ertekin, *Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables*, **Drying Technology**, 19 (2001) 583–597.
- [18] B. Cemeroğlu, M. Özkan, ‘Kurutma Teknolojisi’, B. Cemeroğlu (baş editör), *Meyve Sebze işleme Teknolojisi*, 2. Cilt, Bizim Büro Yayınevi, Ankara, 2004, p. 479-613.
- [19] C. J. Geankopolis, ‘Süreç Maddelerinin Kurutulması’, (çeviri: S. Yapıcı), *Taşıma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri*, 4. Baskı, Güven Kitabevi, İzmir, 2011, p. 559-611.
- [20] A. Güngör, *Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri*, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 17-20 Nisan, (2013), p. 43-63.

- [21] Ahmet Kaya. *Kurutmada ısı ve kütle transferinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Türkiye, 2008.
- [22] Gökçe Dadalı. *Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Türkiye, 2007.
- [23] İ. Doymaz, *Convective air drying characteristics of thin layer carrots*, **Journal of Food Engineering**, 61 (2003) 359–364.
- [24] Gökhan Bingöl. *Gıda işlemede kurutma teknolojilerinin temel ilkeleri IV*, Kısaltılmış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Türkiye, 2009.
- [25] Tarık Dikbasan. *Determination of effective parameters for drying of apples*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Türkiye, 2007.
- [26] H. Olgun and P. Rzaev, *Fındığın Üç farklı sistemde güneş enerjisi ile kurutulması*, **Tr J Engin Environ Science**, 24 (2000) 1-14.
- [27] J. Yongsawatdigul, *Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Part II, Quality Evaluation*, 1995.
- [28] Ö.L. Gürses, *Gıda işleme mühendisliği-II*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 963, Ankara, 1986, p. 9-33.
- [29] A. Güngör, N. Özbalt. *Endüstriyel kurutma sistemleri*, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bild. Kitabı, II. Cilt, 203:2, (1997), p. 737.
- [30] Tunahan Erdem. *Ozonlu Su ile Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Türkiye, 2007.
- [31] C. Akosman, *Küp şekerin infrared ile kurutulması*, **F. Ü. Fen ve Mühendislik bilimleri dergisi**, 15:4 (2003) 561-568.
- [32] Gökhan Bingöl. *Gıda işlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel ilkeleri*, Kısaltılmış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Türkiye, 2010.
- [33] A.L. Raoult-Wack, A. Lenart, and S. Guilbert, *Recent advances in dewatering through immersion in concentrated solutions ("Osmotic dehydration")*, In *Drying of Solids*, A.S. Mujumdar, (eds), International Science Publishers, 1992, p. 21-51.
- [34] G.J.C. Baker, *Industrial Drying of Foods*, 1st Ed., Chapman&Hall Publication, New York, 1997.
- [35] G.D. Saravacos and S.E. Charm, *A Study of The Mechanism of Fruit and Vegetable Dehydration*, **Food Tech.**, 16:1 (1962) 78-81.
- [36] John. S. Roberts, *Understanding The Heat and Mass Transfer of Hygroscopic Porous Materials*, Doktora Tezi, The State University Of New Jersey ABD, 1999.
- [37] Bülent Başaran. *Mısırın Akışkan Yatakta Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Türkiye, 2006.
- [38] Ayşegül Bani. *Kızılciğın infrared ısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Türkiye, 2014.
- [39] S.J. Babalis and V.G. Belessiotis, *Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during thin-layer drying of figs*. **Journal of Food Engineering**, 65 (2004) 449-458.

- [40] M. Özdemir, and Y.O. Devres, *The thin layer characteristics of hazelnuts during roasting*, **Journal of Food Engineering**, 42 (1999) 225-233.
- [41] Z. Erbay and F. İçier, *A Review of Thin Layer Drying of Foods. Theory, Modeling and Experimental Results*, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 50 (2009) 441-464.
- [42] M. Fortes and M.R. Okos, *Non-equilibrium thermodynamics approach to heat and mass transfer in corn kernels*, **Trans. ASAE**, 22 (1981) 761-769.
- [43] R.B. Keey, *Introduction*. In: *Drying Principles and Practice*, Pergamon Press, Oxford, 1972, p. 1-18.
- [44] I.T. Toğrul and D. Pehlivan, *Modelling of drying kinetics of single apricot*, **Journal of Food Engineering**, 58 (2003) 23-32.
- [45] A. Midilli, H. Küçük and Z. Yapar, *A new model for single-layer drying*, **Drying Technology**, 20:7 (2002) 1503–1513.
- [46] E. Mirzaee, S. Rafiee and A. Keyhani, *Evaluation and selection of thin-layer models for drying kinetics of apricot (cv. NASIRY)*, **Agric Eng Int: CIGR Journal**, 12:2 (2010) 111-116.
- [47] E.K. Akpınar, *Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits*, **Journal of Food Engineering**, 73 (2006) 75–84.
- [48] A. Midilli, *Determination of pistachio drying behaviour and conditions in solar drying system*, **Int. J. Energy Res.**, 25 (2001) 715-725.
- [49] S. Erentürk, M.S. Gülaboğlu and S. Gültekin, *The thin layer drying characteristics of rosehip*. **Biosyst. Eng.**, 89:2 (2004) 159 – 166.
- [50] I. Doymaz, *Effect of pre-treatments using potassium metabisulphite and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots*, **Biosyst. Eng.**, 89:3 (2004) 281–287.
- [51] R.K. Goyal, A.R.P. Kingsly, M.R. Manikanthan and S.M. Ilyas, *Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer*. **J. Food Eng.**, 79: (2007) 176–180.
- [52] D.M. Kadam, R.K. Goyal, K.K. Singh and M.K. Gupta, *Thin layer convective drying of mint leaves*, **Journal of Medicinal Plants Research**, 5:2 (2011) 164-170.
- [53] K. Sacilik, R. Keskin, A.K. Elicin, *Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato*, **J Food Eng**, 73 (2006) 231-238.
- [54] X. Liu, Z. Qiu, L. Wang, Y. Cheng, H. Qu and Y. Chen, *Mathematical modeling for thin layer vacuum belt drying of *Panax notoginseng* extract*, **Energy Conver Manag**, 50 (2009) 928-932.
- [55] J. Crank, *The mathematics of diffusion*, Oxford University Press, OX, UK, 1975.
- [56] A. Lopez, A. Iguaz, A. Esnoz and P. Virseda, *Thin-layer drying behaviour of vegetable wastes from wholesale market*, **Drying Technology**, 18:4-5 (2000) 995-1006.
- [57] A. Ceylan, *Tıbbi Bitkiler II (Uçucu Yağ içerenler)*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, 1987, p. 481.
- [58] E. Çalıkoğlu, M. Kıralan ve A. Bayrak, *Uçucu yağ nedir, nasıl üretilir ve Türkiye'deki durumuna genel bir bakış*, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, (2006), Bolu.
- [59] Yeliz Bal. *Bitkilerden etken madde izolasyonu ve özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi Türkiye, 2001.
- [60] M.K Sakar and M. Tanker, *Fitokimyasal Analizler Tanım, Miktar Tayini*

Ve İzolasyon, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 67, Ankara, 1991, p. 181-190.

