



**BİBERİYE (*Rosmarinus officinalis* L.)
BİTKİSİNİN MİKRODALGA İLE
KURUTULMASININ OPTİMİZASYONU**

Hilal KURT

**Yüksek Lisans Tezi
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı
Prof. Dr. A. Vildan BEŞE**

2019

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİBERİYE(*Rosmarinus officinalis* L.) BİTKİSİNİN MİKRODALGA
İLE KURUTMASININ OPTİMİZASYONU**

Hilal KURT

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı

ERZURUM
2019

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**BİBERİYE (*Rosmarinus officinalis* L.) BİTKİSİNİN MİKRODALGA
İLE KURUTULMASININ OPTİMİZASYONU**

Prof. Dr. A. Vildan BEŞE danışmanlığında, Hilal KURT tarafından hazırlanan bu çalışma 14/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı – Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Enes ŞAYAN

İmza:

Üye: Prof. Dr. A. Vildan BEŞE

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erbil KAVCI

İmza:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 17/01/2019 tarih ve 03/33 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİBERİYE (*Rosmarinus officinalis* L.) BİTKİSİNİN MİKRODALGA İLE KURUTMASININ OPTİMİZASYONU

Hilal KURT

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Vildan BEŞE

Bu çalışmada, biberiye (*Rosmarinus Officinalis* L.) bitkisinin mikrodalga bir fırında kurutulmasının optimizasyonu Taguchi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma parametreleri olarak, mikrodalga gücü (180-900 W), ön işlem (%w 0-5NaCl çözeltisi) ve madde miktarı (10-30 g) seçilmiştir. Kalite kriteri olarak toplam renk değişimi, rehidrasyon kapasitesi ve yağ asitleri incelenmiştir. Toplam renk değişimini minimum, rehidrasyon kapasitesi ve yağ asit değerlerini maksimum yapan optimum çalışma koşulları; mikrodalga gücü:180 W, ön işlem: %2,5'lik NaCl çözeltisi, madde miktarı: 30 g olarak belirlenmiştir.

Optimum koşullarda yapılan deney verileri 9 farklı matematiksel modele uygulanarak kuruma kinetiği incelenmiştir. Biberiyenin mikrodalga kuruma davranışını tanımlayan en uygun model olarak Midilli et al. modeli bulunmuştur.

2019, 70 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biberiye, kurutma, mikrodalga, Taguchi

ABSTRACT

Master Thesis

OPTIMIZATION WITH MICROWAVE DRYING OF ROSEMARY (*Rosmarinus Officinalis L.*)

Hilal KURT

Atatürk University
Graduate School of Natural ve Applied Sciences
Department of Chemical Engineering
Division of Chemical Technologies

Supervisor: Prof. Dr. A. Vildan BEŞE

In this study, optimization of drying of rosemary (*Rosmarinus Officinalis L.*) plant in a microwave oven was investigated by using Taguchi method. As the operating parameters, microwave power (180-900 W), pretreatment (% w 0-5NaCl solution) ve amount of material (10-30 g) were selected. Total color change, rehydration capacity ve fatty acids were examined as quality criteria. The optimum experimental conditions which minimum for total color change, maximum for rehydration capacity ve fatty acid values were obtained were found to be; microwave power: 180 W, pretreatment: 2.5% NaCl solution, substance amount: 30 g.

Experimental data in optimum conditions were applied to 9 different mathematical models ve the drying kinetics were examined. The most suitable model describing the behavior of the microwave drying of rosemary was found as Midilli et al. model.

2019, 70 pages

Keywords: Drying, microwave, rosemary, taguchi

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. A. Vildan BEŞE'ye en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Sayın Mehmet Koray ÇELİK, kardeşim Sayın Eylül Kübra KURT ve Sayın Ayten ALTUN, Sayın Nilgün KURT, Sayın Mihriban KURT ve Sayın Arş. Gör. Serdar ARAL'a tüm yardımları ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında maddi ve manevi desteklerini koşulsuz ve sürekli hissettiğim sevgili anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Hilal KURT

Ocak, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Geçmişten Günümüze Kurutma	3
2.2. Temel Kavramlar.....	4
2.2.1. Tanımlar	4
2.2.2. Gıda içindeki suyun rolü	5
2.2.3. Kuruma evreleri.....	8
2.2.3.a. Kurumanın statüğü	8
2.2.3.b. Kurumanın kinetiği.....	9
2.2.4. Kuruma sırasında ısı ve kütle transferi.....	9
2.2.5. İnce tabaka halinde kurutma.....	10
2.2.6. Kalın tabaka halinde kurutma.....	13
2.2.7. Yayınlm/Difüzyon teorisi.....	13
2.2.8. Kurutma teknolojisinde matematiksel modelleme	14
2.2.9. İnce tabaka kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi.....	15
2.2.10. Organik materyal kurutma ön işlemleri.....	16
2.2.10.a. Organik materyallerin kimyasal çözeltilere daldırılması.....	17
2.2.10.b. Organik materyallerin haşlanması.....	18
2.2.11. Kurutma hızına etki eden faktörler.....	18
2.2.12. Kurutma yöntemleri	19
2.2.12.a. Doğal kurutma (Güneşte kurutma).....	20
2.2.12.b. Kontakt kurutma (Kondüksiyon).....	20
2.2.12.c. Konveksiyon kurutma.....	21

2.2.12.d. Radyasyon ile kurutma	21
2.2.12.e. Dondurarak kurutma (Liyofilizasyon).....	21
2.2.12.f. Ozmotik kurutma	22
2.2.12.g. Dielektrik kurutma	22
2.2.12.h. Mikrodalga kurutma	23
2.2.13 Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kurutucular.....	23
2.2.13.a. Fırın kurutucular	23
2.2.13.b. Kabin kurutucular.....	23
2.2.13.c. Depo tipi kurutucular.....	24
2.2.13.d. Tünel kurutucular	24
2.2.13.e. Konveyör kurutucular.....	24
2.2.13.f. Döner kurutucular	25
2.2.13.g. Püskürtmeli kurutucular	25
2.2.13.h. Akışkan yatak kurutucular.....	25
2.2.13.1. Tambur kurutucular.....	25
2.2.14. Kaynak özetleri.....	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	29
3.1. Materyal.....	29
3.2. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu	33
3.3. Yaprak Boyutları Analizi	38
3.4. Kurutma Deneyleri	38
3.5. Yaprak Renk Analizi	39
3.6. Kuru Madde Tayini	41
3.7. Kuruma Hızı	42
3.8. Difüzyon Katsayısının Hesaplanması	43
3.9. Rehidrasyon Kapasite Tayini	44
3.10. Yağ Asitlerinin Analizi	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	48
4.1. Taze Biberiyenin Özellikleri	48
4.3. Difüzyon Katsayısı Hesabı.....	50
4.4. Yaprak Renk Değerleri.....	50
4.5. Rehidrasyon Kapasitesi	51

4.6. Minitab ile Taguchi Deney Tasarım Analiz Sonuçları.....	52
4.7. Minitab ile Taguchi Deney Tasarımı Varyans Analizi	56
4.8. Optimum Koşular İçin Kinetik Modelleme.....	62
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	71



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler (alfabetik)

a_w	Su aktivitesi
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m ² /s)
D_{ef}	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
m_0	Başlangıç madde miktarı(g)
m_k	Kuru madde miktarı(g)
M_0	T=0 anındaki nem içeriği (g su/ g kuru madde)
$MR_{exp,i}$	Deneysel nem oranı
$MR_{pre,i}$	Tahmini nem oranı
M_e	Denge anındaki nem içeriği (g su/ g kuru madde)
M_{kb}	Kuru baza göre nem içeriği (g su/g toplam madde)
M_t	T anındaki nem içeriği kg su/ g kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	T+Δt anındaki nem içeriği (g su/ g kuru madde)
M_{yb}	Yaş baza göre nem içeriği (g su/g toplam madde)
N_d	Denge durumunda materyalin ulaştığı nem
N_{dk}	En küçük denge nemi
N_{ds}	Yüksek denge nemi
$P_{\ddot{u}}$	Ürünün yüzeyinde bulunan suyun kısmi basıncı
P_b	Havada bulunan su buharının kısmi basıncı
P_{bs}	Doymuş buhar basıncı
P_w	Gıdanın içerdiği suyun buhar basıncı (atm)
W_1	Rehidrasyon işleminden önceki madde miktarı (kg)
W_2	Rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarı (kg)
x^2	Khi-kare
$\bar{\tau}_a$	Renk skala değeri (kırmızı-yeşil)
$\bar{\tau}_b$	Renk skala değeri (mavi-sarı)

a	Model sabiti
b	Model sabiti
k	Model Sabiti
K	Kelvin
L	Renk parlaklığı
<i>L</i>	Dilim kalınlığı (m)
M	Nem içeriği (g su/ g kuru madde)
MR	Nem oranı
N	Deneysel veri sayısı
n	Model sabiti
P^0	Saf suyun buhar basıncı (atm)
r	Yarıçap (m)
R	Kurutma hızı (g su /s m ²)
<i>R</i>	Üniversal gaz sabiti (kJ/(mol. K))
R^2	Regresyon katsayısı
RC	Rehidrasyon kapasitesi
t	Süre (s)
Z	Parametre sayısı
Φ	Bağıl nem

Kısaltmalar

AHE	Azalan hız evresi
ANOVA	Analysis Of Variance (Varyans Analizi)
BKN	Birinci kritik nokta
DBN	Denge bağıl nemi
IE	Isınma evresi
İKN	İkinci kritik nokta
RC	Rehidrasyon kapasitesi
RMSE	Ortalama hata kareleri karekökü
RSS	Kalanların kareleri toplamı
SSE	Tahminin standart hatası
SHE	Sabit hız evresi

ŞEKİLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kurumanın kinetik eğrileri	9
Şekil 2.2. Kuruma eğrilerinin temel özellikleri	10
Şekil 2.3. Kurutma yöntemleri.....	20
Şekil 3.1. Biberiye bitkisi	29
Şekil 3.2. Kurutma deneyi için hazırlanan biberiye yaprakları	38
Şekil 3.3. Konica Minolta Kroma-Metre CR400.....	40
Şekil 3.4. 3 boyutlu renk-uzay haritası	41
Şekil 3.5. Nem içeriği analizine hazırlanan biberiye yaprakları.....	42
Şekil 3.6. Rehidrasyon deneyi	45
Şekil 3.7. Thermo ISQ Trace GC ultra	46
Şekil 4.1. MR değerlerine karşı zaman grafikleri	49
Şekil 4.2. Parametre seviyelerine göre renk analizinde ortalama (a) ve performans (b) grafikleri	54
Şekil 4.3. Parametre seviyelerine göre RC analizinde ortalama (a) ve performans (b) grafikleri	54
Şekil 4.4. Parametre seviyelerine göre doymuş yağ asitleri (Palmitik (a-b), Stearik (c-d) ve Mistirik (e-f) asitleri) analizinde ortalama ve performans istatistiği grafikleri	55
Şekil 4.5. Parametre seviyelerine göre tekli doymamış (Palmitoleik (a-b)) ve çoklu doymamış (Linoleik (c-d)) yağ asitleri analizinde ortalama ve performans istatistiği grafikleri	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı mikroorganizmaların gelişme sınırları	7
Çizelge 2.2. Yaygın olarak kullanılan matematiksel modellemeler	16
Çizelge 3.1. Taguchi L_9 (3^4) ortogonal deney tasarım matrisi ile deney şartları	39
Çizelge 4.1. Taze biberiyenin özellikleri	48
Çizelge 4.2. D_f değerleri	50
Çizelge 4.3. Kurutulmuş biberiye yapraklarının L^* , a ve b^* değerleri.....	51
Çizelge 4.4. Rehidrasyon kapasitesi değerleri	51
Çizelge 4.5. Deneysel sonuçlar	53
Çizelge 4.6. Rehidrasyon varyans analizi	56
Çizelge 4.7. Renk varyans analizi.....	57
Çizelge 4.8. Doymuş yağ asidi varyans analizi (palmitik asit).....	58
Çizelge 4.9. Doymuş yağ asidi varyans analizi (stearik asit)	58
Çizelge 4.10. Doymuş yağ asidi varyans analizi (miristik asit).....	59
Çizelge 4.11. Tekli Doymamış yağ asidi varyans analizi (palmitoleik asit)	59
Çizelge 4.12. Çoklu doymamış yağ asidi varyans analizi (linoleik asit).....	60
Çizelge 4.13. Analiz sonucu oluşan optimum koşullar.....	61
Çizelge 4.14. Optimum koşullar ile yapılan deney ve sonuçları	61
Çizelge 4.15. Mikrodalga kurutma için R^2 , χ^2 , RMSE, RSS ve SSE ve model sabitleri.....	62

1. GİRİŞ

Gıdalar, canlı yaşamının devamı için vazgeçilmezdir. Bu nedenle insanoğlu gıdaların uzun süre kullanılabilmesi amacıyla geçmişten günümüze kadar çeşitli gıda koruma yöntemleri geliştirmişlerdir. Gıda koruma yöntemlerindeki amaç, gıdaların uygun koşullar altında herhangi bir bozulmaya uğramaksızın tüketimine kadar saklanabilmesi sağlamaktır (Fontana 2000).

Bugün Dünya’da 7,6 milyardan fazla insan yaşamakta ve bu sayı her geçen gün artmaktadır (Anonymous 2018a.) İnsan sayısının bu denli fazla olması ile birlikte gıda üretim miktarının, çeşitliliğinin ve hasat zamanlarının her bölge için oldukça değışken olması, bir bölgedeki ürünün diğer bölgelerdeki insanlar tarafından ihtiyaç duyulmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Yılın belirli dönemlerinde üretilen gıda maddelerinin ancak bir kısmı hasat dönemlerinde taze olarak tüketilmektedir. Geriye kalan kısmının bozulmadan saklanabilmesi ve mevsimi dışında da tüketilebilmesi için gıda muhafaza yöntemleriyle uygun koşullarda depolanması gerekmektedir.

Kurutma, dondurma, asit ile muamele etme, gaz atmosferinde depolama, ışın uygulaması ve koruyucu madde ilavesi gibi yöntemler gıda sanayisinde en çok uygulanan gıda koruma yöntemleridir. Bütün bu gıda muhafaza yöntemleri arasında en eski ve en yaygın olarak kullanılan yöntem kurutmadır. Kurutma, gıda ürünlerinin nem içeriklerini belirli bir seviyeye kadar uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Gıda ürünlerinin çeşitliliğı ve her birinin spesifik özellikleri, değışik kurutma yöntemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu nedenle kurutulacak ürünün nitelik kaybını en aza indiren ve ekonomik olan kurutma yöntemleri geliştirilmektedir. Kurutma işlemlerinde, diğer gıda koruma yöntemlerinde olduğu gibi gıda içindeki su aktivitesini düşürerek mikrobiyal faaliyetleri kontrol altına almak amaçlanmaktadır. Böylece, gıdanın ürün kalitesini artırmak için gıda içinde bulunan mikroorganizma ve çeşitli canlıların büyümesi (üründeki su miktarı mikroorganizma, böcek, küf ve mantarların gelişmesini hızlandırarak fiziksel ve kimyasal değışimlere sebep olur) ve enzim aktivitesi engellenmiş olur Ayrıca, kurutulan gıdaların ağırlığındaki ve hacmindeki azalma dağıtım ve depolama maliyetlerini düşürür. Kurutma

işlemi için dikkat edilmesi gereken en önemli konu kurutma koşullarıdır. Bu nedenle kurutma ekipmanlarının dizaynı, çalışma şekli ve şartları, gıdaların spesifik özellikleri göz önüne alınarak tasarlanmalıdır.

Kurutma işlemlerinde son yıllarda tek bir kurutma yöntemi yerine, birden fazla kurutma yönteminin bir araya getirilmesi ile oluşturulan kombine kurutma yöntemleri kullanılmaya başlanılmıştır. Birleştirilmiş kurutma yönteminin avantajları; daha kısa sürede, daha az enerji ile daha nitelikli ürün elde edilmesidir.

Bu çalışmada biberiye bitkisinin (*Rosmarinus officinalis* L.) mikrodalga fırında kurutulmasının optimizasyonu incelenmiştir. Kurutma deneylerinin tasarımı sırasında kalite karakteristiğine etki eden ve kontrol edilebilen değişkenler ile süreç sonunda elde edilecek değerleri etkileyen parametrelerin belirlenmesinde oldukça güvenilir sonuçlar veren Taguchi yaklaşımından faydalanılmıştır. Optimizasyon kriterleri olarak, yağ asit miktarları, rehidrasyon kapasitesi ve renk değişimi incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Geçmişten Günümüze Kurutma

Gıdaların dayanma sürelerini uzatmak için içeriğindeki nemin azaltılması bilinen en eski yöntemlerden birisidir ve bu işleminin tam olarak ne zaman başladığı bilinmemektedir. Tarihsel kanıtlar bize eski insanların gıdaları kurutmayı daha çok deneme ve yanılma yöntemleri ile öğrendiğini göstermektedir. Zamanla gıda kurutmasının bilimsel bir temele dayalı olarak gelişmesi ile dünya çapında gıda kurutma endüstrilerin kurulmasını zemin hazırlamıştır (Barbosa-Canovas 2001; Vega-Mercado 1996). On sekizinci yüzyılda gıda ürünlerinin kurutulması kaydedilmiş ilk sanayi tipi gıda kurutmasıdır. Sonrasındaki savaşlar ise kurutma endüstrisinin gelişmesine önemli katkılar sağlamıştır. İngiliz askerleri Kırım'da (1854-1856) vatanlarından gönderilen kurutulmuş sebzeleri kullanmışlardır. Boer Savaşı (1899-1902) esnasında Kanada'da kurutulan sebzeler Güney Afrika'ya nakledilmiş ve I. Dünya Savaşı sırasında 4500 ton kuru gıda (taze fasulye, lahana, havuç, patates, ıspanak, mısır, turp ve çorba karışımları) Birleşik Devletler'den Avrupa'ya gönderilmiştir (Vega Mercado *et al.* 2001). Böylece savaş zamanlarında askerlerin besin ihtiyacının hızlı ve pratik bir şekilde karşılanması ile elde edilen bu avantaj, büyük ölçekli olan sanayi tipi kurutma sektörünün gelişmesinde oldukça etkili rol oynamıştır. Sonraki yıllarda da gıda kurutma yöntemleri geliştirilerek elde edilen kurutulmuş kurumuş gıda ürünleri günümüz gıda tüketiminin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Ülkemiz bir tarım ülkesi, aynı zamanda da pek çok bitki türünün gen merkezidir. Bazı endemik tıbbi ve aromatik bitki çeşitlerini de bulundurmasından dolayı kurutmanın ülkemiz için önemi her geçen gün artmaktadır.

Kurutma işlemlerini gerçekleştirebilmek için kullanılan enerji, daha çok fosil yakıtlardan, biyokütle ve güneş enerjisinden karşılanmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının sürekli azalması ve enerji maliyetinin artması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının

aranması ve bu alternatif enerjiye entegre olabilecek kurutma sistemlerinin tasarlanması çalışılmalarına hızla devam etmektedir.

2.2. Temel Kavramlar

2.2.1. Tanımlar

Denge Nemi: Ortamın sıcaklık ve basınç değerine bağlı olarak materyalin kazanacağı veya kaybedeceği nem miktarıdır.

Mutlak Nem: Herhangi bir durumda havanın bir metre küpünün içinde bulunan su buharı miktarının gram veya kilogram cinsinden ifadesidir. Özgül Nem olarak da adlandırılır.

Bağıl Nem(ϕ): Herhangi bir sıcaklıktaki havanın içinde bulundurabileceği maksimum nem ile o anda havada bulunan nem miktarı arasındaki oranıdır. Relatif Nem veya Orantılı Nem olarak da adlandırılır.

Su Aktivitesi: Ürünün içerdiği suyun buhar basıncının, aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır.

Kuru Termometre Sıcaklığı:(°C) Normal bir termometre ile yani haznesinin etrafı kuru hava olup hava ile temas halinde olan bir termometre ile ölçülen hava sıcaklığıdır.

Yaş Termometre Sıcaklığı: (°C) Haznesinde ıslak bezle sarılı termometrenin, normal hava akımı sağlanıp, hazne etrafındaki hava doygunluk sonrasına getirildiğinde termometrenin gösterdiği sıcaklıktır.

