



**KANLICA MANTARININ SICAK HAVALI
KURUTMA VE DONDURARAK
KURUTULMASININ DENEYSEL
KARŞILAŞTIRILMASI**

Göknur KAYATAŞ ONGUN

**2022
DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**KANLICA MANTARININ SICAK HAVALI KURUTMA VE DONDURARAK
KURUTULMASININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI**

Göknur KAYATAŞ ONGUN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**KARABÜK
Mayıs 2022**

Göknur KAYATAŞ ONGUN tarafından hazırlanan “KANLICA MANTARININ SICAK HAVALI KURUTMA VE DONDURARAK KURUTULMASININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 30/05/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Bahadır ACAR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Göknur KAYATAŞ ONGUN

ÖZET

Doktora Tezi

KANLICA MANTARININ SICAK HAVALI KURUTMA VE DONDURARAK KURUTULMASININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI

Göknur KAYATAŞ ONGUN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Mayıs 2022, 163 Sayfa

Yapılan bu çalışmada, Karabük ilinden toplanmış olan kanlıca mantarının sıcak havalı ve dondurarak kurutulması sağlanarak afla-toksin oluşumuna engel olunması, raf ömrü uzatımı, erken çürüme ve bozulmaya karşı önlem alınması, içeriğindeki faydalı aromaları koruması sağlanmıştır. Kurutulan ürün olarak, mantarlar arasında çok fazla tüketilen ve içerdiği vitamin ve mineral miktarı olarak zengin bir mantar olduğundan dolayı insan sağlığı açısından faydaları oldukça fazla, endemik bir bitki olan kanlıca mantarı kullanılmıştır. Nem oranı (MR) ve Kurutma hızı (DR) açısından dondurarak ve sıcak havalı kurutma yöntemleri karşılaştırılmıştır. Dondurarak kurutma sırasında kütle kayıpları belirlenip kurutma kinetik modelleri oluşturulmuştur. Deneysel veriler ışığında Matlab Programı kullanılarak toplam 8 kinetik kurutma modeli üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en düşük khi-kare (X^2) ve tahmini standart hata (RMSE) değerleri sırasıyla $1,851 \times 10^{-4}$ ve 0,01358 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon değeri (R^2) ise bire yakın

olacak şekilde 0,9988 olarak bulunmuştur. Bu sonuçları veren en iyi model Page modeli olarak belirlenmiştir. Sıcak havalı kurutma ile olmak üzere beş farklı (30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C) sıcaklıkta kurutma gerçekleştirilmiştir. Su aktivitesi, renk değişimleri, enerji tüketimi ve kurutma süresi açısından en iyi sonuç 50°C’de yapılan deneylerde elde edilmiştir. Sıcak havalı kurutma işlemlerinde kurutulan (taze mantar su aktivitesi= 0,983 a_w) ürünlerin su aktivitesi değerleri 0,429 ile 0,173 aralığında bulunmuş (literatürde 0,6’dan küçük) ve renk analizi deneyleri sonucunda farklı sıcaklıklarda kurutulan kanlıca mantarlarının L*(parlaklık), a*(kırmızı- yeşil), b*(sarı- mavi), C*(kroma değeri), ΔE (toplam renk değişimi), BI (kahverengileşme indeksi) değerleri hesaplanmıştır. Analizler sonucunda mantarların dondurarak ve sıcak havalı kurutularak muhafaza edilmesinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kanlıca mantarı, *Lactarius* spp., sıcak havalı kurutma, dondurarak kurutma.

Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EXPERIMENTAL COMPARISON OF HOT AIR DRYING AND FREEZE DRYING OF KANLICA MUSHROOM

Göknur KAYATAŞ ONGUN

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

May 2022, 163 pages

In this study, it has been provided to prevent aflatoxin formation, prolong the shelf life, take precautions against premature decay and spoilage, and preserve the beneficial aromas in its content by providing hot air and freeze-drying of the kanlıca mushroom collected from the province of Karabuk. As the dried product, the mushroom, which is an endemic plant, has been used as a mushroom, which is very consumed among mushrooms and is rich in vitamin and mineral content, which has a lot of benefits for human health. Freeze and hot air drying methods were compared in terms of humidity rate (MR) and drying rate (DR). Mass losses during freeze drying were determined and drying kinetic models were created. In the light of experimental data, a total of 8 kinetic drying models were studied by using Matlab Program. According to the results obtained, the lowest chi-square (χ^2) and estimated standard error (RMSE) values were calculated as 1.851×10^{-4} and 0.01358, respectively. The correlation value (R^2) was found to be 0.9988, which is close to one. The best model

giving these results was determined as the Page model. Drying was carried out at five different temperatures (30 °C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C) with hot air drying. The best results in terms of water activity, color changes, energy consumption and drying time were obtained in the experiments performed at 50°C. The water activity values of the products dried in hot air drying processes (fresh mushroom water activity = 0.983 aw) were found to be between 0.429 and 0.173 (less than 0.6 in the literature), and as a result of color analysis experiments, the L*(brightness), a* (red-green), b*(yellow-blue), C*(chroma value), ΔE (total color change), BI(browning index) values were calculated. As a result of the analysis, it has been determined that it is appropriate to preserve the mushrooms by freezing and drying with hot air.

Key Word : Kanlıca Mushroom, Lactarius Species, Hot Air Drying, Freeze Drying.

Science Code : 92808

TEŞEKKÜR

Bu doktora tez çalışmamın planlanmasında ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren başta tez danışmanım saygıdeğer Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmam boyunca yorum ve katkılarından, kıymetli bilgi ve tecrübelerinden çok şeyler öğrendiğim Tez İzleme Komitesi'nde yer alan değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ'a ve Doç. Dr. Bahadır ACAR' a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecimde önerilerinden ve yardımlarından faydalandığım Dr. Öğretim Üyesi Edip TAŞKESEN'e ve Arş. Gör. Abdullah DAĞDEVİREN' e teşekkür ederim.

Örnek aldığım, her zaman yanımda olan ve destek veren çok değerli ablam Prof. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR' e ve eşi Koray DEMİR'e çok teşekkür ederim.

Her konuda bana yol gösteren, çok kıymetli büyüklerim Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL'e ve eşi Leyla KÜRTÜL'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, öğrenim hayatım boyunca hep yanımda olan canım dedem, rahmetli babaannem, en kıymetlilerim babam, annem, amcam, ablam ve kardeşime teşekkür eder, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Doktora tez sürecimde anlayış ve sabır gösteren, çalışmalarımı aksatmamam için sayısız fedakârlıkta bulunan kıymetli eşim Kadir Kazım ONGUN'a, hayatımızı güzelleştiren canım oğlum Yusuf Ali ONGUN'a teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte yanımda olup destek veren, güzel dileklerini esirgemeyen tüm sevdiklerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
MANTAR KURUTMA İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI	6
BÖLÜM 3	14
MANTARLAR	14
3.1. MANTARLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	14
3.2. MİKORİZA	16
3.2.1. Ektomikorizal Mantarlar.....	18
3.3. MANTARLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ	19
3.4. MANTARLARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ.....	20
3.5. TÜRKİYEDE MANTARIN ÖNEMİ	22
3.6. MANTARLARIN KULLANIM ALANLARI.....	23
3.6.1. Gıda Olarak Kullanım	23
3.6.2. Endüstriyel Kullanım.....	23
3.6.3. Tıbbi Kullanım.....	24

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	25
LACTARIUS VE TÜRLERİ	25
4.1. LACTARIUS HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	25
4.2. LACTARIUS “KANLICA” MANTARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ	26
4.3. LACTARIUS (KANLICA) MANTARLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ 28	
4.3.1. Renk.....	28
4.3.2. Yüzey.....	28
4.3.3. Lamel	29
4.3.4. Tat ve Koku	29
4.3.5. Spor.....	30
4.3.6. Ekoloji.....	30
4.4. LACTARIUS TÜRLERİ.....	31
4.4.1. Lactarius Deliciosus.....	31
4.4.2. Lactarius Salmonicolor	33
4.4.3. Lactarius Deterrimus	34
4.4.4. Lactarius Controversus	35
4.4.5. Lactarius Volemus	36
4.4.6. Lactarius Acerrimus.....	36
4.4.7. Lactarius Brittanicus	37
4.4.8. Lactarius Piperatus.....	38
4.4.9. Lactarius Semisanguifluus.....	39
4.4.10. Lactarius Pyrogalus	40
4.5. LACTARIUS “KANLICA” MANTARI FAYDALARI	41
BÖLÜM 5	43
GIDALARI MUHAFAZA ETME YÖNTEMLERİ.....	43
5.1. GIDALARI DONDURMA TEKNİKLERİ İLE MUHAFAZA YÖNTEMLERİ.....	43
5.1.1. Soğuk Hava ile Dondurma.....	44
5.1.1.1. Durgun Havada Dondurma	44
5.1.1.2. Hızlandırılmış Havayla Dondurma	45
5.1.2. Dolaylı Temas Metoduyla Dondurma	46
5.1.3. Daldırma Yöntemiyle Dondurma	48
5.1.4. Kriyojenik Sıvılarla Dondurma	48

	<u>Sayfa</u>
5.1.5. Kriyomekanik Dondurma	49
5.2. GIDALARI KURUTMA TEKNİKLERİ İLE MUHAFAZA YÖNTEMLERİ	49
5.2.1. Doğal Kurutma	50
5.2.1.1. Güneşte Kurutma	50
5.2.1.2. Gölgede Kurutma.....	51
5.2.2. Yapay Kurutma.....	51
5.2.2.1. İletimle Kurutma	51
5.2.2.2. Morötesi Radyasyon Kurutma	52
5.2.2.3. Akışkan Yataklı Kurutma	52
5.2.2.4. Kızılötesi Işınımlı Kurutma	53
5.2.2.5. Kızgın Buhar Ortamında Kurutma.....	54
5.2.2.6. Puf Kurutma.....	54
5.2.2.7. Vakumda Kurutma.....	54
5.2.2.8. Mikrodalga Kurutma.....	56
5.2.2.9. Dielektrik Kurutma	56
5.2.2.10. Ozmotik Kurutma	57
5.2.2.11. Dondurarak Kurutma	57
5.2.2.12. Tünel Kurutucu	58
5.2.2.13. Püskürtmeli Kurutucular	59
5.2.2.14. Döner Kurutucular	60
5.2.2.15. Kabinli ve Bölmeli Kurutucular.....	61
5.2.2.16. Sıcak Hava ile Kurutma	62
5.3. KURUTMA TERİMLERİ VE MEKANİZMASI.....	62
5.3.1. Denge Nemi	62
5.3.2. Kurutma Hızı	64
5.3.3. Kurumanın Statiği.....	66
5.3.4. Kurumanın Kinetiği	67
5.3.5. Ürünün Su Aktivitesi	69
BÖLÜM 6	72
DONDURARAK KURUTMA	72
6.1. DONDURARAK KURUTMAYA GİRİŞ	72
6.2. SÜBLİMLEŞMENİN TEORİSİ	72

	<u>Sayfa</u>
6.3. SÜBLİMLEŞMENİN TERMODİNAMİĞİ.....	73
6.4. KİNETİK TEORİSİ VE SÜBLİMLEŞME ORANI	76
6.5. DONDURARAK KURUTMA İŞLEMİNİN EVRELERİ.....	77
6.5.1. Dondurma Evresi	77
6.5.2. Birinci Kurutma Evresi.....	78
6.5.3. İkinci Kurutma Evresi.....	79
6.6. DONDURARAK KURUTMA SİSTEM ELEMANLARI	80
6.6.1. Soğutma Sistemi	80
6.6.2. Kurutma Kabini	84
6.6.3. Vakum Pompası.....	84
6.6.4. Isıtma Ünitesi.....	85
6.7. DONDURARAK KURUTMA SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	86
6.8. DONDURARAK KURUTMADA UYGULAMA ALANLARI.....	88
6.9. DONDURARAK KURUTMANIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI.	89
6.9.1. Avantajları	89
6.9.2. Dezavantajları	90
BÖLÜM 7	92
SICAK HAVALI KURUTMA	92
7.1. SICAK HAVALI KURUTMA(KONVEKSİYON).....	92
7.2. KURUTULMUŞ ÜRÜNLERİN KALİTE ÖZELLİKLERİ.....	95
7.3. KURUTMADA MEYDANA GELEN BAŞLICA DEĞİŞİMLER	99
7.3.1. Fiziksel Değişimler	99
7.3.2. Kimyasal Değişimler	100
7.3.2.1. Renk Tayini ve Analizi	101
7.4. KURUTMA HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	104
7.5. SICAK HAVALI KURUTMANIN UYGULAMA ALANLARI.....	104
7.6. SICAK HAVALI KURUTMANIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI.	104
.....	104
BÖLÜM 8	108
MATERYAL VE METOD	108
8.1. MATERYAL.....	108
8.1.1. Kanlıca Mantarı (Lactarius Spp.)	108

8.1.2. Ölçüm Cihazları.....	109
8.1.2.1. Dondurarak Kurutma Cihazı.....	109
8.1.2.2. Hassas Terazî	111
8.1.2.3. Desikatör	112
8.1.2.4. Etüv	112
8.1.2.5. Isı ve Nem Ölçer	113
8.1.2.6. Sıcak Havalı Kurutma Cihazı	114
8.1.2.7. Su Aktivitesi Ölçüm Cihazı	116
8.1.2.8. Renk Tayini Cihazı	117
8.1.2.9. Elektrik Sayacı	118
8.2. METOD.....	118
8.2.1. Kanlıca Mantarının Temin Edilmesi	118
8.2.2. Kanlıca Mantarının Dondurarak Kurutulması	119
8.2.3. Kanlıca Mantarının Tam Kuru Ağırlığının Belirlenmesi	121
8.2.4. Kanlıca Mantarının Kurutma Esnasında Ağırlık Kaybının Belirlenmesi	122
8.2.5. Kurutma Sabitlerinin ve Nem Oranlarının Belirlenmesi	123
8.2.6. Efektif Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi.....	124
8.2.7. Kanlıca Mantarının Sıcak Havalı Kurutulması.....	125
8.2.7.1. Renk Analizi	126
8.2.7.2. Özgül Nem Alma Oranı (SMER)	128
8.2.7.3. Nem Alma Hızı (MER).....	128
8.2.7.4. Özgül Enerji Tüketimi (SEC)	128
8.2.7.5. Kurutma Verimi (DE).....	128
8.2.7.6. Isı ve Kütle Transfer Katsayıları (h ve h_m)	129
BÖLÜM 9	130
DENEYSEL ÇALIŞMA	130
9.1. DONDURARAK KURUTMA DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI	130
9.2. SICAK HAVALI KURUTMA DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI	136
9.2.1. Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi ve Ürünlerin Kurutulması	136
BÖLÜM 10	145

SONUÇ VE ÖNERİLER	145
10.1. SONUÇLAR	145
10.2. ÖNERİLER	147
KAYNAKLAR	148
ÖZGEÇMİŞ	163

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Mantar muhafaza yöntemleri	3
Şekil 3.1. Mantarların genel yapısı	14
Şekil 4.1. Kanlıca mantarı yaşam döngüsü	27
Şekil 4.2. Lactarius cinsine ait spor yapıları	30
Şekil 4.3. Lactarius Deliciosus'un genel görünümü.	32
Şekil 4.4. Lactarius Salmonicolor'un genel görünümü.....	33
Şekil 4.5. Lactarius Deterrimus'un genel görünümü.	34
Şekil 4.6. Lactarius Controversus' un genel görünümü.	35
Şekil 4.7. Lactarius Acerrimus'un genel görünümü.	37
Şekil 4.8. Lactarius Britannicus 'un genel görünümü.....	38
Şekil 4.9. Lactarius Piperatus' un genel görünümü.	39
Şekil 4.10. Lactarius Semisanguifluus' un genel görünümü	40
Şekil 4.11. Lactarius Pyragolus 'un genel görünümü	41
Şekil 5.1. Sürekli plakalı dondurucuda dondurma sistemi.....	47
Şekil 5.2. Doğal kurutma	50
Şekil 5.3. İletimle kurutma sistemi	52
Şekil 5.4. Akışkan yataklı kurutma sisteminin şeması.....	53
Şekil 5.5. Vakumda kurutma odası	55
Şekil 5.6. Paralel akışlı tünel kurutucu.....	58
Şekil 5.7. Zıt akışlı tünel kurutucu.....	59
Şekil 5.8. Çapraz akışlı tünel kurutucu	59
Şekil 5.9. Dönen tip püskürtmeli kurutucu	60
Şekil 5.10. Döner kurutucu.	61
Şekil 5.11. Kabinli kurutucu	61
Şekil 5.12. Nem sorpsiyon izoterm	63
Şekil 5.13. Nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak kurutma hızının değişimi.....	65
Şekil 5.14. Sorpsiyon eğrisinin kurutma statığı bakımından grafiği.....	66
Şekil 5.15. Tarım ürünü kinetik kuruma eğrileri.....	67
Şekil 6.1. Denge faz diyagramı (üçlü nokta).....	74
Şekil 6.2. Suyun katı ve gaz fazları arasındaki doyumluk eğrisi	74

Sayfa

Şekil 6.3. Dondurarak kurutma sisteminin şeması.....	80
Şekil 6.4. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin elemanları.....	81
Şekil 6.5. Buhar sıkıştırırmalı ideal soğutma sisteminin logP-h diyagramı.....	82
Şekil 6.6. Dondurarak kurutmada gıdanın iletim ile ısıtılması.....	87
Şekil 6.7. Dondurarak kurutma işleminde gözenekli yapının oluşumu.....	87
Şekil 7.1. Tipik bir tepsi kurutucu.....	98
Şekil 7.2. Munsell renk modeli.....	102
Şekil 7.3. CIE L*a*b renk modeli.....	103
Şekil 7.4. RGB renk sistemi.....	104
Şekil 8.1. Kanlıca mantarı genel görünümü.....	108
Şekil 8.2. Kanlıca mantarı kesit hali.....	109
Şekil 8.3. Dondurarak kurutma cihazı.....	110
Şekil 8.4. Mettler Toledo ve Knmaster marka hassas teraziler.....	111
Şekil 8.5. Desikatör.....	112
Şekil 8.6. Binder marka etüv.....	113
Şekil 8.7. Isı ve nem ölçüm cihazı.....	114
Şekil 8.8. Sıcak havalı kurutma cihazının genel görünümü.....	115
Şekil 8.9. Su aktivitesi ölçüm cihazı.....	116
Şekil 8.10. Model CM-5 Sektrofotometre.....	117
Şekil 8.11. Makel monofate tip: M600.2251, 1 fazlı 2 telli elektronik -elektrik sayacı.....	118
Şekil 8.12. Kanlıca Mantarının toplanmış görüntüsü.....	119
Şekil 8.13. Kanlıca mantar numunelerinin kurutulduğu cihazın görünümü.....	120
Şekil 8.14. Kurutma öncesinde dilimlenmiş kanlıca mantarı.....	121
Şekil 8.15. Sıcaklık ve zaman grafiği.....	122
Şekil 8.16. Dondurarak kurutulan Kanlıca mantar dilimleri.....	123
Şekil 9.1. Kanlıca mantar numunesinin zamana göre ayrılabilir nem oranı.....	130
Şekil 9.2. Ürünün zaman göre ağırlık kaybı.....	133
Şekil 9.3. Kanlıca mantar dilimlerinin dondurarak kurutulmasında kurutma hızının değişimi.....	133
Şekil 9.4. Nem içeriği ve kuru madde yüzdesi.....	134
Şekil 9.5. Page modelinin deneysel ve tahmin edilen nem oranı veriler doğrultusunda zamana göre eğrisi.....	135
Şekil 9.6. Kanlıca mantar numunesi için ln(MR) ve dondurarak kurutma süresi..	135

Sayfa

Şekil 9.7. Kurutma işlemi için dilimlenmiş kanlıca mantar numuneleri.....	137
Şekil 9.8. Zamana göre nem içeriğinin değişimi.....	138
Şekil 9.9. Nem oranı-kurutma süresi.....	139
Şekil 9.10. Zamana göre kurutma hızının değişimi.	140
Şekil 9.11. Kurutma süresine bağlı enerji tüketimi.....	140
Şekil 9.12. Yapılan deneylerde su aktivitesi değerleri.....	140
Şekil 9.13. Sıcaklığa bağlı toplam enerji tüketim değerleri.....	140

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Sudaki doymuş çözeltileri, bulunduğu ortamı farklı bağıl nemde tutan maddeler	64
Çizelge 5.2. Bazı gıdaların su aktivite değerleri	70
Çizelge 6.1. Buz-buhar sisteminde buharlaşma sıcaklığı ve ısısının basınç derecesine bağlı olarak değişimi	86
Çizelge 8.1. Dondurarak kurutma cihazının özellikleri.	110
Çizelge 8.2. Hassas terazinin genel özellikleri.....	111
Çizelge 8.3. Isı ve nem ölçer cihazının özellikleri.	113
Çizelge 9.1. Kurutma kinetik modelleri.....	131
Çizelge 9.2. Kurutma kinetik modelleri ile hesaplanan sonuçlar.....	132
Çizelge 9.3. Gıdalar için önemli olan mikroorganizma faaliyetlerinin yaklaşık minimum su aktivite (a_w)değerleri	141
Çizelge 9.4. Yapılan deneylerde su aktivitesi değerleri.....	142
Çizelge 9.5. Renk analizinde elde edilen değerler.	143
Çizelge 9.6. Sıcaklığa bağlı toplam enerji tüketim değerleri.	144

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- a^* : Renk Ölçümünde Kırmızılık-Yeşillik Göstergesi
 b^* : Renk ölçümünde mavilik-sarılık göstergesi
 L^* : Renk ölçümünde parlaklık-koyuluk göstergesi
 C^* : Kroma değeri
 X : Bağımsız değişken
 d_t : Zaman (dakika)
 h° : Hue açısı
 ΔE : Toplam renk değişimi
 X^2 : Khi-kare
 R^2 : Modelleme yeterliliği
 h_{fg} : gizli ısı (kJ/kg)
 m_w : Buharlaştırılmış su ağırlığı (kg)
 Le : Lewis sayısı
 ΣE : Sisteme giren toplam enerji (J)
 D_e : Etkin difüzyon katsayısının (m^2 / s)
 D_{wA} : havadaki su nem yayılma (m^2 / s)
 h : ısı transfer katsayısı, ($W / m^2 K$)
 h_m : kütle aktarım katsayısı (m / s)
 α_a : kurutucu havanın termal yayılımı
 λ_a : Kurutma havasının ısı iletkenliği (W / mK)
 B : örnek materyalin kalınlığı (m)
 z : Kullanılan modeldeki katsayı sayısı
 k, n : model sabiti
 a, b, c : Model sabiti
 N : Deneysel veri sayısı
 a_w : Su Aktivitesi

- M_o : İlk nem içeriği, g su /g kuru madde-1
 M_e : Denge nemi içeriği, g su/ g kuru madde-1
 D_o : Sonsuz sıcaklıkta difüzyon hızı eşdeğer bir sabit (m^2/s),
 E_a : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol),
 R : Gaz sabiti ($8.314 \text{ kJ/mol} \times K$)
 T : Kurutma Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)

KISALTMALAR

- MER : Birim zamanda uzaklaştırılan nem (kg su/h)
 ζ_{bn} : Çevre havası bağıl nemi [%]
 MC_{KA} : Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g kuru madde]
 MC_{YA} : Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g yaş madde]
 MR : Nem Oranı
 YA : Ürünün yaş ağırlığı (g)
 KA : Ürünün kuru ağırlığı (g)
 DR : Kurutma hızı, g su/ g kuru madde dakika
 SEC : Özgül enerji tüketimi ((kWh/kg su)
 $SMER$: Özgül Nem Alma Oranı (kg su/kWh)
 M : Nem içeriği, g su/ g kuru madde
 DR : Kurutma hızı, g su/ g kuru madde
 M_t : Kurutmadan önce numune kütlesi, [g]
 M_{t+dt} : “t+dt” zamanda nem içeriği, g su g kuru madde-1
 BI : Kahverengileşme indeksi
 $MR_{den.}$: Deneysel verilerle belirlenen nem oranı
 $MR_{tah.}$: Tahmini nem oranı
 $RMSE$: Tahmini standart hata

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gıda kurutma işlemi, eski zamanlardan itibaren gıdaların saklanması için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin gelişimi diğer teknolojik gelişmeler gibi gerçekleşmektedir. Enerji tasarrufu ve kurutulmuş ürünlerdeki kalitenin artırılması amacıyla sürekli yeni yöntemler denenip, yeni formüller oluşturulmaktadır. Bu sayede gıda maddelerinin saklama ömrü uzatılmaktadır. Gıda kurutma amacıyla uygun kurutma işlemi veya işlemleri seçilmelidir. Ürün kalitesinin uygun ekonomik koşullarda elde edilmesi için en ideal yöntemler gerekli parametreler ile uygulanmalıdır [1].

Kurutma, tarımsal ürünlerin bünyelerinde bulundukları fazla nemin güvenli depolama nem seviyesine düşürülmesi işlemidir. Ürünlerin uzun sürede bozulmadan saklanması, tazeliğini koruması, kuru meyve ve sebze gibi ekonomik açıdan yüksek değere sahip olan yeni ürünlerin elde edilmesi endüstriyel açıdan çok önemlidir. Ayrıca kurutma amacı olarak; ürün artıklarının kullanıma uygun hale getirilmesi, hasat döneminin planlanması, erken ve kolay hasada olanak sağlaması, kurutulan ürünün hacminin azalmasıyla önemli bileşenlerinin taşınması ve depolanmasındaki verimin artması, ürünlerden iyi fiyat alınabilmesi sayılabilir.

Doğal kurutma teknikleriyle kurutulan ürünlerde ekonomik bakımdan iç ve dış pazarda kalite veya değer kaybı gibi sorunlar yaşanabilmektedir. Açık hava şartlarında yapılan doğal kurutma işlemleri sonucu kuru ürünlerin elde edilmesinde daha uzun süreler gereklidir. Kurutucu imalatı yapan firmaların ve bu tip kurutuculara sahip işletmelerin sayılarının ve gerekliliğinin artırılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Gıdaların muhafazasında en eski yöntemlerden biri kurutma işlemidir. Kurutma, gıdaların içerisindeki nemin kontrollü koşullarda en uygun seviyeye indirilmesi, dayanma süreleri kısa olan ürünlerin raf ömürlerini uzatmak ve

ortamda bulunan suyun uzaklaştırılması demektir [2]. Su aktivitesini düşürerek, mikroorganizma ve enzimlerin faaliyetlerini engellemek amaçlanmıştır. Bu yüzden gıda maddesi, su açısından elverişsiz duruma getirildiğinde, diğer faktörler uygun olsa da mikroorganizmalar aktif olmamaktadır. Ayrıca suyun büyük çoğunluğu uzaklaştırıldığı için depolama masrafları azalmış olur [3]. Kurutulmuş sebze ve meyvelerin farklı yöntemlerle muhafaza edilen gıdalara göre daha kolay şekilde paketlenme, düşük maliyetle taşıma, uygun oda sıcaklığında depolama vb. birçok avantajı bulunmaktadır [4].

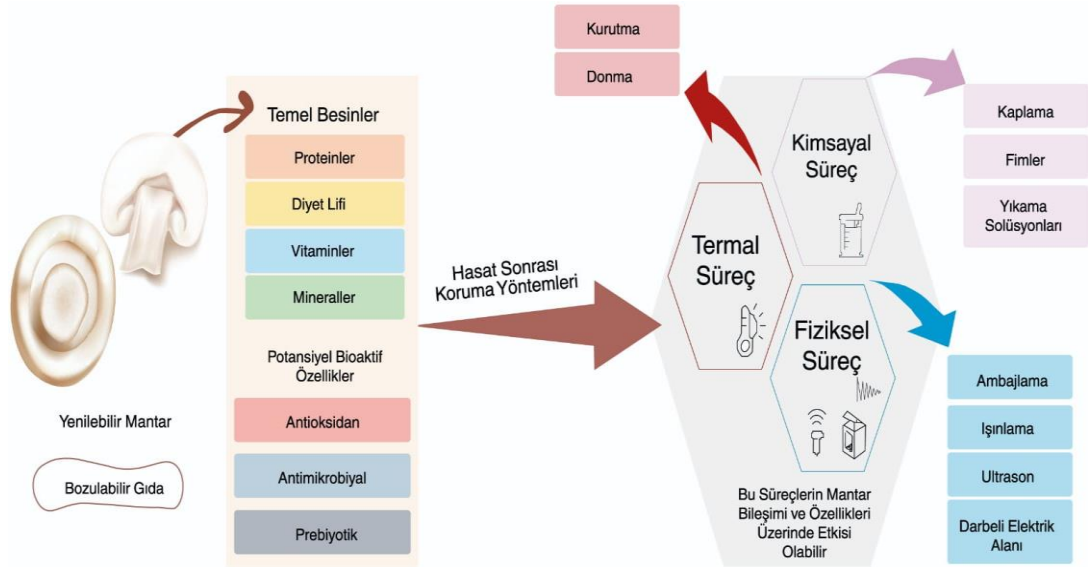
Kurutma işlemi uygulanırken; kurutulacak ürüne, hangi kurutma yönteminin ve bu yöntem için hangi tip cihazın kullanılacağına, kurutulmuş ürünün kullanım alanına, materyalin niteliklerine ve sahip olduğu çeşitli besinsel etkenlere bağlı olduğu bilinmektedir. Kurutma süresi, özgül enerji tüketimi ve kurutulmuş ürün kalitesi kurutmanın başarısını ölçmede kullanılan ana kriterlerdir. Her kurutma işleminde kurutulan ürünlerin kalitelerinin (renk, besin içeriği ve tekstür vb.) korunması, üründen uzaklaştırılan bir birim su için harcanan enerji anlamına gelen özgül enerji değerinin düşürülmesi ve kurutma süresinin kısaltılması amaçlanır [3].

Mantarlar, hücrelerinin çevresindeki bir çeperin varlığı, hareket etme yeteneklerinin olmayışı, sporla çoğalmaları sebebiyle bitki olarak kabul görürken, kök, gövde, yaprak gibi organlarının bulunmaması ve klorofil içermemelerinden dolayı yüksek bitkilerden farklıdır. Mantarların biyolojik olarak substratları parçalandığından ekosistemde önemli yere sahiptir. Gıda ve aktif biyolojik bileşenleri içeren, tıbbi değeri olan kaynaklar olarak bilinmektedir [5]. Mantarlar, çürükçül beslenme biçimleri ile yerkürede besin döngüsünün devamını sağlamak için oldukça önemlidir. Mantar çeşitliliği ekosistem üretkenliğini belirler. Kısaca, bitkilerle mantarların karşılıklı yararaya dayanan bir beraberlik içinde yaşamaları yeryüzünde canlıların hayat bulmalarına oldukça katkı sağlamıştır [6].

Mantar yetiştiriciliği protein ve vitamin bakımından zengin olan çok dayanıklı ürün elde edilmesinde ve tarım faaliyetlerinin kalıntıları ile diğer atıkların geri dönüşümünde önemli bir alana sahiptir [7]. Günümüzde mantar yetiştiriciliği, yaygınlığı fazla olan endüstri kollarından biri olmasıyla beraber, en önemli ilerlemesi

II. Dünya Savaşı'ndan sonraki zamanlarda laboratuvar ortamında misel yapısının üretilmesiyle sağlanmıştır. Bu zamana kadar en ilkel şartlarda üretilen mantarlar daha sonraları hızlı bir gelişme kaydetmiştir. Gıda ve parfümeri işlemede, tıp alanlarına hammadde temininde bulunan önemli endüstri kolu niteliğini elde etmiştir [8].

Mantarlar iyi bir protein, diyet lifi, vitamin, mineral ve fenolik bileşik kaynağıdır. Ancak mantarların yapısında yer alan yüksek miktarda toprak ve su kökenli doğal mikrobiyota enzim aktivitesi nedeniyle hasat edildikten sonra çok hızlı bozulan bir besindir. Taze mantarın pazar satışındaki değeri, yüksek enzim aktivitesiyle alakalı olarak mantarda hızlı kararmaya sebep olmasıyla doğru orantılıdır. Bu sebeple taze mantarları sezon dışında da kullanabilmek ve raf ömürlerini uzatmak için çeşitli muhafaza yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Mantarlar için muhafaza yöntemleri üç kategoride sınıflandırılabilir: termal (kurutma/dondurma), kimyasal (yenilebilir kaplamalar, filmler ve yıkama çözeltileri) ve fiziksel (paketleme, sterilize etme, ışınlama, darbeli elektrik alanı ve ultrason) işlemlerdir. Konserve, marinasyon, salamura gibi diğer yöntemlerde uygulanabilir [9].



Şekil 1.1. Mantar muhafaza yöntemleri [9].

Dünya genelinde üretilen ve çeşitli işlemlerden geçen yemeklik mantarların %40 ve %50 oranı taze şekilde tüketilmektedir. Hasat edilen mantarlar yüksek orandaki nem

içeriği ve enzim miktarı sebebiyle genellikle 1-7 günlük zaman dilimi içerisinde depolanabilmektedir. Bu depolama işlemi boyunca kalite bakımından hızlıca kayıp görülmektedir. Enzimatik esmerleşme, su kaybı, protein ve şeker miktarlarında azalma karşılaşılan problemlerin başında gelmektedir. Bu gibi sorunlar mantarların taze olarak tüketimini sınırlandırmakta, böylece mantarlar konserveye işlenerek, dondurulmuş veya kurutulmuş şekilde raf ömürleri uzatılarak pazarlanmaktadır. Bununla birlikte, kurutulmuş mantarlar; pizza, çorba ve hazır yemeklerde kullanılan bileşen olarak değerlendirilir. Ayrıca mantar unu olarak da tüketilebilmektedir [10].

Pizza ve hazır çorba sanayiinde hammadde, bebek mamalarının ve çeşitli sosların üretiminde ise yardımcı madde olarak kullanılan kurutulmuş mantarın kalitesine farklı ön işlemler ile kurutma yöntemleri uygulamanın etkisini belirleyerek en uygun yöntemi bulmak çalışmanın temel amacını oluşturmuştur. Ayrıca elde edilecek verilerin konuyla ilgili çalışanlara ve kurumlara yol gösterecek ve kaynak teşkil edecek olması çalışmanın önemini arttırmaktadır. Ürünün çok bulunduğu ve pazarlardaki satışların azaldığı dönemler içerisinde işletmelerde satılmayan fazla mantarlar kurutulmuş olarak işlenebilmektedir. Kurutma işlemi diğer muhafaza tekniklerine oranla daha uygun ve ucuz bir yöntemdir. Kurutulmuş mantarlar, hava geçirmeyen ambalajlarda 1 yıllık zaman diliminden daha fazla süreyle saklanabilmektedir [4,9]. Sebze ve meyvelerin kurutulmasında birçok farklı ön işlemler uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları, haşlama, ozmotik kurutma ve kimyasal bileşenlerin ilavesi gibi literatürde en sık karşılaşılan uygulamalar arasında yer alır. En çok kullanılan ön işlemlerden birisi haşlamadır. Bu işlem ile ürün kalitesini olumsuz şekilde etkileyecek enzimlerin inaktive edilmesi amaçlanmaktadır. Ancak haşlama işlemiyle, gıdanın yapısında geri dönüşü olmayacak tekstür kayıplarına yol açabilmektedir [11,12].

Mantarların kurutulmasında dondurarak ve sıcak havalı kurutma yöntemleri öne çıkmaktadır. Dondurarak kurutma yöntemiyle kaliteli ürünler edilebilmektedir. Ancak, bu uygulamanın yüksek maliyet gerektirmesi yaygınlaşmasını sınırlamaktadır. Sıcak havalı kurutma işleminin dondurarak kurutmaya göre daha fazla tercih edilmesinin sebebi, besin kompozisyonu ve ekonomik açıdan daha kolay uygulanabilir olmasıdır [4,13]. Dondurarak kurutma işlemiyle birlikte kurutulmuş

ürünler başlangıçta bulunan fiziksel, kimyasal, biyolojik yapılarını ve organik özelliklerini koruyarak yeniden tüketilecekleri süreye kadar uzun süreli depolanabilmektedir.

BÖLÜM 2

MANTAR KURUTMA İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

Bu tez çalışması yapılırken daha öncesinde yapılmış mantar kurutma, dondurarak ve sıcak havalı kurutmalarla alakalı çalışmalar incelenmiş ve özet olarak aşağıda yer verilmiştir.

Doğan ve ark, farklı sıcaklıklarda (50 °C, 60 °C ve 70 °C) ve zamanlarda (240, 300 ve 360 dakika) istiridye mantarının kurutulmasıyla kurutma sıcaklığının ve süresinin bazı özelliklere etkisini incelemişlerdir. Mantarların kurutulmasında süre ve sıcaklık farklılıklarının; kurumuş madde, renk değerleri ve su aktivitesi üzerine istatistiksel olarak etkisi olduğunu belirtmişlerdir [14].

Doymaz, 83, 125, 167 ve 209 W infrared güç seviyelerinde kültür mantarı dilimlerini kurutmuş ve infrared güç seviyesinin kurumaya etkilerini incelemiştir. İnfrared güç seviyesi 83 'ten 209 W 'a yükselirken kuruma süresi 300 dakikadan 40 dakikaya kadar azaldığı görülmüştür. Mantar kurutmasının temsili için en iyisini Parabolik model olarak bulmuştur. Etkili nem yayılma özelliği, kullanılan infraed güç düzeylerine göre 3.81×10^{-10} ile 4.20×10^{-9} m²/s arasında değiştiğini ve aktivasyon enerjisini 7.55 kW/kg olarak hesaplamıştır [15].

Şevik ve ark; güneş enerjisi destekli ısı pompalı deney düzeneğinde, iki farklı sıcaklık (45°C ve 55°C) ve hava hızında (0,9 m²/s ve 1,2 m²/s) kültür mantarı kurutmuşlardır. Kurutma sonunda elde ettikleri verileri Fermi transfer fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt geri yayılımı öğrenme algoritmasını kullanıp yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Farklı kurutma durumları için araştırmada kullandıkları modellemeyle mantarın kuruma davranışlarının analiz edilebilir olduğunu bulmuşlardır [16].

Kantrong ve ark, Shiitake mantarlarını mikrodalga-vakumlu kurutma (MVD) ve buna ilave infrared (MVD+IR) yöntemleri ile kurutmuşlardır. Kurutma 56, 143, 209 ve 267 W mikrodalga güçlerinde, 18.66, 29.32, 39.99 ve 50.65 kPa mutlak basınç altında 100 ve 200 W infrared güçlerinde kombine kurutma işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Mutlak basıncın, mikrodalga ve infrared gücün mantarın kuruma özellikleri, kalite ve özgül enerji tüketimine etkilerini incelemişlerdir. Ürün kalitesi ve enerji tüketimi açısından uygun kurutma koşulunun 267 W mikrodalga gücünde, 18.66 kPa mutlak basıncında ve 200 W infrared gücünde MVD+IR kurutmanın olduğunu belirlemişlerdir [17].