- [61] N. Zeybek, *Farmasötik Botanik*, Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, No:1, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1985, p. 340-342.
- [62] M. Tanker and N. Tanker, *Farmakognozi*, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 3. Baskı, 2. Cilt, Ankara, 2003, p. 347.
- [63] T. Baytop, *Farmakognozi Cilt II.*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 3389, İstanbul, 1986.
- [64] K.H.C Başer, N. Kırimer, M. Koşar and Z. Tunalier, *Bitkisel drogların kimyasal incelenmesi*, Farmakognozi III Uygulamaları El Kitabı, Eskişehir, 2005, p. 13-15.
- [65] K.H.C. Başer, *Uçucu yağlar ve aromaterapi*, **Fitomed**, 7 (2009) 8-25.
- [66] Kemal Cellat. *Bazı endemik bitkilerin uçucu yağ bileşenlerinin ekstrakte edilmesi ve içeriklerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Türkiye, 2011.
- [67] G.B. Lockwood, *Techniques for gas chromatography of volatile terpenoids from a range of matrices*, **Journal of Chromatography A**, 936 (2001) 23-31.
- [68] G. Tarján, I. Bitter, B. Strasser and M. Szatmáry, *Data for the gas-liquid chromatographic analysis of essential oils. determination of the composition of the essential oil of marjoram*, **Chromatographia**, 56 (2002) 155-163.
- [69] J.C. Matasyoh, Z.C. Maiyo, R.M. Ngure and R. Chekorir, *Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oil of Cariantrum sativum*. **Food Chemistry**, 113 (2009) 526-529.
- [70] Gülten Taşdelen. *Onopordum anatolicum (Boiss.) Boiss. & Heldr. ex Eig endemik türünün antioksidan aktivitesi, antibakteriyal ve sitotoksik etkilerinin araştırılması*, Pamukkale Üniversitesi Türkiye, 2013.
- [71] K.A. Hammer, C.F. Carson, and T.V. Riley, Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts, **Journal of Applied Microbiology**, 86 (1999) 985-990.
- [72] L. Mouhssen, *Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils*, **Phytotherapy Research**, 18 (2004) 435-448.
- [73] M. Tanker, E. Şarer and N. Tanker, *Salvia triloba L. f. bitkisinin uçucu yağı üzerinde gaz kromatografisiyle araştırmalar*, **Ankara Ecz Fak Mec**, 5 (1976) 198.
- [74] N. Yaylı, *Uçucu Yağlar ve Tıbbi Kullanımları, 1. İlaç Kimyası, Üretimi, Teknolojisi, Standardizasyonu Kongresi*, Antalya, 29-31 Mart, 2013, pp. 1-8.
- [75] M.K. Rangahau, *Essential oils and their production*, **Crop and Food Research**, Nr. 39, October, 2001.
- [76] J.P. Coelho, A.F. Cristino, P.G. Matos, A.P. Rauter, B.P. Nobre, R.L. Mendes, C.G. Barroso, A. Mainar, C.S. Urieta, J.M.N.A. Fareleira, H. Sovová and A.F. Palavra, *Extraction of volatile oil from aromatic plants with supercritical carbon dioxide: experiments and modeling*, **Molecule**, 17:9 (2012) 10550-10573.
- [77] S. Samaram, H. Mirhosseini, C.P. Tan, H.M. Ghazali, S. Bordbar and A. Serjouie, *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 (2015) 7-17.

- [78] H. Fakir, S. Erbaş, M. Özen ve İ.E. Dönmez, *Hayıt (Vitex agnus-castus L.)' da farklı toplama zamanlarının uçucu yağ oranı ve bileşenleri üzerine etkisi*, **Eur J Sci Technol**, 1:2 (2014) 25-28.
- [79] H.Y. Sintim, A. Burkhardt, A. Gawde, C.L. Cantrell, T. Astatkie, A.E. Obour, V.D. Zheljaskov and V. Schlegel, *Hydrodistillation time affects dill seed essential oil yield, composition, and bioactivity*, **Ind Crops Prod**, 63 (2015) 190-196.
- [80] A.F. Hill, *Economic Botany: A Textbook of Useful Plants Products*, 2nd Ed., Mc Graw Hill Book Company, New York, 1952, p. 560.
- [81] K.H.C. Başer (Ed.), *Tıbbi ve Aromatik Bitkisel Ürünlerin Üretimi ve Kalite Kontrolü*, Anadolu Üniversitesi Yayın No. 2109, Anadolu Üniversitesi Yayınevi, Eskişehir, 2010.
- [82] Y. Sarıkaya, *Fizikokimya*, Gazi Büro Kitabevi, 2. Baskı, Ankara, 1997.
- [83] E. İzgü, *Genel ve Endüstriyel Farmasi*, Ayyıldız Matbaası, Ankara, 1973, p. 339.
- [84] N. Kırimer, N. Tabanca, G. Tümen, H. Duman and K.H.C. Başer, *Composition of the essential oils of four endemic sideritis species from Turkey*. **Flavour and Fragrance Journal**, 14 (1999) 421-425.
- [85] A.M. Viljoen, S. Subramoney, S.F.V. Vuuren, K.H.C. Başer and B. Demirci, *The composition, geographical variation and antimicrobial activity of Lippia Javanica (Verbenaceae) leaf essential oils*, **Journal of Ethnopharmacology**, 96 (2004) 271-277.
- [86] H.F. Linskens and J.F. Jackson, *Modern Methods of Plant Analysis*, Vol. 12, Essential Oils and waxes, Springer, Germany, 1997.
- [87] A.R. Fakhari, P. Salehi, R. Heydari, S.N. Ebrahimi and P.R. Haddad, *Hydrodistillation-Headspace solvent microextraction, a new method for analysis of the essential oil components of Lavandula Angustifolia Mill.* **J.of Chromatography A**, 1098 (2005) 14-18.
- [88] R. Kumar and Y.C. Tripathi, *Getting fragrance from plants*, **Training Manual on Extraction Technology of Natural Dyes & Aroma Therapy and Cultivation Value Addition of Medicinal Plants**, (2011), p. 1-26.
- [89] N.S. Özatlı. *Bitlis yöresinde yetişen endemik Thymus Fedtschenkoi Ronniger var. Handeli (Ronniger) Jalas üzerinde morfolojik, anatomik ve korolojik çalışmalar*. Yükseklik Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Türkiye, 1999.
- [90] A. Kılıç, *Uçucu yağ elde etme yöntemleri*, **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, 10:13 (2008) 37-45.
- [91] D.A. Moyler, *Extraction Of Essential Oils With Carbon Dioxide*. **Flavour and Fragrance J.**, 8 (1993) 235- 247.
- [92] Y. Yamani, M. Khajeh, E. Ghasemi, M. Mirza and K. Javidnia, *Comparison of essential oil compositions of Salia Mirzayanii obtained by supercritical carbondioxide extraction and hydrodistilaltion methods*, **Food Chemistry**, 108 (2007) 341-346.
- [93] G.D. Porta, S. Porcedda, B. Marongiu and E. Reverchon, *Isolation of Eucalyptus oil by Supercritical fluid extraction*, **Flavour and Fragrance J.**, 14 (1999) 214-218.