Özgül Isı: (kcal/kg°C) Bir maddenin 1 gramının sıcaklığını 1°C değiştirmek için gereken ısı miktarıdır ve C_p ile gösterilir.

Isı Sığıması: M gram maddenin sıcaklığını 1°C değiştirmek için gerekli ısı miktarıdır.

Entalpi: (kcal/kg)Kuru hava-su buharı karışımının (ıslak havaya) ısıtılması esnasında verilmesi ya da soğutulması esnasında alınması gereken ısı miktarıdır. Özetle sabit basınçlı bir sistemde meydana gelen enerji değişimlerine denir. H ile gösterilir.

Entropi: Bir sistemin düzensizlik derecesinin bir ölçüsüdür. S ile gösterilir.

2.2.2. Gıda içindeki suyun rolü

Su, gıda maddeleri içinde fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal bozulmalarda oldukça etkili bir rol oynar. Kimyasal olaylarda su, eritici rol oynar ve tepkimeye girecek olan maddelerin ortamını oluşturur. Gıda maddeleri arasında özellikle bitkiler aldığı suyun %0,2'sini yapay olaylar için kullanılırken, geri kalan %99,8'ini ise bitkinin içindeki madde iletimini gerçekleştirmek için kullanılır (Hasman 1972).

Gıda muhafaza yöntemlerinden yaygın olarak kullanılmakta olan kurutma ve dondurma gibi işlemlerde, suyun termal özellikleri ön plana alınarak işlemler gerçekleştirilir. Örneğin, dondurarak koruma işlemlerinde su ile buz arasındaki yoğunluk farkı, dondurulan besinin yapısındaki bozunmalara sebep olacağı gibi, buzun yoğunluğunun sıcaklıkla değişmesi dondurulmuş besinin sertliğini sürekli değiştirecektir. Sürekli değişen yapı ile birlikte çeşitli bozulmaların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu durum, özellikle donma noktası çevresinde baskın olduğundan soğukta saklanması gereken besin maddeleri için depolama sıcaklığına kesinlikle dikkat edilmelidir. Bu ve bunun benzeri nedenlerden dolayı gıda maddelerindeki suyun özellik ve davranışlarının oldukça iyi bilinmesi gereklidir. İçeriğindeki su dikkate alınmadan gıdanın hiçbir fiziko-mekanik özelliği (ayıklanma, yıkanma, depolama, kurutma, yoğunluk, kuru birim hacim ve ağırlık, porozite, yüzey sertliği, çekme-basma dayanımı vb.) belirlenemeyeceği unutulmamalıdır.

Her materyalin içinde bulunduğu hava koşullarına bağlı olarak içinde bulundurabileceği belirli bir nem miktarı vardır. Bağlı nem, bağımsız nem ve serbest nem, kurutulacak ürünün

bünyesindeki suyun bulunma şekilleridir. Kurutulacak gıda maddesi içerisinde bulunan su; materyalin belirlenen hava şartlarında içerebileceği kadar suyu bulundurması esnasındaki denge nemidir. Denge nemi çevrenin bağıl nemi %0 (sıfır) olduğunda minimum, çevrenin bağıl nemi %100 (yüz) olduğunda ise maksimum değerini alır. Böylece maksimum ve minimum değerleri arasındaki nem bağıl nemi, bulundurulan şartlardaki denge nemi ile maksimum denge nemi ile arasındaki nem serbest nemi, en yüksek denge neminden fazla olan nem ise bağımsız nemi oluşturmaktadır (Yağcıoğlu 1999).

Tam anlamıyla kurutulmuş bir ürünün su tutması incelendiğinde, başlangıçtaki tutunmanın moleküler kuvvetler tarafından gerçekleştirildiği görülür. Bu şekilde tutulan suya adsorbe su denir. Belirli bir neme ulaşıldığında kurutulacak ürünün içindeki boşluklarda kılcal kuvvetler yardımıyla tutulan suya ise absorbe su adı verilir. Adsorbe olayı esnasında su ile malzeme molekülleri arasında birbirlerini etkileyen çok yakın bir ilişki bulunur. Bu olayı da sorpsiyon terimiyle açıklarız. Sorpsiyon yoluyla malzemenin sahip olduğu suyun artması olayına adsorpsiyon, azalmasına ise desorpsiyon adı verilir (Yağcıoğlu 1999).

Nem içeriği tek başına mikrobiyal ve kimyasal olaylarda kullanılacak bir parametre değildir, yalnızca ürün içerisindeki toplam su miktarını belirtir. Nemin uzaklaştırılması için duyulan enerji gereksinimi suyun tipiyle olduğu kadar ürünle de değiştiğinden kurutucu cihazın tasarımında, mümkün olan birçok faktör dikkate alınmalıdır. Tasarlanan cihazın kurutma verimliliği, uzaklaştırılmak istenen nem miktarına bağlıdır. Ayrıca, katı madde ile su arasındaki bağların farklı işleyişleri, depolama sırasında gıda maddesinin kalite özelliklerini de oldukça etkilemektedir (Evranoz ve Çataltaş 1989).

Su aktivitesi, kurutulan ürünlerin bozulmadan kalabilmesi için ortamdaki mikroorganizmalara 'elverişli suyun' bulunmaması şeklinde tanımlanır. Gıda içerisindeki kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimleri sınırlayan etkenlerde önemli bir rol oynamaktadır. Gıda veya besinlerde bulunan su, içeriğindeki çeşitli maddelerin çözülmüş olduğu çözelti niteliğindedir. 'Bir gıda maddesinin su aktivitesi (a_w)', gıda

içerisinde bulunan suyun buhar basıncının (P_w), aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına (P^0) oranıdır (Fennema 1985; Felows 1988; Hışıl ve Karakaya 1992; Karakuş 1995; Polatoğlu 2006; Us 2007; Bilişli 2009). Su aktivitesi tanımlanırken; gıdanın, etrafını çevreleyen atmosfer ile dengede olduğu kabul edilir (Lewicki 2004).

$$a_w = \frac{P_w}{P^0} \quad (2.1)$$

Su aktivitesinin, çeşitli yöntemlerle örneğin gıdadaki suyun buharlaştırılıp uzaklaştırılması suretiyle yani, kurutma ve konsantrasyonla azaltılması ya da reçel ve marmelatlarda olduğu gibi şeker ilavesiyle veya tuzla muhafazada olduğu gibi tuz ilavesiyle de azaltılması gerekir (Demirci 2003). Su aktivitesinin optimum seviyenin altına indirilmesi, spor oluşumu ve bakteri gelişimini yavaşlatırken, en düşük seviyenin altına indirilmesi ise, bakteri gelişimini engellemektedir. (Bingöl ve Devres 2010a)

Birçok mikroorganizmanın spesifik su aktivitesi değeri bulunmaktadır. Su aktivitesi değerini önceden bilmek gıdanın mikrobiyal ya da kimyasal bozunması gerçekleşmeden tahmin edebilme açısından oldukça yol göstericidir. Böylelikle gıda işlenmeden önce, işlenirken veya depolanırken güvenilir bir parametreye önceden sahip olmuş oluruz. Çizelge 2.1 ile bazı mikroorganizmaların gelişebilme sınırları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı mikroorganizmaların gelişme sınırları (Demirci 2003)

MİKROORGANİZMA CİNSİ	SU AKTİVİTESİ
Bakteriler	0,91-0,95
Mayalar	0,88
Küfler	0,80
Halofilik Bakteriler	0,75
Ozmofilik Bakteriler	0,70
Kserofilik Bakteriler	0,65

Örneğin geleneksel yöntemlerden birisiyle kurutulmuş meyve veya sebzeler %5-15 arasında su içerirler. Bu miktardaki su monomoleküler (bir tek moleküle ilgili reaksiyon, molekül içindeki yer değiştirmeler gibi) halde bağlı suyu kapsar. Kurutma esnasında su

aktivitesi, mikroorganizmaların çalışamayacakları düzeye kadar düşmüştür (Cemeroğlu 1986).

Gıdalarda önemli bozulmalara neden olan bakteriler, su aktivite değeri 0,90 altında çoğalamazlar. Bazı halofilik (tuzu seven) bakteriler ise su aktivite değeri 0,75'e kadar faaliyet gösterebilmektedir (Gökoğlu 2002). Kurutulmuş bir sebze yüzde (%)10-12 su içeren mikrobiyolojik yolla - küflenerek- bozulabilirken, yüzde (%)30-40 su içeren bir reçelin veya bir kuru meyvenin dayanıklı kalabilme olgusunun nedenleri ancak su aktivitesi ile açıklanabilmektedir. Osmofilik mayalar ise su aktivite değeri 0,60'a kadar çoğalıp faaliyet gösterebilirse de bunlar sadece bazı ürünlerde bozulma nedeni olabilmektedir. Ancak su aktivitesi 0,70 gibi düşük değerlerde dahi, çok yavaş da olsa, bazı küfler çoğalabilmektedir. Küf üremesi su aktivite değeri ancak 0,65'in altına düşünce tümünden durmaktadır (Cemeroğlu 1986).

2.2.3. Kuruma evreleri

Kuruma işlemi, nemli materyal ile çevresi arasında gerçekleştirilen nem alış verişi sırasında çevre genellikle hava seçilmektedir. Nem alış verişi sürecinde hava ile kurutulacak materyal arasındaki değişimler statik ve kinetik açıdan incelenebilir.

2.2.3.a. Kurumanın statığı

Kuruma olayı incelenirken, hava ile nemli ürün arasındaki ilişki statik açıdan zamandan bağımsız olarak ele alınır. Çevre ile ürün arasındaki denge; sorpsiyon ve desorpsiyon sonucu oluşmaktadır. Oluşan denge sonrasında havada bulunan suyun kısmi buhar basıncı ile ürün yüzeyindeki suyun buhar basıncı eşitlenmektedir. Kurutulan ürünün yüzeyindeki sıcaklık, yaklaşık çevredeki havanın yaş termometre sıcaklığına eşit olmaktadır. Denge esnasında ürünün ulaşmış olduğu nem; çevredeki havanın kısmi buhar basıncı dolayısıyla havanın bağıl nemine bağlıdır.

2.2.3.b. Kurumanın kinetiği

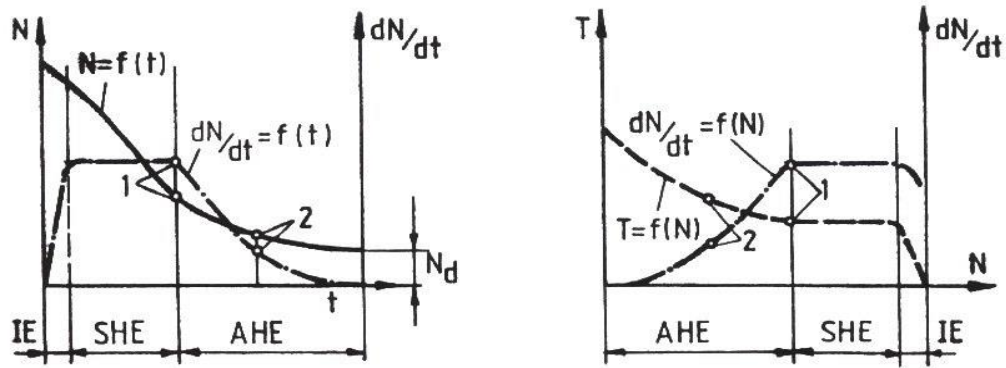
Kuruma olayı incelenirken, hava ile nemli ürün arasındaki ilişki kinetik açıdan zamana bağlı olarak ele alınır. Şekil 2.1 ile Kurutulacak ürünün ilişkileri gösterilmiştir.

❖ Materyal nemi ile kuruma süresi: $N=f(t)$. (2.1)

❖ Materyal nemi ile kuruma hızı: $dN/dt=f(N)$. (2.2)

❖ Materyal sıcaklığı ile nemi: $T=f(N)$. (2.3)

❖ Kuruma hızı ile kuruma süresi: $dN/dt=f(t)$. (2.4)



Şekil 2.1. Kurumanın kinetik eğrileri (Yağcıoğlu 1999)

2.2.4. Kuruma sırasında ısı ve kütle transferi

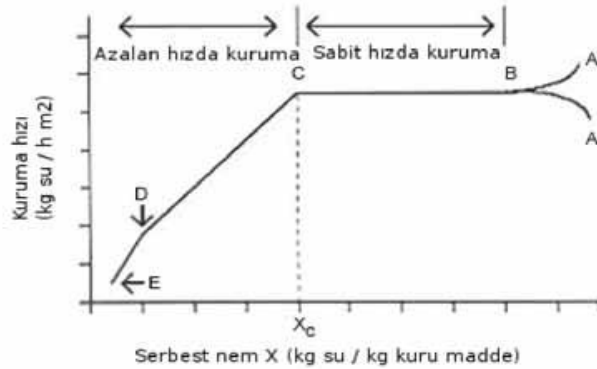
Kurutma süresince, materyalin içinde ve kurutma ortamının (genellikle hava seçilir) materyal yüzeyi üzerindeki sınır tabakada sürekli bir şekilde ısı ve kütle transferleri gerçekleşir. Kurumayı etkileyen bu şartlar kuruma evrelerinde de farklılık gösterebilir. Evrelerdeki bu farklılıklar, materyallerin iletim özelliklerinden kaynaklanır. Kurutulacak gıda ürünüde, ürün içindeki mevcut suyun iç kısımlardan yüzeye ve yüzeyden çevreye

iletiminin gerçekleşmesinin sağlanması gerekir. İç kısımlardaki suyun bu yolculuğunu sağlayan birçok faktör vardır. Bunlar;

- ❖ Kılcal borulardaki suyun hareketi,
- ❖ Kuruma esnasında gerçekleşen büzülme ve bu büzülmenin etkisiyle hızlanan nem akışı,
- ❖ Nem ve sıcaklık farkından kaynaklanan su ve buhar yayılımı,
- ❖ Materyalin iç katmanlarında oluşan buharlaşmanın etkisiyle oluşan gaz yayılımı,
- ❖ Materyal içindeki buhar basıncı ile çevredeki havanın kısmi buhar basınç farklılığı,
- ❖ Çevre havasının sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncıdır. (Yağcıoğlu 1999)

2.2.5. İnce tabaka halinde kurutma

İnce tabaka kurutma işlemleri, kurutulacak ürünlerin ince bir tabaka halinde yayılarak kurutulması işlemi tarif eder. Bu tabaka genel olarak kurutulacak ürünün bir tanesinin kalınlığını geçmeyecek şekildedir. İnce bir tabaka halinde kurutulmuş ürünlerin üzerinden geçen havanın nem ve sıcaklık değerlerinin sabit kaldığı kabul edilir. Kullanım kolaylığı ve az veri gereksinimi sebebiyle ince tabaka modelleme sıkça tercih edilmektedir. (Özdemir 1999) Şekil 2.2 tipik bir kuruma eğrisini vermiştir.



Şekil 2.2. Kuruma eğrilerinin temel özellikleri (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado 1996)

A' ve A noktaları ortam sıcaklığına göre sırasıyla daha sıcak ve daha soğuk bir cismi temsil etmektedir. B noktası ise ürün yüzeyinin denge noktasını göstermektedir. A veya A' noktasından B noktası ulaşmak için gerekli sürenin kısa olmasından dolayı, kuruma süresinin analizi sırasında ihmal edilmektedir.

Tipik bir kurutma işleminde kuruma davranış periyodları:

1. Sabit kuruma evresi (B-C arası): Eğer kurutma işleminin başında malzeme tamamıyla nemli ise, su akışı hidrolik gradyent altında gerçekleşmektedir. Nem serbest formda ve yüzeyde tutulmakta, aynı zamanda buhar basıncının etkisiyle buharlaşma en yüksek seviyede olmaktadır. Yağcıoğlu (1999)'na göre sabit kuruma evresi boyunca;

- ❖ Kurutulacak ürünün yüzeyinin ince su filmi ile kaplı olduğu,
- ❖ Kuruma hızının; kurutma hava sıcaklığı ve bağıl nem ile bağlantılı olduğu,
- ❖ Kurutulacak ürünün yüzey sıcaklığının, kurutma havasının yaş termometre sıcaklığına eşit olduğu,
- ❖ Kurutulacak ürünün yüzeyindeki su buhar basıncının, yüzey sıcaklığına eşit sıcaklıktaki buhar basıncına eşit olduğu kabul edilir.

Teorik olarak üründen buharlaşan su miktarı ile saf sudan buharlaşan su miktarı aynı kabul edilmektedir. Pratikte ise bu farklı olabileceğinden genellikle üründen buharlaşan su miktarının saf sudan buharlaşan su miktarın yaklaşık yüzde sekseni veya daha fazlası olduğu safha kabul edilmektedir. Malzemenin yüzey sıcaklığı ıslak termometre sıcaklığında olduğundan, sabit kuruma periyodu bazen ıslak termometre kuruma periyodu olarak da adlandırılabilir. Dolayısıyla ürün yüzeyindeki kısmi basınç ve nem miktarı üzerinden geçen havanın ıslak termometre sıcaklığına, doyma buhar basıncı ve doyma nemine eşit olacaktır. Kuruma hızını etkileyen diğer bir önemli parametre ise kütle transferini doğrudan etkilediğinden dolayı kurutma havasının hızıdır (Nonhebel and Moss 1971).

Sabit kuruma periyodunda, ürüne paralel olarak akan nemli havanın ısı transfer katsayısı hesaplanırken;

$$h_c = 0.057 \cdot G^{0.8} \quad (2.5)$$

$$G = p \cdot v \quad (2.6)$$

h_c , taşınım transfer katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ C$),

G, ürünün birim alan üzerinden geçen havanın kütlesini göstermektedir. ($Kg/m^2 \cdot s$)

2. Birinci azalan kuruma periyodu (C-D arası): Bu periyotta sabit kuruma periyodunda olduğu gibi buhar basıncı halen en yüksek seviyelere yakındır. Gıdanın yüzey sıcaklığı ıslak termometre sıcaklığının üzerine çıkmaktadır. Suyun iç bölgelerden yüzeye genel olarak yayılım ile taşındığı kabul edilmektedir.

3. İkinci azalan kuruma periyodu (D-E arası): Kuruma hızı çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Su gıda içindeki ince kılcallarda tutulmakta ve kılcal yüzeylerinden çok yavaş bir şekilde geçebilmektedir. Suyun kısmi buhar basıncı da çok hızlı bir düşüş göstermektedir.

4. Üçüncü azalan kuruma periyodu: Bu periyotta hava ile denge elde edilmekte olup buharlaşan su miktarı yoğunlaşan su miktarına eşit olmaktadır (Vega-Mercado 1996).

Yağcıoğlu (1999)'na göre azalan hızla kuruma evrelerinde teorik ve yarı teorik kuruma modellerinde çeşitli ön kabuller yapılarak model geliştirilmesinde bazı kolaylaştırmalar yapılmaktadır. Bu ön kabullerden özetle bahsedecek olursak;

- ❖ Kurutulacak ürün içindeki nem dağılımı homojendir.
- ❖ Kuruma, ürün içinden nemin su ya da buhar fazında yayılımı sonucu oluşur. Yayılım ise nem derişim farkı, sıcaklık farkı ve buhar basıncı farkı gibi faktörlere bağlı olarak oluşur.
- ❖ Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, bağıl nem ve hız) kuruma süresince sabittir.

2.2.6. Kalın tabaka halinde kurutma

Materyalin kurutulması ince bir tabaka halinde (bir tanesinin kalınlığını geçmeyecek şekilde) olmayan kurutmalardır. İnce tabaka kurutma eşitliklerindeki kabuller kalın tabaka halinde kurutmada istenilen nitelikte değildir. Bunun başlıca sebebi ise kalın tabaka halinde kurutulan üründen geçen havanın sürekli olarak değişikliğe uğramasıdır. Söz konusu değişikliklerin incelenmesi yapılırken ürünün kurutma süreci boyunca davranışı – materyalin hareketli ya da sabit kalması- göz önüne alınarak çeşitli model ve eşitlikler kullanılır (Yağcıoğlu 1999).