Kemer vd, kurutma hava hızının ve elmanın dilimlemesinin şeklinin, kurutma hızı, kuruma oranı ve nem içeriğine etkisini incelemişlerdir. Elmaları yatay ve dikey olarak 3-5 mm kalınlığında ayarlamışlardır. Kurutucudaki fan 2 farklı devirde çalıştırılmış ve denemeler bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Denemelerin sonucunda kesim şeklini kurutmayı önemli derecede etkilemediği tespit edilmiştir. Sabit hız kuruma evresinde yüksek devirli fan ile yapılan kurutma işleminde nem içeriği daha hızlı düşerken, azalan hız kuruma evresinde daha düşük fan hızı ile yapılan denemenin nem içeriği değişiminin diğerinden daha hızlı olduğu görülmüştür [18].

Wang ve ark, Shiitake mantarı, orta infrared destekli konveksiyon kurutma (MIRCD), radyo frekanslı kurutma ile birleştirilmiş sıcak hava (HCRFD) ve mikro dalga kurutma ile birleştirilmiş sıcak hava (HCMD) yöntemleri ile kurutmuşlardır. Bu kurutma yöntemlerinde sabit hava sıcaklığı (60 °C) kullanılmış ve güç seviyesi 4 W/g'de sabitlenmiştir. Sonuç olarak, mikrodalga kurutma ile birleştirilmiş sıcak havalı (HCMD) kurutma yönteminde en kısa kuruma süresi elde etmişlerdir. Orta infrared destekli konveksiyonun (MIRCD) ve radio frekansı ile birleştirilmiş sıcak hava (HCRFD) kurutma yöntemlerinin daha iyi renk özellikleri ve besin korunumu sağladığını bulmuşlardır [19].

Salehi ve ark, kültür mantarının infrared-vakum kuruma karakteristiği kombine bir kurutma sisteminde incelemişlerdir. Kültür mantarının kuruma karakteristikleri ve kinetikleri üzerine 150-375 W infrared güç 5-15 kPa basınç ve 0 ile 160 dakika sürenin etkilerini araştırmışlardır. İnce tabaka kurutma için dokuz farklı kinetik

modelin hız sabiteleri deneysel verilerin non-linear regresyon analiziyle belirlemiştir. Regresyon sonuçları, Page modelinin, en yüksek R değeri ve en düşük standart hata (SE) değerleri ile kültür mantarı dilimlerinin kurutma davranışını en iyi şekilde göstermiştir [20].

Darvishi ve ark, mantar dilimlerinin infrared kuruma karakteristiklerini incelemiştir. Mantar dilimleri, infrared kurutucu ile 50-90 °C'de kurutulmuş ve elde edilen veriler beş ayrı kurutma modeline uygulanarak karşılaştırılmıştır. Kurutma işlemlerini farklı sıcaklıklarda 60-168 dakika içerisinde tamamlamışlardır. Ortalama etkili nem yayılma kabiliyeti, sıcaklık arttıkça ve mantar dilimlerinin nem içeriğindeki azalma ile arttığı bulunmuştur. Mantar dilimlerinin kurutulması için minimum ve maksimum enerji gereksinimleri, sırasıyla 90 ve 50 °C için 2.87 kWh/kg-su ve 5.36 kWh/kg-su olarak tespit etmişlerdir [21].

Srivastava vd, kayın mantarları 40, 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıklardaki sıcak su ve buharda ön işlem olarak haşlamışlar ve sonrasında kabin kurutucuda sıcak havayla kurutmuşlardır. Kurutma sonucunda mantarlardaki kuru madde kaybı; sıcak suyla haşlamada %25,46, buhar ile haşlamada ise %3,32 olarak bildirmişlerdir [22].

Karaaslan ve Havuz, mikrodalga ile kurutulmuş mantarın kuruma davranışının etkileri araştırmışlardır. Yaş baza göre %93,4 ($\pm 0,02$) ilk nem içeriği olan mantar örneklerini yaş baza göre %9,27 ($\pm 0,06$) son nem içeriğine gelene kadar mikrodalga fırında 180, 360, 540, 720 ve 900W mikrodalga güçlerinde kurutmuşlardır. Çalışmalarında 11 adet model eşitlik uygulamışlardır. Bu modellerin performanslarını tahmini ve gözlemlenen nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri (R^2), tahmini standart hatası (SEE) ve kalanların kareleri toplamına (RSS) göre karşılaştırmışlardır [23].

Rodriguez ve ark, mantar kurutmada dondurarak kurutma ve mikrodalga vakumla kurutmayı karşılaştırmışlardır. Mantarların kuruma kinetiğini çeşitli çalışma koşullarında modellemek, nem yayılma katsayısının sonlu farklarda etkin yayılma katsayısını değerlendirmek ve kurutma yönteminin kurutulmuş mantarların kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Orta derecede güç ve ürünün sıcaklık kontrolü ile

elde edilen mikrodalga da kurutulmuş örnekler, dondurularak kurutma ile benzer şekilde kalite derecesi gösterdiğini bulmuşlardır [24].

Walde ve ark, istiridye ve kültür mantarlarını ön işlemlerden geçirerek, akışkan yatak kurutucu, sıcak havalı kabin kurutucu, vakum kurutma ve mikrodalga fırın ile kurutmada kuruma sürelerini karşılaştırmışlardır. Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulan istiridye mantarı için kuruma süresi 120 ile 135 dakika arasında, kültür mantarında ise 145 ile 180 dakika arasında değiştiğini bulmuşlardır [25].

Omari ve ark, mikrodalga ve sıcak hava kurutucuda farklı hava sıcaklıkları 23, 50 ve 70°C ve mikrodalga güç yoğunluklarında 1,5, 2 ve 2,5 W/g mantar kurutmuşlardır. Kinetik ve yapay sinir ağlarının modellenmesini gerçekleştirmişlerdir. En düşük özgül enerji tüketimini 23°C ve 2.5 W/g mikrodalga güç yoğunluğunda elde etmişlerdir. En düşük renk bozulmasını ise 70°C ve 1.5 W/g mikrodalga güç yoğunluğunda bulmuşlardır [26].

Aghilinategh ve ark, kesikli (IMWD), sürekli (CMWD) mikrodalga kurutma ve sıcak hava ile kurutmanın (HAD) elma dilimlerinin kurutma kinetikleri ve kalite özelliklerine yaptığı etki açısından karşılaştırmışlardır. Sonuçlar IMWD ve CMWD'nin kurutma kinetikleri ve kalite özellikleri açısından HAD'a göre daha etkili olduğunu ve ayrıca, CMWD'nin en düşük ve en yüksek kuruma süresine sahip olduğunu belirtmişlerdir. En yüksek renk değişimi HAD tarafından kurutulmuş elma dilimlerinde elde edilmiştir [27].

Funebo ve Ohlsson, elma ve mantarın mikrodalga-ısıtılmış hava kombinasyonu ile kuruma parametrelerini belirlemişlerdir. Kuruma parametreleri olarak kuruma hızı, hacim ağırlığı, yeniden su alma kapasitesi ve renk değişimini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, mantar çeşidi olarak Agaricus Bisporus ve elma çeşidi olarak ise Golden Delicious kullanılmışlardır. Yeniden su alma denemeleri mantar için 95 °C, elma için 50 °C sıcaklıktaki damıtılmış suda 1, 2, 5, 10, 20 ve 40 dakikalık sürelerde bekleterek belirlemişlerdir. Yeniden su alma denemelerinde mantarın 5 dakika ve elma dilimlerinin 20 dakikada denge haline geldiğini saptanmışlardır. Kuruma işleminin uzun sürmesi durumunda, üründe büzülmenin fazlalaşmasıyla birlikte hacim

ağırlığının yükseldiğini gözlemlenmiştir. Ortalama büzülme oranı elmada %72, mantarda %87 olarak belirlemiştirler [28].

Pappas ve ark, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmuş mantarlarda kurutma süresi ile ürünün büyüklüğüne ve farklı kurutma metodlarının yeniden su alma kapasitesine nasıl etki ettiğini incelemiştirler. Denemelerde 25, 36 ve 54 mm çapındaki mantarlar kullanılmıştır [29].

Nour vd, Agaricus bisporus dilimlerinin dehidrasyonu, %0,5 potasyum metabisülfid (KMS) içinde ıslatma, %0,5 sitrik asit + %0.5 askorbik asit ve %0.75 EDTA'da ıslatma ve beyazlatma gibi çeşitli ön işlemlerle gerçekleştirildi. Kurutma, 50°C ve 70°C'deki kurutma hava sıcaklıklarında bir tepsi kurutucuda yapılmıştır ve kurutma karakteristiği eğrileri çizilmiştir. Mantar dilimlerinin çeşitli kimyasallarla ön işleme tabi tutulması ve farklı kurutma havası sıcaklığında kurutulması için gereken toplam kuruma süresi belirlenmiştir. Ön kurutma işlemlerinin kurutulmuş mantar dilimlerinin beyazlığı ve renk değişimi üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Dört işlem arasında, %0.5 sitrik asit ve %0.5 askorbik asitte ıslatmak, tüm kalite parametrelerini dikkate alarak nispeten daha kabul edilebilir bir ürün elde edilmesini sağlamıştır [30].

Toğrul ve ark, 0.5, 1.0 ve 1.5 cm kalınlığında küp küp dilimlenmiş mantarların kuruma davranışlarını infrared kurutucuda 50 °C, 60 °C ve 80 °C farklı kurutma sıcaklıklarında incelemiştirler. Sıcaklığın 50 °C den 80 °C ye yükseltilmesiyle 0.5, 1.0 ve 1.5 cm kalınlıkların kuruma sürelerinde sırasıyla 170, 140, 104 dakikalık azalma olduğunu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda mantar dilimlerinin kalınlığı difüzyon katsayısına nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Sonuç olarak dilim kalınlığı artışı ile sıcaklık artışının difüzyon katsayısında yükselmeye sebep olduğunu belirlenmiştir [31].

Dinani vd, elektrohidrodinamik destekli sıcak hava kurutucusuna belirli voltaj akımları verilerek sabit bir hava akışında voltajın kurutma hızına etkisi araştırmışlardır. Mantar dilimleri farklı boyutlarda kesilerek bu farklı boyutlar üzerinde voltaj etkileri araştırmıştır. Dilim kalınlığı arttıkça kurutma hızı düşmüş

farklı dilim kalınlıklarında kV bazında verilen voltajlar 2 kV oynamalarla daha yüksek oranlar vermiştir [32].

Zhang vd, hem sıcak hava kurutma hem de uzak infrared kurutma işlemleri sırasında kültür mantar dilimlerinin kalitesini arttırmak için kurutmadan önce ultrasonun, ön işlem yöntemi olarak kullanımını araştırmışlardır. Farklı ön muamele örnekleri arasında önceden işlenmiş örnekler, protein, indirgen şeker ve toplam şeker içerikleri arasında önemli bir değişiklik olmamıştır. Ultrasonun ön işlem olarak kullanıldığı, her iki kurutma sisteminde su kaybını kolaylaştırdığı gösterilmiştir. Ultrason ile ön işleme tabi tutulan örneklerin, muamele edilmemiş örneklere kıyasla kuruma süresinin %9,5 oranında azalmasına neden olmuştur. Ayrıca ultrason, kuruyan kültür mantarlarının hem nem difüzyon hızını hem de kütle transfer katsayısını arttırmıştır. Logaritmik model, iki kurutma işlemi sırasında farklı ön işlem yöntemlerinin su kaybı kinetiğini yeterince tanımlamıştır [33].

İzli ve Işık, mikrodalga, konvektif ve mikrodalga konvektif kurutma işlemlerinin mantar kurutma parametreleri, renk ve hüresel yapı özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Kurutma işlemleri için kurutma modellerini seçmek için, deneysel verileri dokuz ayrı matematiksel modele yerleştirilmiştir. İstatistiksel testlerin değerlendirilmesine dayanarak, Midilli & Küçük modeli, Difüzyon Yaklaşımı modeli, Logaritmik model ve Wang & Singh modelinin, mantar örneklerinin kurutma özelliklerini tanımlamak için en uygun modeller olduğu bulundu. En kısa kuruma süresi, 500 W değerinde (35 dakika) mikrodalga yöntemiyle sağlanmıştır [34].

Nehru vd, pleurotus mantarlarını bir güneşli kurutucuda test etmişlerdir. Denemeler öncesi mantarlar çeşitli ön işlemler ile muamele edilmiştir. Bu ön işlemler on beş dakika boyunca potasyum metabisülfat (%0,5), on beş dakika boyunca sodyum benzoat (%0,5) ve üç dakika boyunca haşlama ve soğutma işlemidir. Bu işlemler ile birlikte ön işlem uygulanmayan kontrol numunesi deneyi de yapılmıştır. Deneyler esnasında nem içeriği %10'a kadar düşürülmüştür. Kurutma süreleri 5.5 – 6.5 saat arasında değişmektedir. En kaliteli, yani tadını en iyi koruyan deneyimiz ise potasyum metabisülfat ön işlemi yapılan deneydir [35].

Das, kültür mantarının en iyi şekilde kurutulması için entegre bir kurutma sistemi gerçekleştirilmesini amaçlamıştır. Mikrodalga kurutmaya alternatif olarak konvektif sıcak hava ile beraber uygulanmasına karar verilmiştir. Minimum kurutma süresine ve daha iyi kalite özelliklerine bağlı olarak en uygun MW işlem süresi 20 ± 3 dakika olarak bulundu. Deneyler, optimum koşullar altında (21. ve 42. ve 63. ve 84. dakikalarda MW) 2.5, 5 ve 10 mm'lik dilim kalınlıkları üzerinde gerçekleştirilmiştir ve kurutma kinetiği, renk, su aktivitesi ve geleneksel sıcak hava kurutması ile karşılaştırılmıştır. Farklı kalınlıktaki mantarlar karşılaştığında optimum kuru mantar dilimi kalınlığı 2.5 mm olarak bulunmuştur [36].

Tian vd, sıcak hava, vakum, mikrodalga ve mikrodalga vakum kurutma tekniklerinin shiitake mantarlarının üzerinde nitelik ve uçucu bileşik açısından etkileri incelemişlerdir. Sıcak hava kurutma ve vakum kurutma ile kurutulmuş mantarların B12 vitamini içeriğinin artmasına neden olmuştur. Mikrodalga vakum kurutma numunelerinin rengi, taze mantarların rengine yakın olduğu görülmüştür. Toplam serbest amino asitlerin içeriği ve toplam uçucu bileşik miktarı, dört kurutma yöntemiyle de (HAD, VD, MD ve MVD) artış göstermiştir. Mikrodalga vakum kurutma ve mikrodalga kurutma numuneleri sırasıyla en yüksek uçucu bileşik sayısına ve en düşük toplam uçucu bileşik içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Kurutulmuş ürün kalitesi ve uçucu bileşikler dikkate alındığında, yüksek kaliteli kurutulmuş shiitake mantarlarını düşük maliyetli bir şekilde elde etmek için mikrodalga vakum kurutma yöntemi ile kurutmanın potansiyel olabileceği görülmüştür [37].

Arıcı, mantarın kurutma ve rehidrasyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla 45°C , 50°C ve 60°C sıcaklıklarda ve 0.9 ve 1.6 m/s hava hızı şartlarında kurutulmuştur. Çalışmada örnekler 3 dakika süreyle buharda haşlanmış daha sonra %5'lik sodyum metabisülfid ve %0.5'lik sitrik asit çözeltisine 5 dakika süreyle daldırılmıştır. Analizler sonucunda, ürünün rehidrasyon kapasitesinin ön işlemsiz örneklerde diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür [38].

Hanmammadli, 4 farklı mantar türünü (shiitake, istiridye, kestane ve kültür) 3 farklı mikrodalga gücüyle (100, 200 ve 300 W) kurutmuştur. Mantar örneklerinin kurutma

kinetiklerini incelemiştir. Bunlardan kurutma davranışlarını en iyi açıklayan ince tabaka kurutma modelini seçebilmek için 10 farklı matematiksel model verilerini deneysel olarak uygulamıştır. Mantar örneklerinin rehidrasyon oranı ve renk değişimleri değerlerini analiz etmiştir. Deney sonuçlarında kuruma süresi en kısa 27 dakika ile kestane mantarının 300 W mikrodalga gücünde kurutulduğunu gözlemlemiştir. İstatistiksel hesaplamaların sonucunda, 300 W mikrodalga gücünde kurutulmuş kültür mantarının kurutma kinetiklerini en iyi hesaplayan model olarak Page modeli olduğunu tespit etmiştir. Diğer kurutma davranışları içinde Midilli modelinin uygun olduğunu bulmuştur. Kurutma davranışının etkisiyle bütün taze mantar örneklerinin renk parametrelerinden olan L*değerlerinde azalma gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Sonuç olarak mikrodalga gücüyle kurutma yönteminin shiitake, istiridye, kestane ve kültür mantarlarının kurutulmasında kolaylıkla uygulanabilir yöntemlerden olduğu öngörülmüştür [39].

BÖLÜM 3

MANTARLAR

3.1. MANTARLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Mantarların, eski zamanlardan bu yana insanlara çok faydalı olduğu bilinmektedir. Mantarlar uzun zamanlardan itibaren biliniyor olmasına rağmen öncelikli olarak 16. yüzyılda Fransa'da artmaya başlamıştır. İlk zamanlarda mevsimsel durumlara göre açık havalarda yetiştirilmiştir. 19. yüzyılın başlangıcında ise nem miktarının tamamının düzenli seviyelerde olduğu kapalı alanlarda ilkel olarak üretilmeye başlamıştır [40]. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir mantarın genel yapısı ve bölümleri gösterilmektedir. Mantarın toprak altında yer alan kısmı miseller, toprağın üstündeki kısım ise şapka olarak isimlendirilir. Bitkilerin köklerine benzeyen şekildeki miseller, topraktan besin maddelerini ve suyu alarak diğer kısımlarına ulaştırır.



Şekil 3.1. Mantarların genel yapısı [40].

Mantarların alt kısmında bulunan lameller, mantar genç iken pembe renktedir. Ancak zaman içinde taşıdığı sporların olgunlaşmasıyla koyu kahverengi renge dönüşür. Mantarın şapka kısmındaki lamellerde oluşan basidiosporlar belirli bir olgunluğa

ulaştıklarında etrafa yayılırlar. Buldukları ortam uygun hale gelince çimlenerek yeni mantarların oluşmasını sağlarlar. [40]. Mantarlar, aromaları ve lezzetli olmaları sebebiyle büyük önem taşır. %92 civarında su içeriğine sahip ve besin değeri bakımından sebzelere göre çok farklılık göstermektedir.

Mantarlar (funguslar)'ın yapısında kök, gövde, yaprak, çiçek ve klorofil yer almaz ve ökaryotik organizmalar olarak adlandırılır. Şapkalı mantar, küf ve mayaları da kapsayan büyük bir gruptur. Mayalar dışındaki diğer grup çok hücreli yapıdadır. Mantarlar spor oluşturan ve heterotrof halde saprofit ve parazit şekilde yaşayan canlılardır. Saprofitik mantarlar hayvan artıkları, ölü bitki ve canlı organizma artıklarının üzerine yaşamaktadır. Bunlar yaşadıkları ortama salgıladıkları enzimlerle, bu artıkların yapısında yer alan protein ve polisakkarit yapılarını parçalayarak yapıtaşlarına ayrıştırmaktadırlar. Ortamda bulunan ayrılmış maddeleri absorbe ederek, beslenmelerini gerçekleştirmektedirler.

Hayvan ve bitki paraziti olan mantarlar ise canlı hücreleri enfekte ederek bunların besinlerinden faydalanmaktadır. Mantarlarda bulunan tubuler elementler vejetatif yapıyı oluşturur ve bunlar hif olarak adlandırılmaktadır. Var olan her bir hif yapısı hücre çeperi ile sarılmıştır. Vücutları mikroskopik boyutlarda ince, bölmesiz ve enine bölmeli, bol miktarda dallarına ayrılmış, iplikli hifli yapılardan oluşan misel olarak adlandırılan kısımlar oluşur. Uygun ortam koşullarında, hiflerin uçlarından uzayarak çoğalan ve dallanmak şartıyla birleşerek oluşan gözle görülebilir bu yapılar miselyum adı verilmektedir. Miseller karmaşık bir ağ yapısı şeklindedir. Bol miktarda oluşturulan hifsel dallar ve hifler yaşanan ortamın içerdiği besin maddeleri ile temas etmek için uç kısımlarından büyürler [41]. Hiflerin ucunda bulunan misel ağlarının içinden havaya doğru yükselen konidia olarak adlandırılan sporlar oluşmaktadır. Konidiaların spor yapıları eşeysiz olup, mantarların bir noktadan başka bir noktaya taşınmasını sağlamaktadır. Bazı şapkalı mantarlar içerisinde ise milyonlarca spor bulduran makroskopik üreme yapıları bulunur ve bunlarda eşeyli üreme yeteneğine rastlanmaktadır [42].

Mantarlar ışığa bağımlı olmadığından karanlık ortamlarda da büyüyebilirler. Ayrıca çekirdekleri gerçek olan hücrelere sahip olup klorofilden yoksun olduklarından

dolayı karbonlu besinleri sentezleyemez ve diğer canlılardan yararlanarak elde ederler. Çoğunluk olarak sulu, aerobik, nemli, yüksek ve 4-7 arasında pH değerine sahip ortamlarda beslenip yaşarlar. Besinlerini salgıladıkları enzimlerle suda eriyebilecek yapıya getirdikten sonra içine çekerler. Mantarlar çoğunlukla uygun oda sıcaklığında (22-24 °C) yaşayabilselerde sıcak ve soğuk koşullara uyum sağlamış olanları da bulunmaktadır [41,44]. Dünyadaki dağlar, denizler, ovalar, sulak alanlar, tarım alanları, orman alanları, mera ve çayırlar özellikle de toprakların üst tabakaları çeşitli canlı türleriyle kaplanmış durumdadır. Dünyanın bu alanlarında yaklaşık olarak 1,7 milyon canlı çeşidi olduğu bilinmektedir [43]. Bu canlılardan mantarlar ve bitkiler ortalama 500 milyon yıl önce okyanuslardan yeryüzündeki karalara ilk olarak dağılan canlılardır. Doğada binlerce farklı tür mantar olduğu bilinmektedir. Bu mantarların türlerine göre her biri çok farklı özelliklerde yapılara sahiptir. Bu özelliklerin belirlenebilmesi Mantar Bilimi olarak bilinen “Mikoloji” bilim dalının görev alanını kapsamaktadır. Mikologlar yani mantar bilimciler her bir mantarın farklı özelliklerini belirleyebilmek için uzun süre çalışmalar yapmaktadır. Doğada zehirli olan yenilemez mantarlar ile zehirsiz olan yenilebilir mantarların hepsi bir arada yetişmektedir. Yenilebilir mantarların anlaşılması mikologlar dışında diğer insanlar tarafından genellikle basit deneysel çalışmalara ve görünümüne dayanarak anlaşılmaktadır. Bu durum riskli olup ölümlerle bile sonuçlanabilecek ortamlar yaratabilir. Çünkü mantarların yenilebilir olup olmadığını belirleyen asıl değerlendirmeler bunların çok daha ötesinde olabilir [45].

3.2. MİKORİZA

Bitkilerin kökleri ile mantar miselleri arasında karşılıklı yararlanmaya dayalı bu ilişkiye “mikoriza” denilmektedir. Bitkideki karbon ve esansiyel organik maddeler mantarlar tarafından kullanılırken, buna karşılık mineral tuzlar ve su bitkiye verilir [46].

Mykes (mantar) ve rhiza (kök) kelimelerinden oluşan, Yunanca “Kök mantarı” anlamına gelen bir terimdir. Mikorizal ilişkiler, dünyada var olan bitkilerin yaklaşık %92’sinde görülmektedir [47]. Heterotrof organizma ile ototrof konukçu bitki arasında besin alışverişini ve ekolojik doğal dengenin korunmasını sağlamaktadır.

Bundan dolayı bitki canlılığının devamı ve besin döngüsü ekosistem için büyük öneme sahiptir. Toprakta yetiştirilen bitkilerin kök kısımları çoğunlukla mikorizalı yapıdadır. Mikoriza yapılı mantarların sporları yeryüzünde var olan hemen hemen bütün topraklarda bulunmaktadır [46].

Mikorizal gelişimdeki olaylar şöyle özetlenmektedir: Bitki yüzeylerinde yer alan salgılar sayesinde mantarlar kendisine bağlanır. Konukçu bitkilere zarar vermeden mantarların içine girebilmek için mekanizma geliştirilir. Mantarlar enerji için konukçu bitkilere bağımlı olurlar. Bitki içindeki bulunan emici hifler yüzey alanını ve geçirgenliğini artırır. Mikorizal mantarlar tarafından oluşturulan toprak üzerindeki organlar, topraktaki mikorizaların kanıtı olup, belli zaman aralıklarında konukçu ağaçların yakınlarında gözlemlenir. Şapka veren mantarların tamamı mikorizal değildir. Ormanlarda parazitik, saprofitik ve mutualistik yapılı birbirinden farklı görünüme sahip mantarlara ev sahipliği yapar [48,49]. Zn, K, Ca, P, K gibi elementleri biriktirerek bunların bitki dokularına taşınmasına yardımcı olur. Ektomikorizal hifler, karbonhidratların kullanımı, antibiyotik salgısı gibi durumlardan ve patojenik olan mantarların saldırısından hassas kök dokularını korumayı sağlar. Mikorizanın beslenme açısından önemi; kökün etkilediği alan dışında ulaşılamayan besin maddelerinin ve kökten gelişim gösteren mikoriza hiflerinin, kökün uzantısı görevi görerek toprağı sömürmesinden kaynaklanmaktadır. Mikoriza toprakta geniş yayılma özelliği gösterir ve metabolizma hızının etkisiyle topraktan iyon alımını, bu iyonların birikimini ve konukçu bitkiye taşınmasını sağlayan önemli görevleri belirtilmiştir [50, 51].

Mikoriza türleri buldukları çevre şartlarına göre değişmektedir. Değişik mikorizalar farklı bitkilere enfekte olduklarından birbirlerinden farklı görevler üstlenmektedir. Bazı mikorizalar besin elementlerinin alımını yaparken bazıları bitkiyi sıcaklık ve kuraklığa karşı korumaktadır. Mikorizal mantarlar, bitki köklerinin morfolojik yapısı ve enfeksiyon seçiciliği açısından temelde Endo ve Ektomikoriza olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [52].

3.2.1. Ektomikorizal Mantarlar

Ektomikorizal mantarlar ormancılık, tarım ve ekonomik bakımdan mantarların en önemli gruplarını oluşturmaktadır. Ekosistemde yer alan bu mantarlar toprakta bulunan mikrobiyal kitlenin önemli üyelerindedir. Çoğunluğu Basidiomycota takımından olan toplamda ortalama 65 cins Ektomikorizal mantar oluşturur. Bunun yaklaşık 45 tanesi Basidiomycota, 18 tanesi Ascomycota ve diğerleri Zygomycota'ya aittir [44]. Dünyada 300'den fazla yenilebilir ektomikorizal mantar türleri bulunmaktadır. Ektomikorizal mantarlar yaşam biçimleri açısından 4 farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

Birinci grup: Uygun konukçularla mikoriza oluşturabilen ve genellikle serbest şekilde yaşayan saprofit türlerdir. Örnek olarak; *Phallus impudicus*'tur.

İkinci grup: Geniş konukçu sınıfına sahip, serbest şekilde yaşayan ve saprofit bir yeteneğe sahip ektomikorizal türlerdir. Buna örnek; *Scleroderma aurantium* verilebilir.

Üçüncü grup: Ektomikorizal türlerin büyük çoğunluğunu bu grup oluşturur. Geniş konukçu sınıfına ve bitki kökleriyle olan ortak yaşam biçimine sahiptir. Örneğin, *Lactarius deliciosus*.

Dördüncü grup: Sınırlı oranda konukçu sınıfına sahip, genellikle serbest yaşayamayan mantar türlerinden oluşan gruptur. Örneğin, *Boletus elegans* [53].

Ektomikorizal mantarlar; Fe, Cu, N, Mn, K, Zn, P ve Ca gibi vitaminler açısından önemlidir. Birçok element ektomikorizal özellik bakımından verimli şekilde absorbe edilebilmektedir. Mikorizal köklerin topraktan besin maddelerini alma hızı, mikorizal olmayan köklerin hızına oranla 3 kattan daha fazla olabilmektedir [54].

Bitkilerin su kullanım etkinliğini artırması, besin maddesi alımı ve toprak yapısını geliştirerek erozyona karşı toprağın korunmasını sağlamaktadır. Çevresel kirleticilere karşı ektomikorizal mantarlar dayanıklılığı artırmaktadır. Organik kirleticilerle

toprağın devamlı temizlenebilmesini kolaylaştırmak için ektomikorizal ilişkiler kullanılmaktadır [55].

Birçok ektomikorizal mantar türünün, kültür olması için öncelikle konukçu bitkilerle ile mantar türlerinin biyolojisi arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekir. Bu tür mantarların kültür olarak alınması özellikle orman alanlarının yeniden ağaçlandırılmasında ve ormandan geçim sağlayan köylülere ek gelir sağlanmasında büyük önem taşımaktadır.

3.3. MANTARLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Mantarların tedavi edici özellikleri binlerce yıldır insanlar tarafından bilinmesine rağmen antibiyotiklerin keşfine kadar, mantarların kimyasal bileşenleriyle ilgili çalışmalar bugünkü kadar ilgiye sahip olmamıştır. Penisilin'in keşfiyle mantarlarla ilgili yapılan çalışmalara önem artarak devam etmiş ve birçok yeni biyoaktif bileşik keşfedilmiştir. Bazı mantar türlerinin içerisindeki bileşenlerin etkisi ile bağışıklık düzenleyici, antitümör, antimikrobiyal özelliğe sahip oldukları tespit edilmiştir. Mantarlar, protein polisakkarit bileşikleri (Polisakkaritpeptid, Polisakkarit-K), enzimler (glukoz, oksidaz gibi), ikincil metabolitler (alkaloidler ve laktonlar) gibi teröpatik özelliğe sahip maddeler içermektedirler. Literatüre göre mantarların brüt yapısının %90'nı su ve kuru ağırlığının ise %10–40'nı protein, %2-8 yağ, %3-28 karbonhidratlar, %3-32 lif ve %8-10'nu ise tuzlar, metaller vb. oluşturmaktadır [56]. Mantar proteinleri, Treonin, Valin, Glutamik asit, Aspartik asit ve Arjinin bakımından zengin olmasının yanında, Metionin ve aminoasitleri açısından fakirdirler. Bunların yanında Triptofan, İzolösin, Lizin ve Lösin gibi aminoasitler bazı yenebilir mantarlarda sınır değerlerde bulunmaktadır. Mantarlardaki serbest aminoasitlerin bulunma oranları ise, 7 ile 12 mg/g protein arasında değişmektedir [57,58].

İnsanlar için yüzyıllardır iyi bir besin kaynağı olan şapkaklı veya makromantarlar, yüksek vitamin ve protein içeriğinin yanı sıra; mineral, karbonhidrat ve düşük yağ oranına sahip, lif bakımından zengin önemli gıda ürünüdür [59,60]. Mantarlar, sindirimi kolay proteinlere sahip olduğu için diğer sebzelerden ayrılmaktadır. Mantar

proteininin sindirimi %72-83 aralığında değişmektedir. Meyve ve sebzelere göre daha iyi treonin, histidin, arginin ve lizin kaynağıdır. Mantarlar fosfor, potasyum, demir, sodyum, çinko, brom, manganez, klor, bakır, kalsiyum, biyotin, tiamin, riboflavin, nikotenik asit içerir ve çok önemli bir folik asit kaynağıdır [40,61].

Yenilebilir mantarların bileşiminde önemli aminoasitler, B, C, D, K grubu vitaminler ve (tiamin, nikotinik asit, biotin) bulunmaktadır. Mantarların kimyasal bileşimleri cins ve türlere bağlı olduğu gibi yetiştirme ortamına, atmosferik şartlara, yaş ve mantarların üreme organları olan fruktifikasyon kısımlarına göre de değişiklik göstermektedir [62,63].

Mantarların %88-94 aralığındaki oranını su oluşturmaktadır. Geriye kalan %12-6'lık kısmın ise %42-71'ini karbonhidrat, %15-42'sini protein, %2-6'sını ham yağ ve geriye kalan %6-13'ünü kül oluşturmaktadır. Örneğin protein ihtiyacı olan bir kişinin kırmızı et yediğinde aldığı doymamış yağ oranı %17-20 aralığındadır. Bu kişinin aldığı doymamış yağların doymuş yağlarla birleşmesiyle kalp ve damar tıkanıklıklarına neden olmaktadır. Bundan dolayı sağlık bakımından beyaz ve kırmızı et yerine protein kaynağı olarak mantarların tüketilmesinde faydalı olmasının sebebi mantardaki yağ oranının çok düşük olmasıdır [64].

3.4. MANTARLARIN İNSAN SAğLIğINA ETKİSİ

İnsanoğlu mantarlarla çok eski zamanlardan günümüze kadar ilgilenmiş ve ihtiyaç duydukları alanlarda kullanmışlardır. Yenilebilir yabani mantarlar tarihi uygarlıklarda insanlar tarafından sağlıklı yaşamın sırrı gibi amaçlar için kullanılmıştır. Günümüzde ise mantarlar hem beslenme hem de tıbbi açıdan faydalı bir besin olarak görülmektedir. Bundan dolayı önemi her geçen gün artış göstermektedir. Mantarlar doğal ürünler olduğundan kolaylıkla yetiştirilmeleri, ucuz olmaları klinik ve araştırma denemeleri için kaynak haline gelir. Günümüzdeki antibiyotiklerin büyük çoğunluğu mantar kaynaklıdır [65].

Mantarlar vitamin ve mineraller bakımından oldukça zengindir. Folik asit eksikliğinden kaynaklı anemi hastalığının tedavisinde etkili bir şekilde

kullanılmaktadır. Mantarlar aşırı kilolu insanlar için diyetlerde tercih edilmesi gereken bir besindir. Diyetlerde verilen mantar, başlangıç aşamasında fazlaca yenilebilir. Açlık durumunun ortadan kaldırılmasına katkı sağladığı ve çeşitli hastalıkla karşı vücut direncini arttırdığı bilinmektedir [66]. İnsanların temel besin ihtiyaçlarını karşılarken metabolizmalarını da aktif hale getirmekte ve fonksiyonel gıda olarak bilinmektedir [67].

Yenilebilir mantarların çok fazla talep edilmesinin sebebi, besleyici özellikli olduğundan kaynaklanmaktadır. Yenilebilir mantarların içeriğinde bulunan proteinin %70'i vücutta rahatlıkla sindirilebilmektedir. Bazı sebzelerle karşılaştırıldığında 5-10 kat daha fazla B3 vitamini bulundurduğu saptanmıştır [68]. Mantarlar çabuk bozulabilen besinler olduğu için toplandıktan sonra kısa sürede tüketilmelidir. Günümüzde doğadan toplanarak tüketilen mantarlar hızlı bir şekilde azalmakta ve nüfusun artmasıyla birlikte insanlar, hayvansal gıdalardaki protein eksikliğini mantarlardan karşılamaktadır. Mantarların içerisinde ürik asit az olduğu için gut hastalığına iyi gelen bir protein kaynağıdır [69].

Dünyada çok fazla çeşidi bulunan mantarlar, besin değeri oldukça yüksek gıda türü arasında yer alır ve özellikle demir bakımından çok zengindir. A, B, D, P ve K vitaminleri önemli oranda bulunmaktadır. Mantarların sağlıklı besin kaynağı olmasının sebebi; vitamin ve mineral bakımından zengin olmaları, kolesterol içermemeleri, fibrilli yapılarının olmasıdır [70]. Vitaminler açısından çok zengin içeriğe sahip olması sinir sistemi üzerinde sakinleştirici etkiye yol açtığı bilinmektedir. Mantarların hipertansiyon, hiperkolesterol ve kanser gibi hastalıklara karşı koruyucu bir besin olarak kullanılmasının nedeni kimyasal kompozisyonlarıdır [47].

Yaygın olarak tüketilen yenilebilir yabani mantarların %6'sı tıbbi ve terapötik özelliktedir. Bazı çalışmalarda mantarların farklı immünolojik ve antikanser özellikleri ile ilgilendiği gözlemlenmiştir. Bu mantarların karaciğer hastalıklarından koruma, antimikrobiyal, antibiyotik ve antiviral gibi sağlığa yararlı etkileri de bulunmaktadır. Ayrıca kanserin etkili türlerini engelleyerek ve virüslerle savaşarak vücuttaki intihapları azaltmaktadır. İçeriğindeki yağ ve karbonhidrat oranı az olduğu

için kalp ve damar hastalıklarını tedavi edici etkisi bulunmaktadır. Kan dolaşımının ve kolesterolün düzenlenmesinde faydalı olduğu görülmüştür.

Mantarın içerisindeki ergosterol adlı bileşiği; güneş ışığıyla D vitaminine dönüşerek kemik, kas, lenf hastalıkları ve raşitizm oluşumunu engellemektedir [71].

3.5. TÜRKİYEDE MANTARIN ÖNEMİ

Türkiye'deki birçok doğal alan, mantarların yetişmesi için uygun bir vejetasyona ve iklime sahiptir. Ilıman ve subtropikal iklim kuşakları arasında yer alan ülkemizde; kıyı kesimlerde denizlerin bulunması ve iklimi yumuşatması nedeniyle ılıman iklim; iç kesimlerde ise dağların deniz etkisini önlemesi nedeniyle karasal iklim etkileri görülmektedir. Vejetasyon ise iğne yapraklı ormanlardan geniş yapraklı ormanlara kadar değişiklik göstermektedir.

Ülkemizde mantar çeşitliliğinin fazla olmasının sebepleri arasında; geçmişten günümüze çok değişik medeniyetlere ev sahipliği yapmış olması, yükseltelerin ve toprak yapısının farklı olması, farklı iklim ve bitki örtülerine sahip olması, üç farklı fitocoğrafya bölgesinin olması şeklinde sıralanabilir [72]. Türkiye coğrafyası, farklı jeomorfolojik ve topografik yapısı nedeniyle doğal kaynaklar bakımından oldukça zengindir. Mantarlar bu doğal kaynakların içerisinde yer almaktadır [73]. İklim farklılıkları ve tür zenginliği mantar florasının çeşitli ve daha zengin olmasını sağlamaktadır. Türkiye'de kendiliğinden yetişen mantarlar, Avrupa ülkelerine göre verimlilik ve çeşitlilik konusunda daha üstündür. Avrupa'da az görülen ve koruma altına alınmış birçok mantar türü ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Mantarların oluşumunda gerek duyulan sıcaklık ve nem değerleri Türkiye'de sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde görülmektedir [66].

Türkiye'de yenilebilir doğa mantarı türü ortalama 300 civarında bulunmaktadır. Bulunan bu mantarların bir kısmı ihraç edilirken bir kısmı da pazarlarda satılmaktadır. Mantarların lezzetli olması açısından en çok tercih edilenleri; kanlıca mantarı, ayı mantarı, yumurta mantarı, kuzugöbeği mantarı ve imparator mantarıdır. Karadeniz, Akdeniz, Ege ve Batı Karadeniz bölgeleri mantarların yoğun şekilde

yetiştiği yerlerdir. Türkiye mantar florasını ve yenilebilir mantarları belirlemek amacıyla birçok taksonomik çalışmalar yapılmaktadır [74,75].