- [94] A. Gupta, M. Naraniwal, and V. Kothari, *Modern extraction methods for preparation of bioactive plant extracts*, **International Academy of Science, Engineering and Technology**, 1 (2012) 8-26.
- [95] S.S. Handa, S.P.S. Khanuja, G. Longo and D.D. Rakesh, *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*, **International Centre for Science and High Technology**, Trieste, 2008.
- [96] L. Wang and C.L. Weller, *Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants*, **Trends in Food Science**, 17 (2006) 300-312.
- [97] B. Kaufmann and P. Christen, *Recent extraction techniques for natural products: microwaveassisted extraction and pressurised solvent extraction*, **Phytochemical Analysis**, 13 (2002) 105–113.
- [98] G. Vas and K. Vekey, *Solid-Phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis*, **J.of Mass Spectrometry**, 39 (2004) 233-254.
- [99] H.C. Araujo, M.E.G. Lacerda, D. Lopes, H.R. Bizzo and M.A.C. Kaplan, *Studies on the aroma of mate (Ilex paraquariensis St.Hil.) using headspace solid-phase microextraction*, **Phytochemical Analysis**, 18 (2007) 469-474.
- [100] A. Chaintreau, *Simultaneous distillation-extraction: birth to maturity-review*, **Flavour and Fragrance J**, 16 (2001) 136-148.
- [101] R.A. Sosa, E. Palou, M.T.J. Munguía and A.L. Malo, *Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films*, **Int J Food Microbiol**, 153:1-2 (2012) 66-72.
- [102] A. Bayrak, *Gıda aromaları*, Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No:32, Ankara, 2006, p. 497.
- [103] M. Şirvancı, *Kalite için deney tasarımı*, Literatür Yayınları, 1997, p. 110.
- [104] D.C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 6th ed., John Wiley&Sons, 2005.
- [105] K. Hinkelmann and O. Kempthorne, *Design and Analysis of Experiments*, Vol. Advanced Experimental Design, Wiley-Interscience, New York, 2005, p. 780.
- [106] F.Z. Muluk, Ö. Toktamış, S. Kurt ve E. Karaağaoğlu, *Çeviri: Hicks, C.R., Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 2009, p. 267.
- [107] J.R. Banga, E. Balsa-Canto, C.G. Moles and A.A. Alonso, *Improving food processing using modern optimization methods*, **Trends Food Sci & Tech**, 14 (2003) 131-144.
- [108] I. Saguy, M.A. Mishkin and M. Karel, *Optimization methods and available software*, **part1. CRC Critical RevFood Sci and Nutr**, 20:4 (1984) 275-299.
- [109] İsmail Eren. *Patateslerin osmotik dehidrasyonunun “response surface” metodu kullanılarak optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Türkiye, 2004.
- [110] B. Koç, F.K. Ertekin, *Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları*, **Gıda**, 35:1 (2010) 63-70.
- [111] D. Thompson, *Response Surface Experimentation*, **J Food Process Preservation**, 6 (1982) 155-188.
- [112] F. İkiz, H. Püskülcü, Ş. Eren. *İstatistiğe Giriş*. Barış Yayınları, Fakülteler Kitabevi, 6. baskı, İzmir, 2000.

- [113] R.H. Myers and D.C. Montgomery, *Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY, 1995.
- [114] E.D. Castillo, *Process Optimization, a Statistical Approach*, Springer Science + Business Media, LLC, New York, NY, 2007.
- [115] G.E.P. Box, N.R. Draper, *Empirical Model Building and Response Surfaces*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY, 2007.
- [116] Z Yıldız, M Yüceer and T Abbasov, *Comparison of Modeling Approaches for Prediction of Cleaning Efficiency of the Electromagnetic Filtration Process*, **Applied Computational Electromagnetics Society Journal**, 26:11 (2011).
- [117] C Boztepe, M Solener, M Yuceer, A Kunkul, OS Kabasakal, *Modeling of Swelling Behaviors of Acrylamide-Based Polymeric Hydrogels by Intelligent System*, **Journal of Dispersion Science and Technology**, 36:11 (2015) 1647-1656.
- [118] Tufan Mete, *Kesikli Bir biyoreaktörde yapay sinir ağlarının kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Türkiye, 2008.
- [119] İ. Çayıroğlu, *Yapay Sinir Ağları, İleri Algoritma Analizi Lisans Ders Notu*, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, ss. 13.
- [120] Brahima Sanogo. *pH ve sıcaklığa duyarlı hidrojelilerin sentezlenmesi ve ilaç salım davranışlarının modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Türkiye, 2016.
- [121] E Karadurmus, M Cescmeci, M Yuceer, R Berber, *An artificial neural network model for the effects of chicken manure on ground water*, **Applied Soft Computing**, 12:1 (2012) 494-497.
- [122] Y. Demirağ, O.E. Özşüer, *Ortaöğretim Öğrencilerinin Sınav Performansı Modellemesinde Yapay Sinir Ağları Kullanımı*, Özel Ege Lisesi Proje, İzmir, 2015.
- [123] Mutlu Yaşar, *Günlük Akışlardaki Boşlukların Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tamamlanması*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Türkiye, 2004.
- [124] M Yüceer, *Artificial neural network models for HFCS isomerization process*, **Neural Computing and Applications**, 19:7 (2010) 979-986.
- [125] T Karadağ, M Yüceer and T Abbasov, *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**, ncv008, 2015.
- [126] A.A. Ateşoğlu. *Arıma ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak hibrit tahmin modeli geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Türkiye, 2015.
- [127] S Brahima, C Boztepe, A Kunkul, M Yuceer, *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**, 75 (2017) 425-432.
- [128] A Sarimeseli, MA Coskun, and M Yuceer, *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 (2014) 558-564.
- [129] A Sarimeseli, M Yuceer, *Investigation Of Infrared Drying Behaviour Of Spinach Leaves Using ANN Methodology And Dried Product Quality*,

- [130] S. Balku, M. Yüceer and R. Berber, *Control vector parameterization approach in optimization of alternating aerobic-anoxic systems*, **Optimal Control Applications and Methods**, 30:6 (2009) 573-584.
- [131] M. Yüceer, I. Atasoy and R. Berber, *A software for parameter estimation in dynamic models*, **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 25:4 (2008) 813-821.
- [132] M Yüceer, I Atasoy and R Berber, *An integration based optimization approach for parameter estimation in dynamic models*, **Computer Aided Chemical Engineering** 20 (2005) 631-636.
- [133] I Atasoy, M Yüceer and R Berber, *Optimisation of operating conditions in fed-batch baker's yeast fermentation*, **Chemical and Process Engineering**, 34:1 (2013) 175-186.
- [134] M. Yilmaztekin, *Analysis of Volatile Components of Cape Gooseberry (Physalis peruviana L.) Grown in Turkey by HS-SPME and GC-MS*, **The Scientific World Journal**, (2014) 1-8.
- [135] S. E. Stein, "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/>.
- [136] İ. Doymaz, *Thin-layer drying behaviour of mint leaves*, **Journal of Food Engineering**, 74 (2006) 370–375.
- [137] D. M. Kadam, R. K. Goyal, K.K. Singh and M.K. Gupta, *Thin layer convective drying of mint leaves*, **Journal of Medicinal Plants Research Vol.**, 5:2 (2011) 164-170.
- [138] H. Cakmak, S. Kumcuoglu and S. Tavman, *Thin Layer Drying of Bay Leaves (Laurus nobilis L.) in Conventional and Microwave Oven*, **Akademik Gıda**, 11:1 (2013) 20-26.
- [139] T. Günhan, V. Demir, E. Hancioglu, A. Hepbaşlı, *Mathematical modelling of drying of bay leaves*, **Energy Conversion and Management**, 46 (2005) 1667–1679.
- [140] D. M. Kadam, R. K. Goyal and M. K. Gupta, *Mathematical modeling of convective thin layer drying of basil leaves*, **Journal of Medicinal Plants Research Vol.**, 5:19 (2011) 4721-4730.
- [141] M. Torki-Harchegani, D. Ghanbarian, A.G. Pirbalouti, M. Sadeghi, *Dehydration behaviour, mathematical modelling, energy efficiency and essential oil yield of peppermint leaves under going microwave and hot air treatments*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 58 (2016) 407-418.
- [142] İ. Doymaz, *Drying of thyme (Thymus Vulgaris L.) and selection of a suitable thin-layer drying model*, **Journal of Food Processing and Preservation**, 35 (2011) 458-465.
- [143] C.S. Ethmane Kane, M.A.O. Sid'Ahmed and M. Kouhila, *Evaluation of drying parameters and sorption isotherms of mint leaves (M. pulegium)*, **Revue des Energies Renouvelables Vol.**, 12:3 (2009) 449-470.
- [144] D. Arslan, M.M. Özcan and H.O. Mengeş, *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 (2010) 2769-2775.