2.2.7. Yayınım/Difüzyon teorisi

Difüzyon, iki maddenin moleküllerinin zarsız bir ortamda birbirleri içinde yayılmasıdır. Moleküller, belirli bir alanda düzenli bir şekilde dağılır ve alanın iki ucu arasında yoğunluk farkını ortadan kaldırmış olurlar. Bu olay ancak erimiş maddelerde ya da gazlarda görülür, katı maddelerde difüzyon hızı yok denecek kadar yavaştır (Hasman 1972). Kurutulacak katı materyal içerisinde bulunan su, katının yapısında bulunan kılcallardan ve boşluklardan yüzeye doğru taşınır. Yüzeye ulaşan su, katının yüzeyi ile temasta bulunan havaya buharlaşarak katıyı terk eder. Madde yüzeyindeki nem miktarı denge nemine çok yakın olduğundan dolayı, hava hızının artırılması kuruma hızı üzerinde çok etkili değildir. Bu nedenle, katı madde yüzeyinde meydana gelen buharlaşmaya karşı kütleli direncin ihmal edilebilir. Genel olarak, kuruma olayını kontrol eden basamağın katı içinden difüzyon olduğu kabul edilir (McCabe *et al.* 1993; Barbosa-Canovas and Vega-Mercado 1996).

Yayınım teorisi, Fick'in ikinci yasasının bazı kabuller ve sınır şartları altında çözünmesi ile elde edilir. Yapılan kabuller;

- ❖ Dış dirençler ihmal edilir
- ❖ Katıda büzülme ihmal edilir ve katının boyutu sabit kabul edilir
- ❖ Katı içindeki nem dağılımı, difüzyon hızı ve sıcaklık dağılımı homojendir

❖ Yüzey nemi denge nemine eşittir

Bu kabuller altında Fick'in ikinci yasası aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\frac{\partial M(L,t)}{\partial t} = \frac{1}{L^n} (L^n \cdot D_{ef} \cdot \frac{\partial^2 M}{\partial L^2}) \quad (2.7)$$

n katsayısı düzlem levha için 0, silindir için 1 ve küre için 2 alınırken,

L, cisim düzlem levha ise yarı kalınlığını(m), silindir veya küre ise yarıçap değerini,

$D_{ef}(\frac{m^2}{s})$ etkin difüzyon katsayısıdır ve kurutma işlemlerinde elde edilen veriler yardımıyla oluşturulan grafikler yardımı ile bulunur (Srikiatden and Roberts 2006). Etkin difüzyon katsayısı, nem transferini içeren kurutma, adsorpsiyon ve desorpsiyon nemini ifade eden modelleme ve proses tasarımında gerekli olan bir parametredir (Sharma and Prasad 2004).

2.2.8. Kurutma teknolojisinde matematiksel modelleme

Kurutma sistemleri için artan enerji maliyetleri, tüketicilerin son ürünlerdeki kalite kriterlerini arttırması ve bunlara ek olarak dünya çapında iklim değişikliklerine neden olan sera gazı üretimindeki artış, kurutma teknolojilerinde yeni arayışlar ve gelişmeleri zorunlu kılmaktadır.

Isı ve kütle transferi birbiri üzerinde ve aynı zaman da malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir. Dolayısıyla sadece temel özelliklerin kullanıldığı ve malzeme veya ortam özelliklerine bağlı genel bir kurutma teorisinin geliştirilmesini beklemek hiç gerçekçi değildir. Kurutma sistemlerinde kombine teknolojilerin kullanımı ile daha iyi tasarlanmış, boyutları küçültülmüş ve daha ekonomik çalışan sistemler kurma yönündeki çalışmalar giderek yaygınlaşmaktadır (Mujumdar and Zhongjua 2008).

2.2.9. İnce tabaka kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

İnce tabaka kurutma işleminde kurutulacak olan malzemenin bir tanesinin kalınlığını geçmeyecek şekilde ince bir tabaka halinde kurutulmadır. İnce tabaka eşitliklerinin kolaylık ve az veri gereksiniminden dolayı oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Kurutma işlemini tanımlamaya yardımcı olan ince tabaka modelleri teorik, yarı teorik ve ampirik olmak üzere üç ana bölüme ayrılmaktadır. İnce tabaka modelleri, kurutma kinetiğini, ekipman tasarımı, optimizasyonu ve ürün kalitesi iyileştirmeleri için deneysel verilerden tahmin etmede temel bir araçtır. Teorik modeller nem transferinin yayılım tarafından kontrol edildiğini dikkate alırken, diğer modeller hava hızı, hava sıcaklığı gibi dış dirençleri dikkate almaktadırlar (Babalıs *et al.* 2006). Teorik modeller Fick'in 2. kanunundan türetilmektedir. Yarı-teorik modellerin bir kısmı Fick kanunlarından türetilirken bir kısmı ise Newton'un soğuma kanunundan türetilmiştir. Yarı-teorik modeller uygulama bakımından kolaydır ve deneysel verileri kullanmak için daha az varsayıma ihtiyaç duyar. Bununla birlikte, kullanılan bu modeller yalnızca uygulanan proses koşulları için geçerlidir. Ampirik modeller, nem içeriği ile zaman arasındaki istatistiksel ilişkilerden elde edilmiştir ve kurutma işleminin kendisi ile fiziksel bir bağlantı kurmamaktadır. Teorik modeller tüm proses koşulları için uygulanabilir olsa da, çok fazla kabul yapıldığından dolayı hesaplarda hata oranı yüksek olduğundan kurutma çalışmalarında yarı-teorik ve ampirik modeller tercih edilmektedir (Onwude *et al.* 2016).

Newtonun soğuma kanununa benzeyen ve farklı kütle transfer işlemlerini sadece bir tane ince tabaka kuruma sabitine (k) birleştiren temel eşitlik Lewis tarafından önerilmiştir.

$$\frac{dM}{dt} = -k. (M - M_{denge}) \quad (2.8)$$

Yığın nem içeriğinin (M) sadece zamana bağlı olduğu kabul edilir.

$$MR = \frac{M - M_{denge}}{M_0 - M_{denge}} = \exp. (k - t) \quad (2.9)$$

MR nem oranı, madde içerisindeki tamamlanmamış t zamanında ürün içerisinde bulunan serbest su miktarının başlangıçtaki serbest su miktarına oranıdır.

Kurutma eğrilerini modellemek için literatürde farklı araştırmacılar tarafından bulunan deneysel kurutma verilerini tanımlamaya yardımcı olan ve sık kullanılan pek çok ince tabaka modeli mevcuttur. Deneysel veriler modellere uygulanır ve model uyumları, belirtme katsayısı (R^2), kalanların kareleri toplamı (RSS) ve tahminin standart hatası (SEE) gibi istatistiksel parametreler kullanılarak değerlendirilir. Kalanların kareleri toplamı ve tahmini standart hatanın en küçük, belirtme katsayısının 1'e en yakın değerleri modelin en uygun model olarak değerlendirilmesini sağlar. Çizelge 2.2, meyve ve sebzelerin kuruma eğrilerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılan matematiksel modelleri göstermektedir.

Çizelge 2.2. Yaygın olarak kullanılan matematiksel modellemeler

MODEL	MATEMATİKSEL İFADE	KAYNAKLAR	TÜRETİLDİĞİ KANUN
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Newton 1701	Newton'un soğuma kanunu
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page 1949	Newton'un soğuma kanunu
Logistic	$MR = b/(1 + a \exp(kt))$	Sarimeseli ve Bani 2013	Newton'un soğuma kanunu
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis 1961	Fick'in 2. kanunu
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt)+b$	Yaldiz vd 2001	Fick'in 2. kanunu
Diffusion Approach	$MR = a \exp(-kt)+(1-a)\exp(-kbt)$	Yaldiz vd Ertekin 2001	Fick'in 2. kanunu
Wang ve Singh	$MR = 1 + a_1t + b_1t^2$	Wang ve Singh 1978	Ampirik
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n)+bt$	Midilli vd 2002	Fick'in 2. kanunu
Two Term	$MR=a_1 \exp(-k_1t) + a_2 \exp(-k_2t)$	Madamba <i>et al.</i> 1996	Fick'in 2. kanunu

2.2.10. Organik materyal kurutma ön işlemleri

Gıda maddelerinin kurutulmasında, enerji verimliliği artırmak, daha kaliteli ürün elde etmek ve zamandan tasarruf sağlanmak için bazı ön işlemler uygulanır.

2.2.10.a. Organik materyallerin kimyasal çözeltilere daldırılması

Gleen *et al.* (2005)'na göre; meyve ve yaprak üzerindeki kütikül tabakası (yaprakların her iki yüzünde bulunan ve suyu sızdırmadığı için bunların kurummasına engel olan ince zar) zarar görmemiş ise çok düşük nem geçirgenliğine sahiptir. Kütikül tabakası iki bileşenden oluşur; doğal mumlar ve kütin. Doğal mumlar, alkol, alkan, aldehit, keton ve uzun zincirli yağ asitlerinin heterojen karışımından meydana gelmiştir. Mumsu tabakanın üzerinde epikütiküler mumsu tabaka olarak bilinen ince ve amorf bir tabakadan bulunmaktadır. Mum kristallerinin yapı ve şekli, çevresel koşullar ve gelişim şartlarına göre şekillenen mumsu tabakanın kompozisyonuna bağlı olarak da değişmektedir. Suda çözünürlük göstermeyen tüm bu bileşikler, yüksek molekül ağırlıklarına sahip olup, benzer fiziksel özellik göstermektedirler. İkinci bileşik olan kütin, çapraz polimerizasyonla (monomer yapıların birleşmesi) birbirine bağlanmış bileşimlere sahip olduğundan organik çözücülerde düşük çözünürlüğe sahiptir (Mazliak 1970; Suarez *et al.* 1984; Grabowski ve Marcotte 2003). Kütikül, meyvelerin ve yaprakların epiderm hücresi (dış etkenlerden koruyan gözenekli yapı) üzerinde harici ve sürekli bir zardır. Kütikülün görevleri;

1. Su buharı geçirgenliğini kontrol ederek su kaybını en aza indirir.
2. Hücre içinde bulunan çözünmüş maddelerin dışarıda bulunabilecek suya (yağmur, ıslaklık vb.) geçmesini engeller.
3. Patojen istilasına karşı ilk engeli oluşturur.
4. Mekanik etkilere, pestisit gübre ve ayrıca güneş ışınlarına karşı kalkan etkisi gösterir.
5. Gazların etkin bir şekilde giriş çıkışına yardımcı olur.
6. Kimyasal çözeltilere daldırılma işleminde hazırlanan çözeltinin sıcaklığına göre daldırma işlemi iki gruba ayrılır:
 - a. Soğuk daldırma: Soğuk daldırma: Çözelti sıcaklığı genel olarak ortam sıcaklığında veya çok az üzerindedir. Kuruma hızını sıcak daldırmaya göre daha az artırır, fakat renk açısından daha kaliteli son ürün elde edilir.
 - b. Sıcak daldırma: Çözelti sıcaklığı soğuk daldırma sıcaklığından daha yüksektir. Kütikül tabakası üzerinde çatlaklar ve delikler oluşturulduğundan kuruma hızını soğuk daldırmaya göre daha fazla artırır.

Meyvelerin ve sebzelerin kurutulmasında uygulanan ön işlemler, kurutulacak ürünle değişmekle birlikte genel olarak uygulanan ön işlemler, ayıklama, sınıflandırma, kabuk soyma, bölme-dilimleme-doğrama ve çekirdek çıkarma gibi işlemlerdir. Ayrıca elmada olduğu gibi bazı meyvelerde hafif bir haşlama, erik ve üzümde olduğu gibi bir alkali çözeltilisine daldırma, elma, şeftali, üzüm ve kayısıda olduğu gibi kükürtleme işlemi uygulanmaktadır. Alkali çözeltilisine daldırma işleminde odun külü ve zeytinyağından hazırlanan çözeltiler kullanılmaktaydı. Gerçekte güçlü alkali nitelikte bir materyal olan odun külü, yerini daha sonra K_2CO_3 (potasyum karbonat) ve $NaOH$ gibi alkali bileşiklere bırakmıştır. Kükürtleme işlemi için; Sülfid tuzları, bisülfid tuzları, SO_2 gazı ve toz kükürt kullanılmaktadır. (Cemeroğlu1986 ; Başoğlu 1987)

2.2.10.b. Organik materyallerin haşlanması

Su aktivitesinin 0,75'ten aşağıya düşürülmesi ile gıdalarda enzim aktivitesi engellenir. Haşlama gibi kısa süreli ısı işlemlerde işlem görmemiş sebze enzim inaktivasyonu (eylemlerini durdurma) için kullanılabilir. Enzimler, nişastanın glukoza dönüşümünde kullanılarak gıdanın duyusal özelliklerini geliştirilebilir. Enzim aktivitesi gıdanın besinsel değerini düşmesine ve renginin kararmasına (bitkilerde bulunan renksiz polifenollerin dehidrejenasyonu ve oksidasyonu) yol açar Oksidatif kararma armut, elma, muz, kiraz, üzüm gibi meyvelerde önemli bir kalite sorunu oluşturur (Ramaswamy 2004). Bu kararma reaksiyonları kurutulacak ürün için görsel kalitenin düşmesine sebep olduğu için, tüketicinin tercih etmemesine ve kurutma işletmecisinin ekonomik zarara uğramasına neden olur (Robert *et al.* 1996). Haşlama ile polifenol oksidaz enzimi inaktive edilebileceği gibi yetersiz haşlama ile de istenmeyen reaksiyonlar hücrenin zarar görmesinden ötürü başlatılabilir. Uygun olmayan ısıtma koşulları, birbirinden ayrı durumda olan enzim ve substratın bir araya gelmesine neden olduğundan, bozulma reaksiyonlarını hızlandırabilmektedir (Fellows 2000).

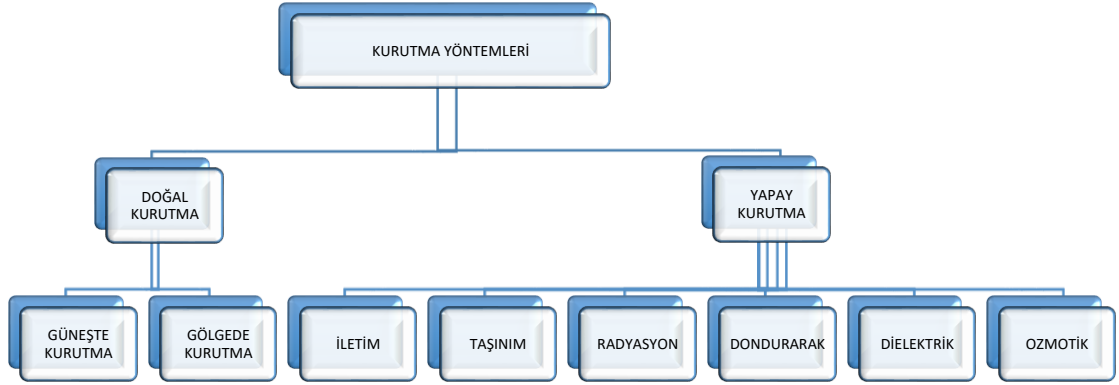
2.2.11. Kurutma hızına etki eden faktörler

Kurutma hızına etki eden iç ve dış faktörler;

- ❖ Ürünün fiziksel özelliği: Ürünün geometrik şekli, büyüklüğü, yerleştiriliş şekli, yüzey alanı ve kalınlığı etkilidir. Kuruma hızı, parçacığın yüzey alanıyla doğru, kalınlığı ile ters orantılıdır.
- ❖ Ürünün kimyasal özelliği: Ürünün kimyasal yapısı kuruma olayı boyunca değişir. Şeker, tuz gibi çeşitli maddelerce zengin bir gıda, bu maddeleri içermeyenlerden daha zor kurur. Çünkü çözünmüş maddeler organik madde içerisindeki suyun buhar basıncını düşmesine sebep olmaktadır ve su daha zor buharlaşmaktadır. Ayrıca, içeriğinde nişasta ve pektince zengin ürünler kurutulması zor ürünlerdendir.
- ❖ Hava hızı: Yüzey filmin kalınlığı yüzey üzerindeki hava hızı ile ters orantılıdır. Teorikte hava hızı ile kuruma hızı doğru orantılıdır (Gökoğlu 2002).
- ❖ Hava sıcaklığı: Kurutma havasının sıcaklığının artışı ile maddeye aktarılacak ısı transferinin miktarı ve dolayısıyla kuruma hızı artar.
- ❖ Kuru ve yaş termometre sıcaklıkları: Kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki fark ne kadar yüksekse kuruma hızı da o kadar yüksektir (Cemeroğlu 1986).
- ❖ Ürünün yetiştiriliş şekli: Rafların dizilişi, hava geçit boyutları, hava hızları ve türbülans gibi faktörler hem kurutmaya hem de kurumanın homojen olabilmesine etki eder.

2.2.12. Kurutma yöntemleri

Kimya, gıda, tekstil gibi pek çok endüstride kurutma oldukça önemli bir işlemdir. Büyük ölçekte enerjinin harcandığı bu işlemlerde, ürün kalitesi ve enerji tasarrufu açısından uygun kurutucu seçimi oldukça önemlidir. Kurutma yöntemlerinden konvektif kurutma, ışınım ile kurutma, donma ile kurutma, ozmotik kurutma, dielektrik kurutma, en sık kullanılan kurutma yöntemleridir. Örneğin, kurutma işleminin temel özelliğine uygun yöntem olarak dielektrik kurutma seçilirse daha sonra bu kurutma için mikrodalga ışını, kızıl ötesi ya da radyo dalgasının mı kullanılacağına karar verilmelidir. Ancak bu işlemler seçilirken işlem maliyeti, kurutmanın yapılacağı mevsim, iş gücü ve kurutma süresi göz önünde bulundurulmalı ve en ekonomik yöntemin seçilmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 2.3. Kurutma yöntemleri

Kurutma yöntemleri genel olarak doğal ve yapay kurutma adı altında iki grupta toplanabilir. Ancak bu grupları da kendi aralarında alt gruplara ayırmak mümkündür. Günümüz endüstrisinde 200'e yakın kurutucu tipi kullanılmasına rağmen, bunlardan 20 kadarı gıdaların kurutulmasına uygundur (Baker 1997; Dadalı 2007).

2.2.12.a. Doğal kurutma (Güneşte kurutma)

Güneş enerjisinden yararlanılarak açık havada gerçekleştirilen en ilkel kurutma yöntemidir. Tabii kurutma olarak adlandırılan bu kurutma işleminde, ürün güneş enerjisinden yararlanılarak açık alanda kurutulur. Kurutmanın gölge de gerçekleştirilmesi halinde gölgede kurutma olarak adlandırılır Bu kurutma işlemleri sırasında toz, toprak, yağmur ve kurutma alanlarında dolaşmakta olan böcek ve hayvanların zarar vermesi gibi birden fazla dış etken kalite kaybına neden olmaktadır. Ayrıca kurutma işlemi uzun sürmekte ve işlem için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bütün bu dezavantajlarına rağmen özellikle tropikal bölgelerde en çok tercih edilen yöntemdir.

2.2.12.b. Kontakt kurutma (Kondüksiyon)

Kurutulacak maddeye ısının iletim yolu ile gerçekleştirildiği kurutuculardır. Bu kurutucularda, kurutulacak malzeme ile ısıtılan yüzey temas halindedir ve ısı ürüne

kondüksiyon yoluyla iletilir. Yaygın olarak kâğıt ürünlerin kurutulmasında kullanılır (Yüzgeç 2005).

2.2.12.c. Konveksiyon kurutma

Isının taşınım yolu ile kurutulacak olan nemli maddeye iletilmesi şeklindedir. Gerekli olan ısı, gazın ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığı (genellikle sıcak hava tercih edilir) ve bu akışkanın kurutma sistemi içinde dolaştırıldığı kurutma sistemleridir. Kurutucu akışkan kurutulacak materyalin üzerinden veya içinden geçirilir. (Yağcıoğlu 1999).

2.2.12.d. Radyasyon ile kurutma

Kurutulacak olan ürün bünyesindeki nemin uzaklaştırılması için gerekli olan ısı, kızılötesi ışın kaynağından alınarak kurutma sağlanır (Nasıroğlu 2007). Işınları yayıcı düzeneklerin enerjileri, elektrik, doğal gaz ya da sıvılaştırılmış petrolden elde edilir. Kızıl ötesi kurutma işlemi, kurutulacak materyali homojen bir şekilde ısıtır. Düşük bakım masraflı ve daha uzun ömürlü olmasına karşın ışınların içinden geçtikleri materyalin yüzeyi itibariyle etki edebildiği derinliğinin (nüfuz ya da penetrasyon) miktarı azdır (Yağcıoğlu 1999). Daha derine nüfuz edebilme daha düşük frekanslarda gerçekleşirken, daha yüksek frekanslı uygulamalarda kurutulacak ürünün yüzeyinde fazla ısınmaya neden olmaktadır (Sosa-Morales *et al.* 2004). Yaygın olarak son kat boya yüzeyleri ile kâğıt tabaka kurutulması işlemlerinde kullanılır.