3.6. MANTARLARIN KULLANIM ALANLARI

3.6.1. Gıda Olarak Kullanım

Doğadan toplanan ve kültür ortamında üretilen bazı makrofungusların fruktifikasyon organları besin olarak tüketilmektedir. Bu yönüyle makrofunguslar gıda endüstrisi için büyük önem taşıtmaktadır. Karbonhidrat ve yağ içeriklerinin birçok besin kaynağına göre düşük olması nedeniyle sağlıklı bir beslenme düzeni için aranılan özelliklere sahiptirler. Yenilebilen şapkalı mantar türleri diyetisyenler ve araştırmacılar tarafından sağlıklı bir gıda maddesi olarak topluma tavsiye edilmektedir [76]. Günümüzde kültürü yapılan mantarların başında *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Volvariella volvacea*, *Pleurotus* türleri gelmektedir. Yöremizde mantarlar genellikle doğadan toplanarak tüketilmektedir. Mevsimine göre sonbaharda ıntar (*L. deliciousus*), ilkbaharda kuzugöbeği (*Morchella esculenta*) türleri pazarlarda oldukça yaygındır. Bunların yanında kuzugöbeği ebesi (*G. esculenta*) ve anak (*Sarchosphaera crassa*) Muğla ve yöresinde yaygın olarak tüketilen mantarlardır.

3.6.2. Endüstriyel Kullanım

Gerçek funguslardan olan mayalar, fırıncılık ve fermentasyon endüstrisinin temelini oluştururlar. İnsanoğlu fermantasyonu ve mayalanmış hamuru keşfettiğinden beri beslenmede ekmek en büyük paya sahip olmuştur. Funguslar aynı zamanda sitrik asidin endüstriyel olarak üretilmesinde; bazı peynir türlerinin (r; Rokfor, Gorgonzola, Kamembert, vb.) hazırlanmasında kullanılmaktadırlar. Penisilin gibi birçok antibiyotiğin; biyotin, tiamin ve riboflavin gibi bazı vitaminlerin; ergotamin, kortizon gibi önemi ilaçların üretilmesinde de funguslardan yararlanılmaktadır. Pektolaz ve amilaz gibi enzimler; gibberelin gibi bazı hormonlar da funguslardan faydalanılarak üretilmektedir [77].

3.6.3. Tıbbi Kullanım

Tıbbi mantarlar; çok eski zamanlardan beri iyileştirici ajanlar olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak bilinen 6000 mantar türü vardır. Bunlardan 650 kadarı tıbbi özelliği nedeniyle halk arasında kullanılmakta olsada günümüzde yaklaşık 20 mantar türü klinik olarak kullanılmaktadır. Tıbbi amaçlı kullanılan yenilebilir mantarlardan bazıları *G. frondosa*, *L. edodes*, *F. velutipes*, *P. ostreatus*, *Tremella mesenterica* ve *Heridium erinaceus*'dur. Bunların yanında *Ganoderma lucidum*, *Schizophyllum commune* ve *Trametes versicolor* yenmez, fakat farklı şekillerde kullanılarak tıbbi özelliklerinden faydalanılan mantarlardan birkaçıdır [78].

BÖLÜM 4

LACTARIUS VE TÜRLERİ

4.1. LACTARIUS HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi koşullar ve iklim sebebiyle farklı ortamlarda yetişen doğal yenilebilir mantarlar açısından oldukça zengindir. Zehirli, yenilemeyen ve yenilebilir türleri bulunan mantarlar, sıcaklık ve nem gibi koşulların uygun olduğu zamanlarda çayırlar, ormanlar, canlılığını kaybetmiş bitki parçalarının üzeri ve organik maddece zengin alanlarda yetişmektedirler [79]. Hem doğadan direkt toplanabilen hem de kültür şeklinde yetiştirilen yenilebilir özellikteki mantarlar besin kaynaklarımız açısından önemli bir yere sahiptir. Bu mantarlar besin değeri bakımından %90 su, %10 kuru maddeleri içermektedir [80].

Lactarius, Russulaceae familyasından yer alan dünyadaki mantarların en önde gelen cinslerinden biridir. Lactarius cinsine ait mantar türleri sütleri sayesinde ayırt edilebilmektedir. Mantarın herhangi bir yeri kesildiğinde veya kırıldığında, farklı renklerde görülebilen süt olarak tanımlanan bir sıvı açığa çıkmaktadır. Ormanlarda ve orman topraklarında, çam ve meşe ormanlarında sıkça rastlanmaktadır [81]. Ülkemizde sıklıkla Karabük, Bolu, Sinop, Bursa, Bartın, Kastamonu, Sinop, Balıkesir gibi orman ekosistemlerinin yoğun olduğu bölgelerde bulunmaktadır.

Ülkemizin birçok yöresinde yetişen doğal mantarlar, halk tarafından mevsiminde toplanarak tüketilmekte veya ticareti yapılmaktadır. Tıbbi öneme sahip yenilenebilir mantarlar, yapılacak çalışmalarla hem aile ekonomisine hem de bölgesel kalkınmalara fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılan bilimsel çalışmalardaki verilere göre 40'a yakın yenilebilen Lactarius mantar türü, çoğu bölgelerde köylüler tarafından toplanıp yemeklik olarak kullanılmakta, yöre pazarlarında satılmakta ya da bazıları ihraç edilerek önemli gelir kaynağı olmaktadır [80].

Sonbahar mevsiminde yağmurdan sonra kar düşene kadar meşe, göknar ve çam ormanlarında görülmektedir. Kanlıca mantarları çam ağaçlarının dibinde yetişiyorsa koyu kırmızı renkte, meşe ağaçlarının altında yetişirse açık turuncu renkte olur. Kanlıca mantarları da diğer mantarlar gibi bol miktarda su içerir. Toplandıktan sonra kısa sürede kurumaya başlar, bu yüzden taze taze tüketilmesi önerilmektedir. Kış için hazırlamak istenilirse iyi şekilde temizlenip sonrasında fırınlanarak derin dondurucuda saklanabilir. Toplama işleminden sonra uzun süre sıcakta bekletilirse kurtlanma olabilir. Ülkemizde Latince adlarıyla *Lactarius* türleri (*L. deliciosus*, *L. pyragalus*, *L. Controversus*, *L. deterrimus*, *L. salmonicolor*, *L. Semisanguifilus* ve diğerleri) ortak isimle halk arasında Kanlıca mantarı olarak bilinmektedir [82].

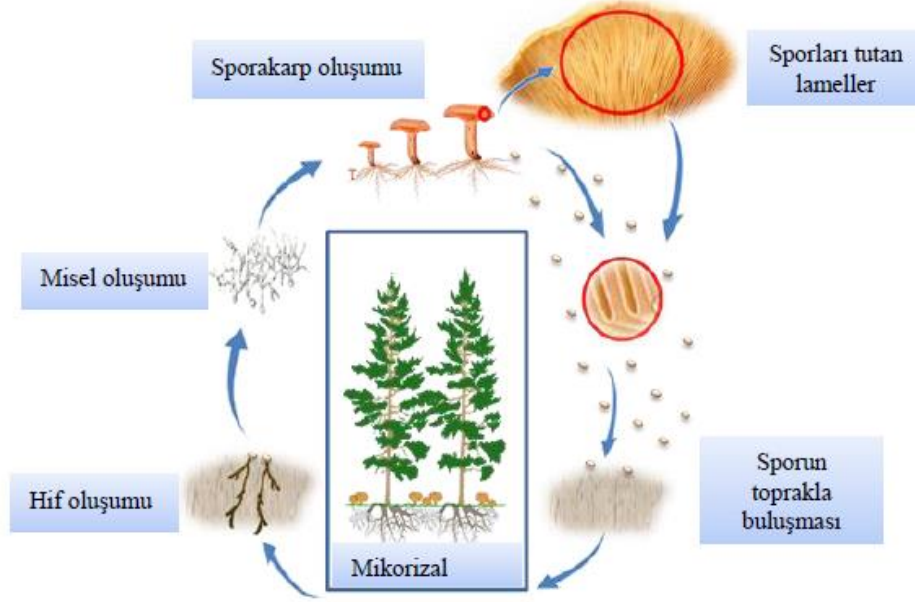
Sonbaharda ve kış aylarına doğru, Eylül- Kasım ayları arasında çok yoğun yağmur yağışlarından sonra toplanmaya başlar. Türkiye doğal mantarlar bakımından çok zengin bir ülke olduğu için bu mantarlar Avrupa'ya özellikle İspanya, İtalya, Almanya, Fransa, İsviçre ve Avusturya başta olmak üzere birçok ülkeye ihraç edilmektedir [83]. Mantarların lezzetli olmasından dolayı gastronomi alanında daha fazla yer alması, yiyeceklerin reçetelendirilmesinde kullanılması önemli özelliklerindedir.

Halk arasında çam meltisi, çıntar, kirit, melki, tillice, kızılıçi mantarı olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'deki mantar çeşitleri arasında en beğenilen ve bilinen yenilebilir yabani mantar türüdür. Başta ızgara olmak üzere en çok kavurma, sote, turşu, közleme ve böreklerin yapımında kullanılmaktadır [84].

4.2. LACTARIUS “KANLICA” MANTARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ

Dünyada genelinde sık tüketilen ektomikorizal mantarlardan biri olan Kanlıca mantarları, günümüzde Avrupa'ya ihraç edilmesiyle önemli bir boyuta ulaşmıştır. Mikorizal ortaklıklar oluşturan bu mantarlar orman ekosistemlerinde, toprak yapısı ve bitki gelişiminin karbondioksit salınımını sağlayarak uygun hale getirirler. Bitki köklerine tutunarak, gelişimleri için ihtiyaç olan su, suda çözünen tuzlar ve karbondioksiti absorbe ederler. Bundan dolayı orman ekosistemleri mantarların

gelişmesi için hayati öneme sahiptir. Şeki 4.1’de kanlıca mantarının yaşam döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kanlıca mantarı yaşam döngüsü [85].

Mantar miselleri çam ağaçlarının köklerine yumak şeklinde sarılarak ağ oluşturmaktadır. Basidiocarp şemsiye şekli Russulales takımında görülmektedir. Basidiumları topuz görünümünde ve dört spordan oluşmaktadır. Sporların üst kısmı damarlı ve sütlüdür. Dünyada 200’den fazla Lactarius türü tanımlanmasına rağmen ülkemizde şu ana kadar 40 tür listelenmiştir [85]. Lactarius türleri şekil ve görüntü bakımından diğer mantarlardan daha kolay ayırt edilebilmektedir. Genel görünümü konveks şapkaya benzer ve turuncu-sarı halkalardan oluşur. Lactarius’ un sporoforlu kısımları taze iken zarar gördüklerinde, kesilip veya koparılmaları durumunda açığa çıkan süt ve sulu özsu diğer mantarlardan kolaylıkla ayırt edilebilmelerini sağlar. Açığa çıkan özsu, sporoforun içerisinde farklı dokulardan oluşan lactiferous tüplerinden salgılanır. Pigmentleri çoğunlukla membranda veya intraselülerdedir. Sütlü tipleri bazı işlemlerden geçirilir daha sonrasında yenilebilir hale gelir. Bu tür mantarlar, sarı, beyaz, mor, turuncu gibi farklı renklerde sütlere sahiptir. Lactarius ismini Latince süt anlamına denk gelen “Lac” kelimesinden almaktadır. Süttten çıkan renk Lactarius türlerinin bilinmesi açısından önemli karakteristik bir özelliktir.

Kalkerli topraklarda ve çam ormanlarında yetişen *Lactarius* türleri Pinaceae familyasının yer aldığı asidik toprakları tercih etmektedir [86,87].

4.3. LACTARIUS (KANLICA) MANTARLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

4.3.1. Renk

Lactarius cinsi mantarlar renkli olmaktadır ve bu farklı renkler türlerin birbirinden ayrılması bakımından çok önemlidir. Bu cinsin pigmentleri genellikle suda çözülmez. Yağışların bol olması şapkanın renginde herhangi bir değişime sebep olmaz. Latex renksiz veya krem, mavi, kırmızı, sarı gibi renkli olabilir. Taksonomik karakterinden dolayı çok önemli bir yere sahiptir. Bazı türlerde ise hava ile latex temas ettiğinde renkte değişimler meydana gelir. Bundan dolayı mantarlar toplandıktan sonra teşhisi gerçekleşmelidir [81]. Örneğin; *Lactarius volemus* türünün sütü, et ile temasından sonra çok net kahverengini alır. Avrupa'da yer alan *Lactarius* türlerin arasındaki sporlar beyaz krem arası renkten koyu pembemsi renkte oluşur. Şapka renkleri kuru havalarda solgun ve üzerindeki desenler kaybolabilir, nemli havalarda ise yoğun koyu bir renktedir. Bu türlerin birçoğunda sap ve şapka aynı renktedir, bazılarında sap şapkaya göre biraz sönük olabilir. Mantarlar yaşlandıkça sap kısmı koyulaşma eğiliminde olur ve pembemsi beyazımsı zonları bulunur [88].

4.3.2. Yüzey

Şapka yüzeylerinin yapısı her cins için farklılık göstermektedir. Alt cinsler ve bölümlerin ayrılmasında bu dokular önem taşımaktadır. Makroskobik olarak yapışkan ve kaygan yüzeyler sayesinde ayrımları kolaydır. Bazı mantar türlerinde ise şapka yüzeyleri ipliksi yapıda olabilir. Mikroskobik olarak bilinen pileipellis yapısında da makroskobik şapka dokusu gözlenir. Bu çeşitliliklerin büyük bir kısmı kuru yüzeylerde çıplak gözle görülemez. *Russalaria* alt cinslerinde özellikle mikroskobik incelemeler yapılması tavsiye edilmektedir. Çoğu türde şapka ile sap aynı şekilde tüylü kadifemsi yapıdadır. *Lactarius* türlerinde saplar genellikle düz ve kurudur.

Piperatus cinsinde ise özel durum bulunur, bunlarda sap yüzeyi çukurludur. Bu çukurların genç iken üzerlerine düşen sıvı damlalar tarafından oluştuğu düşünülmektedir. Taze mantar örneklerinde özellikle güneşli havalarda hem yüzey dokuları hem de şapkalarında yer alan yapışkan ve kaygan yüzeyler kuruyabilir [88].

4.3.3. Lamel

Cins içerisinde lamellerin bağlanması önemli karakteristik özellikler arasında yer almamaktadır. Ancak bazı türler için alt cinslerindeki bu lamellerin dışları karakteristik bir durumdur. Örneğin; *L. pteroporus*un *L. ruginosus*dan, *L. circellatus*un *L. pyrogalus*dan ayrılması lamellerin arasındaki boşluklar açısından önemlidir. Birçok tür için farklı lameller gözlenmektedir. *Lactarius acerrimus* türünde çok belirgin olarak anastomosis lamelleri gözükürken, pek çok türde ise çatalı lamellere rastlanır. Lameller genç mantarlarda genellikle soluk haldedir. Rengi, çok net olan türler içerisindeki lamellerin ve sporların olgunlaşmasıyla artarak renklenir. Rengi beyazımsı veya daha solgun sporlara sahip türlerde ise lameller yaşla doğru orantılı olacak şekilde daha yoğun ve koyu hale gelir [88].

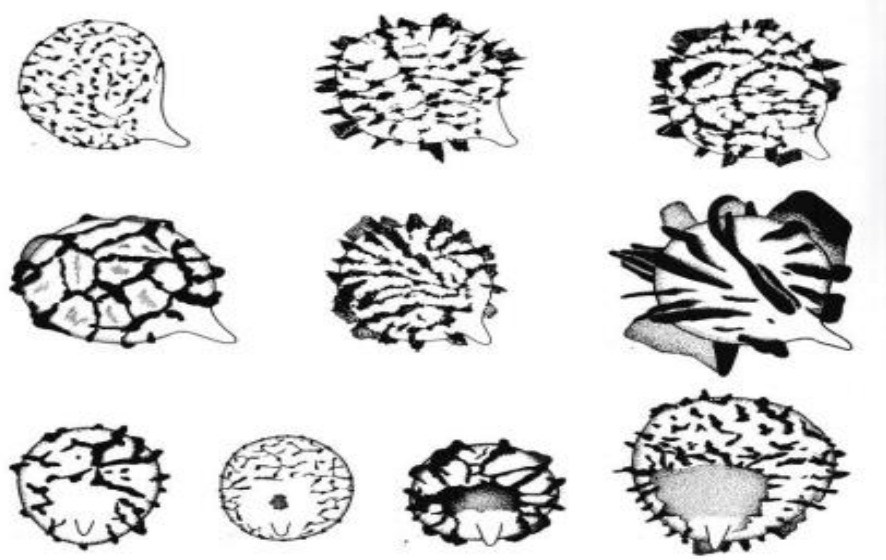
4.3.4. Tat ve Koku

Lactarius türleri çoğunlukla ekşi, acımtırak ve yakıcı bir tada sahiptir. Etli kısmı ile sütü, mantarların bulunduğu şartlar göz önüne alınarak ayrı ayrı tadılmalıdır. Örneğin *L. vellereus* türünde sadece etli olan kısım ekşidir. *Lactarius* türlerini tanıyabilmek için tat önemli bir özelliktir.

Her bir tür için kokuda belirleyici bir özelliktir. Bazı türlerin kokusu keskin ve değişik olabilir. Genellikle *Lactarius* türlerinin kokusu kalıcıdır. Baharat ve meyve kokuları bazı türlerde meydana gelir ve bu türlerin bilinmesi için önemli bir ipucu olmaktadır [88].

4.3.5. Spor

Spor yapıları türler arasında çok çeşitlilik gösterir ve türlerin tanımlanmasında desen örüntüsü belirleyici karakterdir. Türlerin yanı sıra mantarları genel olarak tanımak içinde kullanılır. Ancak bu desenlerin örüntülerini tanımlayıp kategorize haline getirmek kolay değildir. Çünkü tür içerisinde gradientli dağılım ve çeşitlenme fazladır. Bir sporun desenini analiz edebilmek için 4 değişken önemlidir. Bunlar; bazal desen birimlerinin şekli (yuvarlak, konik, düzensiz), birimlerdeki bağlantıların modu ve derecesi (düz çizgilerle bağlanmış veya izole olmuş), desenin yüksekliği ve bütün desenin düzeni (zebra ve ağsı şekilde)'dir. Sporların hangi madde ile kaplı olduğu da belirleyicidir. Amiloid maddeyle kaplı olabilir ancak bu özellik her sporun üzerinde görülmez. Sporların şekli ve boyutları cins için genellikle sabit haldedir. En küçük sporlar *L. scoticus*'da, en büyük sporlar ise *L. acerrimus*'da bulunmaktadır [88].



Şekil 4.2. *Lactarius* cinsine ait spor yapıları [88].

4.3.6. Ekoloji

Bütün ekosistemlerde ektomikorizal ilişki oluşturan türler arasında en iyi bilineni *Lactarius* türleridir. Bazı *Lactarius* türleri çok yaygın görülürken bazı türleri ise daha nadir yayılıma sahiptir. Türlerin yayılımına etki eden üç önemli ana faktör vardır. Bu

faktörler; toprak, iklim şartları ve mikoriza simbiyontlarının yayılım alanıdır. Bazı *Lactarius* türleri karakteristik olarak tek bir ağaç türü ya da cinsi ile simbiyotik ilişki içerisindedir. *Lactarius* türlerinin çoğunun özellikleri farklı bir mikorizal partneri bulunur ancak coğrafik ve ekolojik olarak geniş dağılımlar göstermektedir. Örneğin; *Lactarius circellatus* türü ile *Carpinus*, *L. deterrimus* ile *Picea* türleri arasında mikorizal ilişkisi bulunmaktadır [89]. *Lactarius* türlerinin oluşmasında konak yayılımı, iklim ve toprak şartları belirleyicidir. Örneğin; *L. Torminosulus*, *L. scoticus* ve *L. lilacinus* nemli topraklara uyum sağlamış türler arasındadır. *L. hysginoides* ve *L. lacunarum* türleri ise yağışın fazla olduğu ortamlarda yaygın olarak bulunurlar. Ektomikoriza oluşturan türler için toprak bileşimi, ısı, nem ve toprakta bulunan besinler de ihtiyaç duyulan önemli özelliklerdendir. Kanlıca mantarı oluşurken bakı, eğim ve yükselti gibi bazı topoğrafik faktörlerden etkilenmektedir. *Lactarius* türleri çoğunlukla kalkerli topraklarda bulunur [88].

4.4. LACTARIUS TÜRLERİ

4.4.1. *Lactarius Deliciosus*

Lactarius cinsinin 20'den fazla türünden biridir. *Lactarius* “sütlü”, *deliciosus* “lezzetli” demektir. Kanlıca, çam ve melki mantarı olarak adlandırılan, *Russulaceae* ailesinden ülkemizde en çok tüketilen yenilebilir yabani bir mantardır. Şapkası 4-12 cm civarında, konveks yapılı, merkezi batık, kenarları içe doğru kıvrılmış, olgunlaşınca vazo şeklini alan, yağışlı havalarda yapışkanlı, portakal renginde, olgunlaşınca yer yer yeşilimsidir. Sapı 2-6/1-2 cm civarındadır. Genç mantarlarda içi dolu, olgun mantarlarda ortası oyuk, üzerinde yer yer daha koyu renkli lagünler bulunur. Lamelleri hafifçe sap üzerine dökük ve sıktır. Lamellerinin rengi soluktur ve kayısı renginden daha koyu olan portakal rengine kadar değişiklik gösterir. Etli kısmı sıkı, sarımsı, zedelendiğinde turuncu renkte, belli bir süre sonrasında donuk renktedir. Çiğ olarak yendiği zaman tadı acıdır, pişirildiğinde ise bu acı tat kaybolmaktadır. *Lactarius deliciosus*, kozalaklı ağaçların asidik toprağı altında yetişir ve ana ağaçlarıyla mikorizal ilişki kurar. Çam, göknar, sarıçam ormanları, iğne yapraklı ormanların altındaki gölgeli alanlarda, 200–1500 m bütün bakılarda,

meşe ormanlarında ve sonbahar mevsimlerinde yağmurlardan sonra kar düşünceye kadar görülen türdür [89].



Şekil 4.3. Lactarius Deliciosus'un genel görünümü [89].

Spor izi sarımsı, sporlar yuvarlak, amiloid ortalama 7–10/6–9 mikrondur. Üzerindeki damarlar çok düzenli bir ağ yapısı oluşturur [90]. L. Deliciosus yüksek protein, karbonhidrat ve diyet lifi içeriğine sahip, yağ ve kalorisi düşük, yoğun doymamış yağ asitleri içeriğine sahip, zararlı metal elementler hakkında ihmal edilebilir sağlık riskleri olan iyi bir yabani mantardır. Mükemmel antioksidan aktivite sergiler. Turuncu renkli sütün içeriğinde 'Lactarioviolin' antibiyotiği bulunduğu ve Mycobacterium tuberculosis'e karşı etkili olduğu belirtilmiştir [90]. Lactarius deliciosus türünde tespit edilen mineraller şu şekilde tespit edilmiştir: Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ca, Zn'dir. Literatüre göre Türkiye'de en çok bilinen ve tüketilen yabani mantar türüdür.

Bu mantar türü İç Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgesinde "Tirmit" ve "Kanlıca", İçel yöresinde de "Glifoz olarak bilinir ve tüketilir. Akdeniz Bölgesi, Kaz dağları, Bursa, Trakya bölgesi, Giresun, Antalya, Bartın, Sivas, Karabük, Bolu, Kastamonu, Samsun yörelerinde yayılım göstermektedirler. Lactarius deliciosus, Roma döneminden bu yana Avrupa'da yenilmiştir ve hafif, hafif acı tadıyla Avrupa'da ve özellikle Portekiz'de ve İspanya'da büyük takdir görmektedir [66].

4.4.2. *Lactarius Salmonicolor*

L. salmonicolor, Russulales takımının Russulacea familyasında yer almaktadır. Bunların şapka büyüklüğü 5-15 cm kadardır. Mantarlar genç iken orta kısımları hafifçe çukur, kenarları içeriye doğru kıvrıktır ve geliştikçe ortası daha da çukurlaşarak huni şekline benzer hale gelir. Renkleri turuncudur. Lamelleri, başlangıçta kırmızımtırak daha sonrasında açık portakal rengi tonundadır. Sap kısmı 8-25 cm kalınlığında ve 3-60 cm boyunda silindir şeklindedir. Sapları portakal sarısı, sapın etli olan kısmı ise kırmızı-pembe renktedir. Genç olduklarında dolgulu ve şapka kısmına kadar olan alt tarafları boşluklu yapıdadır. Etli kısım sünger gibi yumuşak ve kırmızımtırak renklidir. Spor izleri ise parlak tunç rengindedir. Genel görünümü halkalı yapıda, turuncu ve sarı renkten oluşmaktadır [91]. Sporların, elips veya oval, bir tarafında çıkıntısı vardır. Sporum üzeri ağsı ve noktalıdır. Büyüklüğü 6,8 x 8,5 mikrondur. Taze mantar kesilip veya koparıldıklarında turuncu sütü çıkar. Süt hava ile temas ettikten sonra solgun kırmızı, 1- 1,5 saatlik süre sonunda da şarap kırmızısından turuncu kahverengiye kadar renk değiştirir. İlkbahar ve sonbaharda yağmurlardan sonra çam ormanları arasında, küçük çayırlarda, humuslu ve silisli topraklarda yetişir.



Şekil 4.4. *Lactarius Salmonicolor*'un genel görünümü [92].

Yerel halk tarafından toplanan bu mantar türü pazarlarda satılmaktadır. Ayrıca bazı Avrupa ülkelerine de ihraç edilmektedir. Türkiye'nin, özellikle kuzey ve güney

bölgelerindeki iklim ve bitki örtüsü bu mantarlar için elverişlidir [92]. *Lactarius salmonicolor* Avustralya, Kuzey Amerika, Kıbrıs, Yeni Zelanda ve Avrupa'nın birçok bölgelerinde yetişmektedir. İtalyan, Polonyalı ve diğer batı Avrupalıların sonbahar mevsimindeki yağmurlardan sonra mantar toplamak için seyahat ettikleri bilinmektedir. Bileşiminde kalsiyum, fosfor, demir, karbonhidrat, karbonhidrat, az miktarda yağ, B ve C vitaminleri bulunmaktadır [93].

4.4.3. *Lactarius Deterrimus*

4,5-7 cm çapındaki şapkası, genç iken konveks yapıda, merkezi içe doğru basık, olgunlaşınca ise huni şeklini alır ve yukarıya doğru düz biçimde kalkar. Kenarları ise saplara doğru kıvrıktır. Rengi sarımsı turuncudan kirli turuncuya doğru değişen tonlardadır, zamanla merkezinde ve kenarlarında yeşilimsi lekeler oluşur. Mantarın zedelenmiş kısımları da yeşil rengini alır. Narin yapıdadır ve dalgalı bir görünümü vardır. Yapışkanlığı azdır. Etli kısmı lameller ve şapkada beyaz turuncu renktedir. Sap kısmında beyazdır ve zedelendiğinde erguvani yeşile dönüşür. Kokusu çiğ havuca benzer, tadı ise çok hoş değildir. Yağmur suyu ile ıslanır. Sütü turuncu renkte, yoğunluğu fazladır. Lamelleri sık, ince ve sapa dekurrent şekilde bağlıdır. Lamellerin rengi de paslı veya kırmızımsı turuncu renkte olup, zedelenmesi durumunda yeşilimsi renkte lekeler oluşur [90].



Şekil 4.5. *Lactarius Deterrimus*'un genel görünümü.

Sapı 4-5 x 1-2 cm, açık veya koyu turuncu renkte, silindirikdir. Genç mantarlarda orta kısmı dolu ve daha sağlam, geliştikçe ortası bir eleğin delikleri gibi tamamen oyulup ve kolayca parçalanabilir. Sporları 8,5-11 x 7,5-8,5 μ , üzeri siğilli, geniş eliptik, ağ şeklinde damarlı ve hiyalin kılıflıdır.

Sonbahar ve kış aylarında iğneli ormanlarda, özellikle göknar, ladin ve çam ağaçlarının altında gruplar halinde bulunur [69]. Batı Karadeniz Bölgesi, Samsun, Ordu, Giresun, Hasköy yol ayrımı civarlarında yayılım göstermektedir. Yöre halkı tarafından 'çıntar mantarı' olarak bilinmektedir. Sonbahar aylarında severek tüketilir ve pazarlarda bol miktarda satılmaktadır [70]. Bursa yöresinde "Melki" adı altında yenilip satılmaktadır.

4.4.4. *Lactarius Controversus*

L. controversus kavak ve söğüt ağaçlarının altında, yaz aylarının sonlarına doğru veya sonbaharda oluşmaktadır. Kırıldığında mantar beyaz sütlü bir sıvı yayar. 'Söğüt mantarı' olarak bilinen bu mantar halk pazarlarında yaygın şekilde satılmaktadır. Protein ve mineraller bakımından zengin olduğu bildirilmiştir [82]. Bu mantarın çok lezzetli olmasından dolayı var olan yiyecek reçetelerinin yenilenmesinde, yeni reçetelerin oluşturulması ve gastronomi alanında kullanımını arttırmıştır [83, 84].



Şekil 4.6. *Lactarius Controversus*' un genel görünümü [83].

4.4.5. Lactarius Volemus

Şapkası 5 - 15 cm büyüklüğünde et gibi ve kurudur. Asla yapışkan bir hal almaz. Gençken sarımtırak kahverengidir. Yarım küre gibi tümsek olup olgunlaşınca açılarak derin olmayan huni şekline dönüşür. Genç hali sadece kayın ve meşe ormanlarında bulunur. Olgunlaşınca kırmızımsı kahverengi rengini alır, bu tipi iğne yapraklı ağaçlarda ve kayın ormanlarında gelişir. Üst tarafı dalgalı şekilde düzensiz bir hal almaktadır. Kenar kısmı başlangıçta içeri kıvrıktır. Kolay tanınabilen, lezzetli beyaz sıvısı ile iyi ayırt edilebilen mantar türüdür. Lameller gençken, sarımsı ve beyaz turuncu, olgunlaştığında açık sarı ve dokunulduğunda kahverengi renk alır. İçerisinde bol miktarda beyaz sıvı bulunmaktadır. Sapı 12 cm uzunlukta, kalın ve sağlam yapıdadır. Mum gibi bir görüntüsü vardır. Etli kısmı genç iken yumuşak ve beyaz, olgunlaşınca sünger gibi katı ve açık sarı renktedir. Ancak zamanla kahverengi lekeler kazanır.

4.4.6. Lactarius Acerrimus

Şapka 6-12 cm çapında, genç mantarlarda konveks ve kenarları içe doğru kıvrık, yüzeyi oldukça tüylü, olgunlarda ise düzensiz olarak yassılaştır ve merkezde biraz basık, kenarları düzensiz olarak loblu, yüzeyi düzleşir ve konsantrik olarak çizgili, sarımsı-kahverengi renkte, olgunlarda biraz daha koyulaşır. Etli kısım beyazımsı, kalın ve oldukça sert, tadı oldukça acımsı, kokusu ise hafif meyvemsidir. Sütü beyaz, dışarı doğru sızar, dokunma ve zedelenme ile renk değişimi olmaz. Sap 2-6x2-4 cm boyutlarında, az çok eşit, bazen eksantrik ve düz, iç dolu fakat oyukludur, genç mantarlarda açık sarımsı, olgunlarda ise sarımsı-kahverengi renktedir.



Şekil 4.7. *Lactarius Acerrimus*'un genel görünümü.

Spor tozları sarımsı-krem renklidir. Sporları 10-14x8-10 mikron boyutlarında, genişçe elipsoid ya da yarı küresel, renksiz, süslü ve siğillidir. Lameller dekkurent, dar, seyrek ve buruşuk, genç mantarlarda sarımsı, olgunlarda ise esmer veya tarçın renklidir. *Lactarius acerrimus*, yaz aylarından sonbahar aylarına kadar tek ya da gruplar halinde geniş yapraklı ağaçlar altında özellikle de meşe ve gürgen ağaçları altında yetişir. Yörede konifer ormanında gruplar halinde yetiştiği tespit edilmiştir. Ardahan- Göle arası, Malatya, Karaman, Tokat yörelerinde yayılım göstermektedir [89].

4.4.7. *Lactarius Brittanicus*

Şapka 3-8 c çapında, genç mantarlarda yassı veya konveks, kenarları içe doğru kıvrık, olgunlarda biraz düzleşir, yüzeyi tipik olarak kırışiktır. Lameller dekkurent, dar, sık, soluk sarımsı ya da soluk tarçın renkli, olgunlarda ise koyu kahverengi renktedir. Sap 3-8x0.7-1,7 cm boyutlarında, düz, içi boş, kırmızımsı kahverengi renkte, tabanı daha koyu, eti beyazımsı renktedir. Etli kısım beyazımsı ve oldukça kalındır. Tat ve kokusu belirsizdir. Sütü beyaz, dışarı doğru sızar, dokunulduğunda hafif sarılaşır. Spor tozları beyazımsı tonda ve hafif pembesidir. Sporları 6-8 mikron boyunda, renksiz, ağ şeklinde süslü, süslerin birkaçı kenarlar ile bağlıdır.



Şekil 4.8. *Lactarius Brittanicus* 'un genel görünümü.

Lactarius brittanicus, yaz ayları sonlarından sonbahar aylarına kadar tek ya da gruplar halinde geniş yapraklı ağaçlar altında, konifer ormanında özellikle de kayın ağaçları altında yetişir.

4.4.8. *Lactarius Piperatus*

Şapka 6–16 cm çapında genç mantarlarda disk şeklinde üzeri dalgalı mavimsi beyaz renkte, olgunlaşınca huni şeklinde ve krem-beyaz renkte, yüzeyi mat ve globoz görünümlüdür. Sap 3-5x2–3 cm silindirik ya da yukarıdan aşağıya doğru incelen görünümde, beyaz renkli, eti kalın ve beyaz renktedir. Lameller dekürrent, enleri dar sık ve gevrek birbirine yakın, gençken beyaz daha sonra krem renkte. Sütü beyaz, tadı asidik ve oldukça acımsıdır. Olgun mantarları üstü mozaik gibi parçalanır. Sporları 6-8x5-6 mikron boyutlarında, yuvarlağımsı ve üstü ağ şeklinde damarlıdır. Spor rengi beyaz, spor eliptik ve süslüdür.



Şekil 4.9. Lactarius Piperatus' un genel görünümü.

Lactarius piperatus, meşe, kayın, yaprak döken ağaçlar altında ve karışık ormanlarda tek tek gruplar meydana getirerek toprak cinsine bağlı olmaksızın yetişir. Yaz ve erken kış aylarında bulunur. Yenilir ve oldukça yaygındır. Karadeniz Bölgesinde “Kirit, Tirit” gibi isimlerle tanınır. Kaz dağları, Erzurum, Sinop, Giresun Kuzeydoğu Anadolu ve Trakya Bölgelerinde yayılım göstermektedir.

4.4.9. Lactarius Semisanguifluus

Şapkası 5-10 cm çapındadır. Bu ölçü büyüme mevsiminde meydana gelen yağış miktarına ve dağılım alanına göre değişiklik gösterir. Rengi genç evrelerde soluk turuncu, olgunlaştıkça küf tonlarında yeşile dönüşmeye başlar. Lactarius semisanguifluus, lamelleri düz ve sıktır. Kesildiğinde kırmızımsı tonlarında süt açığa çıkar ve bu süt zaman içerisinde koyu yeşilimsi tonlara dönüşür. Yeşil küf tonları nem dengesine ve yaşam süresine bağlı olarak şapka üzerinde olduğu gibi lamellerin üzerinde de görülebilmektedir. Sapın üzerinde ise daha koyu renkli benekler oluşabilmektedir. Sapın iç kısmı genç mantarlarda dolgulu yapıda olup, olgunlaştıkça boruya benzer boşluklar oluşturmaktadır. Tadı keskin ve lezzetlidir. Spor izi 7-9x6-7 mikron boyutlarındadır. L. semisanguifluus sarıçam ağaçları altında yetişmekte ve Kanlıca mantarı olarak bilinmektedir [94].



Şekil 4.10. *Lactarius Semisanguifluus*' un genel görünümü [95].

İğne yapraklı ağaçlarla mikorizal ilişkisi vardır ve genellikle nemli ormanlarda yetişir. Türkiye’de Ege bölgesi, Batı ve Orta Karadeniz bölümleri, Güney Marmara bölümü ve Akdeniz Bölümünde çok fazla bulunan türdür. Sonbahar aylarında yağışların başlamasından sonra ortaya çıkarlar. Bazen ocaklar ve gruplar halinde, bazen de tek tek görülürler. Kış ayının başlamasıyla sezonu biter ancak nadirde olsa yağışlı ilkbahar günlerinden sonrada rastlanabilir. Pazarlarda satılan kendine has aromatik ve hoş kokulu bir mantar türüdür [95].

4.4.10. *Lactarius Pyrogalus*

Basidiomycetes sınıfına bağlı Russulales takımından Russulaceae familyası içerisinde bulunan *Lactarius* türlerinden biridir [88]. Karadeniz Bölgesinde fındık ağaçlarıyla ektomikorizal ilişkisi olan bu mantarlar “Tirmit” veya “Fındık mantarı” olarak bilinmektedir. Çoğunlukla Ordu, Giresun, Samsun halkı tarafından beğenilerek tüketilen ve bölgedeki pazarlarda satışı olan mantar türüdür. *Lactarius pyrogalus* mantarı mineral maddeler ve protein bakımından zengin olmasının yanı sıra, tıbbi alanlarda kullanılan bir türdür [95]. Karadeniz bölgesinde genellikle salamura ya da taze olarak tüketilmektedir. Fındık diplerinde, bahar aylarında görülmektedir. Son yıllarda toplanan bu mantarlar azalmaya başlamıştır. *L. pyrogalus* ektomikorizal mantar türünün kültüre alınması ve yetiştiriciliği konusunda

çalışmalar yapılması talep edilmektedir. Literatür taramalarına göre *L. pyrogolus* ile fındık fidanları arasında ektomikorizal çalışmaya rastlanılmamıştır.



Şekil 4.11. *Lactarius Pyrogolus* 'un genel görünümü [95].

4.5. LACTARIUS “KANLICA” MANTARI FAYDALARI

Kanlıca mantarı, protein ve aminoasitler açısından önemli besin kaynakları arasında yer alır. Vejetaryen olarak beslenen insanlar için protein kaynağıdır. Aminoasitler, vücudun protein dengesini sağlamak için önemlidir. Kanlıca mantarı, vücudumuzun ihtiyaç duyduğu bütün protein, vitamin ve mineralleri içerir. Bu yüzden son derece faydalı bir besin kaynağı olarak tüketilmektedir. Bunlardan bazıları; Magnezyum, potasyum, fosfor, demir, kalsiyum mineralleri, C ve B1, B2 vitaminleri şeklindedir. Yapılan araştırmalara göre kanlıca mantarının kızartılmasında içerisindeki besin değeri düşmektedir. Fakat sote halinde veya diğer besinlerle birlikte pişirildiğinde besin içeriği bakımından daha zengin halde getirilir. İçerdiği aminoasit, mineral ve vitaminler bakımından bağışıklık sisteminin güçlenmesine, şeker hastalığı tedavisine, tansiyonun düşmesine ve kanser önleme açısından faydalı olduğu bilinmektedir [96].