- [145] E. K. Akpınar, *Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants*, **Journal of Food Engineering**, 77 (2006) 864-870.
- [146] K.J. Park, Z. Vohnikova and F.P.R. Brod, *Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (Mentha crispa L.)*, **Journal of Food Engineering**, 51 (2002) 193-199.
- [147] S. Hassan, M. Ashtiani, A. Salarikia and M.R. Golzarian, *Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments*, **Information Processing In Agriculture**, (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2017.03.001>.
- [148] S.M. Kripanand, S. Guruguntla and S. Korra, *Effect of Various Drying Methods on Quality and Flavor Characteristics of Mint Leaves (Mentha spicata L.)*, **J.Food Pharm.Sci.**, 3 (2015) 38-45.
- [149] Elif Özer. *Nane (Mentha piperita L.)'nin farklı kısımlarına uygulanan farklı kurutma tekniklerinin uçucu yağın bileşimine ve antimikrobiyel aktivitesi üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Türkiye, 2012.
- [150] J. Wang, R. Li, J. Tan and Zi-Tao, *Effect of drying on essential oil yields and chemical composition of Pineapple Mint (Mentha rotundifolia 'variegata') from China*, **Jiang TEOP**, 16:5 (2013) 630-635.
- [151] D.M. Stanisavljević, S.M. Đorđević, M.S. Ristić, D.T. Veličković and N.V. Randelović, *Effects of different drying methods on the yield and the composition of essential oil from herb Mentha Longifolia (L.) Hudson*, **Biologica Nyssana**, 1:1-2 (2010) 89-93.
- [152] K. Jalal, M. Rahmat, F.T. Mohammad and N. Himan, *Influence of drying methods, extraction time, and organ type on essential oil content of Rosemary (Rosmarinus officinalis L.)*, **Nature and Science**, 7:11 (2009).
- [153] K.A. Khalid, W. Hu and W. Cai, *The effects of harvesting and different drying methods on the essential oil composition of Lemon Balm (Melissa officinalis L.)*, **Jeobp**, 11:4 (2008) 342-349.
- [154] M.B. Hassanpouraghdam, A. Hassani, L. Vojodi and N. Farsad-Akhtar, *Drying Method Affects Essential Oil Content and Composition of Basil (Ocimum basilicum L.)*, **Jeobp**, 13:6 (2010) 759-766.
- [155] D.A. Moyler, 'Spices-recent advances', in G. Charalambous (Ed.), *Spices, herbs and edible fungi*, Vol. 34, Amsterdam: Elsevier, 1994, p. 1-70.
- [156] Carla C.C.R. de Carvalho and M. Manuela R. da Fonseca, *Carvone: Why and how should one bother to produce this terpene*, **Food Chemistry**, 95 (2006) 413-422.
- [157] J. Sun, *D-Limonene: Safety and Clinical Applications*, **Alternative Medicine Review Volume**, 12:3 (2007) 259-264.
- [158] T. Antal, A. Figiel, B. Kerekes, and L. Sikolya, *Effect of drying methods on the quality of the essential oil of spearmint leaves (Mentha spicata L.)*, **Drying Technology**, 29 (2011) 1836-1844.
- [159] V.D. Zheljaskov, *Drying and shade effects on spearmint oil yields and composition*, **Hortscience**, 49:3 (2014) 306-310.

EKLER

EK 1. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 268,99 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0875)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,868	α -Pinen	1012	2,13
2	13,085	α -Tujen	1017	0,12
3	13,906	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,21
4	14,829	Kamfen	1055	0,23
5	16,856	β -Pinen	1099	2,71
6	17,526	Sabinen	1113	1,97
7	19,651	β -Mirsen	1156	1,84
8	21,642	D-Limonen	1197	11,87
9	22,159	1,8 Sineol	1208	6,28
10	22,362	trans-2-Hekzenal	1212	0,55
11	23,133	(E)- β -Osimen	1227	1,23
12	23,682	γ -Terpinen	1239	0,18
13	23,931	(Z)- β -Osimen	1244	0,55
14	24,132	3-Oktanon	1248	0,08
15	24,863	p-Simen	1263	1,15
16	25,387	Izopentil 2-metilbütanoat	1274	0,15
17	27,992	3-Oktil asetat	1329	0,48
18	29,903	Okten 3-yl asetat	1370	0,08
19	30,713	3-Oktanol	1388	2,34
20	32,926	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,49
21	33,678	trans-Limonen oksit	1455	0,23
22	33,993	trans-Sabinen hidrat	1462	3,22
23	34,820	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,52
24	35,265	dihidroedulan II	1491	0,53
25	36,346	β -Burbonen	1516	2,98
26	37,267	Linalol	1538	0,66
27	38,142	trans-p-Menth-2-en-1-ol	1560	0,18
28	38,897	Bornil asetat	1578	0,38
29	39,332	β -Elemen	1587	1,24

EK 1. (devam)

30	39,776	β -Karyofillen	1598	5,35
31	40,079	trans-Dihidrokarvon	1606	2,40
32	40,754	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	1623	0,36
33	40,842	cis-Dihidrokarvon	1625	0,36
34	41,643	Pulegon	1646	0,26
35	42, 597	Dihidrokarvil asetat	1670	5,15
36	44,413	Germakren D	1717	0,90
37	44,819	Neodihidrokarveol	1728	0,77
38	45,509	Karvon	1747	23,46
39	45,997	α -Amorfen	1760	0,14
40	46,224	trans-Karvilasetat	1765	2,37
41	47,130	α -Murolen	1790	0,20
42	48,563	cis-Karveol	1829	2,39
43	49,690	Karveol	1860	3,89
44	51,936	Piperitenon	1924	0,86
45	52,546	(Z)-Jasmon	1942	0,28
46	54,093	Karyofillen oksit	1987	1,59
47	58,418	Spatulenol	2121	0,78
48	72, 121	trans-Fitol	2591	0,95
TOPLAM				97,045

EK 2. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 240 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0550)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,879	α -Pinen	1012	2,53
2	13,087	α -Tujen	1017	0,17
3	13,906	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,17
4	14,833	Kamfen	1055	0,14
5	16,878	β -Pinen	1099	3,17
6	17,543	Sabinen	1113	2,16
7	19,677	β -Mirsen	1156	2,66
8	20,433	α -Terpinen	1172	0,37
9	21,709	D-Limonen	1197	13,01
10	22,209	1,8 Sineol	1208	6,33
11	22,380	trans-2-Hekzenal	1212	0,32
12	23,150	(E)- β -Osimen	1227	1,05
13	23,707	γ -Terpinen	1239	0,87
14	23,941	(Z)- β -Osimen	1244	0,36
15	24,865	p-Simen	1263	0,51
16	25,491	α -Terpinolen	1276	0,26
17	30,703	3-Oktanöl	1388	1,49
18	32,575	α -p-Dimetilstiren	1429	0,14
19	32,919	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,10
20	33,154	1-Okten-3-öl	1442	0,35
21	33,677	trans-Limonen oksit	1455	0,18
22	33,980	trans-Sabinen hidrat	1462	2,46
23	34,815	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,18
24	36,358	β -Burbonen	1516	3,20
25	37,268	Linalöl	1538	0,30
26	38,138	trans-p-Menth-2-en-1-öl	1560	0,19
27	39,318	β -Elemen	1587	0,68
28	39,777	Terpinen-4-öl	1598	4,45
29	40,102	trans-Dihidrokarvon	1606	3,40
30	40,754	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-öl	1623	0,36