2.2.12.e. Dondurarak kurutma (Liyofilizasyon)

Bu yöntemde, kurutulacak materyal önce hızlı bir şekilde -25, -30°C değerlerine kadar soğutulur ve ürün içindeki nemin önemli bir kısmı katı hale getirilir. Daha sonra ürün etrafındaki basınç düşürülerek buzun süblümleşmesi sağlanır (Özgül 2007). İşlemden kullanılan süblimnasyon ısısı kondüksiyon veya radyasyon yolu ile verilir. Dondurarak kurutma, eczacılık, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, kahve ekstratı vb. ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır (Yağcıoğlu 1999; Aktaş 2007).

2.2.12.f. Ozmotik kurutma

Bu yöntemde, yarı geçirgen zarla kaplı olan organik maddenin (bitki hücresi gibi) duvarının iç kısmı ile dış çevre arasında, ozmotik basınç farkı yaratılarak, materyalin içerdiği suyun miktarı azaltılması prensibine dayanır. Kurutulacak olan organik materyalin ozmotik basıncı yüksek bir çözelti içine daldırılarak nemin azalması sağlanır. Diğer yöntemlere nazaran ürünlerin mikrobiyal etkinliklerini stabil halde kalmasını amaçlamaktadır. Ürünün içine daldırılacağı ozmoaktif ortam, çeşitli sıcaklık ve derişimlerde genellikle meyveler için şeker, sebzeler için tuz çözeltileri olarak hazırlanmaktadır. Osmotik yöntemle kurutma işlemi sonunda organik tarım ürünlerinin nem düzeyi %20-50 civarına kadar çekilmektedir. Bu işlem kurutmadan çok nem miktarını düşürme (dehidrasyon) işlemi işlemidir (Yağcıoğlu 1999).

2.2.12.g. Dielektrik kurutma

Elektromagnetik tayfın (birleşik bir ışık demetinin içinden geçtikten sonra ayrıldığı basit renklerden oluşmuş görüntü) kızılötesi bandını da kapsayan dalga boylarında işlemler gerçekleşir. Dielektrik kurutma sistemlerinde 1-100 Mhz aralığında frekans bandı kullanılır. Kurutma işleminin gerçekleşmesi için kullanılan ısı, mikrodalga bölgesinde çok yüksek frekansa sahip bir elektromagnetik alana yerleştirilen malzemenin içerisinde termal enerji şeklinde üretilir. Termal enerjinin üretilmesi ise elektromagnetik alan yönünde gerçekleşen hızlı değişimlerin moleküler sürtünme oluşturması sonucu olarak açığa çıkması şeklindedir (Yüzgeç 2005). Suyun dielektrik sabiti katıların birçoğunun dielektrik sabitinden fazla olduğundan su, kuru materyal içerisindeki ısınır ve buharlaşma meydana getirir. Oluşan su buharı da dış ortam ile meydana gelen basınç farkından dolayı materyal dışına çıkar (Zhao *et al.* 2000). Kurutma etkinliğinin yüksek olması, ürünün yapısal bozulmalarına neden olmaması, kurutmanın homojen bir şekilde gerçekleşebilmesi ve kuruma süresinin diğer kurutma yöntemlerine göre daha kısa olması gibi avantajları vardır. Gıda sanayisinde kahvaltılık tahılların, bisküvi ve kraker gibi ürünlerin kurutulmasında sıkça kullanılır (Yağcıoğlu 1999).

2.2.12.h. Mikrodalga kurutma

Mikrodalga kurutmada 300Mhz-300Ghz aralığında frekans bandı kullanılır. Işınımın dalga boyu 1nm ile 1m arasında değişmektedir. Geniş bir aralığa sahip olmasına karşın kullanılabilir olan dalga boyları FCC (Federal İletişim Komisyonu) tarafından endüstri, bilimsel ve medikal alandaki uygulamalar için sınırlandırmıştır (Zhao *et al.* 2000). Gıda maddesine mikrodalgalar gönderilmeden önce su moleküllerindeki pozitif ve negatif yükler gıda içerisinde rastgele dağılmışlardır. Gıda maddesine gönderilen mikrodalgalar, gıda içindeki su molekülleri tarafından emilir ve moleküller bu mikrodalgaların elektrik alanına göre dizilirler. Elektrik alan saniyede milyonlarca defa salınır ve gıda içindeki molekülleri uyararak konumlarını değiştirir. Bu hızlı molekül salınımları ısı oluşturarak gıda maddesinin ısınmasını sağlarlar. Bu yöntemin diğer yöntemlerden en büyük farkı ve avantajı ısıyı doğrudan gıda maddesinin içinde oluşturmasıdır. Gıda içindeki su molekülleri, diğer yöntemlerle yapılan ısıtma işlemlerinden çok daha kısa sürede, aynı derecede ısınır ve gıda maddesinden uzaklaşır (Doymaz vd 2003).

2.2.13 Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kurutucular

2.2.13.a. Fırın kurutucular

En pratik kurutma yöntemlerinden birisidir ve çok düşük bir ilk yatırım maliyetini gerektirir. Bu tip kurutucularda kurutulacak olan materyal, hareketsiz olacak şekilde ince veya kalın bir tabaka halinde serilir. Kurutma işlemi genel olarak hava şartlarından bağımsızdır. Diğer kurutuculara göre verimleri oldukça düşüktür.

2.2.13.b. Kabin kurutucular

Kabinlerinde kurutulacak olan maddeler kurutma havası ile temas yüzeyini arttıracak şekilde tepsilere yerleştirilmiştir. İşlem, kurutma havası ile ürünün temas halinde olduğu kurutma bölümünde gerçekleştirilir. Kurutulacak ürün, alt tarafı ızgara şeklinde bir tür

tepsi olan kerevetlere yerleştirilir ve sıcak hava üst üste dizilmiş tepsieler arasından ve her tepside bulunan ürünlerin üzerinden geçerek tekrar ısıtma bölgesine geri döner. Sıcak hava ürün yüzeyine paralel veya çapraz akışlı olarak geçirilebilir. Kabin kurutucuların yapımlarının kolaylığı ve başlangıç maliyetinin düşük olması genel olarak tercih sebebidir. Kabin kurutucular ile kurutma işlemlerinde karşılaşılan en temel sorun, kerevetler üzerinde homojen bir kurutma hızının sağlanamamasıdır.

2.2.13.c. Depo tipi kurutucular

Tahılların kurutulmasında sıkça tercih edilmektedir. Bu kurutmanın en önemli avantajı, kurutma sonrasında ürünün muhafaza edilmesi aşamasında depo olarak da kullanılabilmesidir. İşlem esnasında kullanılan fan, kurutmada kurutucu hava için kullanılırken, depo işlevi esnasında havalandırmayı sağlamaktadır. Yapımı basit, başlangıç maliyeti düşük ve kullanımı oldukça kolaydır. Ürün istenen nem düzeyinden fazla kurutulmadığı için enerji tasarrufu sağlanır.

2.2.13.d. Tünel kurutucular

Kabin tipi kurutucuların geliştirilmiş halidir. Kurutulması gerçekleştirilecek malzeme kurutma tüneli boyunca ray üzerindeki bir taşıyıcı üzerine istiflenir. Bu şekilde kurutulacak ürünü taşıyan bir taşıyıcı tünele sokulurken, diğer uçtan kurutulmuş ürünü taşıyan başka bir taşıyıcı tünelden dışarıya alınır. Böylece her bir taşıyıcı, tünel içinde belli aralıklarla hareket ederek kurumuş halde tünel sonuna gelir ve üzerindeki malzeme kurduğunda kurutucudan itilerek dışarıya alınır. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında en yaygın olarak kullanılan sistemlerden biri paralel ve zıt akış tünelleridir. Bu iki sistemin kurutma karakteristiği birbirinden farklıdır (Yağcıoğlu 1999).

2.2.13.e. Konveyör kurutucular

Sürekli bant sistemi olarak da bilinen bu tip kurutucuların çalışma ilkesinde, tünel kurutuculardaki kerevet ve vagonların yerini sürekli çalışan bir bant sistemi almıştır.

Paslanmaz çelikten yapılmış elek şeklinde bir bantla taşınan ürüne, alttan ve üstten sıcak hava verilir. Konveyör kurutucular, bir sezon boyunca aynı ürünü büyük miktarda kurutmak için oldukça elverişlidir. Doğranmış, kıyılmış veya parça halindeki gıdalar kurutulurken sıklıkla tercih edilir.

2.2.13.f. Döner kurutucular

Bu tip kurutucular, iç kısmında pek çok sayıda raf benzeri savurucu kanatçıklar bulunan yatay bir silindirden oluşmuştur. Bu yatay silindir, merkezinden geçen bir eksene göre dönme hareketi yapmasına imkân veren tekerleklerden oluşmuştur ve genellikle kurutucunun çıkış kısmı olan alt ucuna doğru hafif bir şekilde azalan eğime sahip bir yatağa yerleştirilmiştir. Kurutucu silindir içerisinde kanatçıklar vasıtasıyla ürün karışarak kurutma havasıyla teması sağlanmaktadır.

2.2.13.g. Püskürtmeli kurutucular

Sıvı veya çamurumsu çözelti, küçük damlacıklar halinde sıcak gaz akışı içine püskürtülür. Su damlacıklardan hızla buharlaşır ve geriye kuru katı tanecikler kalır. Kurutulan katılar, vidalı bir taşıyıcı içinden geçerek tabandan kurutucuyu terk eder.

2.2.13.h. Akışkan yatak kurutucular

Gıda maddesi üzerine hava tarafından uygulanan kaldırma kuvveti, parçacığın ağırlığına eşit olduğu zaman parçacık akışkan hale getir. Parçacığın akışkanlaşması ile kurutma yüzey alanı arttığından kütle ve ısı transferi artar.

2.2.13.i. Tambur kurutucular

Bu tip kurutucularda temel prensip, içten ısıtılan bir silindirin sıcak yüzeyine ince bir tabaka halinde yayılan sıvı veya lapa halindeki gıdanın, silindirin yüzeyinde kuruması

işlemidir. Tambur üzerine yapışan ürün kazıyıcı bir bıçak yardımıyla yüzeyden kazınır. Tambur kurutucularda kurumuş ürünün nemi ve kuruma hızı; tamburun dönüş hızına, yüzey sıcaklığına, ürün filminin kalınlığına, ürünün katı madde içeriğine ve yüzey gerilim özelliklerine bağlıdır.

2.2.14. Kaynak özetleri

Sui *et al.* (2011), çalışmalarında hasat sonrası kaliteyi korumak için etkili bir mikrodalga ön işleme kullanmışlardır. Biberiye yapraklarının ön işleminde, karsonik asit ve rosmarinirik asitin içeriği için yaprakları dört farklı depolama koşulunda (güneş ışığı, gölge, 20 ve 55°C) incelemişlerdir. Biberiye yaprakları ön işlemden sonra (800W ve 15 dk.) depolama süresinde herhangi bir muamele görmemiş numunelerle kıyaslama yapıldıktan sonra karsonik ve rosmarinirik asitin bozulma oranları önemli ölçüde düşürüldüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca önceden işlenmiş yaprakların asit tutulması gölgede saklanırken diğer şartlara göre daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Ön işlem süresi boyunca uçucu yağ elde etmek için eş zamanlı olarak mikrodalga radyasyonu kullanılmış ancak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Ön işlem sayesinde biberiye ve aromatik bitkilerden esansiyel yağlar uzaklaştırılabileceği özetlenmiştir.

Özcan and Chalchat (2017), Konya ilinde toplanan biberiye yapraklarının uçucu yağı gaz GC-MS ile analiz etmişlerdir. Yağ verimi hidrodistilasyonla elde edilen bitkinin hacim/kuru ağırlık oranı %1,9 olarak bulunmuştur. Yağların %99,93 ünü temsil eden 20 bileşik tanımlamışlardır. Yağların ana bileşeni p-cymene (%44,02), linalool (%20,5), g-terpinen (%16,62), timol (%1,81), b-pinen (3,61), a-pinen (%2,83) ve okaliptol (2,64) olarak belirlenmiştir.

Rao *et al.* (1997), Hint biberiye yağının 25 bileşeni GC-MS ile analiz edilmiştir. Taze biberiye yaprakları konvektif kurutucuda (45°C) ve mikrodalga fırında (175, 385 ve 595 W) kurutmuşlardır. Daha hızlı kurutmasına rağmen, mikrodalga kurutma sırasındaki ağır uçucu yağ kayıplarının daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Arslan ve Özcan (2007), biberiye yapraklarını güneşte, 50°C fırında ve 700 W gücünde mikrodalga fırında kurutmuşlardır. Fırında kurutulmuş biberiye yapraklarının mineral içeriği, güneş ve mikrodalga ile kurutulmuş örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Logaritmik ve Küçük Modelleri fırın ve güneşte kurutma verilerini en iyi temsil eden modeller olarak bulunmuştur. Page, Modified Page, Midilli ve Küçük modelleri ise mikrodalga kurutma verileriyle iyi bir uyum yakalamıştır.

Mghazli *et al.* (2017), biberiye yapraklarının kuruma kinetiğini incelemiştir. Kurutma kinetiği, ayrı bir güneş kolektörü ve kurutma ünitesi içeren aktif güneş kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Kurutma da 4 farklı hava sıcaklığı (50,60,70 ve 80°C) ve iki farklı hava akış hızı (150 m³/h ve 300 m³/h) ile 26 -37°C hava ortam sıcaklığında çalışılmıştır. Sıcaklık yükseldikçe kuruma süresi azalış göstermiştir. Kuruma akış hızı, düşük sıcaklıklar için önemliyken yüksek sıcaklıklar için önemli olmadığı saptanmıştır. Midilli modeli kuruma verileriyle en uyumlu ince tabaka kurutma modeli olarak belirlenmiştir. Difüzyon katsayısı $9,74 \times 10^{-11}$ - $1,48 \times 10^{-10}$ aralığında bulunmuştur.

Polatçı ve Taşova (2017), mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan dereotu yapraklarının kuruma kinetiğini ve renk değişimini araştırmışlardır. Kurutma işlemi 360 W ve 540 W mikrodalga güçleri gerçekleştirilmiştir. Kurutulan dereotu yapraklarının kroma ve toplam renk farklılığı değerleri açısından taze ürünün özelliklerini en iyi muhafaza eden kuruma şartlarının 360 W güçte 50 saniye olduğu belirlenmiştir. Her iki güç kademesinde de kuruma eğrilerini en iyi tahmin eden modelin Midilli-Küçük olduğu belirlenmiştir.

Kuş (2016), 5 mm kalınlığında Deveci tipi armut dilimlerini ve 4 mm kalınlığında ayva dilimlerini mikrodalga ile çalışan bantlı kurutucuda kurutmuşlardır. Renk kalitesinin en iyi korunduğu şartlar 2800 W mikrodalga gücü ve 0,175 m/dk bant hızında gerçekleşmiştir.

Özbek ve Dadali (2007), ince tabaka kurutma modeli ile nane yapraklarını mikrodalga bir (180-900W) altında kurutmuşlardır. Yapılan deneyler ile nem oranı, kuruma hızı, kuruma

süresi ve difüzyon katsayısı bulunmuştur. Midilli *et al.* modeli kuruma karakterini en iyi temsil eden model olarak bulunmuştur.

Sarimeseli (2010), kişniş bitkisinin mikrodalga bir fırında kurutulmasını 180-900W aralığında incelemiştir. Etkin difüzyon katsayısı $6,3 \times 10^{-11}$ – $2,19 \times 10^{-10}$ m²/s değişen kişnişin, artan mikrodalga enerjisi ile rehidrasyon kapasitesinin düştüğü, renk parametrelerinde ise dikkate değer bir değişme gözlenmediği belirtilmiştir.

Sunulan bu çalışmanın amacı, biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) bitkisinin kuruma karakteristiği ve kalite özelliklerine kurutma koşullarının etkisinin değerlendirilmesi üzerine odaklanmıştır. Taguchi yöntemi kullanılarak; toplam renk değişimi, rehidrasyon kapasitesi ve yağ asit miktarlarını optimum yapan kurutma şartlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.)

Takım: Tubiflorales

Familya: Lamiaceae (Ballıbabagiller)

Cins: *Rosmarinus*

Tür: *Rosmarinus officinalis* L.



Şekil 3.1. Biberiye bitkisi

Yöresel Adları: Biberiye, Kuşdili Otu, Hasalban, Lacivert Gül, Kisre, Itırların Prensi, Rosmarin (Baytop 1994).

Lamiaceae familyası, çoğunlukla ot ve çalı formundaki tek veya çok yıllık aromatik bitkilerdir ve dünyanın her tarafında bulunur ve çoğunluğu Kuzey-Batı Asya ve Akdeniz Bölgesine yayılmış 220 cinsi ve toplamında 3500 türü de bünyesinde barındırır (Davis 1987). Türkiye’de yaklaşık 38 cins ve 400 tür yetişir ve bu türlerin 240’ı endemiktir. Endemik bitkiler, belirli bölgelere ait ve sadece o bölgede yetişen bitki türleridir. Lamiaceae familyasının uçucu yağ verimi oldukça yüksektir. Yaygın olarak Türkiye’nin

Akdeniz bölgesinde bulunur. Deniz seviyesinden yaklaşık 1000 m yüksekliğe kadar olan yerlerde doğal olarak yetişebilmektedir. Yetiştığı yerlere göre uçucu yağ bileşim oranlarının da değişmekte olduğu bilinmektedir (Angioni *et al.* 2004).

Çalimsı karakterli bir bitki olan biberiye bitkisini aynı zamanda saplı lifli bir yapıda ince ve narin dallara sahiptir. Yapraklarının yapıları karşılıklı olan, sapsız bir yapıda ve kulakçıkları mevcut olmayan biberiye bitkisinin yaprak yapısı çam yapraklarının yapısına oldukça benzemektedir. Yaprak ayası uzun oldukça olan bitkilerin üst tarafı tüysüz, koyu renkli; alt tarafı ise tüylü ve beyaz ve yeşil renkli yapısı ile bilinirler (Davis 1987). Kışın yaprak dökmeyen biberiyelerin yaprakları dil şeklindeki yapraklar 2-3 cm uzunlukta ve 2-4 mm genişliktedir. Çiçekleri dallarının ucunda ve yaprak koltuklarında küçük topluluklar halinde bulunur. Mavimsi beyaz, mor ve eflatun renkli olan çiçekler bir eksen üzerinde ve salkım şeklindedir. Çanak yaprakları tüp şeklinde, iki dudaklı ve çok tüylüdür. Taç yaprakları da tüp şeklindedir (Davis 1987). Yapraklarında %8 tanen ve %1-2 uçucu yağ bulundurur. Uçucu yağın içinde; %5-12 kafur, %20 bornil asetat, %15-30 sineol, bir miktar pinen ve acı madde bulunur. (Yaşar 2005) Yetiştığı yerler genellikle yazları sıcak kurak, kışları ise bol yağış alan bölgelerdir. 1500-1700 m yüksekliklere kadar dağılmasında iklim farklılıklarına dayanması ve serin iklim koşullarında da kolayca üretilmesi etkindir. Toprak isteği yönünden fazla seçici olmayan kolay bir bitkidir (İlisulu 1992).

En ucuz baharatlardan biri olan biberiye bitkisi, hemen hemen her türlü gıda içerisinde baharat şeklinde tüketilebilir. Gıda sanayinde ise baharat ve türevleri olmak üzere, alkolsüz içecekler çeşni ürünü, etler, şekerleme, dondurma ve fırın ürünlerinde sıklıkla kullanılır (Korkut 2017). Gıda sanayisinde kullanımının dışında, son zamanlarda sentetikler kadar etkili olan biberiye antioksidanları üretilmektedir. Antioksidanlar, serbest radikalleri nötralize ederek vücudun onlardan etkilenmemesini veya kendini yenilemesini sağlar. Özetle antioksidanlar, oksijen ile reaksiyona girerek gıda içindeki olumsuz etkileri engelleyen maddeler olarak tanımlanabilirler. Böylece antioksidanların sentetik olarak tüketilmesi yerine doğal ürünlerden üretilerek tüketilmesi insan sağlığı açısından daha çok daha olumlu sonuçlar vermektedir.