Lactarius türlerinin bazıları tıbbi özelliklere sahiptir. Özellikle, *L. deliciosus* ve *L. vellereus*'un antioksidan ve antimikrobiyal özelliği olduğu bildirilmiş ve bu özelliklerin fenol ve flavanoid içeriği ile korelasyon içinde olduğu belirtilmiştir. *Lactarius* türlerinin mikroorganizma ve bakterilere karşı antimikrobiyal etkilerinin

olduğunu tespit edilmiştir. Düşük kalorili olduğundan kilo problemi oluşturmamaktadır. Bağışıklık sistemini güçlendirici ve kolesterolü düşürücü etkiye sahiptir. Antioksidan özelliği sayesinde vücutta bulunan toksinleri atmak için etkilidir [97].

BÖLÜM 5

GIDALARI MUHAFAZA ETME YÖNTEMLERİ

Gıda maddelerinin muhafazasında geçmişten bugüne kadar çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemlerden en çok uygulananları şu şekildedir: Tuzlayarak, şekerlenerek, baharatla karıştırarak, konserve yaparak, soğukta muhafaza, dondurarak ve kurutarak muhafazadır. Kurutma gıda ürünlerinin korunmasında en etkili yöntemdir.

5.1. GIDALARI DONDURMA TEKNİKLERİ İLE MUHAFAZA YÖNTEMLERİ

Gıdanın yapısında yer alan suyun buz kristali haline dönüştürülmesi gıdaların dondurulması olarak tanımlanmaktadır. Mikrobiyolojik gelişmelerin tamamı dondurulmuş gıdalarda durdurulmaktadır. Gıdanın sıcaklığı düşürülerek oda sıcaklığında oluşabilecek olası hasarlar minimum seviyeye indirilmekte veya bu yöntemle önlenmektedir. -18 °C ile -30 °C arasındaki sıcaklıklar mikrobiyolojik bozulmayı önleyerek gıdanın muhafaza edilme süresini uzatmaktadır. Genel olarak dondurma işlemi 4 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanır:

1. “Ön soğutma” olarak adlandırılan ürünün sıcaklığını başlangıç sıcaklığından donma noktasına indirerek yapılan soğutma,
2. Gıdadaki ilk buz kristallerinin meydana gelmesi ve ürün içindeki suyun önemli bir kısmı donuncaya kadar donma sıcaklığının sabit kalması,
3. Üründeki sıcaklığın düşmesinden sonra geride kalan suyun buz fazına geçmesi,
4. Son aşamada ise serbest suyun tamamen buz fazına geçmesinden sonra faz değişimi olmadan meydana gelen gıda sıcaklığının azalmasıdır.

Dondurma işleminin temel amacı, gıdaların doğal yapısının en iyi şekilde muhafaza edilmesidir. Gıdaların yapısında bulunan su miktarına bağlı olarak sıcaklığın azaltılmasıyla büyük değişiklikler meydana gelmektedir. Gıdanın donması hızlı şekilde gerçekleşirse üründe oluşan kristal yapının boyutu küçük, yavaş şekilde gerçekleşirse boyutu büyük olmaktadır. Bu durumda özellikle meyve ve sebzelerin hücre duvarında bozulmalar meydana gelmektedir [3]. Gıda yeniden çözüldüğünde yapısındaki değişiklikler taze durumdaki kalitesini koruyamamaktadır. Donma işlemi uzun süre devam edince meyve ve sebze hücrelerindeki su konsantrasyona bağlı olarak hücre dışına yayılır ve hücrenin dehidrasyonuna sebep olmaktadır. Bundan dolayı ürün yüzeyinin pürüzsüz kalması ve hücre yapısının bozulmaması için hızlı şekilde donma işlemi gerçekleştirilmelidir. Gıda sanayisinde uygulanan dondurma yöntemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir [98].

5.1.1. Soğuk Hava ile Dondurma

Soğuk havayla dondurma yönteminde temel olarak iki farklı uygulama yer almaktadır. Bunlar: Durgun havada ve hızlandırılmış havada dondurmadır [99].

5.1.1.1. Durgun Havada Dondurma

Dondurma işleminde kullanılan soğuk hava durağan haldedir. Durgun havada dondurma işlemi tam olarak yalıtılmış bir soğuk odadır. Soğutma donanımının buharlaştırıcısı duvarda veya odanın herhangi bir yerinde aşağıya doğru uzanan boru demeti şeklinde olabildiği gibi, dikine raflar şeklinde de bulunabilmektedir. Dondurulacak gıdalar bu raflar arasına dizilir. Bu tür dondurucular donanım bakımından ucuz şekildedir. Bu dondurma odalarında hava hareketini destekleyen sistemler bulunmamaktadır. Buradaki hava yalnızca doğal konveksiyona uğrar. Bu durumu hava hareketi olarak görmek imkânsız olacağından hava durgun olarak kabul görmektedir [99].

Soğuk odanın sıcaklık derecesi, durgun havada dondurma yönteminde -15°C ile -30°C arasında gerçekleşmektedir. Durağan havanın ısıyı iletmesi çok az olduğu için, gıdaların donması da uzun zaman almaktadır. Donma süresi; birkaç saatten birkaç

haftaya kadar ambalaj şekline, dondurulan birimler arasındaki boşluğa, dondurulan materyalin büyüklüğüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu yöntem temel olarak balık dondurma amacıyla oluşmuş ve şu anda da yaygın olarak uygulanmaktadır [3,99].

5.1.1.2. Hızlandırılmış Havayla Dondurma

Bu yöntemle kullanılan dondurucuların çalışma sisteminde, hava dondurulan gıda maddesiyle buharlaştırıcı arasında hareket etmektedir. Fanların desteğiyle hareket ettirilen hava, buharlaştırıcı (soğutma spiralleri) üzerinden geçerken soğumaktadır. Sonrasında soğuyan hava dondurulan ürün üzerinden 10 - 15 m/s hızla geçmektedir. Isı transfer katsayısı hava hızına bağlı olarak yükseldiğinden dolayı gıdanın hızlı bir şekilde dondurulmasını sağlamaktadır. Bu dondurma yönteminde hava sıcaklığı -30 °C ile -45 °C değerleri arasında değişmekte, tünelli veya bantlı olacak şekilde tasarlanmaktadır.

Tünelli tip dondurucularda bandın alt kısmından üst kısmına doğru soğuk hava gönderilmektedir. Bundan dolayı bant üzerindeki ürün, hava hızına ve parçacık iriliğine bağlı olarak hafiften bir titreşim kazanır. Böylece ürünün donma hızını arttırmış olur. Kısıtlı olan bu titreşim ürünlerin bir kitle durumuna dönüşmesine ve dondurulan parçacıkların birbirlerine yapışmasına neden olmaktadır. Günümüzde birçok ürünün herhangi bir kitle durumuna gelmeden parçalar halinde dondurulması amaçlanmaktadır. Bu nedenle bandın alt kısmından hızlı havanın verilmesi şartına dayanan yeni bir sistem geliştirilmiştir. Akışkan yatak dondurucu olarak adlandırılan bu sistemde bant üzerinde yer alan parçacıklar adeta havada yüzer halde durmaktadır.

Dondurulan ürün ile soğuk havanın tünel içerisindeki hareketli durumları zıt veya paralel akımlı olabilmektedir. Soğuk hava tünelin bir tarafından, dondurulacak ürün ise diğer taraftan veriliyorsa zıt akımlı tünel olduğu bilinir. Bu duruma göre en soğuk olan hava tünelin girişinde sıcaklık derecesi çok azalmış ve donmuş ürünle karşılaşır. Daha sonrasında tünelin girişine doğru ilerlemeye devam etmektedir. Sistemde ürünü

soğutmaya çalışan havanın nem oranı artar ve tekrardan buharlaştırıcı ünitesine gelince yüzeyde karlanma oluşur [98].

5.1.2. Dolaylı Temas Metoduyla Dondurma

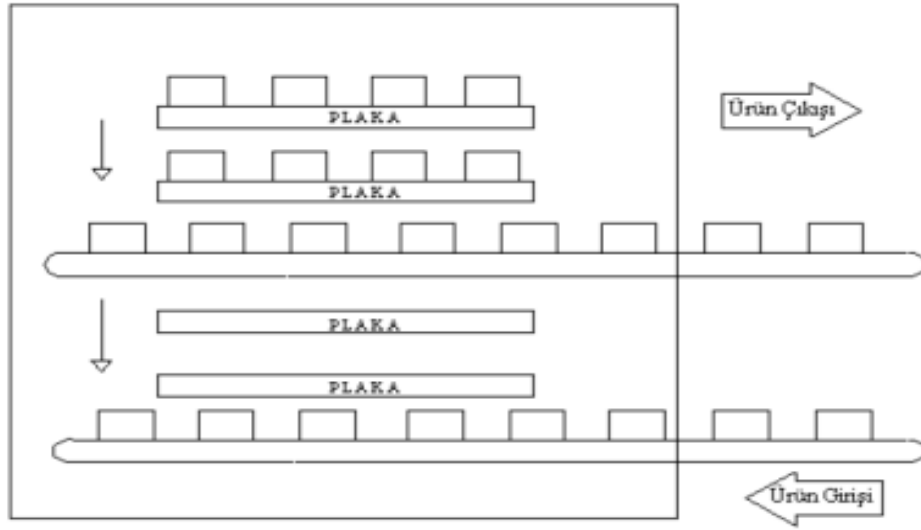
Bu dondurma yöntemiyle, iki plaka arasına yerleştirilmiş içten soğutulan paketli malzemelerin, plakayla teması sonucu dondurulma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Dondurulacak ürün ile soğutmayı yapacak olan soğutucu akışkan arasında plaka olduğu için dolaylı temas metoduyla dondurma yöntemi denilmektedir. Plakalar içerisi boş alüminyum raflardan oluşmaktadır. İçerisinde soğutucu akışkan olarak buharlaştırıcı kısım yani soğutma kanalları bulunmaktadır. Kullandığımız buzdolaplarının buzluk kısımlarında gıdaların dondurulması bu yöntemle örnek olarak gösterilebilir.

Dolaylı temas metoduyla gıdaların dondurulmasında, gıdanın dikdörtgen prizma şeklinde bir ambalajda bulunması tek koşuldur. Ambalajlı ve yüzeysel teması az olan gıdaların dondurulma hızları düşer. Ambalajlı gıdanın plakaya tam temas etmesi donma süresi bakımından önem arz etmektedir. Aynı yükseklikteki düzgün şekilli ambalajlar plakanın üst kısmına yerleştirilir, diğer plaka da üst taraftan sıkıştırılarak iki yönden hızlı şekilde dondurma sağlanabilmektedir. Bu sıkıştırma işlemi hidrolik bir düzenekle 0,05 – 0,1 bar değerlerinde ve az bir basınçla yavaş şekilde yapılmaktadır. Plakalar içi boş alüminyum raflardan oluşan, dört köşe halinde, içerisinde soğutucu akışkan buharlaştırıcı üniteler bulunduran sistemlerdir [98].

Plaka dondurucularının verimliliği gıdanın temas yüzeyinin derecesine ve plakaya bağlı olduğu için bu sıkıştırma işleminin önemi büyüktür. Bundan dolayı ambalajların içerisinde boşluk kalmaması için fazla şekilde doldurulur ve sıkıştırma işleminin sonunda ısı iletimi artar. Plakaların sıkıştırılmasında ambalajların açılmaması gerekmektedir. Bunu sağlamak için iki taraftan da plakalar arasına ağaç engeller yerleştirilir. Bu ağaçların kalınlığı ambalaj kalınlığından daha az olduğu için sıkıştırma sadece ağaç parçalarının kalınlığına kadar gerçekleşir [3,101].

Plakalar dondurulduktan sonra kabinin kapıları kapatılır ve soğutucu istenilen derecede çalıştırılır. Ürün, sıcaklığı $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşana kadar burada bekletilir. Donma süresi, ambalaj ile plakanın temas derecesine, tüm ambalajlı gıdanın cins ve kalınlığına, sıcaklık derecesine ve dondurulan ürünün çeşidine göre değişiklik gösterir. Balık ve et ürünleri, meyve ve sebzelerden daha çabuk donmaktadır. Çünkü balık ve etler ambalaj içerisinde bütün bir kitle oluştururken meyve ve sebzelerin arasında boşluk kalmaktadır.

Devamlı çalışan plakalı dondurucular da bulunmaktadır. Bu dondurucularda bir seri çift "raf plaka" mevcuttur. Bu raf çiftine bantlı sistem yardımıyla dondurulacak ürünler yerleştirilir ve sonrasında bu raf çifti dondurucuya girip yukarı yönde hareket eder. Aşağı kısımda kalan boş raf çiftine de aynı işlem yapılır. Her raf dondurucuda bir devir yaptığında donma işlemini tamamlanmış olur ve tamamlanan raflar boşaltılır. Şekil 5.1'de plakalı dondurucu gösterilmiştir [99].



Şekil 5.1. Sürekli plakalı dondurucuda dondurma sistemi [99].

Dolaylı temas metodu düzgün yüzeyli, ambalajlanmış ve sıvı haldeki ürünlerin hızlı şekilde dondurulmasında en sık kullanılan tekniktir. Bu plakalar dış kısmı yalıtılmış silindir şeklindedir. 'Tubular kazıyıcı soğutucu' olarak isimlendirilen bu dondurucuların eksenindeki mil yardımıyla soğutma silindirinin iç yüzeyi arasında az

bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşlukta yer alan gıdaların donması birkaç saniye kadar sürmektedir [3, 99].

5.1.3. Daldırma Yöntemiyle Dondurma

Soğutucu akışkan içerisine ürünlerin daldırılması sonucu meydana gelen donma işlemidir. Bu işlemin uygulanmasında öncelikle soğutucu akışkan olan R-12 ve diğer halokarbonlar kullanılarak ürünlerin atmosfer emisyonu arttırılmaktadır. Günümüzde bu soğutucu akışkanların yerine sıvı azot da kullanılmaktadır. Sıvı azotun kaynama özelliğiyle oluşan türbülans ısı transferi yüzeyinin artmasını ve ürünlerin birbirlerinden ayrışmasını sağlamaktadır. Daldırarak dondurma yöntemiyle aşırı donmanın engellenmesi, nem kaybı ve sıvı azot tüketiminin en aza indirilmesi sağlanır [103].

5.1.4. Kriyojenik Sıvılarla Dondurma

Ürünlerin doğrudan sıvı azota daldırılmaları herhangi bir zarara sebep olabilir. Ancak sıvı azotun püskürtülmesiyle birlikte ürünlerde zarara uğrama riski azalmaktadır. Bundan dolayı 1960'lı yıllardan sonra ürünlere sıvı azotun püskürtülmesiyle çalışan dondurucular tasarlanmıştır.

Kriyojenik sıvılarla dondurma işleminde en çok kullanılan temel sıvılar; sıvı azot ve sıvı karbondioksittir. Çilek, dilimlenmiş mantar, domates, üzüm gibi taneli meyveler ve bazı hassas gıdaların hızlı bir şekilde donmasıyla kaliteli ürün oluşmaktadır. Kriyojenik sıvılarla dondurma yöntemi temel olarak bu ürünler için geliştirilmiş ve uygulanması da bu ürünlerle kısıtlıdır [99,104]. Genellikle kriyojenik dondurma tüneli dondurucular üç kısımdan meydana gelir. İlk kısımda, giren ürünlerin üstünde azot gazının fanlar vasıtasıyla hareketi sağlanarak ön soğutma işlemi yapılır. İkinci kısımda da bant üzerinde bulunan ürünlere sıvı azot püskürtülerek donma gerçekleştirilir. Ve son kısımda ürünün sıcaklığı dengeye getirilerek tünelden dışarıya alınır [105].

5.1.5. Kriyomekanik Dondurma

Bu sistemlerde önce ürünün kriyojenik dondurucudaki ön soğutması yapılır, sonrasında akışkan yataklı ve spiral mekanik dondurucularda dondurulur. Kriyojenik kullanıldığında, sıvı azot desteğiyle ürünün dış kısmında bir kaç saniye içinde kabuk oluşmaktadır. Bu kabuk ürünün mekanik dondurucuda donması esnasında oluşan hareketten dolayı zarar görmesine engel olarak, ürünlerin şekillerini korumalarını sağlar [106].

5.2. GIDALARI KURUTMA TEKNİKLERİ İLE MUHAFAZA YÖNTEMLERİ

Kurutma yöntemi, eski ve en önemli muhafaza yöntemlerinden biridir. En basit şekilde ürünün içerisinde var olan suyun çeşitli yöntemlerle uzaklaştırılma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Isı ve kütle transferinin eş zamanlı olarak uygulandığı, kurutulacak ürünün yapısındaki suyun buharlaştırılarak ortamdan uzaklaştırılmasıdır [107]. Kurutma işleminde, kuruyacak ürün nemi istenilen kuruluk değerlerine getirilmelidir. Değişik elemanlardan oluşan ve ürünün kurumasını sağlayan ünitelerin hepsine “kurutma sistemi” olarak adlandırılmaktadır. Kurutma sanayinin birçok alanında (kâğıt, kimya sanayi, gıda, çimento vs.) yaygın şekilde kullanılmaktadır [108].

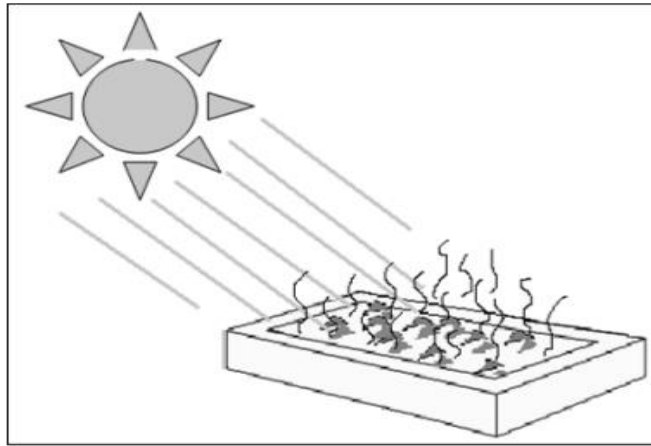
Gıdaların muhafazasında kurutma yöntemlerinin en önemli amacı, uzun süreli depolama işlemlerinde ürünün bozulmasına engel olmaktır. Gıdanın bozulmadan saklanabilmesi için ürün neminin mikrobiyal gelişmeye sebep olmayacağı şekilde düşürülmelidir. Gıdanın nem miktarının düşürülmesiyle birlikte aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin korunması sağlanmış olur. Kurutma işlemi sonucunda ürün hacmi azalacağından gıdanın taşınması ve depolanmasındaki verimliliği artacaktır [109]. Gıdaların kurutulmasında uygulanan yöntemler iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar; doğal ve yapay kurutmadır.

5.2.1. Doğal Kurutma

Teknik uygulama olmadan ürünün güneş altına serilmesiyle yapılan kurutma yöntemidir. Bilinen ve yaygın şekilde uygulanan eski yöntemlerden biridir. Bu yöntemdeki en önemli kriter sıcaklıktır. Gıdanın içerisinde bulunan su oranının, ürün herhangi bir bozulmaya uğramadan sıcaklığın etkisiyle uzaklaştırılır. Kurutulacak gıda toprak veya beton zemine, bez veya brandanın üzerine serilerek kurutulur [3].

5.2.1.1. Güneşte Kurutma

En yaygın kullanılan doğal kurutma yöntemlerinden olup beraberinde birçok probleme sebep olmaktadır. Kurutmanın yapılabilmesi için iklim şartlarının uygun olduğu bölgelerde üretim, yüksek enerji maliyetine ihtiyaç duymadan güneş enerjisinden faydalanarak uygulanmaktadır. Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları bulunur. Her zaman ve her yerde güneş ısısından faydalanarak kurutmanın mümkün olmaması, kurutmaya birlikte fermantasyona uğrama riski, ürünün böcek toz gibi dış etkiye maruz kalması, yüksek işçilik gerektirmesi, alanın kontrol edilebilme zorluğu belirli olumsuzluklar olarak örneklendirilebilir [114]. Ayrıca güneş ışınlarının dalga boylarındaki farklılık kurutulmuş ürünün kimyasını, gıda hijyenini ve rengini de değiştirmektedir. Uzun sürelerde uygulanan bir yöntem olması, daha hijyenik ve hızlı özellikte endüstriyel boyutlu farklı kurutma yöntemlerinin gelişmesine öncülük etmiştir. Şekil 5.2’de doğal kurutma yönteminin şekli gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Doğal kurutma [3].

5.2.1.2. Gölgede Kurutma

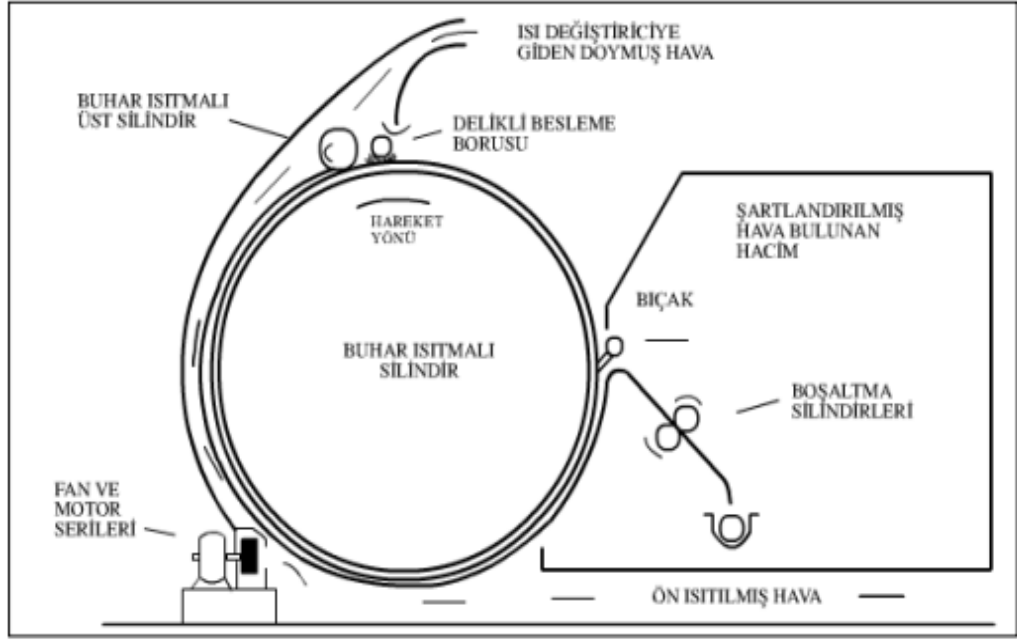
Ürünün içerisindeki etken maddelerin zarar görmesini ve bünyesinde var olan uçucu yağın uzaklaşmasını engellemek için sıcaklık uygulanarak kurutulma işleminden kaçınılmaktadır. Bundan dolayı gölgede kurutma yöntemi tercih edilir. Bu yöntem ile hava akımı olan ancak güneş almayan yerde kurutulma yapılır [110].

5.2.2. Yapay Kurutma

Ürünün kurutma süresini azaltmak, kalitesini yükseltmek ve güneşin zararlı radyasyon etkilerinden korumak amacıyla yapay kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Kontrollü şekilde bir kurutma ortamı sağlandığı için en önemli üstünlüğü görünüş bakımından daha iyi ürün elde edilmesidir. Yapay kurutma yöntemlerinden bazıları aşağıdaki şekilde açıklanmıştır [114].

5.2.2.1. İletimle Kurutma

Kurutulacak ürün ile ısıtma yüzeyi temas halinde bulunmaktadır. Ayrıca bu sistemlerde nem miktarı fazla ısınmaya engel olmaktadır. İletimle kurutma yöntemi çoğunlukla kâğıt ürünlerini kurutmak için uygulanır. Bu kurutma sistemlerinde; sabit ısı, yüksek kurutma hızı ve kütle aktarım koşulları oluşturulamaz, sistem istenildiği gibi kontrol edilemez. İşletilmesi genellikle çok maliyetlidir ve sistemin çevresinde istenmeyen çalışma koşulları oluşmaktadır [101,112]. Kurutma topları, silindirleri ve düz yüzeyler Şekil 5.3'te gösterildiği gibi iletimle kurutmaya örnek verilebilirler.



Şekil 5.3. İletimle kurutma sistemi [101].

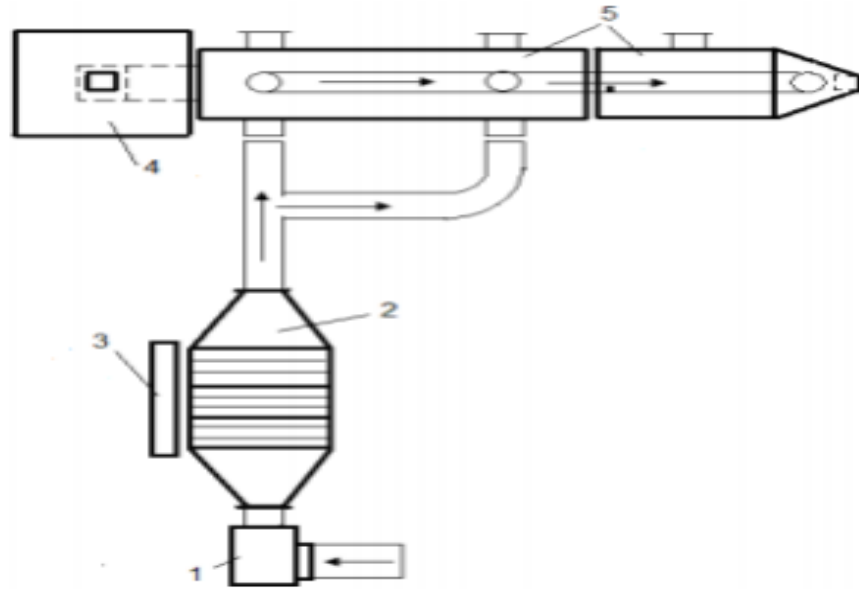
5.2.2.2. Morötesi Radyasyon Kurutma

Morötesi kurutma yönteminde elektromagnetik radyasyon kullanılmaktadır. Boyar maddeler ve monomer yapıları kaplamalar ultraviyole radyasyon etkisinde kurutulmaktadır. Morötesi radyasyon kurutma yöntemindeki en önemli problem yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır [112].

5.2.2.3. Akışkan Yataklı Kurutma

Akışkan yataklı kurutma yöntemi, sıcak havanın kurutulacak ürünlere sistemin alt kısmından belli bir hızda üflenmesi olarak tanımlanmaktadır. Verilen hız malzemelerin havada asılı kalmasını sağlayacak şekilde belirlenmektedir. Kurutulacak ürün kurutma için gerekli olan süre boyunca ısıtılmış hava içerisinde asılı kalır. Isıtılmış havanın işlevi akışkan hal için gerekli olan yerçekimine karşı olan tesiri ve kurutmayı meydana getirmektedir. Kurutma havası ile taneciklerin arasındaki temas çok iyi olduğu için ısı transferi de etkili şekilde gerçekleşmektedir [111].

Akışkan yataklı kurutucular, en yaygın biyolojik ürünlerin ve granüllü gıdaların kurutulmasında kullanılmaktadır. Bu sistemin üstünlüğü, kurutma işleminin kısa sürede tamamlanması ve yatak içerisindeki tanecik karışımının yüksek düzeyde olmasıyla birlikte daha homojen bir sürecin meydana gelmesidir. Ayrıca atık nem miktarı düşük ve verimlilik yüksektir. Bu tip kurutucular için şeklin değişmesi, ürün taneciklerinin mekanik olarak zarara uğraması ve taneciklerin topaklanarak akışkanlığı zorlaştırması sorun yaratmaktadır. Isıya karşı hassasiyeti olan ürünler için uygun bir yöntem olsa da partikül büyüklüğü ve gıdanın yapısı bu sistemin kullanılmasını sınırlandırabilir. Bu kurutucular yaygın olarak plastik, kömür, fosfat, kireçtaşı ve ilaç tabletlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır [112]. Şekil 5.4'te akışkan yataklı kurutucunun genel yapısı görülmektedir.



Şekil 5.4. Akışkan yataklı kurutma sisteminin şeması [112].

(1. Fan, 2. Isı üretici, 3. Kontrol panosu, 4. Silo, 5. Akışkan yataklı sürekli kurutucu.)

5.2.2.4. Kızılötesi Işınımli Kurutma

Kurutma, gaz ısıtmalı akkor yansıtıcılar, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve ısı ışınım elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile sağlanmaktadır. Gıdanın kalitesine az oranda zarar vermesi, ısıtma verimliliğinin hızlı olması gibi avantajları

bulunmaktadır. Gıdanın türü, kalınlığı ve ısıtma kaynağının etki ettiği derinlik gibi etkenler bu yöntemin kullanılmasını sınırlandırmaktadır [111,112].

5.2.2.5. Kızgın Buhar Ortamında Kurutma

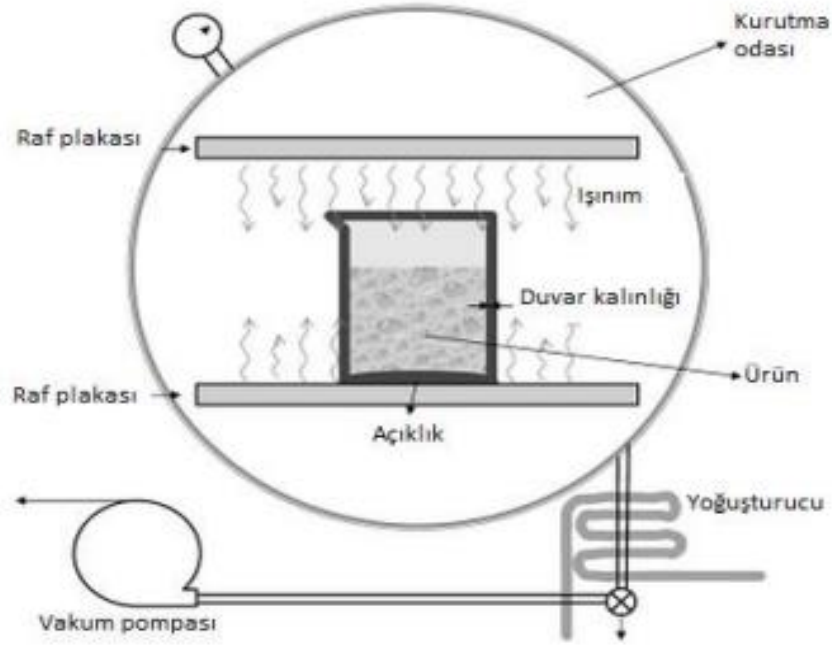
Katı maddelerin herhangi bir gaz veya hava ile kurutulması sırasında buharlaştırılan çözücü (su veya organik sıvı), yığın gaz akımına ulaşmak için durgun gaz filmine yayılmalıdır. Böylece kızgın buhar ortamında kurutma işlemine başlanmış olur. Gaz filmi, kurutma miktarına, kütle transferine karşı dirence ve çözücü buharın yayılma oranına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu yöntemde çözücünün sisteme geri kazanımı kolay, ısı verimi yüksektir [113,114].

5.2.2.6. Puf Kurutma

Puf kurutma sisteminde temel prensip, kurutulacak ürünün kısa süreli yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalarak, atmosferik basınca getirilmesidir. Böylece su hızlı şekilde buharlaşır, ürün puf ve gözenekli bir yapı kazanır. Azalan kuruma hızı periyodundaki gıdalar için bu kurutma yöntemi etkilidir. Puf kurutma sisteminin avantajları; aromasının ve renginin korunması, depolamanın yüksek olması ve taşıma masraflarının düşük olmasıdır [124].

5.2.2.7. Vakumda Kurutma

Düşük sıcaklıklarda, vakum altında gerçekleşen kurutma yöntemidir. Bu yöntem özellikle nem miktarının düşük seviyelere düşürülmesi gereken gıdalarda ve ısıya karşı duyarlı malzemelerin kurutulmasında kullanılmaktadır.



Şekil 5.5. Vakumda kurutma odası [125].

Diğer kurutma yöntemlerine göre, oksijensiz ortamda ve daha düşük kurutma sıcaklığında kurutma gibi özelliklere sahiptir. Kurutma esnasında ortam içerisinde hava bulunmadığından oksidasyon reaksiyonları azalmaktadır. Vakum kurutucularda kurutulmuş ürünlerin renk, aroma ve tekstür özellikleri daha iyi korunabilmektedir [116]. Kurutma esnasında su molekülleri yüzeye doğru yayılım göstererek vakum bölmesi içerisinde buharlaşır. Bölmedeki kısmi vakum işlemi ürün yüzeyinde bulunan su buharı konsantrasyonunu azaltır. Vakum kurutucular dış basınca karşı dayanıklı ve sızdırmaz bir vakum bölmesi olan düzeneklere ihtiyaç duyduğundan dolayı pahalı sistemlerdir. Bu yüzden kurutulacak ürünün nemi öncelikle sıcak havalı bir kurutucuda %20-25 seviyelerine indirilmelidir. Sonrasında vakum kurutma yöntemiyle istenilen nem seviyesine getirilmesi daha ekonomik olabilir. Ürünün büzülme oranı diğer yöntemlere göre daha yüksektir. Günümüzde dondurarak kurutma, mikrodalga ve vakum kurutma gibi farklı yöntemler gıda endüstrisinde birlikte kullanılmaktadır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında vakumlu kurutma, düşük sıcaklık, ortamdaki oksijen miktarının azlığı ve yüksek kuruma hızı sebeplerinden dolayı besleyici değeri yüksek ve daha kaliteli gıdaların üretilmesini sağlamaktadır [125]. Bu avantajlarına rağmen işletme masrafı ve kurulumu yüksek olduğu için ısıya karşı hassas ürünlerde uygulanmaktadır.

5.2.2.8. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalgalar, 300 MHz -300 GHz frekansları arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalga kurutma ile iyonik ve dipolar mekanizmalar ortaya çıkmaktadır. Su molekülleri üzerinde salınımlı bir elektrik alanı meydana geldiğinde, kalıcı olarak polarize olmuş dipolar moleküller elektrik alanın yönünde yeniden hizalanmaya çalışır. Yeniden hizalama yüksek frekanslı elektrik alan sebebiyle saniyede milyonlarca defa gerçekleşmektedir. Moleküllerin iç sürtünmesine neden olarak materyalin hacimsel ısınmasını sağlar [126].

Azalan kuruma hızı periyodunda difüzyon, yüzey neminin düşmesi ve yapının büzüşmesine neden olan bir hız sınırlayıcı olduğundan bu periyotda kuruyan gıdalar için kullanışlı bir yöntemdir. Kuruma hızının yüksek olması ve ürünlerin kalitesini korumasından dolayı avantajlıdır. Hacimsel ısınmadan dolayı buharlaşan su gıda içerisinde kalarak dışarıya doğru itmeye zorlayan bir basınç oluşturmakta ve mikrodalga ile kurutmada büzüşme engellenmiş olmaktadır [127]. Mikrodalga sıcak havalı kurutma ile kombinasyon halinde kullanılabilir. Bunun sebebi önemli bir dezavantaj olan mikrodalga enerjisinin homojen dağılamaması ve gıdanın yapısından kaynaklı homojen ısınmanın sağlanamamasıdır. Sistemin giriş ve çıkışında koruyucu önlemler alınmasından dolayı sürekli çalışması zordur. Sistemi çalıştırmak için gereken emniyet önlemlerini uygulamak bu kurutma yöntemini maliyetli hale getirmektedir [128].

5.2.2.9. Dielektrik Kurutma

Bu tip kurutmada, radyo frekansı veya mikrodalga bölgesinde yüksek frekansa sahip, elektromanyetik alana yerleştirilen ürünün içerisinde, termal enerji üretimi yapılır. Moleküler sürtünme ve elektromanyetik alan yönünde gerçekleşen hızlı değişimlerle ortaya çıkan ısı sayesinde kutup akışı değişmektedir. Sıvı haldeki suyun dielektrik sabiti birçok katı malzemeye göre daha yüksek olduğu için ısı, malzemenin su içeren kısmında üretilmektedir [129].

5.2.2.10. Ozmotik Kurutma

Kurutma öncesinde uygulanan bir ön işlem olarak bilinmektedir. Ozmotik kurutma ile sebze ve meyveler parçalar halinde veya bütün olarak hipertonic bir ozmotik çözelti içerisine daldırılarak, üründeki suyun kısmen uzaklaştırılması sağlanır. Ürünler ile ozmotik çözelti arasındaki ozmotik basınç farkı, suyun uzaklaştırılması için itici güç olup hücresel yapısı yarı geçirgen bir membran gibi davranmaktadır. Ozmotik basınç farkıyla, hücre zarıyla gıdadan çözeltiye su, bu ozmotik çözeltiden de gıdaya çözülmüş madde geçişi sağlanmış olur. Böylece uygulama “su ve çözülmüş madde difüzyonu” olarak kabul edilebilir [3]. Karşılıklı olan bu difüzyon işlemi çözelti ve hücre içerisindeki su aktivite değerleri eşit oluncaya kadar devam eder. Ozmotik dehidrasyonda üç çeşit kütle aktarımı gerçekleşir. Bunlar; gıdadan çözeltiye çözünen madde geçişi, çözeltiden gıdaya katı geçişi ve gıdadan çözeltiye su geçişi olarak sıralanır. İşlem sırasında gerçekleşen çözünen madde ve su difüzyonunda; kuru madde kazanımı, su kaybı ve ağırlık azalışı değerleri belirlenmektedir.

5.2.2.11. Dondurarak Kurutma

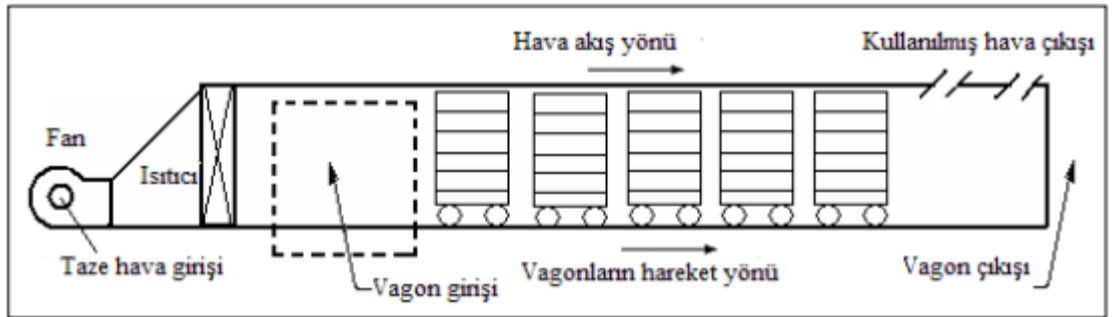
Dondurarak kurutma süblimasyon olayına dayanan bir kurutma işlemidir. Dondurma, birincil ve ikincil kuruma olmak üzere üç temel prosten oluşmaktadır. Bu sistemde öncelikle ürün dondurulur ve dondurma hızı buz kristallerinin oluşumunda etkili olur. Hızlı dondurma küçük ve sayı olarak çok fazla buz kristalinin, yavaş dondurma ise büyük buz kristallerinin oluşmasını sağlar. Büyük buz kristallerinin oluşması süblimasyonun daha kolay şekilde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır. Ürünün tamamen donmasından sonra ortam vakum altına alınarak sıcaklık artırılır ve bu noktada süblimasyon gerçekleşmeye başlar. Buzun büyük çoğunluğu süblimleştğinde, bağlı olan su, 'ikincil kurutma' olarak adlandırılan son aşamada desorpsiyonla üründen ayrılmaya devam edecektir. Dondurarak kurutmanın diğer kurutma yöntemlerine göre birçok avantajı bulunmaktadır. Kurutulan malzemenin raf ömrünün uzun olması, ağırlığın azalması, depolama alanından tasarruf edilmesi, oda sıcaklığında saklanabilmesi ve kurutulmuş malzemeye yeniden su ilave edildiğinde kurutma öncesine yakın bir hale ulaşması avantajları olarak sıralanır. Ortam

içerisindeki suyun donmuş olması, düşük sıcaklıklarda kurutma yapılması ve vakuma bağlı olarak ortamda oksijen olmamasından dolayı ürünün yapısı ve kalitesi korunmaktadır. Ancak endüstriyel kullanım açısından maliyetinin yüksek olması dezavantaj oluşturmaktadır [124].