EK 2. (devam)

31	40,842	cis-Dihidrokarvon	1625	0,47
32	41,648	Pulegon	1646	0,65
33	42,264	(E)- β -Farnesen	1662	0,43
34	42,566	Dihidrokarvil asetat	1670	2,93
35	42, 753	epi-Bisiklo seskifelandren	1674	0,76
36	43,668	α -Terpineol	1697	0,84
37	44,461	Germakren D	1717	3,61
38	44,825	Neodihidrokarveol	1728	2,88
39	45,509	Karvon	1747	20,38
40	45,810	δ -Kadinen	1755	0,34
41	45,990	α -Amorfen	1760	0,19
42	46,204	trans-Karvilasetat	1765	1,65
43	46,699	İzodihidrokarveol	1778	0,23
44	47,121	α -Murolen	1790	0,23
45	48,606	cis-Karveol	1829	4,43
46	49,673	Karveol	1860	2,83
47	54,073	(Z)-Jasmon	1942	0,76
48	52,548	Karyofillen oksit	1987	0,57
49	57,237	Viridiflorol	2084	0,91
50	58,410	Spatulenol	2121	0,47
51	59,599	3-Alil guaikol	2157	0,80
52	59,822	epi- α -Murolol	2164	0,26
53	61,752	α -Kadinol	2227	0,58
TOPLAM				98,779

EK 3. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 240 dakika, katı/sıvı oranı: 0,1200)

	RI	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,868	α -Pinen	1012	2,34
2	13,084	α -Tujen	1017	0,11
3	13,906	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,18
4	14,832	Kamfen	1055	0,24
5	16,862	β -Pinen	1099	2,94
6	19,652	β -Mirsen	1156	1,53
7	21,642	D-Limonen	1197	13,09
8	22,116	1,8 Sineol	1208	7,18
9	22,365	trans-2-Hekzenal	1212	0,44
10	23,120	(E)- β -Osimen	1227	0,33
11	24,866	p-Simen	1263	1,30
12	30,715	3-Oktanöl	1388	2,46
13	32,928	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,50
14	33,139	cis-Limonen oksit	1442	0,58
15	33,680	trans-Limonen oksit	1455	0,40
16	33,995	trans-Sabinen hidrat	1462	3,60
17	34,819	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,50
18	35,266	dihidroedulan II	1491	0,53
19	36,346	β -Burbonen	1516	3,01
20	37,266	Linalöl	1538	0,59
21	39,303	β -Elemen	1587	0,63
22	39,760	Terpinen-4-öl	1598	4,01
23	40,075	trans-Dihidrokarvon	1606	2,68

EK 3. (devam)

24	42,592	Dihidrokarvil asetat	1670	5,43
25	44,810	Neodihidrokarveol	1728	0,71
26	45,511	Karvon	1747	27,01
27	46,218	trans-Karvilasetat	1765	2,57
28	48,561	cis-Karveol	1829	2,42
29	49,677	Karveol	1860	3,82
30	51,934	Piperitenon	1924	0,92
31	54,112	Karyofillen oksit	1987	2,79
32	58,415	Spatulenol	2121	0,74
33	72,111	trans-Fitol	2591	0,59
TOPLAM				96,159

EK 4. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 170 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0875)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,866	α -Pinen	1012	2,17
2	13,087	α -Tujen	1017	0,08
3	13,908	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,14
4	14,833	Kamfen	1055	0,22
5	16,858	β -Pinen	1099	2,70
6	19,646	β -Mirsen	1156	0,89
7	21,610	D-Limonen	1197	13,03
8	22,106	1,8 Sineol	1208	7,80
9	22,361	trans-2-Hekzenal	1212	0,34
10	24,867	p-Simen	1263	1,47
11	25,390	Izopentil 2-metilbütanoat	1274	0,14
12	30,717	3-Oktanöl	1388	2,67
13	32,931	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,50
14	33,149	cis-limonen oksit	1442	1,44
15	33,688	trans-Limonen oksit	1455	0,83
16	33,993	trans-Sabinen hidrat	1462	3,62
17	34,820	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,51
18	35,265	dihidroedulan II	1491	0,50
19	36,340	β -Burbonen	1516	2,81
20	37,265	Linalöl	1538	0,56
21	39,284	β -Elemen	1587	0,56
22	39,764	Terpinen-4-öl	1598	2,21
23	40,072	trans-Dihidrokarvon	1606	2,78

EK 4. (devam)

24	41,639	Pulegon	1646	0,15
25	41,929	trans-Pinokarveol	1653	0,18
26	42,581	Dihidrokarvil asetat	1670	5,57
27	44,800	Neodihidrokarveol	1728	0,64
28	45,516	Karvon	1747	28,67
29	46,214	trans-Karvilasetat	1765	2,47
30	48,557	cis-Karveol	1829	2,28
31	49,661	Karveol	1860	3,04
32	51,932	Piperitenon	1924	0,89
33	54,125	Karyofillen oksit	1987	3,54
34	58,418	Spatulenol	2121	0,78
TOPLAM				96,169

EK 5. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 170 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0875)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,861	α -Pinen	1012	1,52
2	13,909	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,08
3	14,832	Kamfen	1055	0,12
4	16,852	β -Pinen	1099	2,23
5	17,526	Sabinen	1113	1,54
6	19,645	β -Mirsen	1156	0,78
7	20,434	α -Terpinen	1172	0,13
8	21,568	D-Limonen	1197	10,77
9	22,090	1,8 Sineol	1208	8,38
10	22,360	trans-2-Hekzenal	1212	0,40
11	23,675	γ -Terpinen	1239	0,18
12	24,865	p-Simen	1263	1,31
13	27,997	3-Oktil asetat	1329	0,56
14	29,908	Okten 3-yl asetat	1370	0,11
15	30,716	3-Oktanöl	1388	2,40
16	32,581	α -p-Dimetilstiren	1429	0,12
17	32,929	Hekzil 3-metilbutanoat	1437	0,30
18	33,145	cis-limonen oksit	1442	0,90
19	33,686	trans-Limonen oksit	1455	0,61
20	33,992	trans-Sabinen hidrat	1462	3,42
21	34,820	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,30
22	35,268	dihidroedulan II	1491	0,56
23	36,350	β -Burbonen	1516	3,15

EK 5. (devam)