Türkiye'nin ihraç ettiği önemli tıbbi ve baharat bitkileri arasında biberiyede bulunmaktadır (Bayram vd 2010). Ciddi miktarda tüketimi olan biberiyenin yüksek uçucu yağ miktar, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri olduğu bilinmektedir. Biberiye losyon, kolonya ve krem yapımında ve oda havasını dezenfekte etmek amacıyla da kullanılmaktadır (Akgul and Kivanç 1988; Baratta *et al.* 1998).

Geleneksel ve tamamlayıcı tıp olarak bitkinin tedavi amacıyla kullanılmasına fitoterapi adı verilir (Anonim 2018a). Ülkemizde daha önceleri bir tedavi amaçlı olarak fazla itibar görmeyen tıbbi bitkilere son yıllarda olan talep giderek artış göstermiştir. Bu talep artışının sebebi ise sentetik ürünler ile insan yaşamının dokusunun uyuşmadığının görülerek doğal olan tıbbi bitkilerin tercih edilmesidir. T.C. Sağlık Bakanlığı, tarafından 2011 de yayınlanan yönetmelikte tıbbi özelliği bilimsel olarak tespit edilen bitkilerin ve bu bitkilerden elden edilen ilaçların tedavilerde kullanılabileceğini yayımlamıştır. 2013 yılında yapılan bir çalışma ile 'Geleneksel Tamamlayıcı Tıp' başlığı altında 14 adet tedavi metodu yönetmelikte yerini almıştır (Özkan 2014). Tıbbi ve aromatik bitkiler arasında yaygın olarak kimyon, anason, kekik, haşhaş, nane ve kişnişin üretimi yapılırken defne, ıhlamur, adaçayı, biberiye ve kuşburnu gibi bitkiler ise doğadan toplanmaktadır.

Biberiye bitkisi; spazm çözücü, , idrar söktürücü, ateş düşürücü, astım, romatizma gibi birçok hastalığa karşı oldukça faydalıdır. Biberiye bitkisi tamamlayıcı tıp amaçlı olarak kullanılırken tüketimde aşırıya kaçınılması durumunda ciddi alerjik tepkimelere ve epilepsi (sara) krizlerine yol açabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Seçkin 2014).

Biberiye bitkisi tamamlayıcı tıp amaçlı olarak;

1. Tohumlardan hazırlanan dekoksion (biberiyenin yaprak ve genç sürgünlerinin suya atılıp iyice kaynatılarak sıcakken süzülüp hazırlanması işlemi), saç yağlanmasına karşı içilmektedir. Biberiye yağının saç foliküllerini (saçın içinde büyüdüğü yapı) uyardığı ve kelliği gidermede etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca şampuanların ve sabunların içeriğine eklenmektedir. Cilt toniklerinin yanı sıra akne tedavisinde de kullanımı mevcuttur.

2. Çiçekli ve yapraklı filizlerden hazırlanan infüzyon (biberiyenin yaprak ve genç sürgünleri suya atılıp iyice kaynatıldıktan sonra soğutulup süzülmesi işlemi) gaz gidermek amacı ile içilmektedir.
3. Kan şekerini düşürdüğü ve toksik etkisinin olmadığı ortaya konmuştur (Sasikumar 2004).
4. Biberiye içinde bulunan flavonoidler, karminatif (gaz giderici) etkiye sahiptir. İçeriğindeki karnosol bileşeni kas ağrılarında etkili olup biberiye yağından hazırlanan merhem romatizmaya karşı etkilidir. Aynı zamanda karnosol ve bitki ekstraktı ise kanser oluşumunu engelleyici ve karaciğer yenileyicisi olarak etki etmektedir. (Sasikumar 2004).
5. Biberiye ekstraktını oluşturan karnosol ve karsonik asit HIV virüsünün bulaşmasını engelleme konusunda etkinliğe sahiptir. Bunun yanı sıra hücelere karşı herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır (Sasikumar 2004).
6. Biberiyenin hücre yenileyici etkisi söz konusudur. İçeriği karnosol, karnosik asit, ursolik asitler nedeniyle kanser oluşumunu engelleyici özelliğe sahiptir. Fareler üzerinde yapılan bir çalışmada serbest radikallerin yol açtığı DNA tahribatından hücreyi koruduğu görülmüştür (Sasikumar 2004).
7. Çiçek ve dallarından elde edilen infüzyon soğuk algınlığı için kullanılır (Göktürk ve Elinç 2017).
8. Su ile kaynatılarak tansiyonu yükseltmek için içilmektedir.
9. Çay gibi demlenip, şeker, kolesterol, nefes darlığı, öksürük için içilmekte ve sakinleştirici olarak kullanılmaktadır.

Türkiye’de yetişen biberiyeler odun dışı orman ürünleri kategorisinde yer almaktadır. 2013 yılı verilerine göre 172 ton üretimi yapılırken 2014 yılında 758 ton ihraç edilmiştir (Kırıcı 2015). Ayrıca biberiyenin Avrupa ve Amerika’da antioksidan olarak kullanıma sunulan tek ticari bitki (Bozin *et al.* 2007) olması ülkemizde yetiştiriciliğinin yapılması önemini vurgulamaktadır.

Biberiye bitkisinin ülkemizdeki üretimine teşvik amaçlı olarak T.C. Ziraat Bankası A.Ş ve Tarım Kredi Kooperatiflerince, tarımsal üretime dair düşük faizli yatırım ve işletme

kredisi kullanılmasına ilişkin uygulama ve esasları tebliğine göre; bitkilerin stratejik üretimiyle ilgili 16 Mart 2018 tarihinde resmi gazetede yayınlanan ve karar kapsamında faiz indirimli kredi kullanabilmeleri için çeşitli tıbbi aromatik bitkilerin üretiminin yapılacak ya da yapılıyor olması zorunlu olan bitkiler arasında biberiye bitkisi de bulunmaktadır (Anonim 2018b).

3.2. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu

Deney, kontrol altındaki çeşitli durum ya da koşulların deney parametrelerinin bilinmeyen karakteristik özellikleri üzerindeki etkisinin test edilmesi amacıyla uygulanan bir işlem veya süreç olarak tanımlanır. Deney tasarımı ise deney parametrelerinin maruz kalacağı kontrol altındaki durum ya da koşulların düzenlenmesi anlamına gelmektedir (Lee 1975).

Deney tasarımı boyunca en sık kullanacağımız terimleri ve anlamlarını özetleyecek olursak;

Proses: Girdilerin çıktı haline gelmesiyle oluşan, ilgili ve birbirlerini karşılıklı olarak etkileyen çalışmalardır.

Ürün: Prosesin sonucudur.

Deney: Bir veya daha çok karakteristiğın bir prosedüre göre tayin edilmesidir.

Faktör: Deney tasarımında ilgilenilen koşul ya da durumlardır.

Yanıt : Deney birimleri ile ilgili bilgi elde edinilmek istenen yapısal özelliklerine yanıt veya bağımlı değişken denir. Bağımlı değişkenlerin alacağı değerleri etki eden kontrol edilebilir deneysel değişkenlere bağımsız değişken adı verilir.

Etkileşim: Her faktörün etkisi, başka faktörlerin düzeylerine bağlı olduğunda ortak faktörlerin ortaya çıkışıdır (Erbaş ve Olmuş 2006).

Homojen deney birimleri: Yanıt değişkenine etki edebilecek tüm karakteristikler üzerinde mümkün olduğunca tek düze olan birimlerdir (Erbaş ve Olmuş 2006).

Blok: Homojen deney birimlerinin oluşturduğu gruptur.

Tekrar: Deneyin tamamının veya bir kısmının birden fazla kez uygulanmasıdır.

DeneySEL hata: Deney birimleri arasındaki kontrol edilemeyen farklılıklara deneySEL hata adı verilir (Şenoğlu ve Acıtaş 2010).

Deney tasarımlarındaki koşul ya da durumlar belirli bir düzen ve kurallara göre gerçekleştirilmektedir. Deney tasarımının temel hatları; bloklama, rasgeleleştirme ve tekrardır. Bloklama, birbirine benzer gözlem birimlerinin seçilerek bu birimlerin gruplara (bloklara) ayrılmasıdır. Bloklama ile gözlem hücreleri etki düzeylerine göre alt hücelere ayrılarak daha homojen gözlemlerden oluşan hüceler ortaya çıkmaktadır ve böylece modeldeki hata (hata varyansı) azalmaktadır. Rasgeleleştirme, tasarlanmakta olan deneyin birimlerinin mümkün olabildiğince homojen olması istenir, bunun içinde bloklama kullanılır. Ancak deney birimlerinin çevresel koşullardan kaynaklanan farklılıkları her zaman mevcuttur. Deney birimleri arasındaki değişkenlik gösteren ölçüm değerleri üzerindeki sistematik etkisini kontrol altında tutmak için rastgeleleştirme yapılmaktadır. Tekrar, denemelerin atandıkları ya da uygulandıkları deney birimi sayısına denilmektedir (Şenoğlu ve Acıtaş 2010).

Deney tasarlanırken;

- i. Deneyin planlanması ve tasarımı,
- ii. Deneyin yapılması ve verilerin elde edilmesi,
- iii. Veri analizi ve sonuçların yorumlanması yapılır.

Üretim esaslı yapılan deneylerdeki amaç ürünün kalitesini üretimi gerçekleştirmeden belirlemektir.

Akın (1996)'ya göre kalitenin anlamı üzerine çeşitli tanımlar yapılmıştır. Bunlardan bazıları;

1. Kalite; bir ürünün veya hizmetin kalitesi, tüketici gereksinimleriyle mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılamayı hedefleyen pazarlama, mühendislik, imalat ve kalite devamı özelliklerinin bileşkesi şeklinde tanımlanır.
2. Kalite; bir ürünün kalitesi, belirlenen muhtemel ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır.
3. Kalite; Müşteri ihtiyaçlarının tatmini, operasyon performansının iyileştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla kullanılan stratejik bir araçtır.

Kalitenin belirlenirken, üretme maliyetlerinin ve bu ürünün üretim sürecinin tasarımı esnasında belirlenebileceğinden bahsedilir. Ürünün ve sürecin tasarımının uygunluğu; üretim esnasındaki kusurlar ve maliyet açısından yüksek olan üretim süreci üzerindeki kontrol gereksinimlerini azaltacaktır. Böylece doğrudan üretim maliyeti azalacaktır. Ürün ve sürece ilişkin ideal değerlere uygunluk sağlama çalışmaları sürekli iyileştirmenin itici gücünü oluşturmaktadır. Bu sürece ilişkin deneysel tasarım parametreleri geliştirilmiştir. Böylece parametreler istatistiksel olarak tasarlanan deneylerle birlikte, ürün ve süreçteki sapmaları en aza indirmede kullanılır (Peşkiroğlu 1999).

Taguchi'nin kalite sisteminde deney tasarımı off-line kalite kontrolün içindedir. Off-line kalite kontrolü; ürünün, proses ve tasarım açısından ikiye ayırmaktadır. Kalitenin sağlanma aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı üç kalite aşaması ile tanımlanır. Bunlar sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır (Şirvancı 1997).

Ürün parametre tasarımı; formül değerleri, farklı boyutlar, yüzeye ait özellikler gibi optimal değer saptanması anlamına gelmektedir. Parametre tasarlanırken ürünün değişkenliklerini en aza indirerek hem üretim hem de sonrası için maliyeti düşürmektedir. Proses parametre tasarımı, dışardan etki ile müdahale edilebilen üretim sürecindeki parametreler için optimum faktörlerin belirlenmesidir. Tasarımlardaki amaç, ürün ve

süreçte varyasyona sebep olan (yani hedef değerden farklılık, kalitesizlik) kontrol edilemeyen faktörler ile kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimum seçerek oluşabilecek çeşitlikleri minimize etmektir. Taguchi, optimize edilerek elde edilen ürün ve proses tasarımına robüst tasarım adını verir. Burada robüst, kontrol edilemeyen faktörlere (çevre koşulları gibi) ve malzemedeki değişikliklere karşı duyarsız ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır (Şirvancı 1997).

Taguchi yöntemimize göre hazırlanacak olan deney tasarımı sırasında izlenilecek adımlar aşağıdaki gibidir.

1. Faktör seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi,
2. Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi,
3. Doğru düzeneğin seçilmesi,(ortogonal dizi seçim tablosun)
4. Faktörlerin aralarındaki etkileşimlerinin tabloya yerleştirilmesi,
5. Deneyin planlanan adımlara göre gerçekleştirilmesi,(testlerin gerçekleştirilmesi)
6. Sonuç analizi,
7. Doğrulama deney ya da deneylerinin yapılması.

Bu adımların takip edilmesi sonucunda; süreç veya ürünün elde edilmesi esnasında en iyi performansı veren deney parametreleri belirlenebilecek, deney ya da deneylerle etkisi incelenen faktörlerin kalite üzerindeki etkisi tahmin edilebilecek ve en iyi deney parametreleri sonucunda elde edilebilecek olan kalite üzerinde fikir sahibi olunabilecektir (Yang 1998).

Profesör Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılabilmesi için sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü (S/G) oranı tanımlamıştır:

1. En Küçük - En İyi: Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda;

$$S/N = -10.\log(\sum Y^2/n) \text{ olur.} \quad (3.1)$$

2. En Büyük – En İyi: Bu tür problemlerde kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sonsuzdur. Bu durumda;

$$S/N = -10.\log[\sum(1/Y^2)/n] \text{ olur.} \quad (3.2)$$

3. Hedef Değer – En İyi: Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y için hedef bir değer verilir. Bu durumda,

$$S/N = 10.\log(\sum \bar{Y}^2/S^2) \quad (3.3)$$

Her üç tip problemde de amaç sinyal/gürültü oranını maksimize etmektir. Çünkü S/G oranının maksimize edilmesi, bir yandan sinyali artırırken, diğer yandan da varyasyonu azaltmaktadır (Şirvancı 1997). Birçok uzman varyasyon nedenlerini; olağan nedenler (sistem kaynaklı), özel nedenler (olağan dışı) olarak tanımlamışlardır. İstatistiksel kalite kontrol ve kalite geliştirme yöntemlerinde varyasyon ölçülürken genellikle iki ölçü kullanılır:

1. R, örneklem aralığı:

$$R = \text{En büyük gözlem değeri} - \text{En küçük gözlem değeri} \quad (3.4)$$

Aralık R'nin hesabı son derece pratiktir. Bu nedenle, kontrol tablolarında kontrol sınırlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ancak, R aşırı büyük ve aşırı küçük değerlerden çok fazla etkilenmektedir. Varyasyon ölçüsü olarak bilinen R'nin yerine, hesaplanması biraz daha zor olmasına rağmen standart sapma olan S tavsiye edilir.

2. S, örneklem standart sapması:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum (Y - \bar{Y})^2 \quad (3.5)$$

S, Standart sapma, örneklem varyansı S^2 'nin kareköküdür. \bar{Y} , kalite değişkeninin ortalaması olarak hesaplanır (Şirvancı 1997).

3.3. Yaprak Boyutları Analizi

Kuruma davranışı belirlenecek olan biberiye bitkisinin yapraklarından rasgele olarak seçilen 10 tanesinin boyu ve kalınlığı kumpas (BAYTAS ELEKTRONIC DIGITAL CALIPER) yardımı ile belirlenmiştir.

3.4. Kurutma Deneyleri

Biberiye yapraklarının kurutulması işlemi BEKO MD 1505 markalı mikrodalga fırında gerçekleştirilmiştir. Taguchi deney tasarımına göre belirlediğimiz deney parametrelerimiz; Mikrodalga gücü, ön işlem ve kurutulacak olan maddenin miktarıdır. Parametre seviyeleri; mikrodalga gücü; 180W, 600W ve 900W, ön işlem için %2,5 ve %5'lik tuz çözeltisi ve madde miktarı, 10, 20 ve 30 g olarak belirlenmiştir. Şekil 3.2 ile kurutma deneyine hazırlanan biberiye yaprakları resmedilmiştir.



Şekil 3.2. Kurutma deneyi için hazırlanan biberiye yaprakları

Çizelge 3.1'den Taguchi'nin ortogonal dizi seçimi, 3 parametre ve 3 seviye için seçilen L_9 ortogonal dizinine uygun olarak yerleştirilmiştir. Ön işlem gerektiren deneyler için 2 dk süreyle sırasıyla %2,5 ve %5'lik tuzlu su çözeltisinde gereken deneyler için numuneler bekletilmiştir ve daha sonrasında süzülen numuneler kurutma işlemine alınmıştır. Çizelge 3.1 de dikkate alınarak tek tabaka halinde mikrodalga fırının plakasına yayılan numuneler sabit tartıma ulaştığında sonlandırılmıştır. Kurutulan numuneler kilitli polietilen torbalarda saklanarak daha sonraki analizler için muhafaza edilmiştir. Biberiye yaprakları, çizelge 3.1 dikkate alınarak kurutulmuştur.

Çizelge 3.1. Taguchi L_9 (3^4) ortogonal deney tasarım matrisi ile deney şartları

Parametreler	PARAMETRE SEVİYELERİ		
	1	2	3
A Mikrodalga gücü, W	180	600	900
B Ön işlem (% NaCl)	0	2,5	5
C Made miktarı ,g	10	20	30

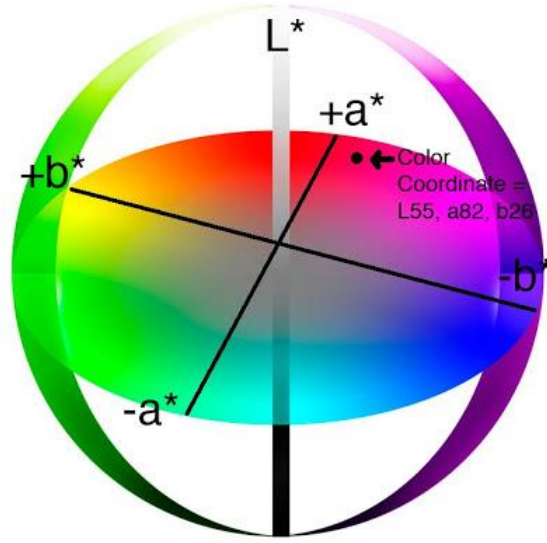
3.5. Yaprak Renk Analizi

Taze ve kurutulmuş biberiye yapraklarının renk ölçümleri Konica Minolta Kroma-Metre CR400 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Taze biberiye yapraklarının ve kurutma işlemi gerçekleştirildikten sonraki biberiye yapraklarının renk ölçümleri Şekil 3.3'de gösterilen Konica Minolta Kroma-Metre CR 400 ile yapılmıştır. Yapılan renk ölçümleri üç kez tekrarlanarak ortalaması alınmıştır.2



Şekil 3.3. Konica Minolta Kroma-Metre CR400

L^* , a^* ve b^* renk modeli; sarı-mavi ve yeşil-kırmızı eksenlerine dayanan koordinatlar kullanılır. L^* , a^* ve b^* renk uzayının iyi dengelenmiş yapısı, bir rengin aynı zamanda hem yeşil hem kırmızı veya hem mavi hem sarı olamayacağı teorisi üzerine kurulmuştur (Şahinbaşkan 2002). Böylelikle kırmızı-yeşil ve sarı-mavi sıfatlarını tanımlayabilmek için basit değerler kullanılmıştır. Şekil 3.4 de gösterilen uzay-renk haritasında L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla; L^* açıklık koyuluk, a^* kırmızı-yeşil değerini, b^* ise sarı-mavi değerini gösterir (Speirs 2003).



Şekil 3.4. 3 boyutlu renk-uzay haritası

- ❖ ΔL (L^* örnek – L^* standart) = açıklık ve koyuluk arasındaki farkı temsil etmektedir, (+ daha açık renk , - daha koyu renk)
- ❖ Δa (a^* örnek – a^* standart) = kırmızılık ve yeşillik arasındaki farkı temsil etmektedir, (+ renk daha kırmızı, - renk daha yeşil)
- ❖ Δb (b^* örnek – b^* standart) = sarılık ve mavilik arasındaki farkı temsil etmektedir, (+ renk daha sarı, - renk daha mavi)
- ❖ $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ Toplam renk sapması. (3.6)

Kurutulmuş ve taze biberiye yaprakları örneklerinin renk ölçümlerine yönelik saptamalar sonucunda elde edilen değerlerden; toplam renk sapması (ΔE), renk parlaklığı sapması (ΔL), kırmızı renk sapması (Δa), sarı renk sapması (Δb) gibi kurutma sonunda oluşan çeşitli renk kriterleri hesaplanmıştır (Anonymous 2018b).