Kurutulacak ürün ilk olarak $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda dondurulmakta ve bu işlemden sonra ürün kurutma kabine yerleştirilmektedir. Kurutma kabini vakum pompasıyla vakumlanır. Donmuş ürünün yapısında bulunan buz süblimleştirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiş olur [114,115].

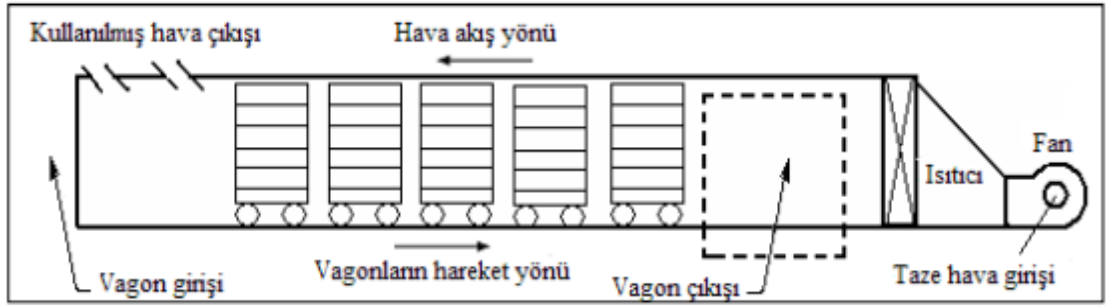
5.2.2.12. Tünel Kurutucu

Bu tip kurutucularda, kurutulmak istenen ürün bant aracılığıyla devamlı hareket halinde olan tepsilerin içerisine yerleştirilerek, tünel şeklinde iki ucu açık fırınlardan geçirilir. Bandın hareket yönüne paralel sıcak hava akımıyla kurutma işlemi yapılmaktadır. Hareket doğrultusuyla hava akışı aynı ya da zıt yönlere olabilir. Kurutulacak ürünün kurutma oranı, bandın hızı, hava parametreleri ve tünelin boyu değiştirilerek ayarlanabilir. Şekil 5.6'da bir paralel akışlı tünel kurutucunun şeması gösterilmektedir.



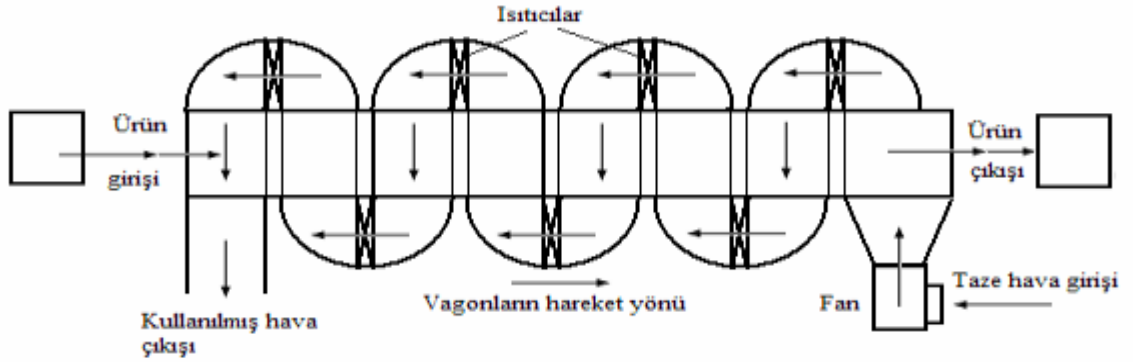
Şekil 5.6. Paralel akışlı tünel kurutucu [114].

“Zıt akışlı tünel” olarak isimlendirilen düzenekte kurutma havası ile vagonların hareketleri birbirine zıt yöndedir. Şekil 5.7’de zıt akışlı tünel kurutucunun şematik görünümü gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Zıt akışlı tünel kurutucu [114].

Paralel ve zıt akışlı tünel kurutucularının yanı sıra çapraz akışlı tünel kurutucularında kullanılmaktadır. Kompartıman kurutucuları ile zıt akış tünelinin birleşmesi sonucu oluşmaktadır. Kurutma havası bu tip kurutucularında, tünel boyunca çapraz şekilde üflenmektedir. Bu durum daha özdeş bir kurutma sağlamaktadır. Şekil 5.8’de çapraz akışlı tünel kurutucu görülmektedir [114].



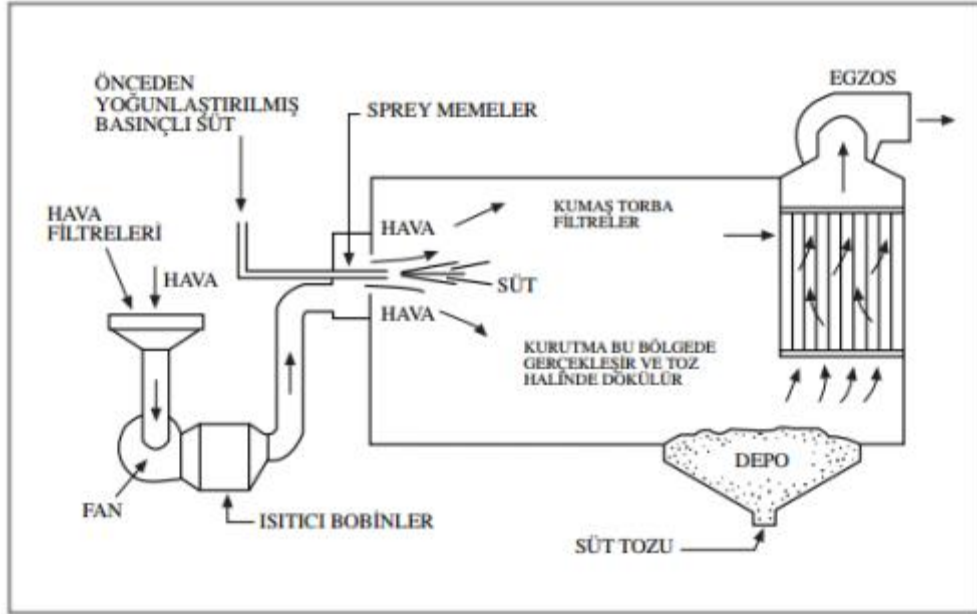
Şekil 5.8. Çapraz akışlı tünel kurutucu [114].

5.2.2.13. Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutma işlemi, kurutulacak olan pompalanabilir akışkanın kurutma ortamında yüksek sıcaklıktaki gaz akışkana püskürtülmesiyle katı ve yarı katı hale geçmesidir. Kurutulan madde; çözücü buharı ve kurutucu havayla birlikte iç kısımda bulunan boruya teğet şekilde siklon ayırıcıya hızla girer. Merkezkaç kuvveti ile tozlar, ayırıcının iç çeperine doğru hızla savrulur ve toplanma kabında birikir. Kurutma kesintisizdir. Bu yöntemde amaç, kurutulacak malzemenin ince parçacıklar (5-500 μ m) halinde sıcak bir ortama püskürtülerek kurumasının sağlanmasıdır.

Malzeme ne kadar küçük parçalar haline getirilirse, bununla orantılı olarak yüzeyi artacağından, sıcak hava içerisindeki kuruma hızı da buna bağlı olarak o ölçüde artar [101,114].

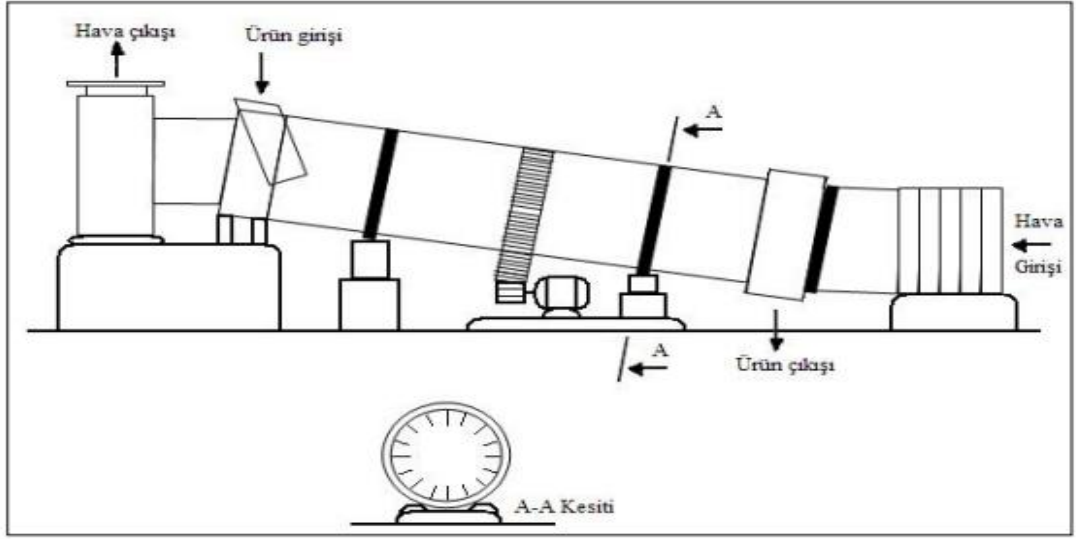
Viskozitesi düşük sıvı ya da ezme haline getirilmiş sebze-meyve gibi gıdaların kurutulması için bu yöntem kullanılmaktadır. Başlıca uygulanma alanları: kahve, süt tozu, deterjan, sabun, çocuk mamaları üretiminde, tablet formülasyonlarında kullanılan doğrudan basın ajanlarının üretiminde, su ve organik çözücülerde hazırlanmış bitkisel ekstraktların kurutulmasında kullanılır. Dönen tip püskürtmeli kurutucu Şekil 5.9’da verilmiştir [130].



Şekil 5.9. Dönen tip püskürtmeli kurutucu [130].

5.2.2.14. Döner Kurutucular

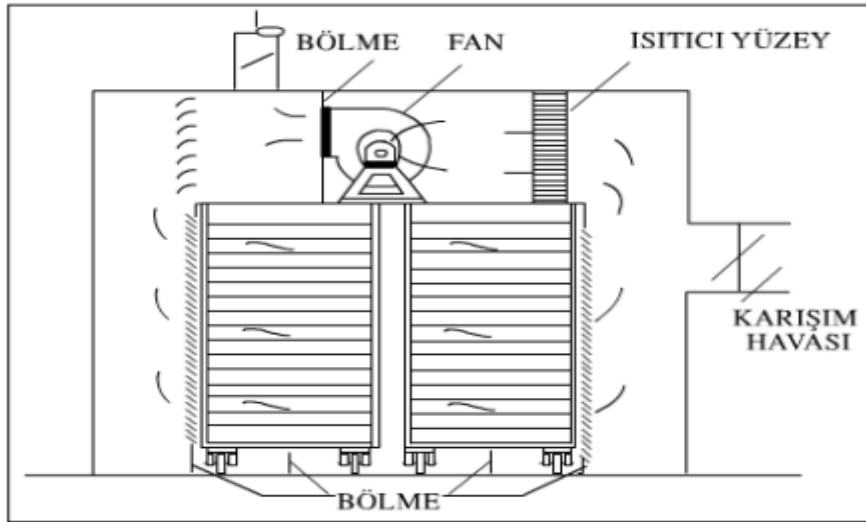
Belirli bir eğimdeki bu tip kurutucular, yatay rulmanlar üzerinde bulunan silindirden ve iç çepere yerleştirilmiş raflardan oluşmaktadır. Kurutulacak ürün kurutucunun üst tarafından beslenir. Ürünün akışına ters ve yatay doğrultuda üflenen sıcak havayla kurutma gerçekleşir. Böylece kuruyan ürün silindirin uç kısmından dışarı çıkmış olur [117]. Döner kurutucuların şeması Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10. Döner kurutucu [117].

5.2.2.15. Kabinli ve Bölmeli Kurutucular

Kabinli kurutucularda taşınımı, zorlanmış, özel tasarımı ve bölmeli birçok model mevcuttur. Bu tip kurutucularda, ürünün tepsilere serilmesiyle kurutma işlemi yapılmaktadır. Şekil 5.11’de kabinli kurutucu verilmiştir [117].



Şekil 5.11. Kabinli kurutucu [117].

5.2.2.16. Sıcak Hava ile Kurutma

Sıcak hava ile kurutma yöntemi meyve ve sebzelerin kurutulmasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Genel olarak basit ve ekonomik bir metottur. Ürüne ısı transferi konveksiyon aracılığıyla aktarılır. Bu yöntemle kuruma süresi; ürünün boyutuna ve şekline, kurutma havasının sıcaklığına, hızına ve nem ile kurutucu ekipmanın dizaynına bağlıdır. Sıcak hava ile kurutmada en sık kabin tipi kurutucular kullanılır. Kurutulacak ürünler bir tür tepsi olan alt tarafı ızgara şeklindeki kerevetlere yerleştirilir ve buradan kurutma kabinine alınır. Sıcak hava, kabinin yan kısımlarından girerek kerevetler arasından geçerek belli olan kanaldan dışarı atılır [119]. Bu yöntemle yapılan kurutmanın hızı diğer yapay kurutma yöntemlerine göre daha uzun sürmektedir. Kurutma sonunda ürünün besin bileşenlerinde ve renginde kayıplar, sertleşme, büzüşme gibi kalite özelliklerinde değişimler meydana gelebilmektedir.

Sıcak havalı kurutmada kurutulacak üründeki suyun tamamı veya tamamına yakın bir kısmı ürün özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olmadan uzaklaştırılmaktadır. Kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda kurutma yapılmaktadır. Sıcak hava, kurutulan ürünün içerisinden veya yüzeyinden geçer. Bu yöntemin avantajları; kontrollü bir kurutma ortamıyla lezzet ve görünüş bakımından daha iyi ürün elde edilmesi, aroma ve renk açısından kaliteli olması, temizlik ve kontrolünün kolay olması, nem ayarının mümkün olması olarak sıralanabilir [119].

5.3. KURUTMA TERİMLERİ VE MEKANİZMASI

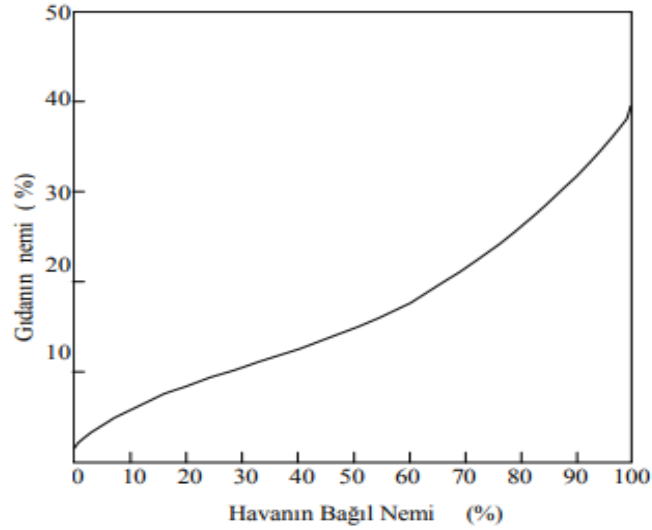
Kurutma işlemlerinde nemli ürünleri çevreleyen ortam genellikle hava olmaktadır ve burada karmaşık nem alışverişi meydana gelir. Bu yüzden kurutma işlemi ürün ile onu çevreleyen ortam havası arasındaki bağlantılar incelenmelidir [131].

5.3.1. Denge Nemi

Bir noktadaki hem su hem de başka bir madde buharlaşarak çevresiyle nem açısından bir dengeye ulaşır. Belirli bir sıcaklıkta değişik bağıl nem koşullarında bulundurulup

dengeye ulaşan herhangi bir üründe, nem içeriği ile ürünü çevreleyen havanın bağıl nemi arasındaki ilişki Şekil 5.12’de verilmiştir. Bu ilişkiye “sorpsiyon izotermi” denilmektedir. Şekil 5.12’de görüldüğü gibi bağıl nemi %90 olan bir ürünün, atmosferde herhangi bir sıcaklıkta devamlı olarak %30 su içerdiğini, bu şartlarda denge neminin %30 olduğu gözlenmektedir. Ürünün sorpsiyon izotermi belirlenebilmesi için en kolay yöntem, bağıl nemi sabit kalabilen kaplarda belirli sıcaklıkta dengeye ulaşınca kadar saklanmasıdır.

Kabın içerisinde istenilen düzeyde nem içeren bir oran oluşturabilmek için kaba konulan değişik tuzların çözeltilerinden faydalanılır. Çizelge 5.1’de bağıl nemde tutan maddeler verilmiştir. Böylece ürünler, ortam havasının bağıl nemi sabit kaldığı kaplara uygun şekilde yerleştirilip, 20°C’deki sorpsiyon izotermi tespit edilmiş olmaktadır [132].



Şekil 5.12. Nem sorpsiyon izotermi [99].

Çizelge 5.1. Sudaki doymuş çözeltileri, bulunduğu ortamı farklı bağıl nemde tutan maddeler [38].

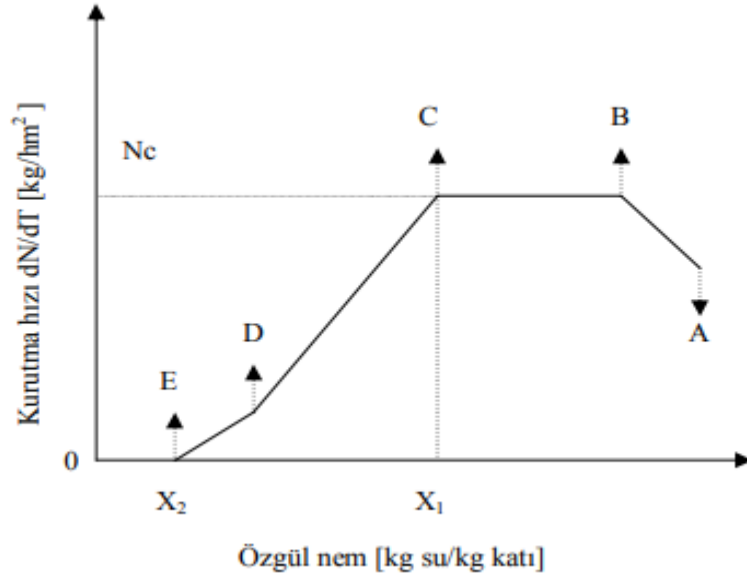
Tuz Adı	Kimyasal Formülü	Bağıl Nem (%)	Madde miktarı (gr)	Su miktarı (ml)
Potasyum asetat	CHCOOK	22	200	65
Magnezyum klorür	MgCl ₂	32	200	25
Potasyum karbonat	K ₂ CO ₃	41	200	30
Magnezyum nitrat	Mg(NO ₃) ₂	53	200	80
Sodyum bromit	NaBr	57	200	50
Sodyum nitrat	NaNO ₃	66	200	50
Stronsiyum klorür	SrCl ₂	70	200	60
Sodyum nitrat	NaCl	75	200	60
Amonyum sülfat	(NH ₄) ₂ (SO) ₄	90	200	60
Potasyum klorür	KCl	67	200	90
Baryum klorür	BaCl ₂	90	250	70
Lidyum klorür	LiCl	11	200	70

Gıdaların sorpsiyon izoterm eğrilerinin belirlenmesi için gıdanın kuru veya yaş olması etkilidir. Kuru gıdanın nem alması adsorpsiyon, yaş gıdanın nemini vermesi desorpsiyon olarak adlandırılır. Islak maddenin farklı bağıl nemli atmosferde tutulur, dengeye ulaşmasından sonra tartılarak ağırlık kaybını saptanır. Bu şekilde elde edilen eğriye “desorpsiyon izotermi” denir. Başlangıçta tamamı nemsiz olan maddenin değişik bağıl neme sahip ortamlarda tutulmasıyla hesaplanan eğriye de “adsorpsiyon izotermi” denilmektedir. Malzemelerin kurutulma işleminin araştırılıp takip edilmesinde desorpsiyon izotermi kullanılır. Kurutulmuş malzemelerin muhafazası ve higroskopik niteliklerini ise adsorpsiyon izotermi göstermektedir [99].

5.3.2. Kurutma Hızı

Birim alandan birim zamanda su kütlesinin buharlaşarak ayrılmasına kurutma hızı denilmektedir. Ürünün kalitesi ve maliyeti için kurutma hızı önemlidir [99]. Kurutma hızı sıcaklık, basınç ve geometrik parametrelerin değiştirilmesi ile kontrolü sağlanan

bir faktördür. Ürünün kurutulduğu sıcaklık değeri artarsa kurutma hızı da artar. Ancak artan sıcaklık değeri ürün kurutulduğunda bazı fiziksel ve kimyasal değişimlere sebep olur ve bu durum ürünün kalitesini etkiler. Bundan dolayı kurutma hızı istenilen özelliklere göre uygun şekilde ayarlanması gereken bir parametredir. Kurutma eğrisi Şekil 5.13'te verilmiştir [132].



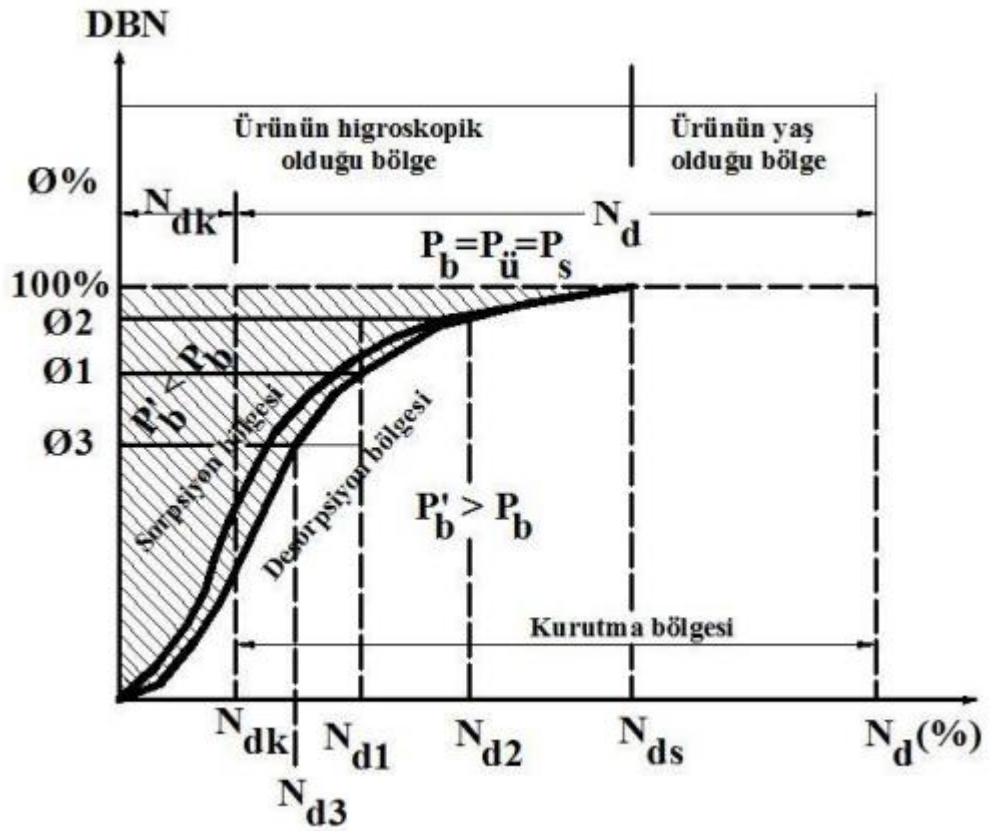
Şekil 5.13. Nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak kurutma hızının değişimi [132].

Şekil 5.13'te gösterilen özgül neme bağlı kurutma hızı grafiğinde farklı aralıklardaki kurutmalar yer almaktadır. Başlangıç itibariyle nem, doymuş haldeki yüzeyden kurutma devam ettikçe buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılır. Daha sonra ürünün iç tarafındaki su buharlaşır. DE bölgesi, ürün içerisindeki suyun yüzey kısmına yavaş geldiği aralığı göstermektedir. CD aralığı, ürün yüzeyine gelen su buharlaşmaktadır. C noktası, üründe oluşan ilk kurumayı ve ürünün kritik nem miktarını göstermektedir. Sabit kurutma hız aralığının son noktası ve azalan ürünün ısınma aralığına “Kritik nokta” olarak adlandırılmaktadır. AB aralığı ise ürün ile kurutucunun ısınma aralığını göstermektedir [99].

5.3.3. Kurumanın Statiği

Ürün ile hava arasında bulunan nem dengesi zamana bakılmaksızın araştırılmaktadır. Nem dengesi; sorpsiyon (ürünün çevreden nem alması) ve desorpsiyon (ürünün çevre havasına nem vermesi) olaylarıyla gerçekleşmektedir.

Denge halinde, ürün yüzeyinde yer alan suyun buhar basıncı (P_u) ile havadaki su buharının kısmi basıncı (P_b) birbirlerine eşit olarak verilir. Ürünün yüzey sıcaklığı ile çevre havası, yaş termometre sıcaklığına eşittir. Bundan dolayı denge durumunda ürünün ulaştığı nem (N_d), bağıl neme (ϕ) yani havanın kısmi buhar basıncına bağlıdır [99,119].



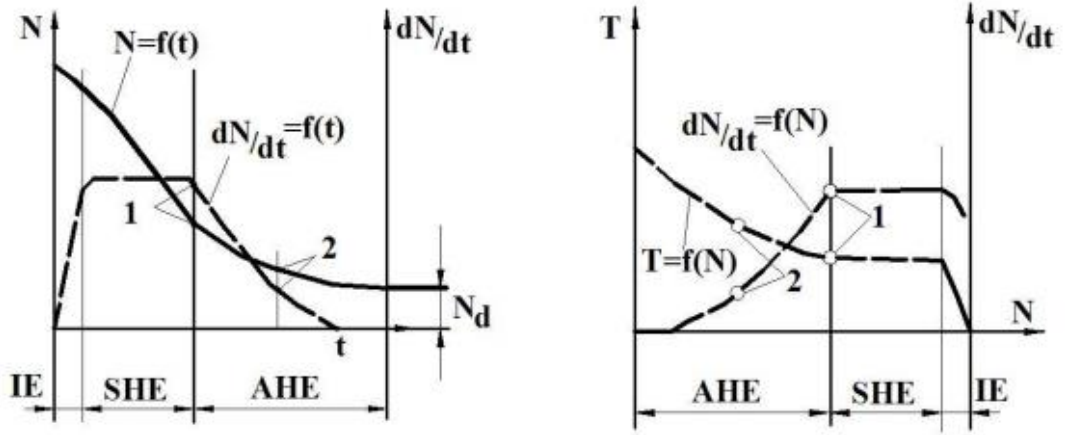
Şekil 5.14. Sorpsiyon eğrisinin kurutma statiği bakımından grafiği [119].

Bir ürünün sorpsiyon ve desorpsiyon bölgeleri Şekil 5.14'te izoterm eğrisindeki gibi gösterilmektedir. İzotermin denge bağıl nem eksenine ile arasında bulunan bölgedeki her noktanın ürün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı, havadakinden daha

küçüktür. Bu yüzden bölgedeki ürünün içerisine nem aldığı şartlar belirtilmektedir. Denge nemiyle aradaki bölge içinde tam tersi durum olduğu için ürünün çevreye verdiği nem şartları belirtilir. Kuruma bölgesi, ürünün ulaşabileceği en küçük denge nemi olan N_{dk} değerinden geçen eksenden başlayarak gösterilmektedir [115].

5.3.4. Kurumanın Kinetiği

Kuruma kinetiğinde, ürün ile çevresinde bulunan hava arasında nem alışverişi kuruma süresindeki zamanın dikkate alınmasıyla incelenmektedir. Şekil 5.15'te tarım ürünü kinetik kuruma eğrileri verilmiştir [114,131].



Şekil 5.15. Tarım ürünü kinetik kuruma eğrileri [114].

Şekil 5.15'te grafiklerde kuruma işleminin kinetik olarak incelenmesinde aşağıdaki ilişkiler dikkate alınmaktadır:

1. Ürünün nemi ile kuruma süresi: $N=f(t)$
2. Kuruma hızı ile ürün nemi: $dN/dt=f(N)$
3. Kuruma hızı ile kuruma süresi: $dN/dt=f(t)$
4. Ürün sıcaklığı ile nemi: $T=f(N)$

Kuruma işleminin gerçekleşmesinde üç evre gözlenmektedir.

Bu evreler;

1. Ürünün ısınma evresi (IE),
2. Sabit hızla kuruma evresi (SHE),
3. Azalan hızla kuruma evresi (AHE)'dir.

Kuruma başlangıcındaki ısınma evresi (IE), kurutulacak ürünün sıcaklığı ile kurutma ortamındaki sıcaklık dengeye ulaşmaya kadar devam etmektedir. Bu evrede kuruma hızı sürekli artar ve sonunda en yüksek değere ulaşır. Isınma evresinin süresi, toplam kurutma süresine göre daha kısa olduğu için kuruma eğrisinde yer almamaktadır [99].

İkinci olarak sabit hızla kuruma evresinde (SHE), kurutulacak ürün yüzeyi başlangıçta incecik su tabakasıyla kaplı şekilde görülür ve bu tabaka buharlaşmaya başlar. Dış hava koşullarına göre belirlenen buharlaşma ürünün özelliklerine bağlı değildir. Nem ürün yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakası yüzeyindeki buharlaşmış suyla aynı şekilde buharlaşmaktadır. Sabit kuruma hızıyla buharlaşan yüzeydeki serbest su tabakası, hücreler arasındaki hava boşluklarının oluşturduğu kılcal borularla beslenmektedir. SHE boyunca yüzeyden buharlaşan suyun hızı ile suyun ürün yüzeyine iletim hızı birbirine eşit bulunmaktadır [114].

Sabit hızla kuruma evresinde üründen yüzeye doğru nem taşındığı için, ürünün iç tabakalarındaki nem miktarı sürekli azalmaktadır. Bu durumda kurutulan ürünün yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak uzaklaştırılan suyla eşit şekilde gerçekleşmektedir. Ürün yüzeyindeki serbest suyun tamamen kaplı olması sona erer. Bu durumda ürünün sahip olduğu nem düzeyi birinci kritik nem olarak adlandırılır. Kuruma eğrisindeki noktaya ise birinci kritik nokta (BKN) denir [115].

Birinci kritik noktadan sonra kuruma hızı zamanla azalarak başka bir evreye geçiş yapmaktadır. Kuruma eğrisinin eğimi azalan şekilde değişim göstermektedir. Yeni oluşan evrede, birim zaman aralığında buharlaşmış nem miktarı önceki zamana göre azalmasından dolayı azalan hızla kuruma evresi (AHE) diye tanımlanmaktadır [120].

Ürünün yüzeyindeki su kaybolunca kuruma hızı da ıslak bölge miktarıyla orantılı şekilde azalmaktadır. Meydana gelen bu evreye “1.azalan hızla kuruma evresi” denilmektedir. Suyun ürünün iç kısımlarından yüzeye doğru iletim hızı, yüzeyde oluşan buharlaşma hızından daha küçüktür. Bu yüzden ürün yüzeyinin tamamen su tabakasıyla kaplanma durumu ortadan kalkmış olur. Kuruma hızı daha da yavaşlayarak bu andan itibaren ‘2. azalan hızla kuruma evresi’ başlamaktadır. Azalan hızla kuruma evresi (AHE) esnasında, kuruma hız değişiminin doğrusallıktan uzaklaşmaya başladığı nokta “ikinci kritik nokta” (İKN) ve ürünün bu andaki nemine ise “ikinci kritik nem” denilmektedir [99].

5.3.5. Ürünün Su Aktivitesi

Su aktivitesi, gıdadaki suyun yapıya hangi şekilde bağlı olduğunu, enzimatik ve kimyasal reaksiyonlar mikroorganizmalar tarafından kullanılabilme derecesini ve durumunu belirlemektedir. Kurutma işlemi gibi muhafaza yöntemleri, su aktivitesini belli sınır değerlerin altına düşürmeyi amaçlamaktadır. Ürünün, yapısındaki su alındığı oranda dayanıklılığı artmaktadır. Gıda içerisindeki su miktarının bilinmesi, gıdanın dayanıklılığı ve suyun özellikleri hakkında tek başına yeterli olmamaktadır. Aynı su miktarına sahip diğer gıdaların dayanıklılıkları farklı olabilmektedir. Gıdaların işlenip depolanmasında kalite kayıpları ve bozulmaları en iyi su aktivitesi belirlemektedir [135].

Gıdanın kimyasal-biyokimyasal ve mikrobiyolojik yollarla bozulup kaliteli yapısını kaybetmesinde su aktivitesi (a_w) önemli bir etkidir. Gıdaların ve saf suyun su aktivite ($a_w= 1.0$) değerleri birbirine çok yakındır. Sebze ve meyvelerin su aktivite değerleri çoğunlukla $a_w=0.970-996$ aralığında değişmektedir. Sebzelerin su aktivitesi meyvelere göre daha yüksektir [100]. Kurutulmuş meyvelerde su aktivitesi genel olarak 0.60-0.75 arasındadır. Su aktivitesi 0.60’ın altında olduğu durumlarda mikroorganizmalar çoğunlukla gelişim gösteremezler. Genel olarak küfler bakterilere göre kuru ortama daha dayanıklıdırlar. Birçok küf ve mayalar 0.62 a_w su aktivitesinin altında gelişemez. Patojen bakteriler ise 0.85 a_w su aktivitesi alt sınır değerinde faaliyet göstermektedir [136].

Bazı kimyasal reaksiyonlar için su aktivitesinin etkisi önemlidir. Su aktivitesi değeri 0.30 a_w üzerine çıktığında enzimatik reaksiyonlar artış göstermektedir. Maillard reaksiyonları enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarından biridir ve su aktivitesi 0.65-0.80 a_w aralığında maksimuma ulaşmaktadır [137]. Çizelge 5.2’de bazı gıdaların su aktiviteleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Bazı gıdaların su aktivite değerleri [115].

Gıdalar	Su Aktivitesi (a_w)
Kuru Meyveler	0.60- 0.75
Kuru Sebzeler	0.30- 0.40
Reçel- marmelat	0.80- 0.91
Meyve suyu konsatrelere	0.79- 0.84
Tahıllar ve baklagiller	0.65- 0.75
Baharat Çeşitleri	0.40- 0.58
Bal	0.75
Kek ve kuru pasta	0.60- 0.90
Şekerlemeler	0.60- 0.65
Meyveli kekler	0.73- 0.83
Dondurulmuş gıdalar	0.60- 0.90

Gıdaların bünyesindeki su oranının çevre havası bağıl neminin (ÇBN) 100’e bölünmesiyle ürünün su aktivitesi (a_w) bulunmaktadır [115].

$$a_w = \frac{\text{Çbn}}{100} \quad (5.1)$$

Su aktivitesi değeri, kurutma işlemlerinin sonunda gıdalardaki en önemli değişimlerden biridir. Kurutmaya birlikte gıda içerisindeki su aktivite değeri düştüğünden gıdaların uzun süreli dayandığı tespit edilmiştir. Su aktivitesinin değeri düştüğünde enzimatik değişimler kısıtlamakta veya durdurmaktadır. Bu durumda suyun buharlaşma gizli ısısı yükselmiş olur. Su aktivitesi ile dehidrasyon hızı arasında ilişki olduğu görülmektedir. Dehidrasyon hızı, havadaki su buhar basıncı ile ürünün yüzeyindeki su buhar basıncı arasında oluşan farka bağlıdır. Ürün kurutma

işleminde ortaya çıkan bütün değişmelere bakıldığında ülkemizde çeşitli tahıllar, sebze ve meyvelerin kaliteli şekilde kurutulması yıldan yıla hızla artış göstererek önem kazanmıştır [138].

BÖLÜM 6

DONDURARAK KURUTMA

6.1. DONDURARAK KURUTMAYA GİRİŞ

Dondurarak kurutma yöntemi, ürünün dondurulmasıyla doğal özellikleri bozulmadan kalabilmesini sağlayan bir kurutma türüdür. Bu yöntemle ürün ilk durumdaki şekliyle dondurulur ve kurutma işlemi başlanır. Böylece üründe oluşabilecek herhangi bir bakteriyel oluşum engellenmiş olur. Dondurarak kurutma yönteminde kurutulan ürünün şekli, tadı ve renginde çok fazla değişim görülmemektedir. Çünkü ürün kurutulmak için yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmamaktadır. Ürünün içindeki su, sıvı hale geçmeden direkt gaz haline geçerek uzaklaştırılır [140].

Dondurarak kurutma birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar; kahve ve çay özleri, meyve suları, sebze ve meyve üretimi, et kurutulması, ilaç sanayisi ve eczacılık gibi alanlardır. Bu kurutma işlemiyle vakumlanmış ortamda öncelikle donmuş serbest suyun uzaklaştırılması (süblimasyon), sonrasında donmamış bağlı suyun uzaklaştırılması (desorpsiyon) gerçekleştirilir [139]. Diğer adıyla Liyofilizasyon olarak bilinen bu işlem yavaş ve pahalıdır. Ancak diğer kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında en kaliteli ve dayanıklı ürünler bu yöntem ile elde edilmektedir. Dondurarak kurutma işleminde kurutulmuş ürüne su ilave edildiğinde (rehidrasyon) kurutulmadan önceki haline dönüşür. Ürünün raf ömrünün uzaması, depolama alanının ve ağırlığının azalması gibi avantajları vardır [145].

6.2. SÜBLİMLEŞMENİN TEORİSİ

Süblimleşme, dondurarak kurutma işleminin en önemli kısmıdır. Bir ürün içerisindeki donmuş suyun erimeden direkt katı fazdan buhar (gaz) fazına geçmesine süblimleşme veya süblimasyon olayı denilmektedir. Belirli şartlar doğrultusunda

maddenin üç fazı birlikte bulunmaktadır. Bu fazların beraber bulunduğu noktaya üçlü noktadır [144].

Saf su için üçlü noktanın şartları 0,6113 kPa basınç ve 0,01 °C sıcaklıkta olmasıdır. Maddeler 0,6113 kPa basınç altında sıvı fazda dengede kalamazlar. Ancak yüksek basınca sahip maddeler üçlü nokta sıcaklığı altında sıvı fazda bulunmaktadır. Maddeler katı halden buhar haline iki farklı şekilde geçebilirler. Birincisi; katı madde önce sıvı hale sonrasında gaz haline geçer. İkincisi ise; katı madde direkt olarak gaz haline geçer. Bu direkt geçiş sadece üçlü noktadan daha düşük basınçlarda gerçekleşmektedir. Süblime olabilme şartı her bir madde için farklılık göstermektedir [142, 143].