24	37,267	Linalol	1538	0,42
25	38,899	Bornil asetat	1578	0,33
26	39,294	β -Elemen	1587	0,21
27	39,767	Terpinen-4-ol	1598	2,01
28	40,089	trans-Dihidrokarvon	1606	3,61
29	40,753	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	1623	0,30
30	40,839	cis-Dihidrokarvon	1625	0,30
31	41,643	Pulegon	1646	0,29
32	42,609	Dihidrokarvil asetat	1670	6,81
33	44,813	Neodihidrokarveol	1728	1,30
34	45,250	Karvon	1739	28,47
35	46,244	trans-Karvilasetat	1765	3,79
36	48,562	cis-Karveol	1829	2,44
37	48,680	Karvon oksit	1833	1,03
38	49,666	Karveol	1860	3,19
39	51,932	Piperitenon	1924	0,58
40	52,543	(Z)-Jasmon	1942	0,48
41	54,107	Karyofillen oksit	1987	2,43
42	57,233	Viridiflorol	2084	0,46
43	58,415	Spatulenol	2121	0,45
TOPLAM				98,813

EK 6. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman:170 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0875)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,873	α -Pinen	1012	2,16
2	13,907	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,12
3	14,355	Etil 2-metilbütanoat	1045	0,05
4	14,831	Kamfen	1055	0,11
5	16,867	β -Pinen	1099	2,77
6	19,659	β -Mirsen	1156	1,60
7	20,422	α -Terpinen	1172	0,04
8	21,583	D-Limonen	1197	10,21
9	22,186	1,8 Sineol	1208	8,42
10	22,380	trans-2-Hekzenal	1212	1,04
11	23,135	(E)- β -Osimen	1227	0,87
12	23,688	γ -Terpinen	1239	0,28
13	23,936	(Z)- β -Osimen	1244	0,39
14	24,862	p-Simen	1263	0,70
15	27,999	3-Oktil asetat	1329	0,56
16	28,972	α -Pinene oxide	1350	0,09
17	29,907	Okten 3-yl asetat	1370	0,11
18	30,712	3-Oktanöl	1388	1,95
19	32,580	α -p-Dimetilstiren	1429	0,10
20	32,924	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,10
21	33,153	1-Okten-3-öl	1442	0,18
22	33,678	trans-Limonen oksit	1455	0,16
23	33,995	trans-Sabinen hidrat	1462	3,26
24	34,815	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,11
25	35,270	dihidroedulan II	1491	0,59
26	36,361	β -Burbonen	1516	2,45
27	37,267	Linalöl	1538	0,25
28	39,318	β -Elemen	1587	0,27
29	39,770	Terpinen-4-öl	1598	2,08
30	40,099	trans-Dihidrokarvon	1606	3,63
31	40,753	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-öl	1623	0,26

EK 6. (devam)

32	40,838	cis-Dihidrokarvon	1625	0,36
33	41,501	β -yılanen	1642	0,26
34	41,645	Pulegon	1646	0,56
35	42,271	(E)- β -Farnesen	1662	0,17
36	42,630	Dihidrokarvil asetat	1670	7,07
37	42,796	epi-Bisiklo seskifelandren	1674	0,48
38	44,425	Germakren D	1717	1,25
39	44,822	Neodihidrokarveol	1728	1,86
40	45,271	Karvon	1740	26,95
41	46,258	trans-Karvilasetat	1765	4,47
42	48,562	cis-Karveol	1829	2,40
43	49,692	Karveol	1860	4,29
44	52,547	(Z)-Jasmon	1942	0,75
45	54,071	Karyofillen oksit	1987	0,49
46	57,232	Viridiflorol	2084	0,73
47	58,406	Spatulenol	2121	0,22
48	61,745	α -Kadinol	2227	0,29
TOPLAM				97,458

EK 7. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman:170 dakika, katı/sıvı oranı:0,0875)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,873	α -Pinen	1012	2,17
2	13,907	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,11
3	14,355	Etil 2-metilbütanoat	1045	0,04
4	14,831	Kamfen	1055	0,10
5	16,867	β -Pinen	1099	2,76
6	19,659	β -Mirsen	1156	1,57
7	20,422	α -Terpinen	1172	0,03
8	21,583	D-Limonen	1197	10,12
9	22,186	1,8 Sineol	1208	7,49
10	22,380	trans-2-Hekzenal	1212	1,03
11	23,135	(E)- β -Osimen	1227	0,86
12	23,688	γ -Terpinen	1239	0,30
13	23,936	(Z)- β -Osimen	1244	0,38
14	24,862	p-Simen	1263	0,69
15	27,999	3-Oktil asetat	1329	0,55
16	28,972	α -Pinene oxide	1350	0,08
17	29,907	Okten 3-yl asetat	1370	0,10
18	30,712	3-Oktanöl	1388	1,92
19	32,580	α -p-Dimetilstiren	1429	0,09
20	32,924	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,08
21	33,153	1-Okten-3-öl	1442	0,17
22	33,678	trans-Limonen oksit	1455	0,15
23	33,995	trans-Sabinen hidrat	1462	3,23
24	34,815	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,10

EK 7. (devam)

25	35,270	dihidroedulan II	1491	0,63
26	36,361	β -Burbonen	1516	3,44
27	37,267	Linalol	1538	0,24
28	39,318	β -Elemen	1587	0,26
29	39,770	Terpinen-4-ol	1598	2,22
30	40,099	trans-Dihidrokarvon	1606	3,60
31	40,753	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	1623	0,25
32	40,838	cis-Dihidrokarvon	1625	0,33
33	41,501	β -yılanen	1642	0,23
34	41,645	Pulegon	1646	0,55
35	42,271	(E)- β -Farnesen	1662	0,16
36	42,630	Dihidrokarvil asetat	1670	7,01
37	42,796	epi-Bisiklo seskifelandren	1674	0,47
38	44,425	Germakren D	1717	1,22
39	44,822	Neodihidrokarveol	1728	1,85
40	45,271	Karvon	1740	26,89
41	46,258	trans-Karvilasetat	1765	4,49
42	48,562	cis-Karveol	1829	2,38
43	49,692	Karveol	1860	4,24
44	52,547	(Z)-Jasmon	1942	0,73
45	54,071	Karyofillen oksit	1987	0,50
46	57,232	Viridiflorol	2084	0,71
47	58,406	Spatulenol	2121	0,21
48	61,745	α -Kadinol	2227	0,28
TOPLAM				97,010

EK 8. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman:170 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0875)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,861	α -Pinen	1012	1,53
2	13,909	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,09
3	14,832	Kamfen	1055	0,13
4	16,852	β -Pinen	1099	2,31
5	17,526	Sabinen	1113	1,62
6	19,645	β -Mirsen	1156	0,81
7	20,434	α -Terpinen	1172	0,21
8	21,568	D-Limonen	1197	10,68
9	22,090	1,8 Sineol	1208	8,46
10	22,360	trans-2-Hekzenal	1212	0,37
11	23,675	γ -Terpinen	1239	0,16
12	24,865	p-Simen	1263	1,29
13	27,997	3-Oktil asetat	1329	0,64
14	29,908	Okten 3-yl asetat	1370	0,12
15	30,716	3-Oktanöl	1388	2,42
16	32,581	α -p-Dimetilstiren	1429	0,11
17	32,929	Hekzil 3-metilbutanoat	1437	0,38
18	33,145	cis-limonen oksit	1442	0,91
19	33,686	trans-Limonen oksit	1455	0,60
20	33,992	trans-Sabinen hidrat	1462	3,45
21	34,820	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,31
22	35,268	dihidroedulan II	1491	0,58
23	36,350	β -Burbonen	1516	3,14

EK 8. (devam)