3.6. Kuru Madde Tayini

Biberiye yapraklarının nem içeriğinin tayin edilebilmesi için, darası alınmış 5 g örnek bir petri kabına yerleştirilerek 45°C 'ye ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelene kadar (48 saat) kurutulmuştur. Tartımlar Electronic Balance FX-3200 tartım cihazı ile yapılmıştır.

Kurutma deneylerinde genellikle kurutulan maddenin nem içeriği hesaplanırken kuru bazda nem içeriğine göre hesaplamalar yapılır. Çünkü katı maddeden uzaklaştırılan nem miktarı hesabı daha pratiktir ve kolaylıkla belirlenir. Şekil 3.5 ile nem içeriği analizine hazırlanan biberiye yaprakları gösterilmiştir.

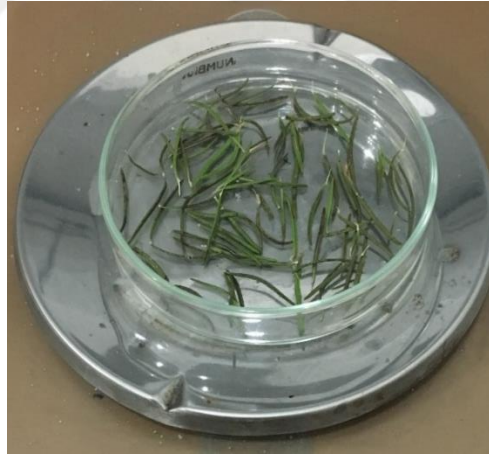
Kuru baza göre kuru madde nem miktarı:

$$M_{kb} = \frac{m_0 - m_k}{m_k} \quad (3.7)$$

m_0 : Başlangıçtaki madde miktarı (g),

m_k : Kuru madde miktarı (g),

M_{kb} : Kuru baza göre nem içeriği (g su / g kuru madde) olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.5. Nem içeriği analizine hazırlanan biberiye yaprakları

3.7. Kuruma Hızı

Kurutma deneylerinde kullanılan ürünlerin kuru baza göre nem içeriği eşitlik (3.8) ile hesaplanır.

$$M = \frac{M_s}{M_k} \quad (3.8)$$

M , nem içeriğini (g su/g kuru madde),
 M_s , su miktarını (g),
 M_k , kuru madde miktarını (g) göstermektedir.

Kurutma hızını ise eşitlik (3.9) yardımıyla hesaplanır (Doymaz 2006; Karaaslan ve Tunçer 2009).

$$R = \frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (3.9)$$

Denklemden; R , kurutma hızı ((g su/(g kuru madde * zaman)),
 M_t , t anındaki nem içeriği (g su/ g kuru madde),
 $M_{t+\Delta t}$, $t+\Delta t$ anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde),
 Δt : iki ölçüm arasında geçen süre (s) olarak ifade edilmektedir.

Nem oranı (MR) ise eşitlik (3.10) yardımıyla hesaplanır (Karaaslan ve Tunçer 2009).

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} \quad (3.10)$$

M , herhangi bir veaki su miktarıdır (g su /g kuru madde),
 M_0 , Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarıdır (g su /g kuru madde),
 M_t , t süre sonunda kurumuş ürünün içerdiği su miktarıdır (g su /g kuru madde),
 M_d , kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarıdır. (g su/g kuru madde)

3.8. Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

$$\frac{\delta M}{\delta t} = \nabla \cdot (D_{ef} \cdot \nabla M) \quad (3.11)$$

Fick'in ikinci yasası ile çeşitli gıda maddelerinin ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan bu teorik model, çeşitli geometriler için belli başlangıç ve

sınır şartları kullanılarak çözülmektedir. Teorik model kullanılırken başlangıçta nemin ürün içerisinde üniform olarak dağıldığı, aktarımın tek boyutlu olduğu, kurutma süresince büzülmenin olmadığı, iç ve dış ısı transferlerinin de ihmal edildiği kabul edilir (Mengeş ve Ertekin 2007).

Kartezyen koordinatlar için Fick'in 2.kanununun seri açılımı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 + \pi^2 \cdot D_{eff}}{4 \cdot L^2} t\right) \quad (3.12)$$

D_{eff} : Etkin difüzyon katsayısı (m²/s)

L: Dilim yarı kalınlığı (m),

t: süre (s) olarak ifade edilmektedir.

Uzun kurutma süreleri için kartezyen koordinatlardaki (3.12) denklemin ilk terimi çözüm için kullanılır.

$$MR = \frac{M_t}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot D_{eff}}{4 \cdot L^2} t\right) \quad (3.13)$$

Etkin difüzyon katsayısının (D_{eff}) hesabı için (3.13) denkleminde her iki tarafın ln'li ifadesi alınır ve kurutma süresine karşı ln(MR) grafiklerinin eğimi ile belirlenir (Sharma ve Prasad 2004; Sharma 2005).

$$\ln(MR) = \frac{M_t}{M_0} = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 \cdot D_{eff}}{4 \cdot L^2} t\right) \quad (3.14)$$

3.9. Rehidrasyon Kapasite Tayini

Kurutulmuş bir ürün için rehidrasyon yeteneği onun belirli bir sıcaklıktaki suda bekletilmesi sonucunda kazanacağı su miktarının ölçüsüdür. Rehidrasyon yoluyla

kazanılan suyun ölçümü sırasındaki ortam şartları rehidrasyon değerine doğrudan etki ettiğinden bu işlemin nasıl gerçekleştirildiği ayrıntılı olarak tanımlanmalıdır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Rehidrasyon deneyleri yaklaşık 2,5-5 g arasında değişen kurutulmuş biberiye örnekleri ile yapılmıştır. Bunun için çalışılacak rehidrasyon sıcaklığında kaynama noktasına getirilen suda (yaklaşık kaynama sıcaklığı 96°C) 2'şer dakika bekletilen biberiye yaprakları süzildükten sonra kurulama kağıdı ile nem fazlası alınarak tartım yapılır(Sarımışeli 2010).Şekil 3.6.ile rehidrasyon esnasındaki yapraklar gösterilmiştir.

Rehidrasyon kapasitesi (RC) 3.15 denklemi ile hesaplanmıştır.

$$RC = \frac{W_2}{W_1} - 1 \quad (3.15)$$

Burada W1 ve W2 simgeleri sırasıyla rehidrasyon işleminden önceki maddenin ağırlığı (g) ve rehidrasyon işleminden sonraki maddenin ağırlığını (g) göstermektedir.



Şekil 3.6. Rehidrasyon deneyi

3.10. Yağ Asitlerinin Analizi

Bir kalite parametresi olarak biberiye yapraklarındaki doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri analizleri Thermo ISQ Trace GC Ultra ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Thermo ISQ Trace GC ultra

Şekil 3.7. deki GC-MS cihazının çalışma prensibi atomlar, moleküller, radikaller veya bunların karışımlarını iyonlaştırıp bu iyonları kütle/yük oranlarına göre ayırıp ayırmaya dayanır. Yüksek hassasiyete sahip, uygulama çeşitliliği oldukça fazla ve çok hızlı sonuç alınabilmesi açısından oldukça kullanışlıdır. İnsanların beslenmeleri üzerinde oldukça önemli etkileri olan yağlar, yüksek enerji kaynağı olması ve bazı vitaminleri çözmeleri gibi özelliklerinden dolayı beslenmede önemli bir role sahiptir (Olçay 2007). Yağlar, biyolojik membranlarda gerekli yapısal kısımları oluşturur ve hücre içinde gereken enerjiyi depolar (Kayahan 2009). Yağ asitleri yağların hidrolizi ile oluşan alifatik karboksilik asitlerden meydana gelmektedir. Yağ asitlerinin kimyasal, fiziksel özellikleri ve beslenme üzerindeki etkileri; moleküldeki karbon atom sayısı, doymuşluk derecesi, karbonlar arasındaki çift bağ sayısı ve karbonlara bağlı bulunan hidrojenlerin pozisyonları ile analiz edilmektedir (Karabulut 2006; Karaca 2007). Yağ asitleri iki ana gruba ayrılır:

1. Doymuş yağ asitleri: Yapılarında çift bağ bulundurmazlar. Karbon bağlarının tamamı hidrojen ile doyurulduğundan kararlı bir yapıdadırlar. Karbon tarafından oluşturulan bağlar karboksil gurubundan farklı bir grup içermediğinden yağ asitleri içerisinde en az reaktif olan asitlerdir. Yapısında bulunan karbon sayısı 10 dan daha az ise oda sıcaklığında sıvı ve uçucu özellik gösterir. Gıdalar içinde yaygın olarak bulunan doymuş yağ asitleri palmitik, stearik ve miristik asittir (Semma 2002). Doymuş yağ asitleri; gıdalarda, kozmetik sektöründe, wax ve mum yapımında, tekstil kimyasalı üretimi ve

deterjan üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca gıdalarda topaklanmayı önleyici ve bakteri karşıtı etkisinden de yararlanır. İlaç sektöründe emülgatör şeklinde kullanımı (karışmayan iki maddenin homojen görünümünü alması için kullanılan madde) yaygın olarak tercih edilir. Krem ve tıbbi merhem olarak da kullanılabilir (Nas vd 2001).

2. Doymamış yağ asitleri: Yapılarında en az bir çift bağ içerirler. Zincirli yapısında farklı uzunluk sayı ve yapıdaki çift bağa göre tekli doymamış ya da çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılırlar. Yapılarında bulunan çift bağ nedeni ile doymuş yağ asitlerine göre daha reaktiftirler. Bu reaktivite, çift bağ sayısı arttıkça artmaktadır. Doymuş ve tekli doymamış yağ asitleri insan ve hayvan vücudunda sentezlenebilir ancak çoklu doymamış yağ asitleri sentezlenemezler (Semma 2002).

a. Tekli doymamış yağ asitleri: Yağ asidi zincirinde yan yana duran karbon atomlarından her ikisinden de birer hidrojen atomu çıktığı zaman kalan karbon atomları arasında çift bağlı bir yapı oluşur. Oluşan çift bağlı bu yapıya tekli doymamış yağ asidi adı verilir. Oleik asit gıdalarda en yaygın olarak bulunanıdır.(Orbay 2014) Daha çok sabun yapımında ham madde olarak, yüzey gerilimini azaltıcı madde olarak cila üretiminde ve aşınma etkisini azaltan madde ile poliamid üretimi başta olmak üzere yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Difranco 2000).

b. Çoklu doymamış yağ asitleri: Yağ asidi zincirinde karbonlar arasında iki veya daha fazla çift bağ varsa çoklu doymamış yağ asidi olarak sınıflandırılır. Reaktifliği tekli doymuş yağ asitlerine göre daha fazladır. Yapısında var olan çift bağ sayısı arttıkça reaktifliği artmaktadır (Orbay 2014). Çoklu doymamış yağ asitlerinden, gıdalarda yaygın olarak bulunanı linoleik asittir. Esansiyel yağ asidi olan linoleik asitler insan vücudunda sentezlenemediğinden dışardan alınması gereklidir. Yetersizliğinde büyümede gecikme, deride tahrişler, karaciğer ve böbreklerde patolojik değişiklikler meydana gelmektedir (Nas vd. 2001).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

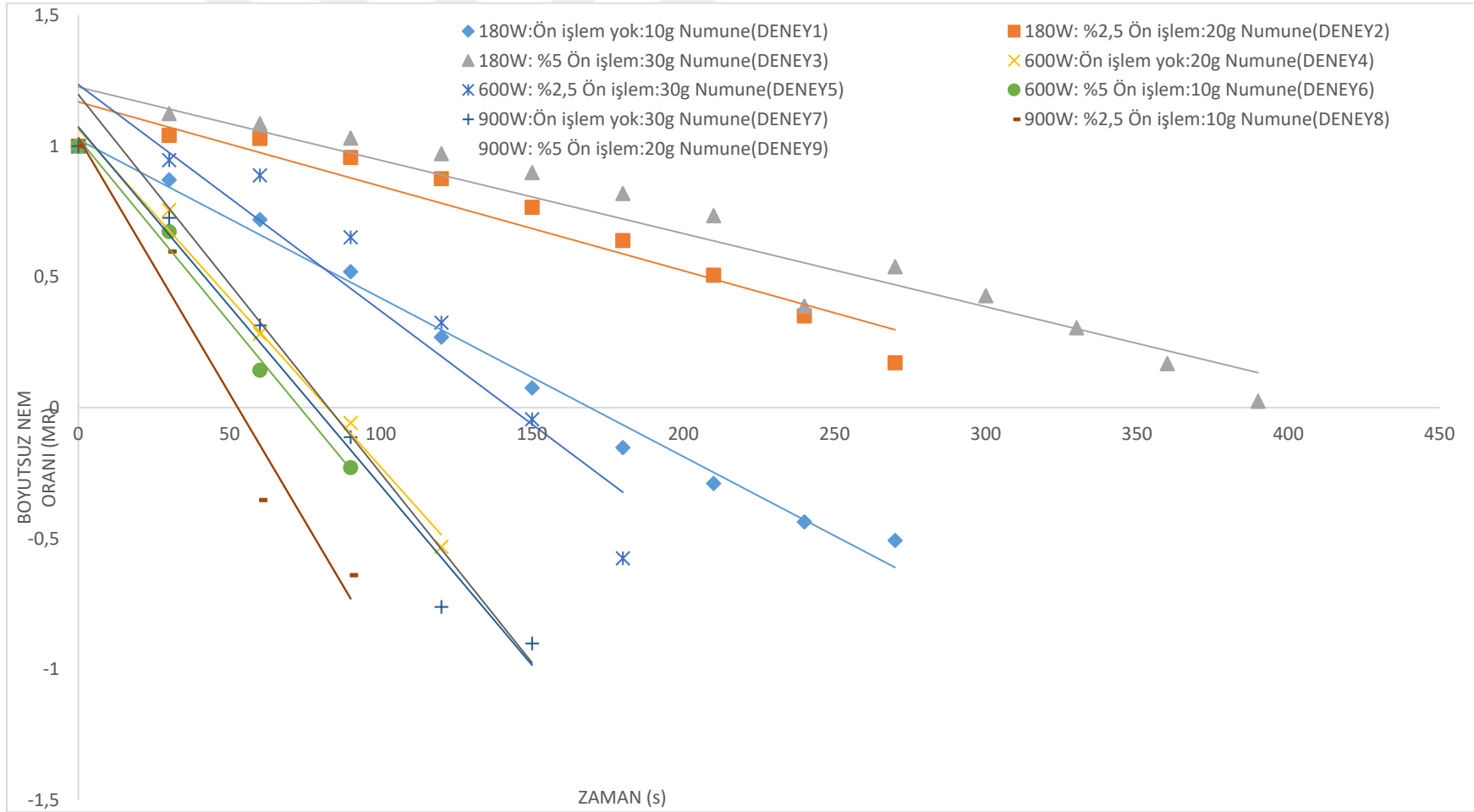
4.1. Taze Biberiyenin Özellikleri

Deneylerde kullanılan taze biberiyenin özellikleri Çizelge 4.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Taze biberiyenin özellikleri

Kalınlık	0,757 ± 0,106 mm		
Nem	%42		
Renk analiz değerleri	L*= 42,87	a*= -7,42	b*= 12,12
Yağ asit miktarları			
Doymuş yağ asitleri	Miristik asit	0,233	
	Stearik asit	6,862	
	Palmitik asit	17,845	
Tekli doymamış yağ asitleri	Palmitoleik asit	0,183	
Çoklu doymamış yağ asitleri	Linoleik asit	8,179	

Deney verileri ile $\ln(MR)$ e karşı zaman grafiği çizilmiştir. Deneylerin her biri için oluşturulan doğruların eğiminden denklem 3.14 ile D_{ef} değerleri bulunarak hesaplanmıştır. Çizilen grafik Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. MR değerlerine karşı zaman grafikleri

4.3. Difüzyon Katsayısı Hesabı

Her bir deney düzeneği için hesaplanan difüzyon katsayısı eşitlik (3.14) denklemine göre hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.2 gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. D_{ef} değerleri

DENEY NO	PARAMETRE SEVİYELERİ			Difüzyon katsayısı (m ² /s)
	A	B	C	
1	180W	Ön işlem yok	10g	3,7117x10 ⁻⁹
2	180W	%2,5 NaCl	20g	1,334 x10 ⁻⁹
3	180W	%5 NaCl	30g	1,547 x10 ⁻⁹
4	600W	Ön işlem yok	20g	4,90152 x10 ⁻⁹
5	600W	%2,5 NaCl	30g	2,032 x10 ⁻⁹
6	600W	%5 NaCl	10g	7,542 x10 ⁻⁹
7	900W	Ön işlem yok	30g	4,480 x10 ⁻⁹
8	900W	%2,5 NaCl	10g	4,000 x10 ⁻⁹
9	900W	%5 NaCl	20g	6,667 x10 ⁻⁹

4.4. Yaprak Renk Değerleri

Biberiye bitkisinin yapraklarının renk ölçümleri Konica Minolta Kroma-Metre CR400 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yaprakların taze ve kurutma işlemi gerçekleştirildikten sonraki renk ölçümleri üç (3) tekrarla yapılarak bu renk ölçümlerinin ortalaması ve

standart sapmaları hesaplanmıştır. Ölçülen bu değerler ve hesaplamalar Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kurutulmuş biberiye yapraklarının L*,a ve b* değerleri

DENEY NO	L	a	b	Toplam Renk Değişimi (ΔE)
1	49,18±2,32	-2,55±2,05	16,55±2,20	9,11±0,74
2	46,57±2,25	-2,19±2,07	14,85±2,21	8,62±0,76
3	43,65±2,12	-2,44±2,05	12,79±2,18	7,74±0,71
4	47,87±2,02	-2,25±2,01	17,05±2,21	8,71±0,73
5	47±2,29	-1,13±2,11	16,45±2,18	8,67±0,74
6	49,01±2,24	-2,64±2,10	18,01±2,21	9,75±0,75
7	48,65±2,30	-2,76±2,04	18,37±2,21	9,70±0,75
8	48,64±2,28	-2,52±2,08	17,46±2,20	9,26±0,74
9	49,51±2,30	-2,17±2,04	18,01±2,17	10,30±0,74

4.5. Rehidrasyon Kapasitesi

Rehidrasyon deneylerinin sonuçları Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Rehidrasyon kapasitesi değerleri

DENEY NO	RC ₁	RC ₂	RC _{ort} = $\frac{w_2}{w_1} - 1$
1	1,45	1,65	1,49
2	1,14	1,30	1,23
3	1,15	1,21	1,20
4	1,35	1,06	1,21
5	1,15	1,18	1,17
6	1,50	1,28	1,39
7	1,18	1,26	1,22
8	1,27	1,45	1,36
9	1,16	1,22	1,19

4.6. Minitab ile Taguchi Deney Tasarım Analiz Sonuçları

Kurutma deneylerinden hesaplanan değerlerin her biri oluşturulan izelge 4.7’de gösterilmiştir. Sonuçlar Taguchi yöntemi ile hesaplanarak analizler yorumlanmıştır. Ayrıca Şekil 4.5 ile parametre seviyelerine göre yağ asidi analizinde ortalama ve performans istatistiği grafikleri gösterilmiştir.