Buzun süblimasyonu, su buharı basıncının çevre havası buhar basıncından daha da yüksek olmasıyla gerçekleşir. Buzun buhar basıncı değişkenlik gösterir ve sıcaklık ile ilişkilidir. Buzun süblimleşmesi için gerekli olan ısının buzdan alınması durumunda buzun sıcaklığı azalır. Bundan dolayı üründeki buz süblime olduğu süre içinde, malzemenin sıcaklığı azalır. Erime ve buharlaşma gizli ısılarının toplamına ise "süblimasyon gizli ısı" denilmektedir. [3, 144].

6.3. SÜBLİMLEŞMENİN TERMODİNAMIĞI

Madde üç temel fazdan oluşmaktadır. Bunlar; katı, sıvı ve gaz fazlarıdır. Madde bulunduğu ortama ve sahip olduğu enerjiye göre bu üç fazdan herhangi birinde bulunabilir. Maddenin katı halden buhar haline direkt geçmesine süblimleşme veya süblimasyon denir. Süblimasyonun gerçekleşmesi için maddenin hal değişim grafiği, P-T diyagramında süblimasyon eğrisinin üzerinden geçmelidir. Suyun denge-faz diyagramı süblimleşme için gerekli olan sıcaklık ve basınç değerlerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Şekil 6.1'de suyun denge faz diyagramı verilmiştir.

Süblimleşmenin devam etmesi için bu durumdaki buz ve gaz fazları denge halinde olmamalıdır. Basınç ve sıcaklık değerleri her iki faz için Gibbs enerjileri eşit olduğunda dengede olmaktadır [145]. G, Gibbs enerjisi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$G = H - T.S \quad (6.1)$$

Buradaki;

H: Entalpi, (kJ)

T: Sıcaklık, (K)

S: Entropi, (kJ/K)'dir [116].

Süblimleşmede buzun ve gazın Gibbs enerjisi birbirine eşit olduğunda fazlar arası geçiş durmaktadır. Doygunluk eğrisiyle Şekil 6.2'deki denge durumu gösterilmiştir. Buzun Gibbs enerjisi gazın Gibbs enerjisinden büyük olduğunda süblimleşme işlemi gerçekleşmiş olur. Buzun sıcaklığı yükseltilerek ve gazın basıncı azaltılarak denge durumundan uzaklaştırılır. Denge koşullarına yakın veya dengede süblimleşme işlemi gerçekleştirildiğinde basınç ve sıcaklık arasındaki ilişki Clausius Claperyon eşitliğiyle hesaplanır [115,144].

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H_{sub}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (6.2)$$

Buradaki;

P: Basınç,

T: Mutlak sıcaklık,

ΔH_{sub} : süblimleşme gizli ısısıdır.

Bu eşitlik, süblimleşme ara yüzeyindeki buzun sıcaklığı bilirse buhar basıncını bulmak için kullanılmaktadır. Gizli ısı sıcaklık fonksiyonu olduğu için, Şekil

6.2'deki eğriden sıcaklık fonksiyonunun belirlenmesi Clausius- Claperyon eşitliğinde yerine uygulamak daha faydalıdır [144].

6.4. KİNETİK TEORİSİ VE SÜBLİMLEŞME ORANI

Kinetik teori, maddenin moleküler seviyedeki hali olarak tanımlanmaktadır. İç moleküler kuvveti ve moleküllerin kinetik enerjisi ile tespit edilmektedir. Bir sistemdeki moleküllerin farklı kinetik enerjileri ve enerji dağılımları bulunur.

Katı madde moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi az olmaktadır. Ancak süblimleşmiş katı maddenin yüzeyinde bulunan kinetik enerji, iç moleküler kuvveti yenip yüzeyden uzaklaşabilecek gerekli enerjiyi barındırmaktadır. Katı maddenin sıcaklığı arttıkça yüzeyden ayrılan enerjiye sahip moleküllerin yüzdeleri de artar.

Süblimleşen katı maddenin yüzeyindeki gaz moleküllerine dönüşen molekül miktarını gaz basıncı belirlemektedir. Bu gaz basıncı gazın kapladığı hacim ve sıcaklık, gazdaki moleküllerin sayısı ile bulunmaktadır. Basınç arttıkça katı maddeye dönen moleküllerin oranları da artar. Buzun süblimleşme oranını arttırmak için, süblimleşen yüzeyinin üst su buhar basıncı ve sıcaklığı kontrol edilmesi gereken önemli değişkenlerdir. Sıcaklığın yükselmesi ve basıncın azaltılması ile süblimleşme yüzeyinden daha fazla gaz molekülleri ayrılmış olur. Böylece süblimleşme ara yüzeyinden devamlı olarak molekül akışı sağlanmaktadır [99].

Süblimleşme oranındaki artış buzun yüksek sıcaklığının düşük basınç ile birleşmesiyle kinetik teoriden anlaşılmaktadır. Knudsel, buzun süblimleşme oranı (G_{ks}) için kinetik teoriden bir denklem türetmiştir [114,144].

$$G_{ks} = k_b P_b \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{1/2} \quad 0 < k_b < 1 \quad (6.3)$$

Buradaki;

k_b : Buharlaşma katsayısı,

P_b : Buzun doymuş buhar basıncı, (kPa)

M : Su buharının moleküler ağırlığı, (kg/kmol)

R : Gaz sabiti, (8,31441x10³ J/kmolK)

T : Buzun mutlak sıcaklığı, (K).

Farklı sıcaklıklarda hesaplanan buzun buharlaşma katsayısı genel olarak 0,6 ile 1 arasında değişen değerlerde bulunmuştur. Eşitlik 6.3'te, suyun P-T diyagramında bulunan değerler uygulandığında yüksek buz sıcaklıklarında yüksek süblimleşme oranları oluştuğu görülmektedir. Bundan dolayı dondurarak kurutma işlemi için uygun olan sıcaklığın, kurutulacak malzemede en yüksek kabul edilen sıcaklık olması beklenmektedir. Sistemde buzun yüzeyinden ayrılan moleküller gibi buza dönüşen moleküllerinde olduğu bilinmektedir. Bu yüzden su buharı kısmi basıncının süblimleşme oranına etkisi olmaktadır. Vakum sisteminde buhar basıncının düşük tutulabilmesi yoğunlaştırıcı kullanımıyla ilgilidir. Bu sistemdeki yoğunlaştırıcı etkisi Eşitlik 6.4 ile hesaplanmaktadır. Buradaki P_b' buharlaştırıcı ortam basıncıdır. [114,115].

$$G_{sub} = k_b(P_b - P_b') \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6.4)$$

6.5. DONDURARAK KURUTMA İŞLEMİNİN EVRELERİ

Dondurarak kurutma (liyofilizasyon) işlemi üç evreden oluşur. Bunlar sırasıyla;

1. Dondurma evresi,
2. Birinci Kurutma evresi,
3. İkinci Kurutma evresidir [144].

6.5.1. Dondurma Evresi

Donma, dondurarak kurutma işleminin ilk devresini oluşturur ve bütün işlemin performansı önemli şekilde bu basamağa bağlıdır. Donma safhası, dondurarak kurutma işleminin en önemli basamaklarından biridir ve donmuş maddenin sertlik

derecesini, bunun sonucu olarak da dondurarak kurutulmuş ürünün morfolojik karakterini, biyolojik aktivitesini ve kararlılığını belirler. Donma safhası, anahtar basamaktır; çünkü buz kristallerinin yapısını (şekil ve boyut), buna bağlı olarak bütün işlemde en uzun süreyi alan süblimasyon zamanını ve ikinci kurutma safhasının anahtar faktörü olan gözeneklerin spesifik yüzey alanını ve rehidrasyon zamanını ayarlar.

Hızlı dondurma işlemlerinde küçük boyutlu buz kristalleri meydana gelmektedir. Bu küçük buz kristallerinin dondurarak kurutulması zor olur ancak süblimasyon işlemi ürünün yapısına daha az zarar vermektedir. Yavaş dondurma işleminde ise, küçük buz kristallerine oranla daha sorunsuz gerçekleşir, fakat ürünün yapısı daha fazla zarar görür [99,114].

6.5.2. Birinci Kurutma Evresi

Süblimleşme, donmuş ürünlerde çözücünün düşük basınç altında, katı halden gaz haline dönüşmesi olayıdır. Donmuş tabakadan serbest suyun gaz fazında ayrılması buhar değişiminin farkıyla meydana gelir. Süblimleşmeyle üründen ayrıştırılan serbest su buharı kurutma kabineye yayılmaktadır. Su buharı, üründen sürekli ayrıştırılmasını sağlayacak ortamın oluşması için kurutma kabinden vakum aracılığıyla yoğunlaştırıcıya devamlı şekilde taşınır. Böylece kurutma kabindeki buhar basıncı çözücünün süblimleşmesini gerçekleştirecek biçimde düşük seviyede tutulur [99].

Sisteme ısı verilmediğinde ürün içerisinde yer alan su buharı kısmi basıncıyla dengelenir. Böylece kurutulmakta olan üründen suyun atılmasıyla durma noktasına gelmiştir. Süblimleşme işleminin devam etmesi için sisteme ısı aktarımı gerekmektedir. Kurutulacak ürüne verilen ısı, radyasyon ve iletim yoluyla gerçekleşir. Ayrıca sisteme verilen ısı rastgele yükseltilmemelidir. Dondurarak kurutulmuş tabakanın en yüksek sıcaklığının seçilmesinde dikkat edilmesi gereken durumlar mevcuttur. Bunlar; kimyasal ve biyokimyasal tepkimelere neden olmayan, ürünün rengini değiştirmeyen durumlara göre seçilmelidir. Serbest suyun tamamının süblimleşmesiyle birinci kurutma evresi sona ermektedir [114].

Liyofilizasyonda ürün içinde bulunan su katı hale geçirildikten sonra düşük basınçta süblimasyona uğrayarak sistemden uzaklaştırılır. Bu işlem vakum pompası aracılığıyla gerçekleşir. Ürünün etrafındaki hava kurutma hacmine yerleştirilmiş vakum pompası ile hacim dışına atılır. Vakum değeri yeterli düzeye ulaştınca süblimasyon ısısının yardımıyla katı fazdaki su gaz fazına geçer. Böylece gaz fazına geçmiş su buharı vakum pompasıyla emilir ve sistem dışına atılır [115].

6.5.3. İkinci Kurutma Evresi

İkinci kurutma evresi, dondurarak kurutmanın en son evresidir. Bu evrede donmamış (bağlı) su desorsiyon ile uzaklaştırılmaktadır. Dondurarak kurutma işleminde birinci kurutma evresi bitince ikinci kurutma evresi başlar. Liyofilizasyon işlemlerinde, kurutulacak ürün içerisindeki donmuş çözünün tamamen süblimasyonla uzaklaştırıldığı an ikinci kurutma evresinin başlangıcıdır. İkinci kurutma evresinde üründen sadece donmamış su ayrıştırılır [99].

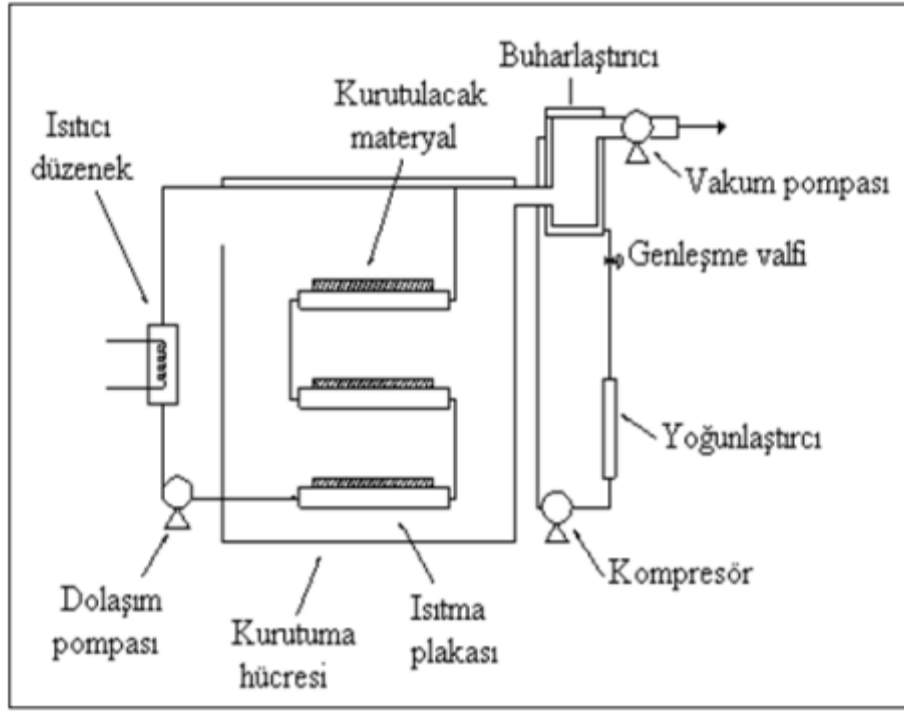
Üründeki su miktarının % 65-90'ı donmuş sudur ve birinci kurutma evresi süresince süblimasyonla uzaklaştırılır. Geriye kalan su ise donmamış (bağlı) sudur. Bağlı suyun uzaklaştırılması kurutma hızını ve toplam kurutma süresini etkilemektedir. Bağlı suyun ve serbest suyun uzaklaştırılması için gereken zamanlar birbirine eşit veya serbest suyun zamanı daha kısa olabilmektedir. Üründeki donmamış su, vakum ortamında ısı aktarılarak üründen uzaklaştırılır. İkinci kurutma evresinde kurutma süresince ürüne verilen ısı; sıcaklık, zaman ve üründeki nemin derişimine bağlı olarak değışiklik göstermektedir [114].

Dondurarak kurutmanın bu son safhasında su üründen uzaklaştırılır. Birinci kurutma safhasındaki gibi ürüne vakum altından sıcaklık verilir. Bu safhada verilen sıcaklık birinci kurutma safhasına oranla daha yüksektir ve sıcaklık çok hızlı arttırılmaz. Bu safhada sıcaklıktan etkilenen ürünler 10°C -35°C, etkilenmeyen ürünler ise 50°C'lerde kurutulur. İkinci kurutma safhası sonunda ürün kurumuş olarak kabul edilmektedir [115].

6.6. DONDURARAK KURUTMA SİSTEM ELEMANLARI

Dondurarak kurutma sisteminin başlıca elemanları Şekil 6.3'teki gibi gösterilmektedir. Dondurarak kurutma sistemi 4 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Kurutma kabini,
2. Soğutma sistemi,
3. Vakum pompası,
4. Isıtma ünitesi, dir.



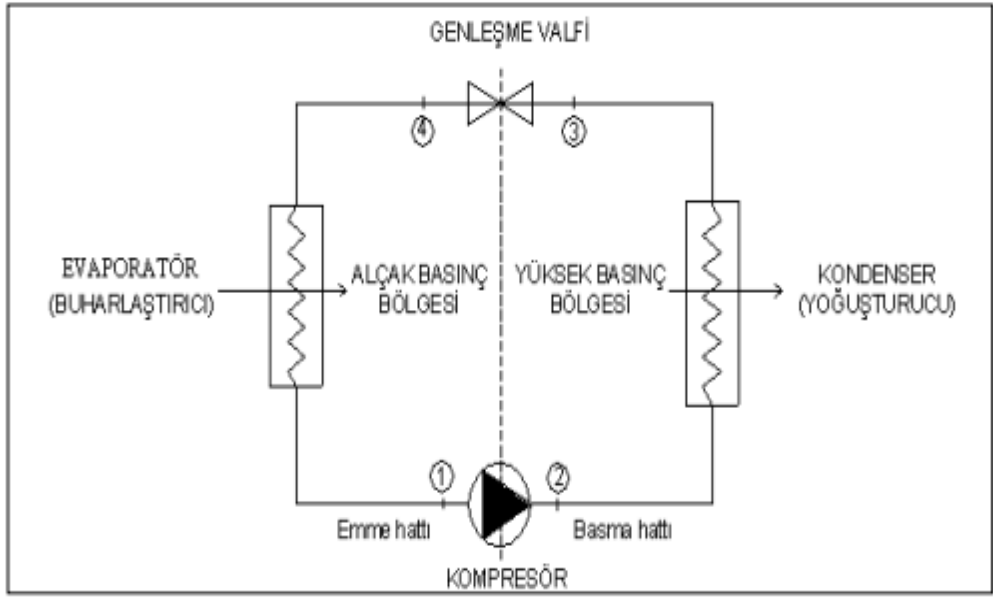
Şekil 6.3. Dondurarak kurutma sisteminin şeması [115].

6.6.1. Soğutma Sistemi

Dondurarak kurutma sistemlerinde yaygın olarak buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi kullanılmaktadır. Gaz fazından sıvı faza, sıvı fazından gaz fazına doğru gerçekleşen soğutucu akışkanın kapalı devrede dolaşma prensibine dayanan bu çevrim, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi olarak tanımlanmaktadır [147,148].

Buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin temel bileşenleri Şekil 6.4'teki gibi gösterilmektedir. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemin ana parçaları;

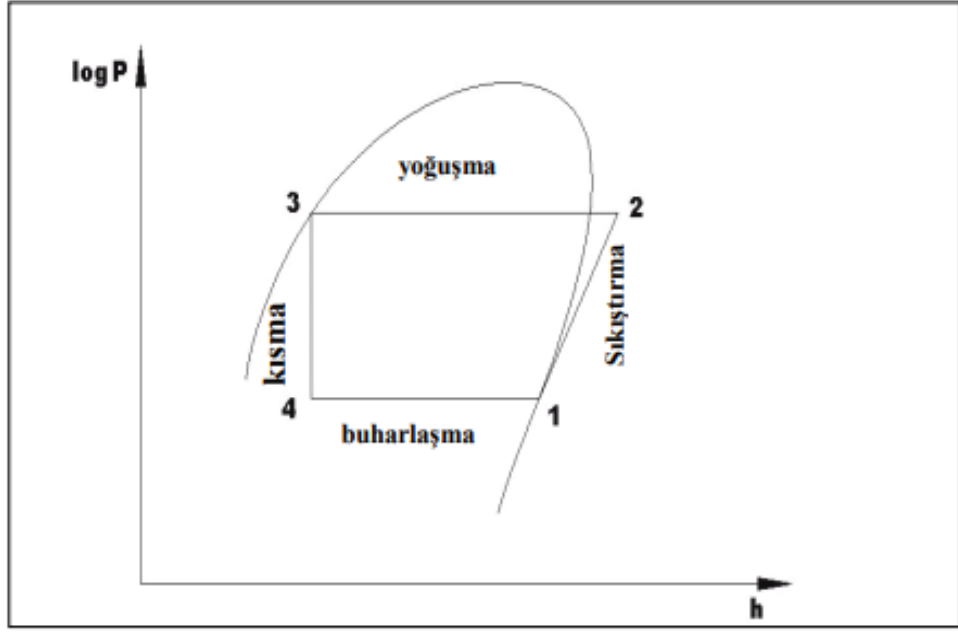
1. Kompresör,
2. Yoğunlaştırıcı (kondenser),
3. Genleşme valfi veya kılcal boru,
4. Buharlaştırıcı (evaporatör)'dür [115].



Şekil 6.4. Buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin elemanları [149].

Buharlaştırıcıdan gelen gaz fazındaki soğutucu akışkan sistemde bulunan kompresör sayesinde sıkıştırılarak sıcaklığı ve basıncı arttırılır. Kompresörden yüksek basınçla çıkan soğutucu akışkan, yoğunlaştırıcıya gelerek buradan çevreye ısısını atar ve yoğunlaşır. Sıvı fazda yoğunlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan kılcal borudan ve genleşme vanasından geçerek basıncı düşer [149].

Alçak basınçta buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkan burada buharlaşır. Soğutulan mahalden ısı alınarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Buharlaştırıcıdan çıkan buhar durumundaki soğutucu akışkan düşük basınçta yeniden kompresöre girerek sistemi bu şekilde sürdürür [150]. Şekil 6.4'teki buhar sıkıştırımlı ideal soğutma çevriminde yer alan numaralandırmalara göre Şekil 6.5'te logP-h diyagramı verilmiştir.



Şekil 6.5. Buhar sıkıştırırmalı ideal soğutma sisteminin logP-h diyagramı [149].

Şekil 6.5'teki logP-h diyagramında gösterilen:

1–2: Doymuş buharın kompresör desteğiyle yoğunlaşma basıncına sıkıştırılması işlemidir (Tersinir adyabatik sıkıştırma).

2–3: Sabit basınçta ısının dışarı atılarak doymuş sıvı halinde yoğunlaştırma işlemidir.

3–4: Herhangi bir ısı ve iş alışverişi bulunmadan genişleme valfinden geçirilerek akışkan basıncının buharlaşma basıncına düşürülmesi işlemidir (Sabit entalpide tersinmez genişleme).

4–1: Sabit basınçta ortamdan ısı çekilmesi ile akışkanın buharlaşması işlemidir (Tersinir ısı çekilmesi) [39].

Soğutulan ortamdan (Q_s), buharlaştırıcı tarafından çekilen ısı, soğutma yüküne eşittir.

$$Q_s = Q_b$$

Buharlaştırıcının kapasitesi;

$$Q_b = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (6.5)$$

\dot{m} : Soğutucu akışkanın kütleli debisi, (kg/s)

Q_b : Buharlaştırıcı kapasitesi, (kW)

h_1 : Kompresör girişindeki soğutucu akışkanın özgül entalpisi, (kJ/kg)

h_4 : Buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkanın özgül entalpisi, (kJ/kg).

eşitliği ile hesaplanır [99].

Soğutucu akışkanın kütleli debisi;

Soğutucu akışkanın kütleli debisi Eşitlik 6.5 ile hesaplanır. Eşitlik 6.6 ve Eşitlik 6.7'ye hesaplanan soğutucu akışkanın debisi konarak kompresör ve yoğuşurucu kapasiteleri hesaplanır. Buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi;

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{Q_b} = \frac{Q_s}{h_1 - h_4} \quad (6.6)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Yoğuşurucu kapasitesi;

$$Q_y = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (6.7)$$

Q_y : Yoğuşurucu kapasitesi, (kW)

h_2 : Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkanın özgül entalpisi, (kJ/kg)

h_3 : Yoğuşurucu çıkışındaki soğutucu akışkanın özgül entalpisi, (kJ/kg)

eşitliği ile hesaplanır.

Kompresör için gerekli iş;

$$\dot{w}_k = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (6.8)$$

W_k : Kompresör gücü, (kW)

eşitliği ile hesaplanır [114, 115].

6.6.2. Kurutma Kabini

Dondurarak kurutma işleminde, dış basınçtan etkilenmeyen ve organik cam malzemedен yapılmış kurutma kabini ürünün kurutulmasını sağlayan bölümdür. Kurutulacak ürünün yer aldığı tepsi kurutma kabininde bulunur. Kurutma süresi boyunca bu bölüm vakumlanmaktadır [99].

6.6.3. Vakum Pompası

Dondurarak kurutmada gereken vakumu sağlayan cihazdır. Ürünün yapısında yer alan buzun süblimasyona uğraması için vakum işlemi gerekmektedir. Vakum pompası, kurutma kabinindeki havayı vakumlayarak atmosfer basıncından daha düşük basınç oluşturmaktadır. Bu basıncın suyun üçlü faz halindeki basıncından daha düşük değere sahip olmasına gerek duyulmamaktadır [114].

Vakum pompasının hacimsel hızı;

$$S = \eta \frac{V_k}{t_b} \ln \left[\frac{P_{atm}}{P_b} \right] \quad (6.9)$$

Eşitlik 6.9 'a göre vakum pompasının hacimsel hızı hesaplanır.

S: Vakum pompa debisi, (m^3 /s)

η : Vakum pompası verimi,

V_k : Kurutma hücresinin hacmi, (m^3)

t_b : Buharlaşma süresi, (s)

P_{atm} : Atmosfer basıncı, (Pa)

P_b : Buharlaşıma basıncı, (Pa)

Vakum pompası debisi;

$$\dot{m} = S \cdot \rho_k \quad (6.10)$$

\dot{m} : Vakum pompasının kütleli debisi, (kg/s)

P_k : Kurutma hücresindeki havanın yoğunluğu, (kg/m³)

eşitliği ile hesaplanır.

$$P_k = \frac{P_k \cdot M_k}{R \cdot T_k} \quad (6.11)$$

P_k : Kurutma hücresi basıncı, (Pa)

M_k : Kurutma hücresindeki havanın molekül ağırlığı, (kg/mol)

R : Gaz sabiti, (8,314x10³ J/molK)

T_k : Kurutma hücresinin mutlak sıcaklığı, (K) [114].

6.6.4. Isıtma Ünitesi

Kurutma süresi boyunca üründen alınan ısı, ısıtma düzeneği aracılığıyla devamlı şekilde ürüne verilmektedir. Ürün dışarıdan içeriye doğru kurumaktadır. Merkezde kalan son buz kristali süblimasyona uğrayınca ürün tamamen kurumuş olmaktadır [99]. Kurumanın bu şekilde meydana gelmesiyle merkezde kalan buz tabakasına ısının ulaşması zor olmaktadır. Bundan dolayı dondurarak kurutma işleminde kuruma hızı belli bir süre sonunda yavaşlamaktadır. Daha iyi ısıtma sağlayabilmek için, radyasyon kaynaklı (mikrodalga veya infrared gibi) iletimle ısıtmaya kıyasla daha çok kullanılmaktadır. Basınç ve sıcaklık değerlerine göre süblimleşme ısı miktarları Çizelge 6.1'de verilmiştir [3, 115].

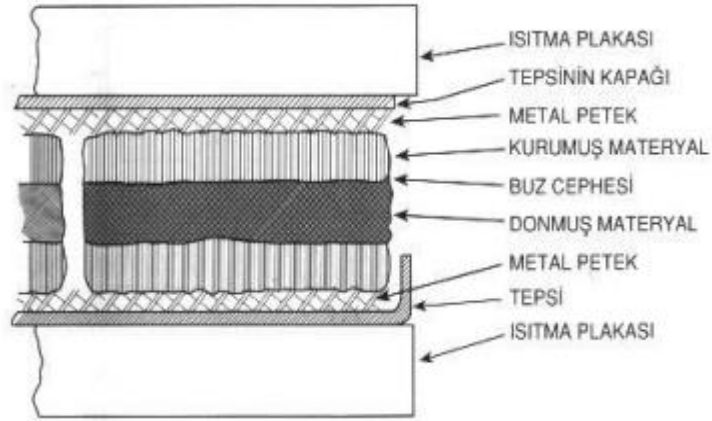
Çizelge 6.1. Buz-buhar sisteminde buharlaşma sıcaklığı ve ısısının basınç derecesine bağlı olarak değişimi [115].

Basınç (kPa)	Buharlaşma Sıcaklığı (°C)	Buharlaşma Isısı (MJ.kg ⁻¹)
101,3 (atm)	100	2,27
2,5	21,1	2,45
1,3	1,1	2,47
0,7	0,1	2,49
0,29	-10	2,51
0,13	-19,8	2,51

6.7. DONDURARAK KURUTMA SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

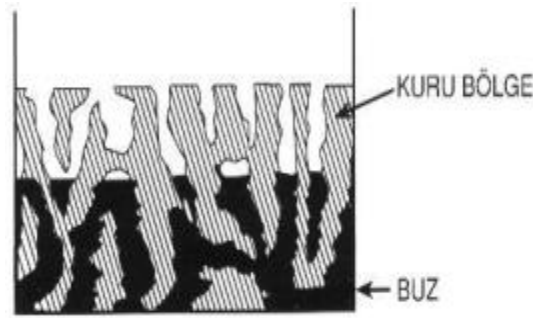
Liyofilizasyon işlemi, “dondurma” ve “kurutma” olmak üzere iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. Dondurma işlemi ilk aşama olup geleneksel dondurma düzeneklerinde gerçekleştirilebilir. Bu işlem hızlı şekilde gerçekleştiğinde çok sayıda küçük buz kristalleri oluşur. Böylece kurumuş üründe çok fazla gözenek meydana gelir. Kuruma sonucunda ürünün rehidrasyon hızı yükselir ve tam olarak gerçekleşmiş olur. Kurutulmuş ürüne yeniden su ilave edilmesiyle ürünün başlangıçtaki haline dönüşebilmesi olayı rehidrasyon olarak tanımlanmaktadır [99].

Ürüne ısı verilmesi dondurarak kurutma işlemindeki en önemli sorundur. Devamlı olarak kurutulan ürünün sıcaklığı yoğunlaştırıcı sıcaklığından daha yüksek tutulmalıdır. Bu koşullarla kurutulan üründen yoğunlaştırıcıya doğru buhar akışı gerçekleşmektedir. Dondurarak kurutmada kurutulan ürün sürekli ısıtılmalıdır. Şekil 6.6’da bir ürünün dondurarak kurutulmasında plakalı ısıtıcılarla nasıl ısıtılması gerektiği gösterilmiştir [114].



Şekil 6.6. Dondurarak kurutmada gıdanın iletim ile ısıtılması [114].

İletimle ve levhalı ısıtma işleminde süblimleşmiş buharın çıkışına engel olmamak için levha ile ürün arasında sürekli ısıyı aktaran fakat buharın hareketini sınırlamayan, metal malzemeden yapılmış bir petek bulunmaktadır. Süblimleşme olayı ilk önce yüzeyde meydana gelmektedir. Süblimleşme ilk olarak yüzeyde meydana gelir [115]. Buz tabakasının daha derinlere doğru gerilediği Şekil 6.7'deki gibi görülmektedir.



Şekil 6.7. Dondurarak kurutma işleminde gözenekli yapının oluşumu [114].

Bazı kurutucularda çivili şekilde ısıtıcı plakalar üretilmiştir. Ürünün içerisine kadar ulaşabilen bu çivilerle daha iyi ısı aktarımı sağlanarak kuruma hızı artırılmaktadır [114].

6.8. DONDURARAK KURUTMADA UYGULAMA ALANLARI

Liyofilizasyon yöntemiyle çorba, meyve, kahve ve bazı deniz ürünleri gibi birçok gıdanın kurutulması diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha uygun olmaktadır. Dondurarak kurutma ilaç sanayisinde de çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Bazı ilaçlar solisyon halindeyken yapısı bozulup kaybolabilir. Bozulmaya yatkın ilaçlar üretildikten sonra dondurarak kurutulup yapısı kararlı hale dönüştürülür ve böylece biyoaktiviteleri korunur [114].

Seramik ve tarihsel dokümanlar gibi cansız maddelerde dondurarak kurutma işlemiyle kurutulabilir. Diğer bir örnekte nükleer atıkların dondurarak kurutulmasıdır. Nükleer atıklara uygun kimyasal maddeler eklenerek cam tuğlaların içerisine aktarılır ve uygun bir saklama imkânı sağlanmış olur [145].

Biyolojik ürünlerin daha uzun süreli depolanabilmesi için dondurarak kurutma yöntemi uygulanmaktadır. Yapay deri, hormon çözeltileri, nakil olabilecek doku, organ veya kan plazması bu yöntemle kurutularak uzun zaman içerisinde depolanabilecek biyolojik ürünlerdir. Maya, bakteri, virüs gibi canlı hücrelerin saklanması da dondurarak kurutma yöntemi kullanılmaktadır [150]. Kimyasal ve biyokimyasal çözümler için örnek oluşturulması, histolojik uygulamalarda doku örneklerinin mikroskopik görüntülemeye hazır hale getirilmesinde de liyofilizasyon yöntemi uygulanmaktadır [151].

Sıcaklığa bağlı hassas biyolojik maddeler, gıda maddeleri ve ilaçların geleneksel kurutma yöntemiyle kurutulması zararlı olduğu için dondurarak kurutma yöntemi en uygundur. Farklı alanlarda, yüksek oranda su barındıran gıdalar ve özellikle biyokimya ile alakalı alanlarda liyofilizasyon yönteminin kullanılması zorunlu hale getirilmiştir [146].

Dondurarak kurutmada en çok kullanılan alanlar; kozmetik, kimya, biyokimya, ecza ve gıda sanayileridir. Bu alanların dışında daha az rastlanılan alanlar ise; süt ürünleri ve mayaları, hayvani yan ürünler, kan plazması, dokumalar, cerrahi nakil dokuları, serum, araştırma projelerinde gereken bitkisel maddeler, suda zarar görmüş belgeler,

el yazmaları ve çeşitli arkeolojik kazı çıktılarının korunması gibi durumlarda liyofilizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem aynı zamanda uçucu maddelerin ve liyofilize edilen ürünlerin ayrıştırılarak elde edilmesi amacıyla kullanılır [99].

Günümüzde endüstride kullanılan dondurarak kurutucular aynı zamanda dondurucu olarak da kullanılmaktadır. Vakum-püskürtmeli dondurarak kurutucuları çözücü buharlaşırken küçük parçacık şeklindeki ürünleri otomatik olarak dondurur ve böylece dondurma devresi kurutma devresiyle birlikte başlar. Bazı gıda maddelerinin dondurarak kurutma işleminde, dondurma işlemi gıda maddelerinin üzerine sıvı azot püskürtülmesiyle yapılır. Tepsili tip kurutucularda ve ilaçların kurutulması için kullanılan kurutucularda dondurma işlemi, ürünler kurutucuya konulduktan sonra ürünlerin bulunduğu kapların altındaki plakalar soğutulur. Dondurarak kurutma teknolojisi daha çok sıradan ayrıştırma ve kurutma yöntemleriyle üretilmeyecek, yüksek piyasa değerine sahip ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Dondurarak kurutma esnasında yüzeyler arasında herhangi bir kuvvet olmadığı için dağılma özelliği olan, homojen ve yüksek reaksiyon gücüne sahip tozlar üretilmektedir. Dondurarak kurutma işlemi sonunda ürün kalitesi aşılır, virüsler ve bakteriler hariç maddenin yapısal kararlılığı ile doğrudan ilgilidir [152].

6.9. DONDURARAK KURUTMANIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

6.9.1. Avantajları

Dondurarak kurutulmuş ürünlerin kalitesi diğer kurutma yöntemlerine göre oldukça fazladır. Bu yüzden ısıya duyarlı ve değerli birçok biyolojik ürünlerin kurutulması liyofilizasyon yöntemiyle ticari olarak yapılmaktadır. Bu yöntemle kurutulmuş gıdaların besin ve aroma değerleri en iyi şekilde muhafaza edilmektedir. Liyofilizasyon işleminin önemli avantajından biri de sıcaklığın çok düşük olması ve bölgesel su kaybının hızlı olmasıdır. Bakteri ve mikroorganizma oluşumunu azaltarak ürünlerin bozulması, sıcaklığın düşürülmesiyle engellenir. Bu kurutma yöntemi proteinlerin bozulmasını ve enzimatik reaksiyonları en aza indirme konusunda diğer yöntemlere göre daha uygundur [115].

Dondurarak kurutma yöntemi rehidrasyon, besin değerlerinin iyi korunması, renk ve doku parametrelerinin taze ürüne daha yakın olduğu ürünlerin elde edilmesini sağlar. Günümüzde dondurarak kurutma işlemi yüksek enerji ihtiyacı olan gıda endüstrisinde sebze, meyve ve et ürünleri gibi değeri yüksek grupların kullanımıyla sınırlıdır. Dondurarak kurutulmuş gıdalarda taze ürünlerdeki aroma ve doku korunmakta ve gözenekli yapı oluşmasına izin verilmektedir [95, 100].

Sistemde bulunan su miktarının azalması, mikrobiyal gelişmeyi ve bakteri oluşumunu önlemektedir. Dondurarak kurutma yöntemi, toz haline getirilen ürünün kalitesi bakımından genellikle en iyi dehidrasyon yöntemi kabul edilmektedir. Diğer kurutma yöntemlerinin performansını ölçebilmek için referans olarak kullanılmaktadır [109, 147].

6.9.2. Dezavantajları

Kurutulmuş gıdaların kalitesini etkileyen en önemli faktörler; işlemin süresi ve sıcaklığıdır. İstenilen son ürün kalitesi, hammadde özellikleri ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en iyi kurutma yöntemleri belirlenebilir [153]. Soğutma hızı optimize edilerek istenilen rehidrasyon ve dehidrasyon oranlarının sağlanması gerekmektedir. Dondurarak kurutma esnasında ürünün sıcaklığı, hazne hacmi ve raf sıcaklığı ayarlanmış ve kontrolleri sağlanmış olmalıdır. Raf sıcaklığını sabitleyen hazne basıncındaki artış, ürün sıcaklığını istenilmeyen düzeye çıkarır ve süblimasyon verimini artırır. Fazla ısınmaya sebep olmadan süblimasyon oranını arttırmak için, raf sıcaklığındaki artış ile beraber ortam basıncını azaltmak gerekir [154].

Dondurarak kurutma işlemi birkaç saatten birkaç güne kadar devam eden zaman aralıklarında gerçekleştiği için enerji maliyetini arttırmaktadır. Bu işlemle toz ürünlerin aromatik ve besinsel özellikleri diğer kurutma yöntemlerine göre daha iyi oranda korunabilse de işlemin yüksek maliyetli olması endüstride kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır [155]. Kurutma raflarındaki yüzey sıcaklığının aynı olmaması ürün sıcaklıklarında farklılığa sebep olarak eşit kalitede ürün elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bazı ürünler dondurarak kurutma işlemi sonunda öğütülerek toz haline getirilir. Yüksek derecedeki higroskopik ürünler ortamdaki nemden

etkilenebileceği için öğütme işleminde serbest bir toz elde etmek için kuru ortam şartlarının sağlanması gerekmektedir. Kurutulmuş örneğin %2-3'ten yüksek nem içeriğinin olması değirmenlerin tıkanmasına neden olabilmektedir [156].

BÖLÜM 7

SICAK HAVALI KURUTMA

7.1. SICAK HAVALI KURUTMA(KONVEKSİYON)

Sıcak hava akımının kontrollü bir şekilde kurutulacak ürüne verilmesiyle gerçekleşen kurutma yöntemidir. Bu tür kurutucular fan, elektrikli ısıtıcı, nem alma ünitesi, sıcaklık kontrol ünitesi ve ürünün yerleştirildiği bölümlerden meydana gelmektedir [68]. Kurutulacak olan ürün kurutucudaki tepsilere yerleştirilmekte ve ürüne sıcak hava akımı verilmektedir. Ürünlerin sadece bir tarafının sıcak havayla temas etmesi kurutma işleminin yavaş olmasına sebep olmakta ve ürünün her tarafı aynı oranda kurumamaktadır [27]. Ürün yüzeyinde kalın kurumuş bir bölge oluşur ve bu tabaka nedeniyle iç taraflara ısı geçişi yavaşlayarak kurutma süresi uzar.

Kurutma, ısı ve kütle transferi ile suyun gıdalardan eş zamanlı olarak uzaklaştırılması prosesidir. Gıdanın kurutulması sırasında ilk olarak; gıda, çevresindeki sıcak hava ile temas eder ve ısınmaya başlar (ısı transferi). Yüzeydeki nem tamamıyla kuruduktan sonra iç taraflarda bulunan nem difüzyon yolu ile (kütle transferi) yüzeye taşınır ve buradan buharlaşması sağlanır. Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferini etkileyen parametreler; ortam sıcaklığı, ortamdaki havanın nemi, gıdanın yüzey alanı ve basınçtır [157]. Kurumanın ana mekanizmaları yüzey difüzyonu veya gözenekli yüzeylerdeki sıvı difüzyonu; nem konsantrasyonu farkından kaynaklanan sıvı veya buhar difüzyonu ve yüzey kuvvetlerine karşı gözenekli ve granüler gıdalarda oluşan kapılar harekettir. Bunlardan başka, buharlaşma ve yoğunlaşmadan kaynaklanan (termal difüzyon) su akışı ile proses esnasında oluşan basınç gradyanı ve büzüşme ile oluşan (hidrodinamik akış) su akışı mekanizmaları sayılabilir [158].