24	37,267	Linalol	1538	0,50
25	38,899	Bornil asetat	1578	0,36
26	39,294	β -Elemen	1587	0,24
27	39,767	Terpinen-4-ol	1598	2,03
28	40,089	trans-Dihidrokarvon	1606	3,60
29	40,753	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	1623	0,31
30	40,839	cis-Dihidrokarvon	1625	0,38
31	41,643	Pulegon	1646	0,31
32	42,609	Dihidrokarvil asetat	1670	6,80
33	44,813	Neodihidrokarveol	1728	1,30
34	45,250	Karvon	1739	27,42
35	46,244	trans-Karvilasetat	1765	3,79
36	48,562	cis-Karveol	1829	2,39
37	48,680	Karvon oksit	1833	1,04
38	49,666	Karveol	1860	3,21
39	51,932	Piperitenon	1924	0,60
40	52,543	(Z)-Jasmon	1942	0,56
41	54,107	Karyofillen oksit	1987	2,34
42	57,233	Viridiflorol	2084	0,47
43	58,415	Spatulenol	2121	0,53
TOPLAM				98,500

EK 9. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 170 dakika, katı/sıvı oranı: 0,1335)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,858	α -Pinen	1012	1,47
2	13,903	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,06
3	14,829	Kamfen	1055	0,07
4	16,851	β -Pinen	1099	2,20
5	17,526	Sabinen	1113	1,66
6	19,645	β -Mirsen	1156	1,05
7	20,428	α -Terpinen	1172	0,08
8	21,559	D-Limonen	1197	9,74
9	22,168	1,8 Sineol	1208	8,45
10	22,359	trans-2-Hekzenal	1212	0,47
11	23,111	(E)- β -Osimen	1227	0,09
12	23,670	γ -Terpinen	1239	0,12
13	24,854	p-Simen	1263	0,78
14	27,994	3-Oktil asetat	1329	0,54
15	28,969	α -Pinene oksit	1350	0,14
16	29,903	Okten 3-yl asetat	1370	0,12
17	30,708	3-Oktanöl	1388	2,00
18	32,578	α -p-Dimetilstiren	1429	0,11
19	32,922	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,11
20	33,136	cis-limonen oksit	1442	0,51
21	33,675	trans-Limonen oksit	1455	0,29
22	33,996	trans-Sabinen hidrat	1462	3,73
23	34,820	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,10

EK 9. (devam)

24	35,270	dihidroedulan II	1491	0,60
25	36,364	β -Burbonen	1516	4,13
26	37,264	Linalol	1538	0,25
27	38,903	Bornil asetat	1578	0,24
28	39,310	β -Elemen	1587	0,14
29	39,758	Terpinen-4-ol	1598	2,10
30	40,095	trans-Dihidrokarvon	1606	3,94
31	40,753	trans-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	1623	0,24
32	40,832	cis-Dihidrokarvon	1625	0,35
33	41,497	β -yilangen	1642	0,36
34	41,641	Pulegone	1646	0,42
35	42,264	(E)- β -Farnesen	1662	0,13
36	42,626	Dihidrokarvil asetat	1670	7,68
37	44,818	Neodihidrokarveol	1728	1,93
38	45,277	Karvon	1740	27,59
39	46,256	trans-Karvilasetat	1765	4,86
40	47,136	α -Murolen	1790	0,15
41	48,552	cis-Karveol	1829	2,26
42	48,669	Karvon oksit	1833	0,46
43	49,676	Karveol	1860	3,98
44	52,543	(Z)-Jasmon	1942	0,76
45	54,087	Karyofillen oksit	1987	1,50
46	57,234	Viridiflorol	2084	0,88
47	58,406	Spatulenol	2121	0,29
TOPLAM				99,166

EK 10. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 170 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0415)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,887	α -Pinen	1012	2,50
2	13,096	α -Tujen	1017	0,13
3	13,914	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,09
4	14,840	Kamfen	1055	0,09
5	16,885	β -Pinen	1099	3,13
6	19,681	β -Mirsen	1156	2,41
7	20,438	α -Terpinen	1172	0,19
8	21,694	D-Limonen	1197	13,92
9	22,224	1,8 Sineol	1208	7,18
10	22,384	trans-2-Hekzenal	1212	0,37
11	23,153	(E)- β -Osimen	1227	0,91
12	23,709	γ -Terpinen	1239	0,58
13	23,947	(Z)- β -Osimen	1244	0,29
14	24,873	p-Simen	1263	0,63
15	25,496	α -Terpinolen	1276	0,16
16	28,001	3-Oktıl asetat	1329	0,22
17	30,711	3-Oktanöl	1388	1,40
18	32,583	α -p-Dimetilstiren	1429	0,12
19	32,929	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,08
20	33,156	1-Okten-3-öl	1442	0,26
21	33,684	trans-Limonen oksit	1455	0,13
22	33,992	trans-Sabinen hidrat	1462	2,69
23	34,882	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,13
24	35,267	dihidroedulan II	1491	0,20
25	36,360	β -Burbonen	1516	2,87
26	37,273	Linalöl	1538	0,22
27	38,145	trans-p-Menth-2-en-1-öl	1560	0,16

EK 10. (devam)

28	39,326	β -Elemen	1587	0,39
29	39,780	Terpinen-4-ol	1598	3,75
30	40,109	trans-Dihidrokarvon	1606	3,58
31	40,846	cis-Dihidrokarvon	1625	0,37
32	41,498	β -yilangen	1642	0,27
33	41,652	Pulegone	1646	0,55
34	42,272	(E)- β -Farnesen	1662	0,26
35	42,597	Dihidrokarvil asetat	1670	3,55
36	42,776	epi-Bisiklo seskifelandren	1674	0,62
37	44,460	Germakren D	1717	2,99
38	44,829	Neodihidrokarveol	1728	2,81
39	45,285	Karvon	1740	23,63
40	45,817	δ -Kadinen	1755	0,22
41	45,997	α -Amorfen	1760	0,11
42	46,230	trans-Karvilasetat	1765	2,74
43	46,703	İzodihidrokarveol	1778	0,12
44	47,131	α -Murolen	1790	0,15
45	48,594	cis-Karveol	1829	4,02
46	49,679	Karveol	1860	3,12
47	52,550	(Z)-Jasmon	1942	0,64
48	54,077	Karyofillen oksit	1987	0,34
49	57,241	Viridiflorol	2084	0,76
50	58,412	Spatulenol	2121	0,35
51	59,598	3-Alilguaikol	2157	0,42
52	59,823	epi- α -Murolol	2164	0,15
53	61,754	α -Kadinol	2227	0,40
TOPLAM				97,386

EK 11. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman:100 dakika, katı/sıvı: 0,0550)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,885	α -Pinen	1012	2,65
2	13,093	α -Tujen	1017	0,12
3	13,910	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,06
4	14,838	Kamfen	1055	0,09
5	16,884	β -Pinen	1099	3,32
6	19,681	β -Mirsen	1156	2,66
7	20,437	α -Terpinen	1172	0,22
8	21,710	D-Limonen	1197	15,31
9	22,226	1,8 Sineol	1208	7,72
10	22,384	trans-2-Hekzenal	1212	0,33
11	23,151	(E)- β -Osime	1227	0,92
12	23,709	γ -Terpinen	1239	0,69
13	23,944	(Z)- β -Osime	1244	0,29
14	24,869	p-Sime	1263	0,56
15	25,493	α -Terpinolen	1276	0,19
16	27,995	3-Oktil asetat	1329	0,15
17	30,703	3-Oktanöl	1388	1,37
18	32,577	α -p-Dimetilstiren	1429	0,10
19	33,150	1-Okten-3-öl	1442	0,22
20	33,679	trans-Limonen oksit	1455	0,16
21	33,983	trans-Sabinen hidrat	1462	2,56
22	34,817	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,14
23	36,348	β -Burbonen	1516	2,57
24	37,268	Linalöl	1538	0,24
25	38,139	trans-p-Menth-2-en-1-öl	1560	0,17
26	39,322	β -Elemen	1587	0,39
27	39,777	Terpinen-4-öl	1598	3,81