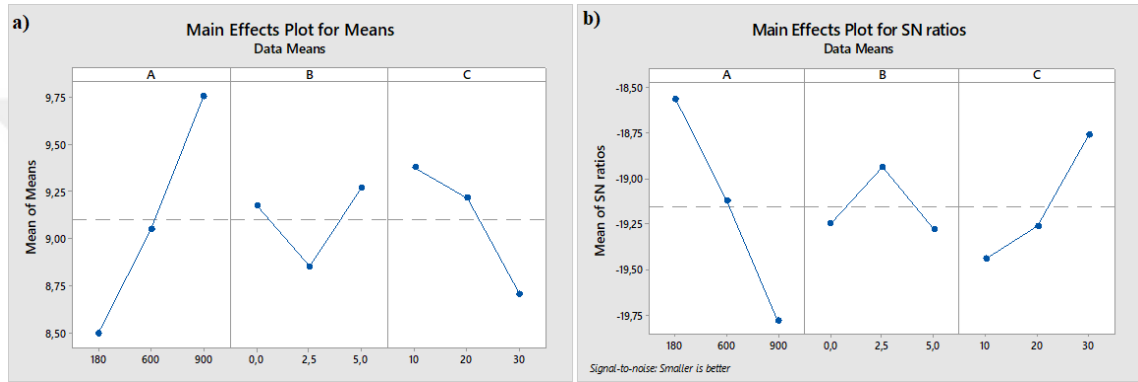


Çizelge 4.5. Deneysel sonuçlar

DENEY NO	Parametre ve Seviyeler			Kalite Parametreleri								
				Kuruma süresi(s)	$D_{eff}(m^2/s) * 10^{-9}$	Renk (ΔE)	RC	Doymuş Yağ Asitleri			Tekli Doymamış	Çoklu Doymamış
	Mikrodalga gücü, W (A)	Ön işlem (%NaCl) (B)	Madde miktarı, g (C)					Palmitik	Stearik	Miristik	Palmitoleik	Linoleik
1	A1	B1	C1	150	3,71	9,11	1,49	23,429	9,387	0,694	0,242	8,263
2	A1	B2	C2	270	1,33	8,62	1,23	24,083	10,02	0,461	0,32	9,392
3	A1	B3	C3	390	1,54	7,74	1,2	24,593	12,517	0,381	0,454	9,763
4	A2	B1	C2	60	4,90	8,71	1,21	23,217	8,918	0,398	0,258	8,946
5	A2	B2	C3	120	2,03	8,67	1,17	23,597	8,27	0,347	0,299	9,704
6	A2	B3	C1	60	7,54	9,75	1,39	22,948	8,327	0,358	0,233	8,604
7	A3	B1	C3	0	4,48	9,70	1,22	22,174	7,516	0,403	0,23	9,01
8	A3	B2	C1	30	4,00	9,26	1,36	22,642	7,291	0,439	0,258	8,867
9	A3	B3	C2	90	6,66	10,30	1,19	22,174	7,327	0,433	0,196	7,928

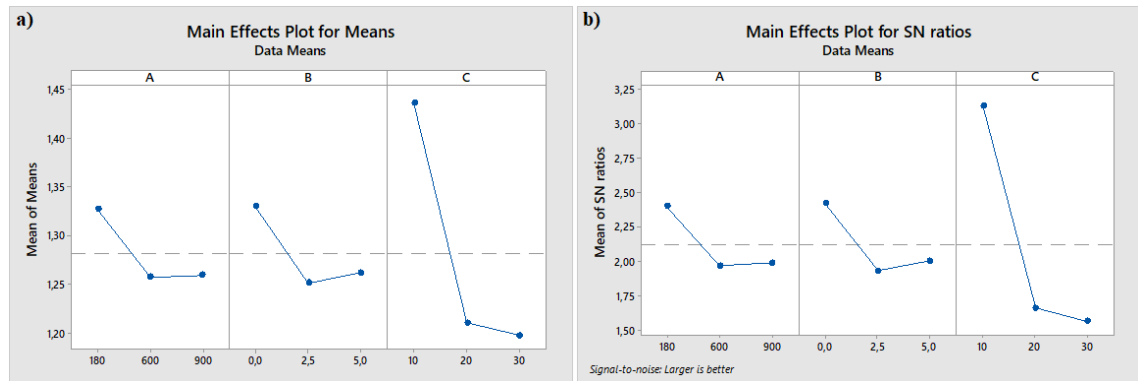
Deneylemlerle alınan sonuçlar Minitab18'e göre analiz edilmiştir. Yapılan analizde renk için en küçük en iyi, rehidrasyon kapasitesi için en büyük en iyi ve yağ asitleri için en büyük en iyi yöntemi kullanılmıştır.

Biberiye numunelerinin renk değişiminin ortalama ve performans grafikleri Şekil 4.2'de göstermektedir.



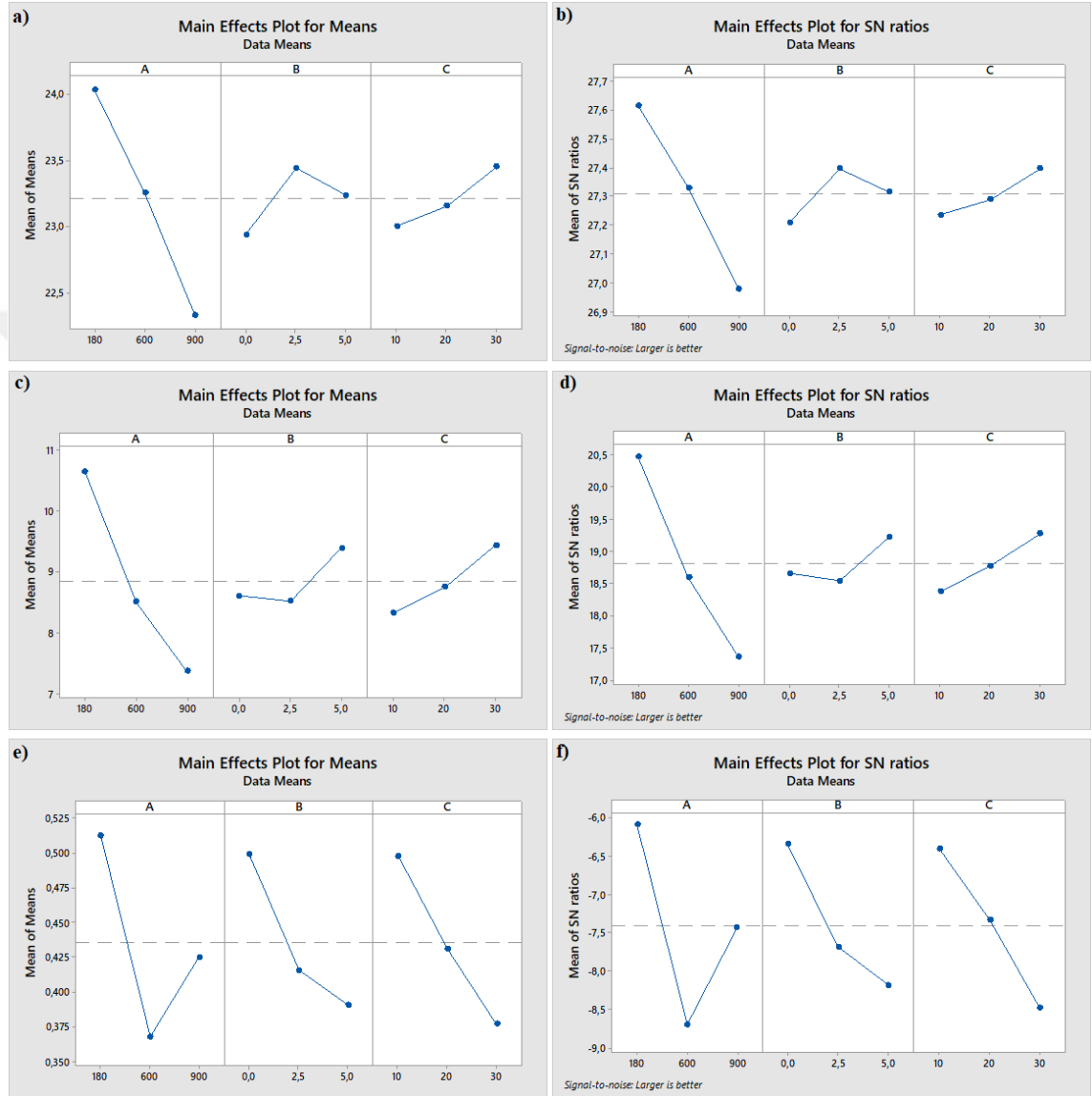
Şekil 4.2. Parametre seviyelerine göre renk analizinde ortalama (a) ve performans (b) grafikleri

Biberiye numunelerinin rehidrasyon kapasitesi (RC) ortalama ve performans grafikleri Şekil 4.3'te göstermektedir.



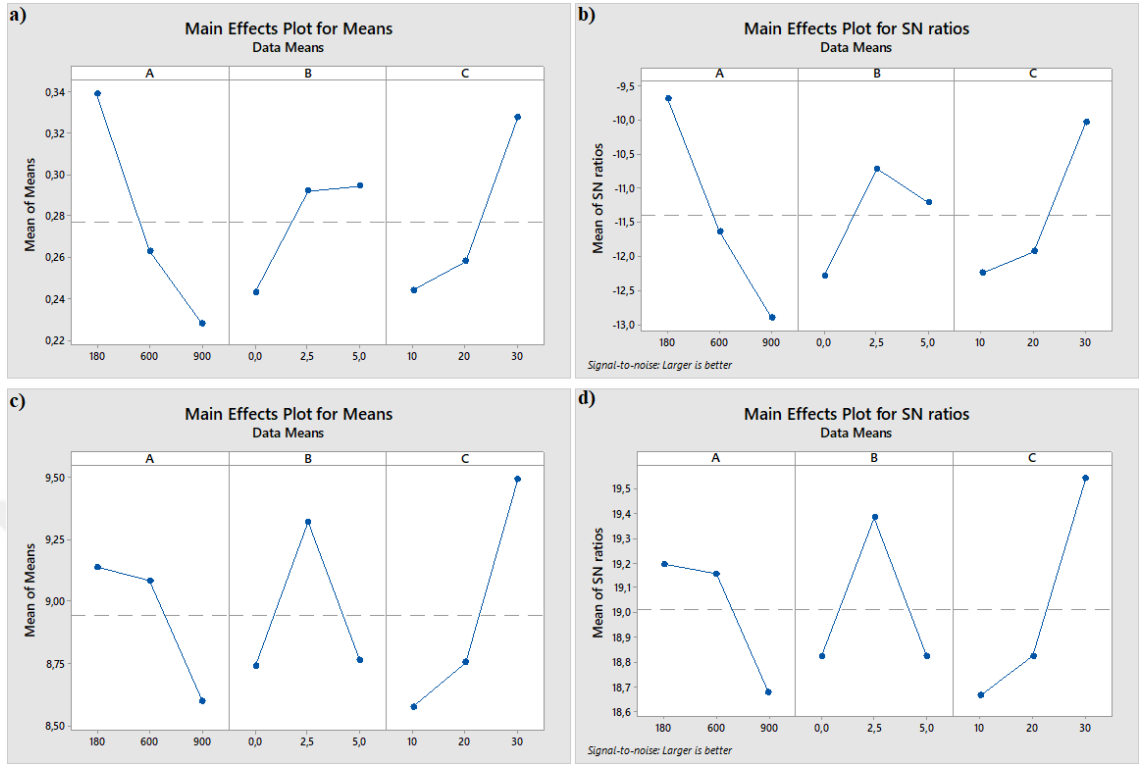
Şekil 4.3. Parametre seviyelerine göre RC analizinde ortalama (a) ve performans (b) grafikleri

Biberiye numunelerinin, doymuş yağ asitleri (Palmitik, Stearik ve Mistirik) analizinde ortalama ve performans istatistiği grafikleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Parametre seviyelerine göre doymuş yağ asitleri (Palmitik (a-b), Stearik (c-d) ve Mistirik (e-f) asitleri) analizinde ortalama ve performans istatistiği grafikleri

Biberiye numunelerinin, tekli doymamış (Palmitoleik) ve çoklu doymamış (Linoleik) yağ asitleri analizinde ortalama ve performans istatistiği grafikleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Parametre seviyelerine göre tekli doymamış (Palmitoleik (a-b)) ve çoklu doymamış (Linoleik (c-d)) yağ asitleri analizinde ortalama ve performans istatistiği grafikleri

4.7. Minitab ile Taguchi Deney Tasarımı Varyans Analizi

Biberiye numunelerinin, rehidrasyon kapasitesine ait deneme sonuçlarının varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Rehidrasyon varyans analizi

Etki	Serbestlik derecesi (df)	SS	MS	F	P
A	2	0,009381	0,004691	2,68	0,271
B	2	0,010840	0,005420	3,10	0,244
C	2	0,106876	0,053438	30,58	0,032

Rehidrasyon kapasitesine ait deney sonuçlarının %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, rehidrasyon kapasitesini en çok etkileyen parametrelerin etki sırası C>B>A şeklinde olduğu görülmektedir.

Parametrelere bağılı regresyon denklemi;

$$\text{Rehidrasyon kapasitesi} = 1,2815 + 0,0456 \times A1 - 0,0237 \times A2 - 0,0219 \times A3 + 0,0487 \times B1 - 0,0297 \times B2 - 0,0190 \times B3 + 0,1539 \times C1 - 0,0704 \times C2 - 0,0836 \times C3$$

şeklindedir.

Biberiye numunelerinin, renk analizine (ΔE) ait deneme sonuçlarının varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7’da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Renk varyans analizi

Etki	Serbestlik derecesi (df)	SS	MS	F	P
A	2	2,3947	1,1973	1,94	0,341
B	2	0,2863	0,1432	0,23	0,812
C	2	0,7324	0,3662	0,59	0,628

Renk analizine (ΔE) ait deney sonuçlarının %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, renk analizini en çok etkileyen parametrelerin etki sırası $A > C > B$ şeklinde olduğu görülmektedir.

Parametrelere bağılı regresyon denklemi;

$$\text{Renk } (\Delta E) = 9,102 - 0,605 \times A1 - 0,050 \times A2 + 0,655 \times A3 + 0,077 \times B1 - 0,247 \times B2 + 0,169 \times B3 + 0,277 \times C1 + 0,115 \times C2 - 0,392 \times C3$$

şeklindedir.

Biberiye numunelerinin, doymuş yağ asitleri için varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8-10’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Doymuş yağ asidi varyans analizi (palmitik asit)

Etki	Serbestlik derecesi (df)	SS	MS	F	P
A	2	4,3702	2,1851	12,61	0,073
B	2	0,3808	0,1904	1,10	0,476
C	2	0,3121	0,1560	0,90	0,526

Doymuş yağ asidi (palmitik asit) sonuçlarının %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, etki sıralamasının A>B>C şeklinde olduğu görülmektedir.

Parametrelere bağlı regrasyon denklemi;

$$\text{Palmitik Asit} = 23,206 + 0,829 \times A1 + 0,048 \times A2 - 0,876 \times A3 - 0,266 \times B1 + 0,234 \times B2 + 0,032 \times B3 - 0,200 \times C1 - 0,048 \times C2 + 0,248 \times C3$$

şeklindedir.

Çizelge 4.9. Doymuş yağ asidi varyans analizi (stearik asit)

Etki	Serbestlik derecesi (df)	SS	MS	F	P
A	2	16,486	8,2431	6,46	0,134
B	2	1,366	0,6828	0,53	0,651
C	2	1,846	0,9228	0,72	0,580

Doymuş yağ asidi (stearik asit) sonuçlarının %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, etki sıralamasının A>C>B şeklinde olduğu görülmektedir.

Parametrelere bağlı regrasyon denklemi;

$$\text{Stearik Asit} = 8,841 + 1,800 \times A1 - 0,336 \times A2 - 1,464 \times A3 - 0,234 \times B1 - 0,315 \times B2 + 0,549 \times B3 - 0,506 \times C1 - 0,086 \times C2 + 0,593 \times C3$$

şeklindedir.

Çizelge 4.10. Doymuş yağ asidi varyans analizi (miristik asit)

Etki	Serbestlik derecesi (df)	SS	MS	F	P
A	2	0,031	0,015778	2,20	0,313
B	2	0,019	0,009513	1,32	0,430
C	2	0,021	0,010853	1,51	0,398

Doymuş yağ asidi (miristik asit) sonuçlarının %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, etki sıralamasının A>C>B şeklinde olduğu görülmektedir.

Parametrelere bağlı regresyon denklemi;

$$\text{Miristik Asit} = 0,4350 + 0,0770 \times A1 - 0,0670 \times A2 - 0,0099 \times A3 + 0,0634 \times B1 - 0,0194 \times B2 - 0,0441 \times B3 + 0,0622 \times C1 - 0,0043 \times C2 - 0,0579 \times C3$$

şeklindedir.

Biberiye numunelerinin, tekli doymamış yağ asidi (palmitoleik asit) için varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Tekli Doymamış yağ asidi varyans analizi (palmitoleik asit)

Etki	Serbestlik derecesi (df)	SS	MS	F	P
A	2	0,019	0,009	1,89	0,346
B	2	0,0050	0,002	0,49	0,670
C	2	0,0119	0,005	1,17	0,460

Tekli doymamış yağ asidi (palmitoleik asit) sonuçlarının %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, etki sıralamasının A>C>B şeklinde olduğu görülmektedir.

Parametrelere bağılı regrasyon denklemi;

$$\text{Palmitoleik Asit} = 0,2767 + 0,0622 \times A1 - 0,0134 \times A2 - 0,0487 \times A3 - 0,0333 \times B1 + 0,0155 \times B2 + 0,0178 \times B3 - 0,0324 \times C1 - 0,0185 \times C2 + 0,0510 \times C3$$

şeklindedir.

Biberiye numunelerinin, çoklu doymamış yağ asidi (linoleik asit) için varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Çoklu doymamış yağ asidi varyans analizi (linoleik asit)

Etki	Serbestlik derecesi (df)	SS	MS	F	P
A	2	0,525	0,262	1,08	0,481
B	2	0,648	0,324	1,33	0,429
C	2	1,410	0,705	2,89	0,257

Çoklu doymamış yağ asidi (linoleik asit) sonuçlarının %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, etki sıralamasının C>B>A şeklinde olduğu görülmektedir.

Parametrelere bağılı regrasyon denklemi;

$$\text{Linoleik Asit} = 8,942 + 0,197 \times A1 + 0,143 \times A2 - 0,340 \times A3 - 0,202 \times B1 + 0,379 \times B2 - 0,177 \times B3 - 0,364 \times C1 - 0,186 \times C2 + 0,550 \times C3$$

şeklindedir.

Yapılan analizler sonucunda, ΔE değerini minimum, RC ve Yağ asit miktarlarını maksimum yapan çalışma şartları Çizelge 4.13’te özetlenmiştir.

Çizelge 4.13. Analiz sonucu oluşan optimum koşullar

Kalite Kriteri (Analiz)	Optimum Kurutma Şartları
ΔE	A1 B2 C3
RC	A1 B1 C1
Stearik Asit	A1 B3 C3
Palmitik Asit	A1 B2 C3
Mistirik Asit	A1 B1 C1
Palmitoleik Asit	A1 B2 C3
Linoleik Asit	A1 B2 C1

Çoğunlukla tekrar eden parametrelerin seviyesi optimum olarak değerlendirilmiş ve optimum deney şartları A1, B2 ve C3 olarak belirlenmiştir. Optimum deney şartlarında doğrulama deneyi iki tekrar olarak yapılmış ve sonuçlar bu değerlerin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Doğrulama deneylerinin sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Optimum koşullar ile yapılan deney ve sonuçları

Parametreler	Değer	Seviye
A Mikrodalga Gücü(W)	180	1
B Ön İşlem (%)	2,5	2
C Madde Miktarı (g)	30	3
Kalite Kriteri	Sonuçlar	
ΔE Deneysel	41,23	
ΔE Tahmin	41,98	
Güven aralığı	41,19-42,76	
RC (g/g)	1,585	
RC Tahmin	1,529	
Güven aralığı	1,48-1,57	
Stearik Asit (mg/g)	11,89	
Tahmin	11,783	
Güven aralığı	10,65-12,90	
Palmitik Asit (mg/g)	24,51	
Tahmin	24,517	
Güven aralığı	24,09-24,92	
Mistirik Asit (mg/g)	0,61	
Tahmin	0,637	
Güven aralığı	0,54-0,71	
Palmitoleik Asit (mg/g)	0,39	
Tahmin	0,405	
Güven aralığı	0,32-0,47	
Linoleik Asit (mg/g)	9,91	
Tahmin	10,068	
Güven aralığı	9,57-10,56	

Bulunan sonuçlara göre kalite kriter değerleri güven aralığının içine düşmüştür. Bu sonuçlar bize iç etkileşimlerinin olmadığını ve yapılan optimizasyonun tutarlı olduğunu göstermiştir.