Sıcak hava ile kurutma yöntemi, en çok kullanılan kurutma yöntemlerinden biridir. Sıcak hava ile kurutmanın prensibi, ısının kurutma ortamından gıdaya konveksiyon

yoluyla aktarılması ve ürünün içerdiği suyun eş zamanlı ısı ve kütle transferi mekanizmaları ile üründen suyun uzaklaştırılmasına dayanmaktadır. Sıcak hava, kurutulmakta olan gıdanın ya üzerinden ya da içinden geçirilmektedir. Bu amaçla, fırın tipi, tepsili, kabin tipi, levha tipi, tünel tipi, pnömatik taşımali, döner, püskürtmeli, bantlı, tünel, akışkan yatak ve ısı pompalı kurutucular kullanılmaktadır [159]. Tepsili kurutucunun; homojen kurutma sağlaması, havanın tekrar sirkülasyonunu nedeniyle düşük işletme maliyetinin olması, ısıtma sisteminin kontrolüne olanak vermesi ve tamamıyla yalıtılmış bir sistem olması gibi birçok avantajı vardır. Buna karşın, kapasitesinin küçük ve ortak ölçekli işletmeler için uygun olması, kesikli bir sistem olması ve otomasyonun tam olarak sağlanamaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır [160].

Sıcak hava ile kurutma (HAD, konvektif kurutma) işlemi çok çeşitli meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın şekilde kullanılan basit bir yöntemdir. Kapalı ve ısıtılan bir bölme içinde kurutma gerçekleştirilmektedir. Ürün açık tepsilere yerleştirildikten sonra sıcak hava ürünün üzerinden geçirilmektedir [161]. Sıcak hava ile kurutmada su buharlaştırma tekniği ile uzaklaştırılmaktadır. Güneşte kurutma yöntemi ile kıyaslandığında mikrobiyal kontaminasyonu azaltması, proses parametrelerinin kontrol edilebilir olması, işlem süresini kısaltması ve düşük iş maliyetleri gibi üstünlüklere sahiptir. Sıcak hava ile kurutma işleminin bu avantajları bulunmakla birlikte modern kurutma teknolojileri ile karşılaştırıldığında HAD işleminde yüksek sıcaklık ve uzun süre uygulanmasından dolayı biyoaktif bileşenler önemli derecede bozulabilmekte, antioksidan kapasite düşmekte ve istenmeyen tat oluşabilmektedir [162].

Sıcak hava ile kurutma işlemi genellikle 50°C ile 110°C arasında uygulanmaktadır. Ürün üzerinden geçirilen sıcak havanın hızı 0,1-5,0 m/s arasında değişmektedir. Güneşte kurutma yöntemine kıyasla kurutma süresi kısa iken modern kurutma yöntemlerine göre süre uzun kalabilmektedir. Bunun sebebi Sıcak havalı kurutma işleminde azalan hızda kuruma periyoduna geçildiğinde ürünün kuruma hızının düşmesinden dolayı kuruma süresinin uzamasıdır. Ayrıca su moleküllerinin gıda biyopolimer matriksine bağlı olmasından dolayı kurutma ilerledikçe üründeki düşük nem miktarı buharlaşma entalpisini artırmaktadır. Bu sebeple kurutma işlemi gıdanın

uzun süre ısıtılmasını gerektiren enerji yoğun proses olmaktadır. Bunun sonucunda fitokimyasal ve fiziksel kalite bozulmaları ortaya çıkabilmektedir [163].

Kurutulmuş ürünlerde yüksek sıcaklık uygulaması sonucunda enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyon (maillard reaksiyonu) ürünleri meydana gelebilmektedir. Ancak maillard reaksiyonlarının kurutulmuş ürünlerde çok düşük seviyelerde olduğu, suyun hareketinin az olmasından dolayı su aktivitesinin reaksiyon için gereken kritik seviyenin altında olmasının reaksiyon hızını artırmadığı belirtilmiştir [164].

Sıcak hava ile kurutma yöntemi tek başına kullanılabildiği gibi diğer kurutma yöntemlerinin ön işlem olarak uygulanmasından sonra veya bir arada kullanımları şeklinde de uygulanabilmektedir. Sıcak hava ile kurutma işlemine göre kurutma süresini ve kurutma sıcaklığını düşürebilmek için mikrodalga ve infrared radyasyon gibi diğer enerji kaynakları ile kombine uygulamaları üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Mikrodalga kurutma işlem süresini kısaltması, biyoaktif bileşenler üzerindeki olumsuz etkinin azaltılması açısından tercih edilebilmektedir. Mikrodalga yönteminde dalga gücünün artırılmasının kuruma hızını artırdığı ve kuruma süresini kısalttığı belirtilmiştir [165]. Mikrodalga kurutmada enerji gıdanın iç kısımlarındaki su molekülleri tarafından absorplandığı için hızlı bir buharlaşma meydana gelmekte ve böylece düşük sıcaklıklarda daha hızlı bir kuruma sağlanmaktadır. Mikrodalga ile ısıtmanın ortaya çıkardığı sık karşılaşılan problem gıdanın yüzeyinde nemin birikmesidir. Ayrıca kurutulmak istenen ürünün işlem süresince fazla ısınmasını önlemek için mikrodalga gücü adım adım kontrol edilmelidir [166].

Ozmotik kurutmanın ön işlem olarak uygulandığı sıcak hava ile kurutma yöntemleri son yıllarda tercih edilebilmektedir. Mumsu tabakaya sahip meyvelerin kurutulması öncesinde farklı çözeltilere daldırma işlemi uygulanarak kurutma etkinliği ve son ürün kalitesi artırılabilir. Bu amaçla bütün veya parçalar halindeki meyve veya sebze şeker (sukroz, fruktoz, glukoz), şeker alkoller (sorbitol), biyopolimer (pektin, nişasta, maltodekstrin), tuz, sodyum hidroksit, sülfürdioksit, metil veya etil oleat, etil oleat-potasyum karbonat, sıcak su veya bu çözeltilerin sıcak/soğuk kombinasyonlarına daldırılmaktadır. Soğuk daldırmada kuruma hızı daha düşük iken

son ürünün renk kalitesi daha iyi olmaktadır. Sıcak daldırma ise kuruma hızını daha çok artırmaktadır. Çünkü meyvelerin tabakasında yarıklar ve delikler meydana getirmektedir. Meyve veya sebze belli konsantrasyon düzeylerine getirilip dehidre edildikten sonra son aşama olarak sıcak havalı kurutma işlemiyle istenen nem seviyesine kadar kurutulmaktadır. Bu şekilde kurutma işlem süresi kısılırken ürünün renk, tat, antioksidatif özellikleri ve sanitasyon kalitesi de artmaktadır [167].

7.2. KURUTULMUŞ ÜRÜNLERİN KALİTE ÖZELLİKLERİ

Kurutma yönteminin parametrelerine bağlı olarak kurutulmuş ürünlerde fiziksel ve kimyasal değişimler gözlenmektedir. Yüzey sertleşmesi, kuru madde birikimi, kırılabilirlik, büzüşme, çözünür madde taşınımı, su alma kapasitesinde azalma, yüzeyde çatlak oluşumu ve kristalizasyon gibi fiziksel değişimlerle; esmerleşme, yağ oksidasyonu gibi kimyasal değişimler sonucunda renk, besin değeri, aroma ve lezzet kayıplarının olduğu rapor edilmektedir. Kurutma işlemi sırasında suyun gıdadan uzaklaşmasına bağlı olarak hacmi azalmaktadır. Bu değişimin etkisiyle birlikte üründe içe doğru çökme ve büzüşme gözlenmektedir. Aşırı büzüşme sonucunda yarıklar ve çatlaklar oluşabilir. Bu olumsuz durumlar kurutma sırasında ısı ve kütle transfer hızlarının kontrol edilmesiyle azaltılabilmektedir [168].

Kurutma işleminden sonra ürünün yeniden su alma kapasitesi, taze ürünün yerine kullanımının derecesini gösteren parametredir. Kurutma şartlarına dayalı olarak büzüşme ve parçalanma sonucunda ürünün yapısının bozulması yeniden su almasını olumsuz etkilemektedir. Kurutma işlemi esnasında uygulanan sıcaklık ve hücre özsuyunun konsantre olmasına bağlı olarak proteinlerde yapısal değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimler proteinlerin, suyu yeniden absorbe edip bağlama yeteneğini önemli ölçüde etkilediği için tekrar su alma kapasitesi azalmaktadır [169].

Sıcaklık ve süre, değişimlerin seviyesini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Kurutma başlangıcında yüksek sıcaklık uygulamalarıyla üründe kabuk bağlanması meydana gelmektedir. Yüzey kısmında oluşan kuru tabaka, kuruma hızının yavaşlamasına neden olmaktadır. Alt tabakadaki su kuruyup sertleşmiş olan tabakayı geçemediği için ürünün iç kısmı çoğunlukla nemli kalmaktadır. Bu durumda ürünün

depolanması, paketlenmesi ve tüketimi sırasında sorunlara yol açmaktadır. Kurutma işleminde çoğu meyvede oksidasyon enzimlerinin etkisine bağlı olarak esmerleşme meydana gelir. Kurutmada uygulanan sıcaklığın enzim inaktivasyonuna yeterli olmadığı biliniirse, haşlama gibi bazı ön işlemler ezimatik esmerleşmeye engel olabilir. Yüksek sıcaklık ve Maillard reaksiyonlarının etkisi üründe renk değişimine neden olmaktadır [105]. Mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemi de, besin özellikleri ve ürün kalitesi açısından dondurarak kurutmadan sonra en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir [166].

Kurutulmuş ürünlerin ürün kalitesini belirleyen parametrelerden biri de duyuşal özellikleridir. Ürünün kokusu, görünüşü, yapısal özellikleri ve aroması duyuşal özellikleri oluşturmaktadır. İyi kurutulmuş bir ürün fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin yanı sıra duyuşal açıdan da iyi olması gerekir. Ürünlerin kurutulmasını sağlayan sıcaklık, oksijen varlığı gibi etkenler üründe istenilmeyen renk ve aroma değişiklikleri gibi değişimlere neden olmaktadır. Bununla beraber ürünlerin yumuşaklığı, sertliği, viskozitesi, elastikliği gibi kurutma şartlarına bağlı olarak farklılıklar gösterir [170].

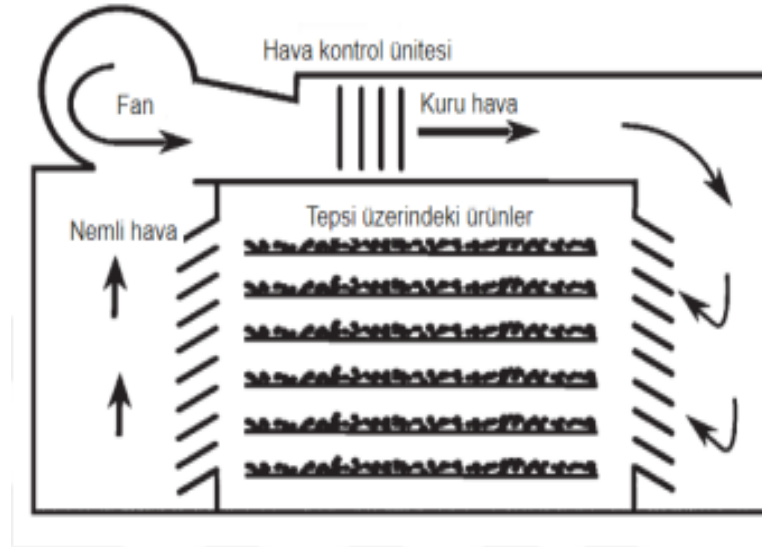
Tüketicilerin kuru bir üründe önemsedikleri faktörler; ürünün şekli, yapısı ve renginden önce aromasıdır. Gıdanın yapısındaki aroma, koku ve tadı oluşturan çeşitli gıda bileşenlerini içermektedir. Bazı bileşenler değişkendir ve nemi uzaklaştırma sürecinde uçabilirler. Ürünün yapısında ve şeklindeki değişimler mikro yapısını da etkiler. Bu değişimler işleme ve tüketim sırasındaki aroma salınımını kontrol etmektedir. Aroma özellikleri ürünün kimyasal analizler ve duyuşal değerlendirmeleriyle tespit edilebilir. Kimyasal analizler aroma bileşenlerinin sayısal detaylarını göstermektedir. %1'in altında oksijen seviyesi kuru gıdanın bayatlamasını, bozulmasını ve ekşimesini önlemede etkilidir. Kurutma esnasında gıdanın besin değerleri azalır ve bu değişim kurutma şartlarına ve gıdanın türüne bağlıdır. Besin değerindeki kayıpları minimize etmek için doğru kurutma yönteminin seçilmesi, uygun ön işlemlerin yapılması ve kurutma şartlarının optimize edilmesi gerekir. İşlem sırasındaki uygulama şartlarının yanlışlığı besin değerlerindeki kayıpları arttırmaktadır [170].

Güneş enerjisi ile kurutma birçok tropikal ülkelerde en çok kullanılan yöntemdir. Ancak bu yöntem hava koşullarına bağlı olması, istenilen nem seviyesinde kurutulmaması ve gereken kurutma süresinin çok uzun olması gibi sorunlara sahiptir. Güneş enerjisiyle kurutma ekonomik açıdan avantajlı olsa da gıda güvenliği ve ürün kalite parametrelerinin kontrol edilmesi açısından zordur. Bundan dolayı homojen kuru ürün elde etmek ve daha kısa sürede ürünlerin kurutulmasını sağlamak için farklı yöntemlerin gelişmesini teşvik etmiştir. Günümüzde, güneşte kurutmaya benzese de daha kontrollü ve sağlıklı kurutma yöntemi olan sıcak havalı kurutma, uzun kurutma süreleri ve yüksek hava sıcaklıkları gerektirmesine rağmen, gıda endüstrisinde en ekonomik ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir [143].

Sıcak hava ile kurutma sistemlerinde ısı, kurutucu ortamdan gıdaya konveksiyon yolu ile aktarılır. Kurutma işlemi, ürünün üzerinde sıcak havanın geçtiği kapalı ortamda gerçekleşir. Üründen nem buharlaşması için ısı sağlamak üzere sıcak olan (belirli hız ve bağıl nemde) hava akımından enerji sağlanır ve aynı zamanda buharlaştırılmış nem, hava akımı ile üründen uzaklaştırılır. Dışardan alınan taze hava, kurutucunun ısıtma ünitesinde ısıtılır ve ısınan hava, kurumanın gerçekleştiği üniteye nemli ürün ile karşılaştırılır. Bu karşılaşma sırasında nemli olan ürünün suyu sıcak havaya buhar olarak taşınacaktır ve nemlenen hava soğuyacaktır. Kullanılan havanın bir kısmı atılır, geriye kalan havaya; atılan miktar kadar taze hava ile karıştırılıp, yeniden ısıtılır ve kullanılır. Bu işlem aralıksız olarak bu şekilde devam eder [135]. Gıda sanayi sektörlerinde birçok kurutucu tipi kullanılmıştır. Meyve ve sebzelerin kurutma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan kurutucular; Kabin (tepsi) kurutucular, tünel kurutucuları ve konveyör (bant) kurutuculardır. Bu kurutucular arasında en yaygın olarak kullanılan, basit ve ekonomik tasarımı sayesinde tepsi kurutucudur. Genel olarak tepsili kurutucular, bir fan, bir hava ısıtıcısı, ürünün konulacağı tepsiler ve bu tepsilerin bulunduğu bir üniteden oluşan yalıtımlı bir kabinden (odadan) meydana gelir. Kabin içinde bulunan tepsiler sabit veya hareketli olabilir. Ürünler, tepsilerin üzerinde kabul edilebilir bir kalınlıkta yayılır. Isıtılmış hava, fan yardımı ile tepsilerin bulunduğu yere aktarılır. Ürünün ısınması, tepsiler boyunca sıcak hava akımı, ısınmış tepsilerden iletimle veya ısınmış yüzeylerden radyasyonla gerçekleşebilir. Buharlaşan nem hava akımı ile uzaklaştırılarak ürün kurutulur. Ayrıca bir tartım sistemi, numune tepsilerine doğrudan monte edilir.

Kurutma sırasında buharlaşan nemden dolayı oluşan ağırlıktaki değişimleri bir veri edinme programı yardımı ile bilgisayara kaydedilir [139]. Şekil 7.1’de tipik bir tepsi kurutucu gösterilmiştir. Küçük kabin kurutucular laboratuvarlarda kullanılırken, daha büyük üniteler ağırlıklı olarak dilimlenmiş veya doğranmış meyve ve sebzeleri kurutmak için endüstriyel kurutucular olarak kullanılır [145].

Yaygın olarak kullanılan diğer bir kurutucu tünel kurutuculardır. Tepsiler bir arabaya bağlanır ve sıcak havanın, ürüne paralel, ters yönde veya çapraz yönde aktığı bir tünel boyunca hareket ederler. İlk tepsili araba istenen nem içeriğine ulaştığında kurutucudan çıkarılır ve trenin sonuna yeni bir araba yüklenir. Bu sistemin avantajı otomatik ve sürekli işlem olmasıdır. Endüstriyel uygulama için çok uygundur. Bu yöntem ile genellikle kayısı, şeftali, armut, elma, incir vb. kurutmalar için kullanılır [146].



Şekil 7.1. Tipik bir tepsi kurutucu [145].

En fazla enerji tüketen kurutma işlemlerinden biridir. Sıcak hava ile kurutma yönteminde; kurutma süresinin uzun ve yüksek sıcaklıklarda olması üründe kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar gerçekleşmesi için yeterli zaman sağlar. Yüksek sıcaklıkta ve uzun süre kurutulan ürünün su kaybetmesinin ardından; renk kaybı, gözeneklilikteki azalma (büzülme) ve çökme olarak adlandırılan hacimsel değişimler, yapışkanlıkta artış gibi ürünün fiziksel yapısı üzerinde olumsuz etkiler meydana gelir. Bu olay, malzemenin katı matrisi artık kendi kütlesini

destekleyemediğinde gerçekleşir [147]. Ayrıca, renk, lezzet (tat ve aroma) ve doku ile ilgili kalite kayıplarına neden olmakla birlikte, rehidrasyon yetenekleri genellikle zayıftır. Sert bir dış kabuk oluşumu ve çatlaklar oluşması sıcak hava ile kurutma yönteminde ana sorunlardır [118, 150]. Çeşitli tarım materyalleri için sıcak hava ile kurutma sırasında %20 ile %60 arasında değişen C vitamini kaybı olduğu bulunmuştur [171].

7.3. KURUTMADA MEYDANA GELEN BAŞLICA DEĞİŞİMLER

Kurutma işlemiyle ürünün kullanıma hazır halde bulunması, kuru madde miktarı ve dayanma süresindeki artış gibi olumlu değişimlerinin yanı sıra kurutma sistemlerinin yanlış seçilmesi ve uygulanması gibi olumsuz etkileri ortaya çıkabilmektedir [3]. Bu olumsuz etkiler, fiziksel, kimyasal ve diğer değişimler olarak gruplandırılmaktadır.

7.3.1. Fiziksel Değişimler

Kuru Madde Birikimi:

Bu değişim doğrudan kuru maddenin hareketine bağlıdır. Suyun gözenekler içerisindeki hareketi; su buharı, doğrudan sıvı hareket ya da serbest su molekülleri şeklinde farklı tiplerde olabilmektedir. Suyun hareketi kurumanın başlangıç aşamasındaki gibi sıvı hareketi şeklindeyse su içindeki çözülmüş maddelerde birlikte taşınır. Bu durumda su ile alt katmanlardaki kuru madde yüzeye kadar taşınır. Suyun uzaklaşmasıyla birlikte yüzey kısmında kuru madde yığılımı görülmüş olur. Suyun yüzeye sıvı hareketi şeklinde ulaştığı zamanda yüzeydeki kuru madde konsantrasyonu artarsa iç kısımda düşen konsantrasyonu dengeleyebilmek için yüzeyden iç kısma doğru kuru madde akımı oluşur. Kurutmada uygulanan şartlara göre sonuçta, merkezde ve yüzeyde fazlaca kuru madde birikimi gerçekleşir [3].

Kabuk Bağlama:

Kurutma işleminin başlangıcında yüksek sıcaklık uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Yüzeyde hızlıca oluşmuş olan kuru tabana büzülme sonucunda

alt tabakalara baskı yapar. Fakat alt tabakalar ıslak olduğu için üst kısımdan yapılan basınca direnç gösterir. Böylece kuruma işlemi sonunda büzüşemeyen üst katman gerilerek sert kabuk haline dönüşmektedir. Oluşan bu sert kabuk kuruma işleminin ilerleyen aşamalarında kuruyarak buruşsa da alt tabakalar göçmez ancak bu tabakalardan ayrılıp sert bir tabaka şeklinde yapısını korur. Kuruma hızı kabuk bağlamasıyla beraber aniden düşer [3].

Kitle Yoğunluğunda Değişmeler:

Gıdalar genellikle elastik özelliklere sahiptir. Elastik nitelikli bir üründen su uzaklaşınca kaybedilen su ile büzüşme miktarı arasında doğrudan bir ilişki bulunur. Her gıdanın kurutma işleminde uygulanan şartlara denk olarak kendine özgü buruşma niteliği vardır. Bundan dolayı kurutulan ürünün hacmi az veya çok olacak şekilde azalarak kitle yoğunluğu değişmiş olur [3].

7.3.2. Kimyasal Değişimler

Kimyasal değişimler, kurutulmuş veya rehidre edilmiş üründeki renk, viskozite, lezzet, besleme değeri ve depolama gibi durumları açıklamaktadır. Her kurutma sonucunda en önemli sorun olarak rengin esmerleşmesi ortaya çıkmaktadır. Rengin esmerleşmesi kurutmadan önce, kurutma sırası ve sonrasında ya da enzimatik olmayan reaksiyonların sonunda oluşmaktadır.

Esmerleşme tepkimeleri, sıcaklık dereceleri ve tepkimeye giren unsurların ortamdaki konsantrasyonları arttıkça hızlanmaktadır. Bu tepkimeler %2 nem oranının altında gerçekleşemez. % 15-20 nem oranları arasında en hızlı gerçekleşen Maillard renk esmerleşme tepkimesidir. Depolama işleminde 20 °C de bir sıcaklık artışının olması için, esmerleşme tepkime hızınının 6- 8 kat artışına bağlı olduğu tespit edilmiştir [138].

Kurutma işlemiyle ürünün mikroflorası da değişmektedir. Güneşte kurutma koşulları doğaya bağlı ve hijyenik kurallara tam uygun olmadığı için oluşan mikroorganizmalar kurutma işlemi boyunca faaliyet gösterir. Mikroorganizma oluşumunu engellemek için hammadde hazırlanmasında ve kurutulmasında hijyenik

koşullara uyulmalıdır. Esmerleşme reaksiyonu çoğunlukla kurutulan her üründe ortaya çıkar. Haşlanmadan kurutulan ürünler oksidasyon enzimi faaliyetiyle birlikte fenolik bileşikler gibi birçok ürünün oksidasyonuna bağlı olarak renk esmerleşmesi gerçekleşir [3].

7.3.2.1. Renk Tayini ve Analizi

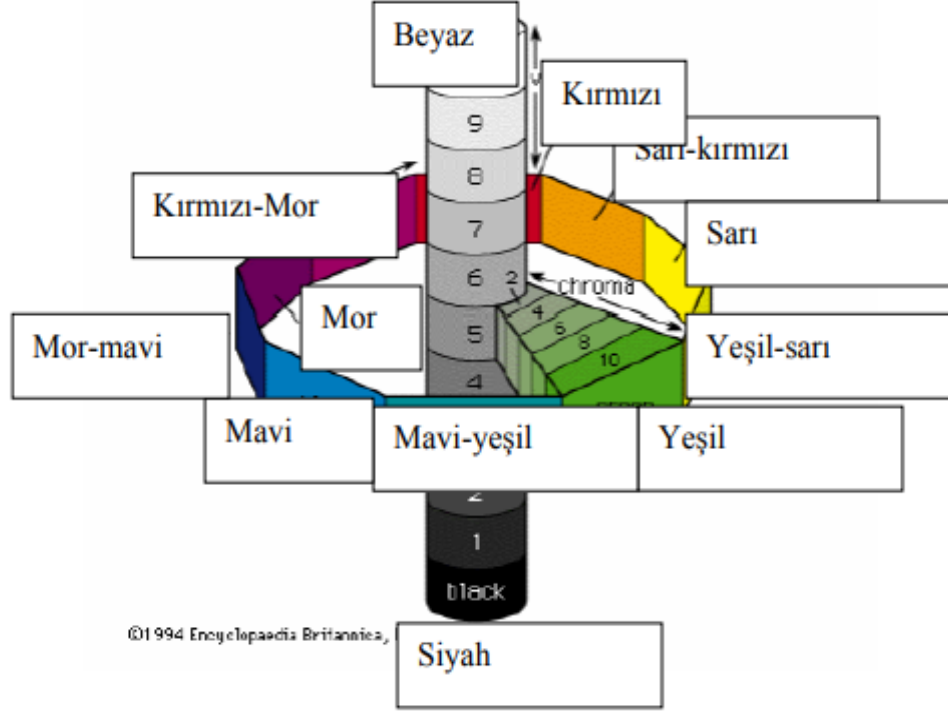
Renk; meyve ve sebzelerin aroma, besin değeri ve tekstür gibi kalitesini açığa çıkaran temel faktörlerdir. Tüketici tercihlerinde ve kabul edilebilir özelliklerde iç ve dış faktörler olmak üzere gruplandırılmaktadır [172].

Meyve ve sebzelerin renk değişimi üretim sürecinde, hasattan depolamaya ve pazarlamadan işleme kadar olan tüm aşamalarda oluşabilmektedir. Rengin kimyasal özelliklerini oluşturan faktörler; klorofiller, antosiyoninler, doğal pigmentler ve karotenoidlerdir. Enzimatik esmerleşme meyve ve sebzelerin renginde etkili olurken, pektik madde ve enzimler özellikle depolama kısmında yumuşaklık ve keskinliğinde etkilidir [171].

Taze sebze ve meyvelerden istenilen renk kalitesinin elde edilmesi için ölçüm ve kontrollerin önemi bulunmaktadır. Renk, meyve ve sebzeler için temel kalite parametresidir. Bu yüzden rengin belirtilmesi için birçok farklı renk sistemleri geliştirilmiştir. Renk bilimi ilk olarak Isaac Newton tarafından 1666 yılında ortaya çıkmıştır. Newton, beyaz ışığın prizma yardımıyla ayrıştırıldığını ve görünür spektrumun nasıl olduğunu tanımlamıştır. Ancak 1931 yılına kadar tanımlanan renk uygulamalı şekilde gerçekleştirilememiştir. Renk biliminde uluslararası standart oluşturan tanımlama sistemi ilk kez Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) oluşturmuştur. Bu sistemde 1960 yılına kadar uygulanamamış fakat dijital bilgisayarlar kullanılmaya başlayınca uygulanmaya başlamıştır. Günümüzdeki renk bilimi ise plastik, boya, aydınlatma, paketlenme, renklendirici, plastik, kozmetik, gıda, seramik gibi birçok sanayi alanında uygulanmaktadır [173].

Munsell Renk Modeli ise 1905 yılında Albert Munsell tarafından ilk geliştirilen renk sistemlerinden biridir. Şekil 7.2'de Munsell renk sistemi sembolize edilmektedir. Bu

sistemde renk, değer (value), kroma ve renk bileşimi (hue) üç özellekle ifade edilmektedir [174].



Şekil 7.2. Munsell renk modeli [174].

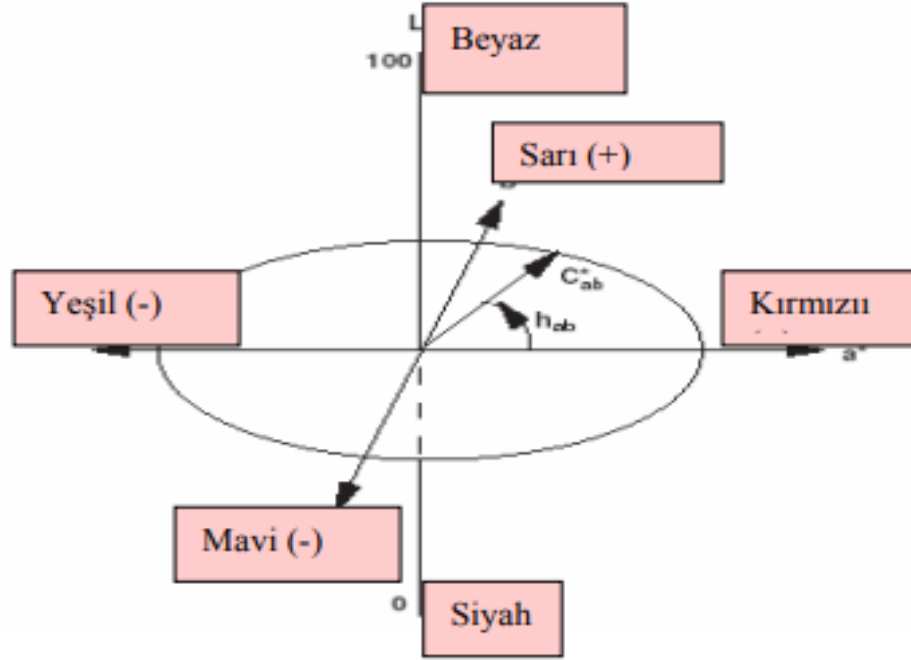
Sistemde merkezdeki dikey boyuta değer (value) denilmektedir. Değer, renklerin sınıflandırılmasını sağlayan 10 eşit parçaya ayrılmıştır. Gri nötral değeriyle beraber beyazdan siyaha doğru değişiklik göstermektedir. 10 (N) beyazı ifade eder, N sayısı azaldıkça grilik değeri artar ve değer siyaha yaklaştırmış olur.

Değerin etrafını çevreleyen daireye ise renk bileşeni (hue) denilmektedir. Munsell renk sisteminde renk bileşeni 5 ara, 5 ana renk olmak üzere toplam 10 eşit parçadan oluşmaktadır. Bu renkler; kırmızı, sarı-kırmızı, sarı, yeşil-sarı, yeşil, mavi-yeşil, mavi, mor-mavi, mor ve kırmızı-mor şeklinde sıralanmaktadır [175].

Son renk karakteristiği ise kroma değeridir. Kroma değeri, merkez ile renk bileşeni arasındaki cetvelin değer ile yaptığı açıdır. Bu açı renklerin doygunluğunu göstermektedir. Diğer renk sistemi ise CIE (L*, a*, b*)'dir. Bu sistemdeki temel özellik standart aydınlatma şeklini, renk ölçen gözlemciyi ve ışık kaynağının spektral

dağılımını içermektedir. Kırmızı (R), yeşil (G), mavi (B) ve bilinmeyen ışık (C) demetlerinin iki filtreye gönderilip eşleştirilmesiyle ölçüm yapılmaktadır. Şekil 7.3'te CIE renk sistemi gösterilmiştir [173].

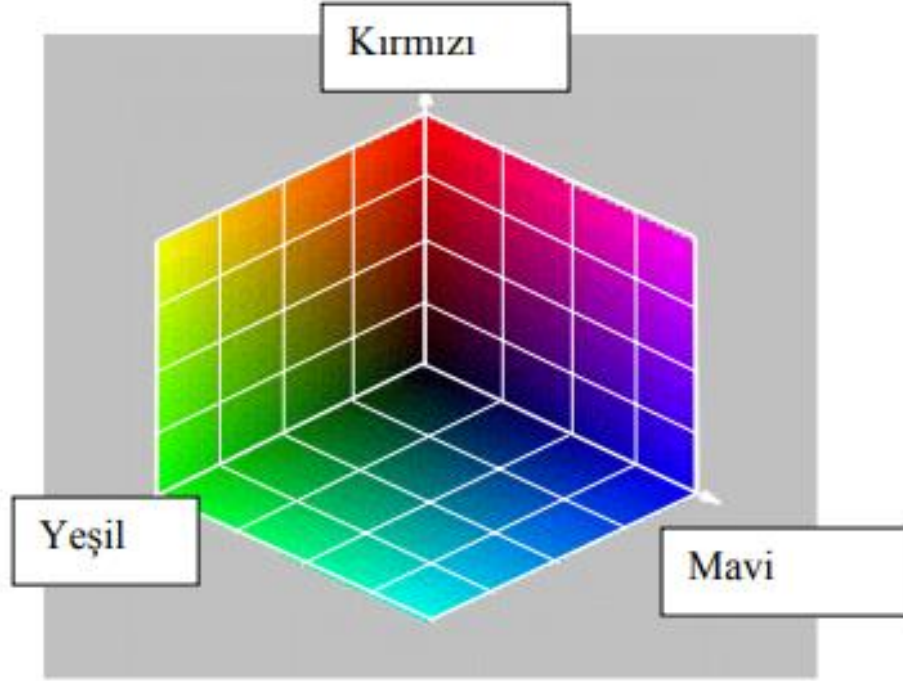
CIE renk sisteminde parlaklık değeri L^* olarak ifade edilir. 0 (siyah) ile 100 (beyaz) aralığında değer alır. Ayrıca a^* değeri kırmızı- yeşil ve b^* değeri de sarı- mavi renkleri belirtmektedir. CIE Modelinde L^* , a^* , b^* değerleri x ve y eksenlerinde gösterilir. Renk bileşeni (hue) değeri x ve y eksenlerini çevreleyen 360° 'lik açı ile somutlaştırılır. Kırmızı, sarı, yeşil ve mavi 0° , 90° , 180° ve 270° açılarda konumlanmıştır [173].



Şekil 7.3. CIE $L^*a^*b^*$ renk modeli [173].

Bir diğer renk sistemi RGB olarak bilinmektedir. Doğal olarak bulunan birincil üç rengin [kırmızı (R), yeşil (G), mavi (B)] karışımından oluşmaktadır. Kübik ve üç boyutlu bir yapıya sahip RGB renk sisteminde ana renklerin kendilerine özgü koordinatları bulunmaktadır. Bu sistemdeki birincil renklerinin ikisi eklenip üçüncüsü çıkarılarak mor- kırmızı, camgöbeği ve sarı ana renklerde elde edilmektedir. RGB sisteminde üç ana renk eşit şekilde eklendiğinde beyaz, bu renklerle birlikte

kullanılmayınca siyah rengi elde edilmektedir. Şekil 7.4'te RGB renk sistemi gösterilmiştir.



Şekil 7.4. RGB renk sistemi [176].

RGB sisteminde toplam 16,7 milyon renk elde edilmiştir ve renk sayısı ile bloğu birbirine bağlı farklılıklar göstermektedir. Enstrümantal ve görsel değerlendirme olmak üzere renk iki farklı biçimde değerlendirilmektedir. Gıdaların yüzey renginin hem nicel hem de nitel olarak değerlendirilmesi önemlidir. Renk değerlendirilmesinde kolorimetreler, spektrofotometreler ve B.G.S gibi nicel ölçümler yapılmaktadır. En yaygın şekilde kullanılan Minolta, Hunter gibi üçlü uyarı renk ölçüm cihazlarıdır. Bu cihazların temel amacı yansıyan ışık miktarlarını ölçmektir. Spektrometreler ise emilen ışığın miktarını ölçmek için kullanılmaktadır [176].

7.4. KURUTMA HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kurutma hızını etkileyen faktörler; kurutulan ürünün nem içeriği, ürün bileşimi, kurutma havasının akış yönü, sıcaklığı ve hızı olup bunlar kütle ve ısı transfer

üzerinde çok etkilidir [3]. Düşük molekülü tuz ve şeker gibi çözülmüş maddeler bakımından zengin gıdalar, daha yetersiz gıda maddelerine göre daha zor kurumaktadır. Bunun sebebi; çözülmüş maddelerin suyun buhar basıncını düşürerek buharlaşmasını güç hale getirmektedir. Ortamda yağ bulunması halinde de kuruma hızı olumsuz etkilenir. Yağ devamlı olarak faz halinde olduğu için yağ damlacıkları suyun etrafını sararak buharlaşasına engel olmaktadır.

Katı parçacıklarda da adsorbsiyonla bağlı su zor uzaklaştırıldığı için, pektin ve nişasta içeren gıdaların kurutulması zor olmaktadır. Hidrat formundaki kimyasal bağlı sular, uzaklaştırılması en zor sudur. Su, meyve ve sebzelerde hem hücreler arasında hem de hücrenin içinde yer almaktadır. Bunlardan hücreler arasındaki suyun uzaklaştırılması daha kolay gerçekleşir. Hücre içindeki suyun uzaklaşması ise, hücrenin ölmesiyle hücre geçirgenliği artar ve kolay uzaklaşır. Ön haşlama işlemi hücre zarının geçirgenliğini ve buna bağlı olarak kuruma hızını arttırır. Kurutulacak ürünün birim yüzey alanı, şekli ve boyutu da kuruma hızını etkileyen faktörlerdendir [3].

Kuruma hızı gıdanın kalınlığı ile ters, yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Kurutma hızını etkileyen en önemli faktör kurutma hava hızı ve sıcaklığıdır. Kurutma sıcaklığı arttıkça, buharlaşma derecesi ve gıdanın içerisindeki suyun buhar basıncıda artar, buna bağlı olarak kuruma hızı orantılı şekilde artmaktadır . Kurutma sıcaklığının çok düşük veya yüksek olması kurutulmuş ürünün besin içeriği, renk ve aromasında kayıplara sebep olur. Bu durum rehidrasyon kapasitesi ve yığın yoğunluğu gibi olumsuzluklara sebep olmaktadır [177].

Genel olarak kuruma hızı, kurutma hava hızının artmasına bağlıdır, fakat bu artma hava hızının belli bir sınırına kadar görülmektedir. Kurutma hava hızı belli bir değer altında olursa gıdanın yüzeyinde bulunan nemin uzaklaştırılması zorlaşabilir. Suyun buharlaşma sıcaklığını, kurutma ortamının basıncı da etkilemektedir. Basınç düşerse, suyun buharlaşma basıncıda düşer. Bu yüzden belirli sıcaklıktaki ortamın basıncı düştükçe birim zamanda buharlaşan su miktarı artar [119].

7.5. SICAK HAVALI KURUTMANIN UYGULAMA ALANLARI

Farklı endüstriyel alanlarda (gıda, otomotiv, tekstil, kimya, vb.) özellikle tarım sektöründe kurutma işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemlerde yoğun enerji tüketilmektedir. Enerji masraflarını azaltmak, kurutma kapasiteni artırmak, istenilen ürün kalitesini sağlamak amacıyla sıcak havalı kurutma, infrared kurutma, vakumlu kurutma, mikrodalga kurutma gibi çok farklı kurutma yöntemler uygulanmaktadır. Tarım ve sanayi sektörlerinde en çok kullanılan sıcak havalı kurutma yöntemidir. Sıcak havalı kurutma yönteminde çevre havası emilerek istenilen sıcaklığa kadar bir ısıtıcı yardımıyla ısıtılmakta ve daha sonra kurutulacak ürün üzerinden geçirilerek üründen ısıtılmış havaya nem geçişi sağlanmaktadır. Kurutma havasının ısıtılmasında doğal gaz, elektrik, LPG gibi birincil ticari enerji kaynakları ve jeotermal enerji, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır.