EK 11. (devam)

28	40,104	trans-Dihidrokarvon	1606	3,81
29	40,840	cis-Dihidrokarvon	1625	0,40
30	41,489	β -yılanen	1642	0,21
31	41,647	Pulegone	1646	0,56
32	42,273	(E)- β -Farnesen	1662	0,25
33	42,577	Dihidrokarvil asetat	1670	2,59
34	42,766	epi-Bisiklo seskifelandren	1674	0,51
35	44,473	Germakren D	1717	3,24
36	44,834	Neodihidrokarveol	1728	2,88
37	45,284	Karvon	1740	24,24
38	45,987	α -Amorfen	1760	0,10
39	46,203	trans-Karvilasetat	1765	1,69
40	46,692	İzodihidrokarveol	1778	0,12
41	47,117	α -Murolen	1790	0,13
42	48,583	cis-Karveol	1829	3,92
43	49,665	Karveol	1860	2,90
44	51,919	Piperitenon	1924	0,19
45	52,542	(Z)-Jasmon	1942	0,61
46	54,069	Karyofillen oksit	1987	0,34
47	57,232	Viridiflorol	2084	0,63
48	58,406	Spatulenol	2121	0,33
49	59,592	3-Alilguaikol	2157	0,41
50	61,744	α -Kadinol	2227	0,28
TOPLAM				97,342

EK 12. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman:100 dakika, katı/sıvı oranı: 0,1200)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,856	α -Pinen	1012	1,32
2	13,084	α -Tujen	1017	0,05
3	13,903	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,03
4	14,827	Kamfen	1055	0,05
5	16,847	β -Pinen	1099	1,98
6	17,521	Sabinene	1113	1,45
7	19,638	β -Mirsen	1156	0,65
8	20,422	α -Terpinen	1172	0,07
9	21,542	D-Limonen	1197	9,78
10	22,166	1,8 Sineol	1208	9,16
11	22,354	trans-2-Hekzenal	1212	0,46
12	23,663	γ -Terpinen	1239	0,12
13	24,854	p-Simen	1263	0,99
14	27,991	3-Oktıl asetat	1329	0,54
15	29,903	Okten 3-yl asetat	1370	0,12
16	30,705	3-Oktanöl	1388	2,03
17	32,575	α -p-Dimetilstiren	1429	0,08
18	32,920	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,10
19	33,135	cis-limonen oksit	1442	0,76
20	33,676	trans-Limonen oksit	1455	0,42
21	33,989	trans-Sabinen hidrat	1462	3,61
22	34,809	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,10
23	35,263	dihidroedulan II	1491	0,49

EK 12. (devam)

24	36,347	β -Burbonen	1516	3,42
25	37,259	Linalol	1538	0,21
26	38,890	Bornil asetat	1578	0,27
27	39,759	Terpinen-4-ol	1598	1,67
28	40,092	trans-Dihidrokarvon	1606	4,05
29	40,829	cis-Dihidrokarvon	1625	0,31
30	41,637	Pulegone	1646	0,45
31	42,625	Dihidrokarvil asetat	1670	8,29
32	44,813	Neodihidrokarveol	1728	1,89
33	45,280	Karvon	1740	29,76
34	46,255	trans-Karvilasetat	1765	5,19
35	48,546	cis-Karveol	1829	2,00
36	48,668	Karvon oksit	1833	0,80
37	49,660	Karveol	1860	3,46
38	52,537	(Z)-Jasmon	1942	0,71
39	54,081	Karyofillen oksit	1987	1,36
40	57,228	Viridiflorol	2084	0,76
41	58,401	Spatulenol	2121	0,23
42	61,734	α -Kadinol	2227	0,21
TOPLAM				99,400

EK 13. Deney tasarımı ile elde edilen nane (*Mentha spicata*) uçucu yağının bileşimi
(zaman: 71,01 dakika, katı/sıvı oranı: 0,0875)

	RT	BİLEŞEN	RI	% BİLEŞİMİ
1	12,824	α -Pinen	1012	1,96
2	13,043	α -Tujen	1017	0,10
3	13,859	2,5-Dietiltetrahidrofuran	1035	0,10
4	14,784	Kamfen	1055	0,14
5	16,813	β -Pinen	1099	2,63
6	17,483	Sabinen	1113	1,89
7	19,599	β -Mirsen	1156	1,18
8	21,525	D-Limonen	1197	10,39
9	22,098	1,8 Sineol	1208	9,34
10	22,325	trans-2-Hekzenal	1212	1,14
11	23,066	(E)- β -Osimen	1227	0,14
12	23,626	γ -Terpinen	1239	0,13
13	24,818	p-Simen	1263	1,27
14	27,953	3-Oktil asetat	1329	0,75
15	29,863	Okten 3-yl asetat	1370	0,19
16	30,670	3-Oktanöl	1388	2,30
17	32,540	α -p-Dimetilstiren	1428	0,17
18	32,887	Hekzil 3-metilbütanoat	1437	0,15
19	33,098	cis-limonen oksit	1442	0,70
20	33,634	trans-Limonen oksit	1455	0,42
21	33,945	trans-Sabinen hidrat	1462	3,02
22	34,770	(Z)-3-Hekzenil valerat	1480	0,15
23	35,221	dihidroedulan II	1491	0,47

EK 13. (devam)

24	36,303	β -Burbonen	1516	2,79
25	37,223	Linalol	1538	0,32
26	39,731	Terpinen-4-ol	1598	2,39
27	40,059	trans-Dihidrokarvon	1606	3,83
28	40,795	cis-Dihidrokarvon	1625	0,47
29	41,602	Pulegon	1646	0,57
30	42,604	Dihidrokarvil asetat	1670	7,53
31	44,798	Neodihidrokarveol	1728	1,93
32	45,537	Karvon	1748	27,02
33	46,238	trans-Karvilasetat	1765	4,73
34	48,516	cis-Karveol	1829	2,12
35	48,631	Karvon oksit	1833	0,63
36	49,639	Karveol	1860	3,79
37	52,502	(Z)-Jasmon	1942	0,81
38	54,039	Karyofillen oksit	1987	1,04
39	57,189	Viridiflorol	2082	0,70
40	61,701	α -Kadinol	2227	0,22
TOPLAM				99,596

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Nihan KARAKAPLAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya, 10.10.1991

Adres: İzzetiye Mah. Kâinat Sk. Aktan Apt. No: 28/2 Battalgazi/MALATYA

E-Posta: nihankarakaplan@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü (2009-2013)

Yüksek Lisans: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği ABD (2014-)

Mesleki Deneyim ve Ödüller: -

Yayın Listesi:

- Karakaplan N., Tosun E., Yüceer M., (Ağustos 2016). **Nane Bitkisinin Farklı Yöntemlerle Kurutulmasında Kurutma Kinetiğinin İncelenmesi'** 12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Gök F., Karakaplan N., Bilenler T., Tosun E., Yüceer M., (Ağustos 2016). **Sarı Kantaron Uçucu Yağının Ticari Kreme Katılması Suretiyle Antimikrobiyal Aktivitesinin Araştırılması.** 12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, İzmir.