4.8. Optimum Koşular İçin Kinetik Modelleme

Optimum koşullar için belirlenen parametre seviyeleri (A1 B2 C3) için ayrıca hesaplanan 9 ince tabaka kurutma modeli ve model sonuçları Çizelge 4.15 de belirtilmiştir

Çizelge 4.15. Mikrodalga kurutma için R^2 , χ^2 , RMSE, RSS ve SSE ve model sabitleri

Model adı	Parametre değerleri	R^2	χ^2	RMSE	RSS	SSE
Newton MR= $\exp(-kt)$	k=0,002	0,845	0,001	0,032	0,046	0,046
Page MR= $\exp(-kt^n)$	k=1,653x10 ⁻⁶ n=2,168	0,989	0,001	0,032	0,046	0,046
Logaritmik MR=a.exp(-kt)+b	k=0,00 a=9,339 b= - 8,218	0,986	0,001	0,035	0,057	0,057
Henderson ve Pabis MR=a.exp(-kt)	k=0,020 a=1,193	0,907	0,009	0,093	0,391	0,391
Midilli <i>et al.</i> MR=a.exp(-kt ⁿ)+b	k= -0,280 a=0,975 b= -0,02 n=0,407	0,998	0,0001	0,012	0,006	0,006
Wang ve Sing MR=1+a ₁ .t+ b ₁ .t ²	a=-1,255x10 ⁻⁶ b= -0,001	0,996	0,0004	0,019	0,017	0,017
Diffusion Approach MR=a.exp(-kt) + (1-a). exp(-kbt)	k=0,020 a=1,00 b=1,00	0,845	0,015	0,120	0,653	0,653
Logistic MR=b/(1+a.exp(kt))	k=0,005 a=0,215 b=1,331	0,976	0,002	0,047	0,103	0,103
Two Term MR= a ₁ .exp(-k ₁ .t) + a ₂ .exp(-k ₂ .t)	k ₁ =0,002, k ₂ =0,002, a ₁ =0,305 a ₂ =0,888	0,907	0,009	0,093	0,391	0,391

Çizelge 4.15'den de görüldüğü gibi en yüksek R^2 ve en düşük χ^2 , RMSE, RSS ve SSE değerleri Midilli *et al.* modelinde elde edilmiştir. Buna göre biberiye bitkisinin optimum koşullarda kuruma kinetiğini temsil eden en uygun modelin Midilli *et al.* modeli olduğu söylenebilir.



5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, biberiye bitkisinin mikrodalga fırında kurutulmasının optimizasyonu Taguchi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma parametreleri olarak mikrodalga gücü (180-900 W), ön işlem (0-%5 NaCl çözeltisi) ve madde miktarı, kalite kriterleri olarak, toplam renk değişimi, rehidrasyon kapasitesi ve yağ asit miktarları seçilmiştir.

Mikrodalga gücü arttıkça kuruma süresi azalmıştır. Yüksek mikrodalga gücü ile yapılan deneylerde renk değişimi (ΔE) artmıştır, rehidrasyon kapasite miktarları (RC) ve yağ asit miktarları düşmüştür.

Taguchi tasarım analizi sonucu optimum çalışma koşulları: mikrodalga gücü 180 W, ön işlem %2,5 NaCl çözeltisi ve madde miktarı 30 g olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda yapılan doğrulama deney sonuçları güven aralığı içinde yer almıştır. Bu sonuç, parametreler arası iç etkileşimlerin olmadığını göstermiştir.

Biberiyenin mikrodalga ile kuruması azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Tüm kurutma koşulları için etkin difüzyon katsayıları hesaplanmış ve biberiyenin mikrodalga ile kurutulmasında etkin difüzyon katsayısının $1,334 \times 10^{-9}$ - $6,67 \times 10^{-9}$ m²/s aralığında olduğu belirlenmiştir.

Optimum koşullarda yapılan deney verileri dokuz farklı matematiksel modele uygulanmıştır. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, biberiye bitkisinin optimum koşullardaki kuruma kinetiğini tanımlayan en uygun modelin Midilli at. al. modeli olduğu belirlenmiştir.

Kurutma, gıda maddelerinin bozulmadan uzun vadede, mevsimi dışında da kullanılmasını amaçlayan bir koruma yöntemidir. Ancak, kurutma işlemi sonunda kurutulmuş ürünün besin değerlerinin mümkün olduğunca kaybetmeden kaliteli bir kurutma işleminin yapılması önemlidir. Kurutucu tipi ve kurutma şartları, son ürünün kalitesinde belirleyici

rol oynar. Türkiye'nin ihraç ettiği tıbbi ve aromatik bir bitki olan biberiye, ülkemiz ekonomisi bakımından önemli bir kaynaktır. Biberiyenin kalite değerlerini mümkün olduğu kadar kaybetmeden kurutulmasının optimizasyonunun yapıldığı bu çalışmanın, gıda maddelerinin kalite kriterlerini göz önüne alınarak yapılacak diğer çalışmalar için ışık tutacağını ümit ediyoruz.



KAYNAKLAR

- Akgul, A., Kivanc, M. 1988. Inhibitory effects of selected Turkish spices and oregano components on some foodborne fungi. *Int. J. Food Microbiol.* 6, 263–268.
- Akın, B. 1996. İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol –İPK- Teknikleri, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul,1.(150)
- Aktaş, M. 2007. Isı pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Angioni, A., Bara, A., Cereti, E., Barile, D., Coisson, J., Arlorio, M., Dessi, S., Coroneo, V., Cabras, P., 2004. Chemical Composition, Plant Genetic Differences, Antimicrobial ve Antifungal Activity Investigation of the Essential Oil of *Rosmarinus officinalis* L., *Journal of Agricultural ve Food Chemistry*, 52(11),3530-355
- Anonim 2018a. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/10/20141027-3-1.pdf> (11.11.2018). (fitoterapi)
- Anonim 2018b. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180316-18.htm>.(11.11.2018). (biberiye)
- Anonymous, 2018a. <https://www.unfpa.org/data/world-population-dashboard> (13.11.2018).
- Anonymous, 2018b. <https://sensing.konicaminolta.us/blog/identifying-color-differences-using-l-a-b-or-l-c-h-coordinates/>, 14.12.2018
- Arslan D., Özcan M.M. 2007. Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content ve colour characteristics of rosemary leaves. *Science Direct.* 49. (1258-1264)
- Babalıs S.J., Paanicolau E., Kyriakis N., Belessiotis V.G. 2006. Evaluation of Thin-Layer Drying Models for Describing Drying Kinetics of Figs, *Journal of Food Engineering* 75(2),205-214.
- Baker, C. G.1997. *Industrial Drying of Foods*; Chapman & Hall: London, UK.
- Baratta, M. T., Dorman, H. J. D., Deans, S. G., Biondi, D. M., Ruberto, G. 1998. Chemical composition, antimicrobial and antioxidative activity of laurel, sage, rosemary, oregano and coriander essential oils. *Journal of Essential Oil Research* 10: 618-627.
- Barbosa-Canovas, G.V. ve Vega-Mercado, H., 1996. *Dehydration of Foods*, Eds. BarbosaCanovas, G.V, Chapman & Hall, New York.
- Başoğlu. F.1987. *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, Uludağ Üniversitesi Bursa.
- Bayram, E., Kırıcı, E., Tansi, S., Yılmaz, G., Arabacı, O., Kızıl, S., Telci, İ., 2010, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretiminin Arttırılması Olanakları, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı-1, 11-15 Ocak 2010 Ankara.
- Baytop, T., 1994. Türkçe Bitki Adları Sözlüğü. Türk Dil Kurumu Yayınları 578, 48, Ankara
- Bilişli, A., 2009. *Gıda Kimyası*. Sidas Medya Ltd.Şti., 35 s, Çanakkale
- Bingöl, G. ve Devres, Y.O., 2010a. *Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri IV*. İstanbul Sanayi Odası, İSO Yayın no:2010/4, Mürettebat Reklamcılık, 95 s, İstanbul

- Bozin B, Mimica-Dukic N, Samojlik I ve Jovin E, 2007. Antimicrobial ve antioxidant properties of rosemary ve sage (*Rosmarinus officinalis* L. ve *Salvia officinalis* L, Lamiaceae) essential oils. *J. Agric. Food Chem.*, 55:7879-7885.
- Cemeroğlu, B., 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği, 506 s. Ankara.
- Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. Meyve ve sebze işleme teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın No: 6, Ankara.
- Dadalı, G. 2007. Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Davis, P.H., 1987. Flora of Turkey ve the East Aegean Islands, Vol.7. Edinburgh University Press, 37, 75, 94, İngiltere.
- Demirci, M., 2003. Gıda Kimyası, Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, ikinci baskı, Tekirdağ, s. 84-86.
- Difranco, E., 2000, Method for Isolating Oleic Acid ve Producing Linoleic Dimer/Trimer Acids Via Selective Reactivity, The Patent Cooperation Treaty, WO 00/50528
- Doymaz, I., 2006. Thin-Layer Drying Behaviour of Mint Leaves. *Journal of Food Engineering*, 74, 370-375.
- Doymaz, İ., Tuğrul, N., Pala, M. 2003. Maydanozun kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 3: 1-8.
- Erbaş, S., Olmuş, H. 2006. Deney Düzenleri ve İstatistik Analizleri, Baran ofset, Ankara. 3. (412)
- Evranoz, Ö., Çataltaş, İ., 1989. Gıdaların Kurutulması. Ankara Ofset, 435 s., İstanbul.
- Fellows, P. (2000). Dehydration, in *Food Processing Technology: Principles and Practice*, Second Edition, Midway Technology Limited, Cambridge, United Kingdom
- Fellows, P.J., 1988. Basic Principles. *Food Processing Technology*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England, 31-70.
- Fennema, O. R., 1985. Water and Ice. *Food Chemistry*, Ed: O.R. Fennema. Marcel Dekker Inc., Madison, New York, 25-67, USA.
- Fontana, A.J., 2000. Water activity's role in food safety ve quality. Savannah, Second NSF International Conference on Food Safety, Savannah, GA, USA.
- Gleen, G.M., Chiou, B. S., Imam, S. H., Wood, D.F. ve Orts, W.J., 2005. Role of cuticles in produce quality ve preservation in Produce degradation : pathways ve prevention, Eds. Lamikanra, O, Imam, S.H., Ukuku, D.O., CRC Press, 19-53.
- Gökoğlu, N., 2002. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bilge Yayıncılık, Antalya, s. 126-127.
- Göktürk R.S., Kaynakçı Elinç Z., "Seydikemer İlçesi Doğal Bitkileri ve Günlük Yaşamda Kullanımları.", *Antik Çağlardan Günümüze Seydikemer İlçesi Yenilebilir Bitkileri ve Mutfak Kültürü*, Korkut T., Ed., Sarıyıldız Sistem Ofset Basım Yayım. ANTALYA.. 27-105, 2017
- Grabowski, S. ve Marcotte, M., 2003. Pretreatment efficiency in osmotic dehydration of cranberries, in *Transport Phenomena in Food Processing*, pp.83-95, Eds. Welti-Chanes, J., Velez Ruiz, J.F., Barbosa-Canovas, G.V., CRC Press LLC, Florida.
- Hasman, M. 1972. Bitkilerin Metabolizma Fizyolojisi, İstanbul Matbaası, İstanbul, 27, 103, 123 (307)
- Hışıl, Y. Ve Karakaya, S., 1992. Su aktivitesi ve gıdalardaki rolü. *E.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi*, (1082), 197-214.

- İlisulu K, 1992. İlaç ve baharat bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Kitapları No: 1256
- Karaaslan, S., Tunçer, İ.K., 2009. Kırmızı Biberin Fan Destekli Mikrodalga ile Kurutulmasında Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ile Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 12(2), 9-16.
- Karabulut, H.A. ve Yve1, İ., 2006. Su ürünlerindeki omega-3 yağ asitlerinin önemi ve sağlık üzerine etkisi. Ege Üniv. Su Ürünleri Derg., 23(1/3): 339-342
- Karaca, E. ve Aytaç, S., 2007. Yağ bitkilerinde yağ asitleri kompozisyonu üzerine etki eden faktörler. Ondokuz Mayıs Üniv. Ziraat Fak. Derg., 22(1): 123- 131.
- Karakuş, M., 1995. Gıdalarda mikrobiyal gelişmeyi etkileyen faktörler. Gıda sanayinde mikrobiyoloji uygulamaları. Tubitak Marmara Araştırma Merkezi. Gebze, Kocaeli, 12418-34
- Kayahan, M., 2009. Sağlıklı beslenme açısından trans yağ asitleri. s. 7-11. II. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu. 27-29 Mayıs 2009, Van
- Keskin, F.Ş. 2016. Perlit ve Taban Külü Katkılı Harç Özelliklerinin Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi ile İncelenmesi. (Yüksek Lisans) Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- Kırıcı, S., 2015. Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin genel durumu. TÜRKTOB, 4(15): 4-6.
- Korkut, T., Özdemir, B.Ş., Uygun, Ç., 2017. Antik Çağlardan Günümüze Seydikemer İlçesi Yenilebilir Bitkileri ve Mutfak Kültürü. Sarıyıldız Ofset Ltd. Şti, 32, Ankara.
- Kuş, S., 2016. Mikrodalga Enerjisiyle Ayva ve Armut Meyvesinin Kuruma Davranışı ve Modellenmesi. (Yüksek Lisans), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ
- Lee, W. 1975. Experimental Design ve Analysis. W.H. Freeman & Company. San Fransisco.
- Lewicki, P.P., 2004. Water as the determinant of food engineering properties. A review. Journal of Food Engineering, 61, 483-495.
- Mazliak, P. 1970. Lipids, In the Biochemistry of Fruits ve Their Products, Eds. Hulme, A.C., Elsevier, Amsterdam, 209-221.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. ve Harriott, P. (1993). Unit Operations of Chemical Engineering, 5. Baskı, McGraw-Hill, Inc., USA
- Mengeş, H.O., Ertekin, C., 2007. Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 21 (42), 4-10.
- Mghazli, S., Ouhammou, M., Hidar, N., LAhline, L., Ildimam, A., M. M. 2017. Drying characteristics ve kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. Renewable Energy. 108(303-310)
- Mujumdar, A.S ve Zhonghua, W., 2008. Thermal Drying Technologies-Cost-Effective Innovation Aided by Mathematical Modeling Approach Drying Technology, USA 26, 145-153.
- Nas, S., Gökalp, Y., Ünsal, M. 2001. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Denizli Mühendislik Fakültesi Matbaası, (19, 21, 127, 263, 328) Denizli
- Nasıroğlu, Ş. 2007. Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında İnfrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

- Nonhebel, M.A ve Moss, A.H. 1971. *Drying of Solids in the Chemical Industry*,CRC Press,400 p, Ohio,USA.
- Olcaý İ. ve Besler, H.T., 2007 Yeni doğvea beyin gelişimi ve omega-3 yağ asitleri. Danone Enstitüsü Türkiye Derneği, Sağlık İçin Beslenme.
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(3), 599-618.
- Orbay, A.E. 2014. Konya ve Çevresinde Yetişen İçilebilir Bazı Tıbbi Bitkilerin Yağ Asit Kompozisyonlarının Belirlenmesi ve Kararlaştırılması. (Yüksek Lisans),Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Konya.
- Özbek, B., Dadalı, G. 2007. Thin-layer drying characteristics ve modelling of mint leaves undergoing microwave treatment.*Science Direct*.93 (541-549)
- Özcan, M.M., Chalchat. J.C.2008.Chemical composition ve antifungal activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*)oil from Turkey.59:7-8,691-698.
- Özdemir M, 1999. The Thin Layer Drying characteristics of Hazelnuts During Roasting. *Journal of Food Engineering*,42,225-233.
- Özgül, K. 2007. Ürünlerin Kuruma Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilimdalı, Konya.
- Özkan, G., 2014. Fitoterapi-Homeopati ve Türkiyedeki Uygulamaları. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu,Yalova
- Peşkiroğlu, N., 1999. Kalite Yönetiminde ISO 9000 Uygulamaları,2.Baskı,Verimlilik Dergisi MPM Yayınları,23.(620)
- Polatçı, H., Taşova M. 2017. Mikrodalga Yöntemi ile Kurutulan Dereotu Yapraklarının (*Anethum graveolens L.*) Kurutma Kinetiği ve Renk Değerlerinin Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*.6 (42-51)
- Polatoğlu, B., 2006. Sucuk Ve Pastırmanın Nem Sorpsiyon İzotermilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi,Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Erzurum
- Ramaswamy, H.S., 2004.*Thermal Processing of Fruits*,in *Processing Fruits Science ve Technology*,Eds. Barrett,D.M., Somogyi,L., Ramaswamy,H.M., CRC Press LLC,Florida.173-200
- Rao, J., Singh, M., Raghavan, B., Abrahampi K.O., 1997. Rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*):Impact of Drying on Its Flavor Quality. *Plantation Products, Spices & Flavor Technology Central Food Technological Research Institute Mysore, India.*
- Robert, C., Richard-Forget, F., Rouch, C., Pabion, M. ve Cadet, F., 1996. A Kinetic Study of the Inhibition of Palmito Polyphenol Oxidase by L-cysteine, *Int. J. Biochem. Cell Biol.*, 28, 457-463
- Sarımışeli, A., 2010. Microwave drying characteristics of coriveer (*Coriverum Sativum L.*) leaves Elsevier, (52),1449-1453.
- Sasikumar, B. 2004. Rosemary, In: K.V. Peter, Editor, *Hand Book of Herbs and Spices Volume: 2*, Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England. 243–255.
- Seçkin, T.2014. İşlevsel Bitki Kimyası,Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.438.(836)
- Semma, M., 2002. Trans fatty acids: Properties, benefits ve risks. *J. Health Sci.* 48(1): 7–13.

- Sharma G.P ve Prasad S., 2004. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave convective drying. *Journal of Food Engineering*.65.609-617
- Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P.B., 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal Food Engineering*, 67, 361–366.
- Sosa-Morales M.E., Valerio- Junco L., Lopez-Malo A., Garcia H.S., 2010. Dielectric Properties of Food Reported Data in the 21st Century ve Their Potential Applications.*LWT-Food Science ve Technology*.43.1169-1179.
- Speirs, H. 2003. “Introduction to Prepress”, BPIF, Pira International, UK, 1998,“The Basic Principles of Color ve Lab for Computer Publishing”, Linotype-Hell
- Srikiatden J,Roberts J.S. 2006. Measuring moisture diffusivity of patato ve carrot during convective hot air ve isothermal drying. *Journal of Food Engineering*.74.143-152
- Suarez, C., Loncin, M. ve Cherife, J.A., 1984. A preliminary study of the ethyl oleate dipping treatment on drying rate of grain corn, *Journal of Food Science*, 49, 236-238
- Sui, X., Liu, T., Ma, C., Yang, L., Zu Y., Zhang, L., Wang, H., 2011.Microwave irradiation to pretreat rosemary (*Rosmarinu officinalis L.*) for maintaining antioxidant content during storage ve to extract oil simultaneously. *Food Chemistry*131 : 1399-1405.
- Şahinbaşkan, T., 2002. “Masaüstü Yayıncılıkta Renk Ayırım Parametrelerinin Saptanması”, (36), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matbaa Eğitimi Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul
- Şenoğlu B., Acıtaş, Ş., 2010. İstatistiksel Deney Tasarımı Sabit Etkili Modeller.Nobel Yayın,İstanbul,5-7.(390)
- Şirvancı, M., 1997. Kalite için Deney Tasarımı.Literatür Yayıncılık.İstanbul
- Taylan, D. 2009. Taguchi Deney Tasarım Uygulaması. (Yüksek Lisans)Süleyman Demirel Fen Bilimleri Enstitüsü.Isparta
- Us,F., 2007. Su ve Buz.Gıda Kimyası,Editör:İlbiçe Saldamlı.Hacettepe Üniversitesi Yayınları,Ankara,1-42.
- Vega Mercado,H., Gongora-Nieto, M. Ve Barbosa-Canovas, G.V., 2001. Advances in dehydration of foods.*Journal of Food Engineering*,(49),271-289.
- Vega-Mercado, H., 1996. Dehydration of Foods. Springer US,330 p, New York.
- Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları: 536.İzmir.
- Yang, W.H., Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi Metod, *Journal of Materials Processing Technology*, 84, 123-130
- Yaşar, S., 2005. Çukurova Kampüsünde Doğal Olarak Yetişen Bazı Çok Yıllık Tıbbi Bitkilerin Toprak Özellikleri ile Sabit ve Uçucu Yağ Asit İçeriklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Adana.
- Yüzgeç, U. 2005. Kurutma sürecinin modellenmesi ve akıllı öngörülü denetimi. Doktora Tezi, KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Zhao Y., Flugstad B., Kolbe E., Park J.W., Wells J.H., 2000. Using Capacitive (Radio Frequency) Dielectric Heating in Food Processing ve Preservation-A Review. *Journal of Food Process Engineering* .23.25-55

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya da tamamladı.2009 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Bölümünden, 2013 yılında mezun oldu. 2015 yılında, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nın Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı’nda Yüksek Lisansa başladı.