Elektrik, elektronik ve bilgisayar teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişimin sonucunda sanayideki üretime yönelik birçok işlem insan müdahalesine gerek kalmadan otomatik olarak yapılabilmektedir. Kurutucular için de farklı otomasyon uygulamaları hâlihazırda geliştirilmiştir. Bu otomasyon uygulamalarında amaç, kurutucuların kapasitelerinden en etkin şekilde yararlanmak ve ürün kalitesini en üst düzeyde tutmak olmuştur [190, 191].

7.6. SICAK HAVALI KURUTMANIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Gıdaların kurutulması için ilk zamanlardan beri geleneksel olarak açıkta-güneşte doğal konveksiyonla kurutma yöntemi kullanılırken, zamanla gelişen teknolojiler sayesinde bu yöntemin yerini; daha hijyenik, hızlı, kullanışlı, homojen bir kurutma sağlayabilen sıcak hava kurutma uygulaması almıştır. Geleneksel kurutma, kurulum ve üretim maliyetinin düşük, iş gücü olarak insan kullanıldığı için işçiliğin yoğun ve ürün kalitesinin nispeten daha zayıf olduğu bir yöntemdir. Geleneksel kurutmaya göre sıcak hava kurutmanın kurulum maliyetinin yüksek olduğu bilinmektedir. Ancak sıcak hava kurutma sistemi, ürünü dış etkilerden daha iyi korumaktadır ve bu sayede ürün kalitesi daha yüksek olmaktadır. Gıda sanayisinde meyve ve sebzelerin kurutulmasında daha yaygın olarak kullanılan bu metodun, ürünün yapısına ve

bileşimine bağı olarak esmerleşme, büzüşme gibi problemlerinin yanında, besin, aroma ve renk kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca enerji verimliliğinin düşük oluşu, yüksek enerji tüketimi ile yüksek işletme maliyeti de bu yöntemin temel dezavantajlarındandır [167,189].

BÖLÜM 8

MATERYAL VE METOD

8.1. MATERYAL

8.1.1. Kanlıca Mantarı (*Lactarius Spp.*)

Şekil 8.1’de görüldüğü gibi, çalışma konumuz Russulales takımı içerisindeki mantar gruplarından olan Kanlıca mantarıdır [82].



Şekil 8.1. Kanlıca mantarı genel görünümü.

Genel görünümü, sarı ve turuncu renklerden oluşan halkalı konveks bir yapıdır. Şapka büyüklüğü 5-15 cm boyutundadır. Turuncu renklidirler [178]. “Kanlıca Mantarı” veya “Melki” olarak halk arasında adlandırılan, Ekim ve Kasım aylarında yağışlardan hemen sonra ortaya çıkan bu mantarlar en bilinir türlerdir. Sütlü mantar olarak tanınan *Lactarius*lar ülkemizde zehirli mantarlardan kolayca ayrılır. Türkiye’deki mantarlar arasında sütlü mantar bulunmaması sebebiyle güvenli şekilde

toplanarak yenir. Türkiye’de yerli halk bu kanlıca mantarını toplayarak pazarlarda satış yaparlar, ayrıca bu mantar birçok Avrupa ülkelerine de ihraç edilir.



Şekil 8.2. Kanlıca mantarı kesit hali.

Lactarius cinsi mantarlar sütleri ile ayırt edilebilir. Lactarius’ un herhangi bir yerinden sporoforları kesildiğinde veya kırıldığında, değişik renklerde sulu özsu salgılanarak açığa çıkar ve bu sıvıya süt adı verilir. Bu özsu sporoforun içerisinde farklı dokulardan oluşan lactiferous adlı tüp sisteminden salgılanır. Sütlü yapıdakiler yenir, bazıları da işlemlerden geçirildikten sonra yenilebilir. Beyaz, turuncu, sarı veya mor gibi birbirinden farklı süt renklerine sahiptir. Meşe ormanlarında ve çam diplerinde sıkça rastlanmaktadır [179].

8.1.2. Ölçüm Cihazları

8.1.2.1. Dondurarak Kurutma Cihazı

Çalışmada kullanılan dondurarak kurutma cihazı, Şekil 8.3’te görüldüğü üzere VirTis Ultra 25L markalı bir cihazdır.



Şekil 8.3. Dondurarak kurutma cihazı.

Cihaz ile ilgili özellikler aşağıdaki çizelge 8.1'deki gibi yer almaktadır [114].

Çizelge 8.1. Dondurarak kurutma cihazının özellikleri.

Cihazın Özellikleri	
Raf sıcaklık kontrol aralığı	-40 ile 60 (°C)
En düşük raf sıcaklığı	-57 / -60 (50Hz/60Hz, °C)
Max. kondenser kapasitesi	25 (L)
En düşük kondenser sıcaklığı	-67 / -70 (50Hz/60Hz, °C)
24 Saatte max. buz dondurma kapasitesi	12(L)
Kurutma odası basıncı	50 (Pa)
Soğutucu akışkan	R245fa / R508B
Kompresör gücü	1.12 (KW)
Kompresör sayısı	1 adet
Kondenser yüzey alanı	3264 (cm ²)
Vakum zamanı	(dakikada) ≤ 30
En düşük vakum sistemi	12. (mT) ≤ 15

8.1.2.2. Hassas Terazî

Dondurarak kurutma işlemi sırasında devamlı ağırlık değişimlerini ve numunelerin ağırlıklarını ölçmek için Şekil 8.4'te gösterilen METTLER TOLEDO markalı MS303S hassas terazisi kullanılmıştır [114]. Bu hassas teraziyle alakalı teknik özellikler aşağıdaki çizelgede sunulmuştur. Sıcak havalı kurutma deneylerinde ise KNMASTER marka hassas cep terazisi kullanılmıştır.



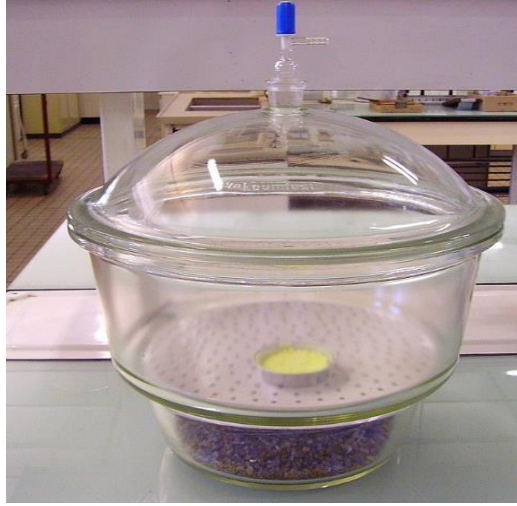
Şekil 8.4. Mettler Toledo ve Knmaster marka hassas teraziler.

Çizelge 8.2. Hassas terazinin genel özellikleri.

Cihazın özellikleri	
Maximum kapasite	320 g
Tekrarlanabilirlik	(sd) 0.001 g
Doğrusallık oranı	0.002 g
Sabitleşme zamanı	1.5 s
Terazi boyutu	127x127 mm
Muhafaza alanının yüksekliği	165 mm
IP Koruma	IP54
Tartı alanının boyutları	UxGxY 347x204x280 mm
Okunaklık	0.001 g

8.1.2.3. Desikatör

Ağız sıkıca kapatılabilen, taban kısmında kalsiyum klorür gibi nem çekmeye yarayan bir malzeme serili halde olduğu için nem düzeyi düşük özel kaplara "desikatör" denir. Normal ve vakum desikatör olarak iki ana türü bulunmaktadır. Desikatörlerin dip kısmında nem çekici olarak bilinen desikantların belli aralıklarda değiştirilmesi gerekmektedir. Bunlar nemsiz olan kuru ortamın devamlılığını sağlar. Böylece desikatöre yeni bir miktar desikant ilavesi yapılabilir ya da kullanılan desikant ısıtılarak nemden arındırılır. Şekil 8.5'te desikatör gösterilmiştir.



Şekil 8.5. Desikatör.

8.1.2.4. Etüv

İçerisinde belirli bir değerde sıcaklık elde ederek kurutma, sterilizasyon veya dezenfekte etme gibi amaçlar için kullanılan cihazlara etüv denilmektedir. Bu etüv iki katlı saclardan yapılmış, hava geçirmeyen kapaklara sahiptir. Nem alma, kurutma gibi fiziksel uygulamaların yanı sıra bazı kimyasal reaksiyonlar içinde gerekli olan yüksek sıcaklık derecelerine ulaşabilmek için etüvlerden yararlanılmaktadır. Deneysel çalışmada etüv kullanılmasının amacı, ürünün belirli aralıklarında nemini alarak tam kuru ağırlığını tespit edebilmektir. Tez çalışmasında kullanılan etüv Şekil 8.6'da gösterilen BINDER marka KB53 serisidir [114].



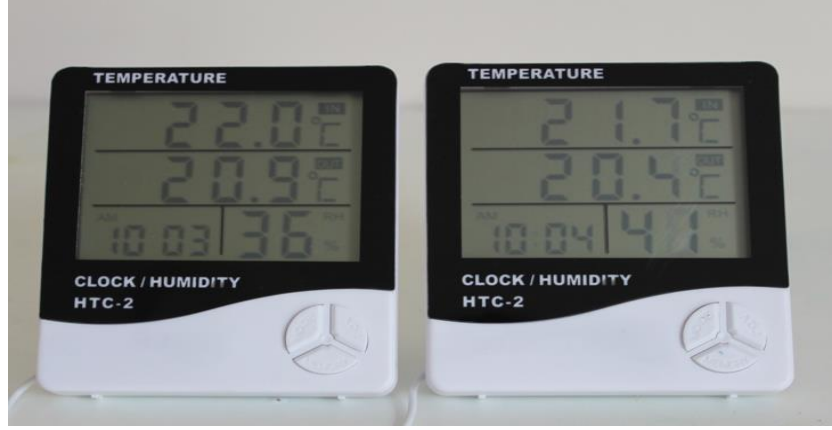
Şekil 8.6. Binder marka etüv.

8.1.2.5. Isı ve Nem Ölçer

Oda ısı ve nem oranı ile beraber aynı zamanda dijital saat göstergesinde bulunan HTC-2 cihazı ile her ortamda ısı ve ne kontrolünü sağlamaktadır. Hem nem hem de sıcaklık göstergesi bulunmaktadır. İç ortamın sıcaklık ve nemini, kablosunu koyduğumuz yerin yani dış ortamın sıcaklık değerini gösterir. Saat, tarih gösterme ve saatlik alarm özelliği bulunmaktadır. Minimum ve maksimum hafızası ile en düşük ve en yüksek nem ve sıcaklık nem değerleri görülebilmektedir. Cihazın arkasında yer alan buton ile °C / °F değerlerinden herhangi biri seçilebilir.

Çizelge 8.3. Isı ve nem ölçer cihazının özellikleri.

Ürünün Özellikleri	
Ölçüm Sıcaklığı aralığı iç-dış	-10 ° C ~ + 70 ° C (-14 ° F ~ + 158 ° F)
Çözünürlük Sıcaklığı	0.1 ° C, Nem % 1
Bağıl Nem Doğruluk	± 1 ° C (1.8 ° F)
RH Güç kaynağı	* AAA (1.5V)
Renk	Siyah ve Beyaz
Ürün boyutları	92x84x22mm
Nem aralığı Ölçümü	% 10 ~% 90 rh
Ağırlık	100g
LCD görüntüleme boyutu	66 * 50mm



Şekil 8.7. Isı ve nem ölçüm cihazı.

8.1.2.6. Sıcak Havalı Kurutma Cihazı

Yiyecekleri 30 °C ile 70 °C arasında ayarlanabilen sıcak hava akışıyla kurutan doğal bir muhafaza yöntemidir. Vitaminler, mineraller ve besin değerleri korunur ve yiyeceklerin lezzeti artar. Kurutucu her zaman kullanma kılavuzunda belirtilen talimatlar doğrultusunda kullanılmalıdır. Aygıtla beraber 5 kurutma rafı verilmektedir. Kurutma süresi ayrıca odanın nem seviyesine, dilimlerin kalınlığına ve gereken kurutma seviyesine göre değişir.

Açma/Kapama düğmesi: Aygıtı açmak ve kapatmak içindir. Aygıtı açtığınızda son kurutma parametre ayarı (kurutma süresi, kurutma sıcaklığı, sessiz mod açık/kapalı) ekranda görünür. Kontrol panelindeki düğmelere 1 dakika boyunca basılmadığında aygıt otomatik olarak kapanır. Bu düğmeye istediğiniz zaman, hatta kurutma esnasında bile basarak aygıtı kapatabilirsiniz.

Başlat/Durdur düğmesi: Bu düğme, seçilen kurutma süresi ve sıcaklıkta kurutma işlemini başlatır. Ekranda sıcak hava sembolü görünür. Kurutma süresi tamamlandığında (zamanlayıcı 00.00'ı gösterir) ısıtma ve sıcak hava fanı otomatik olarak kapanır ve aygıt 5 kez sinyal sesi çıkarır (sessiz moda da alınabilir. “Sessiz mod”a bakınız). Kurutma işlemi esnasında, örneğin kurutma raflarını ayarlamak için Başlat/Durdur düğmesine basarsanız kurutma işlemi durdurulur, ısıtma ve sıcak hava fanı kapanır, kalan işlem süresi ekranda görünür ve sıcak hava sembolü yanıp söner. Kurutma işlemine tekrar devam etmek için başlat/durdur düğmesine basılır.

Set düğmesi: Dilediğiniz kurutma süresini ve sıcaklığı ayarlamak için bu düğmeyi kullanın. Set düğmesine bir kez bastığınızda zaman göstergesi görünür ve dönen düğme kullanılarak ayar yapılabilir. Set düğmesine bir kez daha bastığınızda sıcaklık göstergesi görünür. Yine dönen düğmeyi kullanarak dilediğiniz sıcaklığı (5 °C Aralıklarla 30 °C ile 70 °C arası) ayarlayabilirsiniz. Ayarınızı kaydetmek için Set düğmesine bir kez daha basın. Kurutma işlemi süresince ayarları istediğiniz zaman değiştirebilirsiniz.

Sessiz Mod: Set düğmesine 3 saniyeden daha uzun süre basılı tutarak sessiz modu etkinleştirin. Böylece kurutma sürecinin sonunda aygıtınızdan sinyal sesi gelmeyecektir. Kurutma işlemi gece yaparsanız bu idealdir. Set düğmesine bir kez daha 3 saniyeden uzun süre basılı tutulduğunda ve sessiz sembolü ekrandan gittiğinde ayarınız kaydedilir.

Şebeke Gerilim Değeri: 220 – 240 V ~ 50-60 Hz

Elektrik Tüketimi: 220 W

Sıcak Hava: 30°C ile 70°C arası

Zamanlayıcı fonksiyonu ve otomatik kapanma: 0-24 saat

Gövdenin Boyutları: 290x190x216 mm

Koruma sınıfı: II



Şekil 8.8. Sıcak havalı kurutma cihazının genel görünümü.

8.1.2.7. Su Aktivitesi Ölçüm Cihazı

Deneyde kullanılan Aqualab marka cihaz, başlangıç seviyesinde ölçümler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çiğlenme noktası sensörüyle su aktivitesini direkt ölçmesi, deneyin ölçme hızında avantaj sağlar. Aqualab, beş dakika içerisinde ya da daha kısa sürede hassasiyetle en yüksek doğruluk değerlerini vermektedir.



Şekil 8.9. Su aktivitesi ölçüm cihazı.

Su aktivitesi ölçme cihazının teknik özellikleri:

1. a_w ölçüm aralığı değeri 0.05 – 1.00 a_w ,
2. Ölçüm hassasiyeti: 0,001.
3. Ekran 20x2 Alfa nümerik geriden aydınlatmalı LCD
4. Sıcaklık Hassasiyeti ± 0.2 °C

8.1.2.8. Renk Tayini Cihazı

Örneklerin renk değerleri (L^* , a^* , b^*) Konica Minolta CR-5 renk ölçüm cihazında ölçülmüştür. Ayrıca renk değerleri (L , a , b) referans kabul edilerek örneklerin ΔE , ΔC ve Hue açısı değerleri Eşitlik 8.11, 8.12 ve 8.14'e göre hesaplanmıştır.

Hafif ve fonksiyonel tasarımı masa tipi renk ölçüm cihazıdır. LCD Ekran ile tek başına çalışma fonksiyonu olduğu gibi yazılım ile de çalıştırılabilmektedir. CR-5 laboratuvarlar için en yeni renk ölçüm cihazlarından biridir. Bu cihaz üzerinden kullanım kılavuzuyla takip yapılır ve USB yardımı ile bulunan veriler kaydedilebilir. Cihazın geniş ve renkli ekranından tüm sonuçlar gözlemlenebilir.



Şekil 8.10. Model CM-5 Sektrofotometre.

“ L^* ” değeri parlaklığı ifade etmektedir. Parlaklık 0- 100 aralığında değerler alabilmektedir. “ L^* ”, 0 değerinde gözlemlenince siyah renkte olduğu ve bu değer hiçbir yansımanın olmadığı durumunu ifade eder. 100 değerinde olunca tam yansıma olur ve beyaz renkte alır. “ a^* ” değeri ise, kırmızılık oranlarını ifade etmektedir. “ a^* ” değerleri pozitif bulunursa kırmızılığı gösterir, “ a^* ” değerleri negatif bulununca ise

yeşil rengin olduğunu göstermektedir. “b*” değeri ise sarılık değerini ifade etmektedir. Pozitif “b*” değerleri bulunursa sarılık, negatif “b*” değerleri bulunursa mavilik temsil edilir. ($a^* = 0$ ve $b^* = 0$), sıfır kesim noktalarında ise renksizlik yani grilik gösterilmektedir.

8.1.2.9. Elektrik Sayacı

Günü 8 farklı zaman aralığına bölüp, kullanılan enerjiyi 4 çeşit tarifede ölçme, haftasonu ve haftaiçi ayrı ayrı programlayabilme özelliğine sahiptir. Elektrik kesintilerinde LCD ekranın optik portundan haberleşme ve butonla okuma özelliği görülmektedir. Sayaç çalışma sıcaklığı aralığı; $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir.



Şekil 8.11. Makel monofate tip: M600.2251, 1 fazlı 2 telli elektronik -elektrik sayacı.

8.2. METOD

8.2.1. Kanlıca Mantarının Temin Edilmesi

Deneysel çalışmamızda endemik bitki olan, Karabük ilinde Ekim aylarında yağmurların yağmasından sonra hızla oluşan kanlıca mantarları, sap kısımlarından

dikkatli şekilde toplanmıştır. Eflani, Yenice ilçelerinden toplanan bu mantarlar kurutulmadan önce iyice temizlenip deneye hazır hale getirilmiştir. Ekim ayının sonlarında ve Kasım ayının ilk haftalarında meydana gelmektedir.

Meyve ve sebze gibi gıdaları kurutmak, eski zamanlardan bu yana kullanılan muhafaza yöntemlerinden biridir. Gıda maddelerine uygulanan kurutma işleminin en belirgin amacı, uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmasını önlemektir. Kurutulmuş gıdalarda yeterli su bulamayan mikroorganizmalar bozulmaya ve çürümeye neden olacak şekilde çoğalamazlar. Gıdaların kimyasal bileşiminde istenmeyen değişikliklere neden olan enzimlerin aktiviteleri kurutmayla kısıtlanmış olur. Ürünün nemini yeterli seviyeye düşürmek mikrobik gelişime engel olur ve istenmeyen reaksiyonları sınırlamayı sağlar. Ayrıca ürünün nem miktarını düşürerek besin değeri ve aroma gibi özelliklerinin kaliteli şekilde muhafazası da sağlanmaktadır. Kurutmanın başka bir amacı da ürünün hacmini azaltarak, kurutulan gıda maddesinin önemli bileşenlerinin depolanıp taşınmasında verimliliği artırmaktır.



Şekil 8.12. Kanlıca Mantarının toplanmış görüntüsü.

8.2.2. Kanlıca Mantarının Dondurarak Kurutulması

Yapmış olduğumuz deneysel çalışmada kullandığımız kanlıca mantarı 100 gr şeklinde 5 mm kalınlığında dilimlenerek fırın tepsilerine yerleştirilmiştir. Bir gün

öncesinde dilimlenip hazırlanan 7 adet kanlıca mantar numuneleri derin dondurucuya konularak bekletilmiştir. Sonraki gün deneysel çalışmalara başlanmıştır.

Çalışmamızda Labogene markasının Scanvac Coolsafe tipi dondurarak kurutma cihazı kullanılmıştır. Vakum gücü 4×10^{-4} mbar olan vakum pompasına bağlı bu cihaz ile ihtiyaç duyduğumuz 0.01 kPa basınca kadar düşürülerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. -55 °C'ye kadar düşen evaporatör sıcaklığı ile ürünleri dondurma işlemi, cihaz içerisinde gerçekleştirilmektedir. Deney için kullandığımız cihaz Şekil 8.13'teki gibi görülmektedir.



Şekil 8.13. Kanlıca mantar numunelerinin kurutulduğu cihazın görünümü.

Şekil 8.13'te gösterilen dondurarak kurutma cihazının temel amacı, düşük basınç altında dondurulmuş ürünün sıcaklığını artırarak süblimasyon işlemini gerçekleştirmeye dayanmaktadır. Kurutma sisteminde yer alan vakum pompası, kurutma bölümündeki basıncın düşürülmesine yardımcı olurken kompresörde, donma bölümünün iç sıcaklığını dengelemektedir. Dondurarak kurutma işleminde ürün işlem başlangıcında kurutma odasına yerleştirildikten sonra ardından kontrol panelinden basınç ve sıcaklık değerleri ayarlanarak deney gerçekleştirilmiştir.

8.2.3. Kanlıca Mantarının Tam Kuru Ağırlığının Belirlenmesi

Kanlıca mantarının dondurarak kurutulması sonucunda kurutma nem oranı ve kurutma sabitlerinin hesaplanmalarında ihtiyaç duyulan tam kuru ağırlığın belirlenmesi için öncelikle kanlıca mantarları iyice temizlenip deneye hazır hale getirilir.

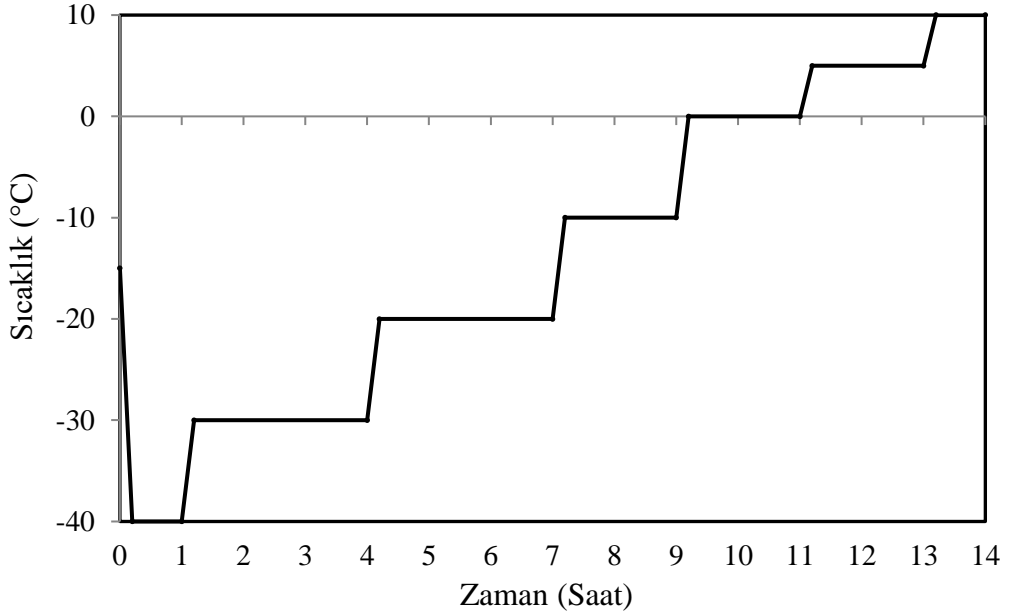


Şekil 8.14. Kurutma öncesinde dilimlenmiş kanlıca mantarı.

Hazırlanmış kanlıca mantarları silindirik şeklindeki bir petri kabına konular ve sonra 105°C'ye ayarlanmış etüve yerleştirilir. Burada 1 saat bekletildikten sonra desikatöre konular 15 dakika bekletilir. Desikatör içerisinde yer alan silikajeller aracılığıyla nem alma işleminden sonra hassas terazide tartılarak ağırlık kayıpları ölçülmektedir. Ölçümleri Mettler Toledo markalı dijital hassas terazi ile 0.001 gr ölçme hassasiyetinde gerçekleşir.

Deneye başlamadan önce cihazın üzerinde yer alan kontrol paneline, öngörülen sıcaklık, basınç ve çalışma süreleri değerleri girilerek uygun ayarlamalar yapılmıştır. Kanlıca mantar numunelerini dondurarak kurutma için 14 saatlik zaman ayarlanmıştır. Şekil 8.15'te görüldüğü gibi zaman-sıcaklık çizelgesi hazırlanmıştır.

Düzenlenen sisteme göre derin dondurucuda bekletilen kanlıca mantarları çıkartılıp cihaza yerleştirilmiştir. İlk olarak 60 dk. -40 °C’de, 0.01 kPa basınçta ayarlanmıştır. Daha sonra basıncı sabit tutarak sırayla 180 dk. -30 °C’de, 180 dk. -20 °C’de, 120 dk. - 10 °C’de, 120 dk. 0 °C’de, 120 dk. 5 °C’de ve en sonunda 60 dk. 10 °C’de işlem uygulanıp toplamda 14 saatlik dondurarak kurutma gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.15. Sıcaklık ve zaman grafiği.

8.2.4. Kanlıca Mantarının Kurutma Esnasında Ağırlık Kaybının Belirlenmesi

Yaptığımız çalışmada 7 farklı sıcaklıkta numune hazırlanmamızın nedeni ağırlık kayıplarını her iki saatte bir ölçebilmektir. Deney başlangıcındaki ilk numuneyi cihaza yerleştirip cihazı çalıştırarak, 2 saatte bir 0.01 gr hassasiyetindeki terazide tartıp böylece ağırlık kaybı hesaplanmış olur. İkinci numune hazırlanıp cihaza yerleştirilerek aynı kurutma ayarları aynı şekilde düzenlenip cihaz çalıştırılır. Bu aşamada 4 saat sonra numune cihazdan çıkartılarak ağırlık kaybı ölçülmüş olur. Böylece dondurarak kurutma işlemi geriye kalan diğer kanlıca mantar numuneleri içinde aynı şekilde uygulanır. 6., 8., 10., 12. ve 14. saat sonunda cihazdan çıkartılan numuneler etüve yerleştirilip 60 dk bekletilir Etüvden alınan numune bombeli camdan yapılmış içinde fazla miktarda silikajen bulunan desikatöre yerleştirilerek 15 dk bekletilir. Bu işlemlerin sonucunda kanlıca mantarı hassas terazide tartılarak çıkan

sonuç kayıt edilir. İşlemin amacı dondurarak kurutmanın sonucunda numunede herhangi bir nem kaldıysa o nemi numuneden uzaklaştırıp nem oranını daha iyi şekilde hesaplayabilmektir.



Şekil 8.16. Dondurarak kurutulmuş Kanlıca mantar dilimleri.

8.2.5. Kurutma Sabitlerinin ve Nem Oranlarının Belirlenmesi

Teorik modellerin uygulanması birçok koşul ve maddeler için yapılmaktadır. Ancak içerdikleri parametrelerin sadece uygulanan ürünlerle ilgili olması ve karmaşık yapıda olması bakımından bu tür yarı teorik modellerin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Deneysel yollarla belirlenen kuruma hızının bulunmasında, karmaşık matematiksel eşitlikler yoktur. Elde ettiğimiz eşitlikler kurutma işlemi yapılan ürün ve deney şartları için geçerli olmaktadır. Yarı teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı olan eşitlik “logaritmik kurutma” denklemi olarak bilinmektedir [114].

Zamana göre (t), nem oranındaki (MR) değişim Eşitlik 8.1’de gösterilen denklem ile belirlenebilir.

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} \quad (8.1)$$

Bu eşitlikte (M_d) ise denge nemini, (M_t) t anındaki nemi ve (M_0) başlangıç nemini göstermektedir. Eşitliğin sol tarafında kalan kısım, kurutma işleminin farklı sıcaklık (t) anlarındaki nem oranı (MR) değerlerini vermektedir [114].

Kurutulan üründeki nem içeriğinin birim zamandaki değişimine “kuruma hızı” denilmektedir. Kuruma hızı, Eşitlik 8.2 ile nem içeriğine karşılık kurutma zamanı eğrilerinin türevleri alınarak bulunmuştur [180].

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (8.2)$$

Buradaki; M_t , t zamanındaki ve M_{t+dt} , t+dt aralığındaki nem içeriğini ifade etmektedir [(kg su)/(kg kuru madde⁻¹)]. DR ise kurutma hızı demektir [(kg su) / (kg kuru madde s)⁻¹].

8.2.6. Efektif Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi

Teorik Model çok geniş ve büyük araştırma potansiyeline sahip olup gıdaların kurutulması istenilen tabak ince olmasından; atomların dinamik veya statik halini tanımlayan Fick'in ikinci kanunu uygulanarak çözümü bulunmaktadır [114].

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{eff} \nabla M) \quad (8.3)$$

Eşitlik 8.4'de difüzyon katsayısı sabit tutulup Kartezyen koordinatlar için uygun sınır koşulları ile basit hale dönüştürülerek hesaplama yapılır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (8.4)$$

Burada MR nem oranı, D_{eff} efektif difüzyon katsayısını (m/s), L dilim yarı kalınlığı (m), t kurutma süresi (sn) olarak gösterilmektedir. Etki difüzyon katsayıları D_{eff} , deneysel kurutma değeri $\ln(MR)$ cinsinden çizilerek hesaplanır.

Basitleştirilmiş çözüm Crank (1975) tarafından ihmal edilebilir büzülme, tekdüze kalınlık ve tekdüze ilk nem dağılımı varsayılarak önerilmiştir;

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-\frac{(2i+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (8.5)$$

Kurutma süresine karşı $\ln(MR)$ grafiğinin eğimi eşitlik 8.6'da gösterilen K' yi vermektedir [182].

$$K' = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (8.6)$$

Yüksek sıcaklıklardaki su molekülleri çok daha hızlı hareket ederler. Bu durumda efektif difüzyonun arttığı gözlemlenir. Ayrıca, D_{eff} değeri de ürün kalınlığının karesi ile doğru orantılıdır. Kalınlığın artmasıyla efektif difüzyon katsayısında artış görülmektedir. Bu denklemde K' değeri, doğrunun eğimini ifade etmektedir [114,115].

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (8.7)$$

8.2.7. Kanlıca Mantarının Sıcak Havalı Kurutulması

Sıcak havalı kurutma yöntemi ile gıda devamlı bir sıcak hava akışına maruz kalarak içerisindeki serbest su uzaklaştırılıp gıdanın raf ömrü 1 yıl süreye kadar uzatılmış olur. Ancak yüksek sıcaklık uygulamaları gıda kompozisyonlarında, yoğunluk,

besinsel değerinde, duyuşal kalitesinde, porlu yapılar gibi mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişime sebep olmaktadır.

Çalışmamızda farklı sıcaklıklarda kurutulan kanlıca mantarının nem miktarı değişiminin belirlenmesi, su aktivitesi, renk değişimi, kuruma sürelerinin tespiti yapılmıştır. Kurutma sistemi öncelikle kurutulacak ürünün ve kurutma sisteminin özelliklerine bağlı olarak tercih edilmiştir. Bu sistem için gerekli ekipmanların kapasite hesabında, ürünlerin nem miktarlarının belirlenmesinde ve daha sonrasında sistemin analizinde aşığıda maddeler halinde sunulan eşitlikler kullanılmıştır.

Kurutma deneylerinde kanlıca mantarları sırasıyla kuru ve yaşı baza göre nem miktarları aşığıdaki formüllerle hesaplanır [100, 114].

$$MC_{KA} = \frac{YA-KA}{KA} \quad (8.8)$$

$$MC_{YA} = \frac{YA-KA}{YA} \quad (8.9)$$

Taze ürünlerdeki yüksek nemden dolayı eşitlik sadeleştirilerek aşığıdaki gibi yazılabilir [2,18];

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (8.10)$$

8.2.7.1. Renk Analizi

Kanlıca mantarının kurutma işleminde renk değişimleri üzerindeki etkisini incelemek için, kurutma süresi boyunca başlangıçta belirlenen zaman dilimlerinde numunelerin renk değerleri, renk ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Renk ölçümlerine başlamadan önce Konica Minolta C5 renk ölçüm cihazı siyah ve beyaz standart kalibrasyon plakaları ile kalibre edilmiştir. Renk ölçümleri, 3 farklı noktadan yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

Burada “L” değeri ürünün parlaklığını, “+a” değeri kırmızılığını ve “+b” değeri ise sarılığını ifade etmektedir [183].

Kroma değeri ise, numunenin rengindeki doygunluğu ifade etmektedir. Mat renklerde kroma değerleri azalırken, daha canlı renklerde ise kroma değeri artmaktadır. Kroma değeri ve Hue açısı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$h^{\circ} = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (8.11)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (8.12)$$

Bir başka ifade olarak kahverengileşme indeksi bulunmaktadır. Kahverengileşme indeksi ise, kahverengi rengin saflığını göstermektedir. Kahverengileşme oranı, reaksiyonların ürünün renginde oluşturduğu değişimleri tanımlamak için önemli bir parametredir [184]. Kahverengileşme indeksi ve toplam renk değişimi aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır;

$$BI = \frac{[100 (X - 0.31)]}{0.17} \quad (8.13)$$

$$\Delta E = \sqrt{((L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2)} \quad (8.14)$$

Eşitlik 8.15’teki x değeri aşağıdaki eşitlikten bulunmuştur;

$$X = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (8.15)$$

Kurutucu sistemlerinin etkinliğinin belirlenebilmesi için özgül nem alma hızı, kurutma verimi, etkili difüzyon efektif katsayısı ve özgül enerji tüketimi kriterlerinden yararlanır.

8.2.7.2. Özgül Nem Alma Oranı (SMER)

Kurutucuların enerji verimliliği genellikle özgül nem alma hızıyla belirlenir. Bu değer, birim kWh enerji kullanımı için kurutulacak üründen uzaklaştırılan su kütlesini gösterir (kg/kWh). Bir kurutucunun işletme maliyetleri enerji verimliliği için önemli bir parametredir [185, 186]. Eşitlik 8.16 kullanılarak özgül nem alma hızı hesaplanmıştır.

$$\text{SMER} = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi}}{\text{Toplam Enerji girişi}} \quad (\text{kg/kWh}) \quad (8.16)$$

8.2.7.3. Nem Alma Hızı (MER)

Kurutma işlemi esnasında birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütlesine nem alma hızı (MER) denir ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\text{MER} = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi}}{\text{Kuruma süresi}} \quad (\text{kg/h}) \quad (8.17)$$

8.2.7.4. Özgül Enerji Tüketimi (SEC)

Özgül enerji tüketimi kurutulma sırasında, numunelerin birim miktarındaki suyu uzaklaştırmak için gerekli olan enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Birimi, kJ/kg olarak ifade edilmiştir ve aşağıdaki eşitlikte hesaplanmıştır. Burada;

$$\text{SEC} = \frac{\sum E}{m_w} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (8.18)$$

8.2.7.5. Kurutma Verimi (DE)

Kurutma verimi ise, üründen nemin uzaklaştırılması için harcanan enerjinin, harcanan toplam enerji miktarına oranı olarak ifade edilir.

$$DE = \frac{m_w x h_{fg}}{Q_t} \quad (8.19)$$

8.2.7.6. Isı ve Kütle Transfer Katsayıları (h ve h_m)

h ve h_m, kurutma oranını etkilediği ve kurutma fiziğini hesaba kattığı için tahmin edilmesi gereken malzemelerin yüzey özellikleridir. MR açısından malzemedeki h_m tahmin edilebilir. [182].

$$h_m = \frac{V}{A_s t} \ln(MR) \quad (8.20)$$

Burada; V malzemesinin hacmi, bir A_s malzemenin yüzey alanıdır. Ürünün hacmini yüzey alanına bölerek bulunabilir. Daha sonra h_m, Denklem (8.21) kullanılarak tahmin edilebilir.

$$h_m = \frac{\pi r^2 l}{(2\pi r h + 2\pi r^2) t} \ln(MR) \quad (8.21)$$

Burada, l ürünün uzunluğu ve r ürünün yarıçapıdır. h ve h_m ilişkisi kullanılarak yazılabilir

$$h = h_m \left(\frac{\lambda_a}{D_{WA} Le^{1/3}} \right) \quad (8.22)$$

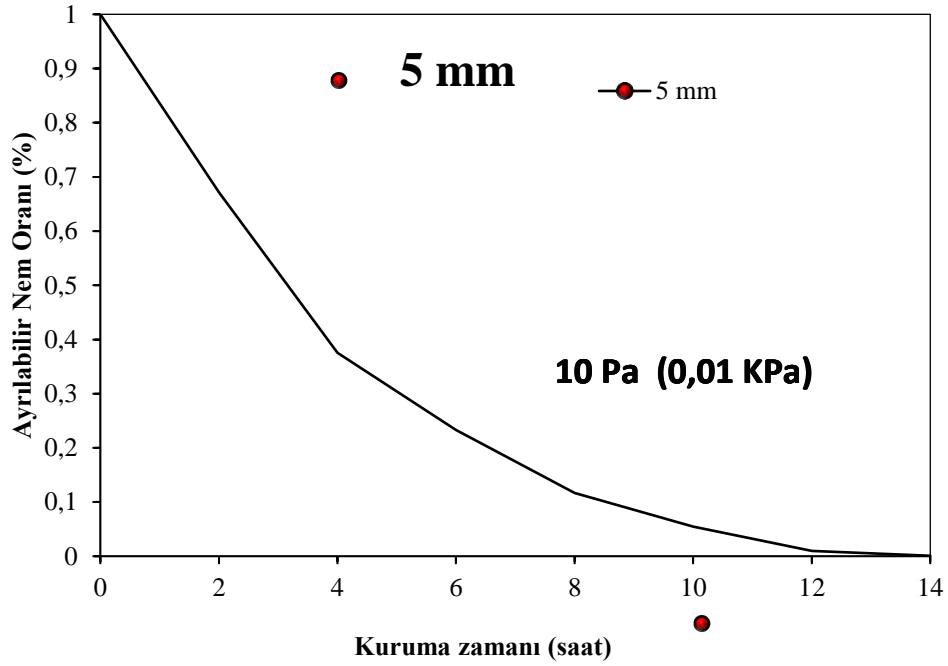
Burada λ_a havanın ısı iletkenliği, D_{WA} havadaki suyun nem yayılımıdır. Le, Lewis sayısıdır ve kullanılarak değerlendirilir, Le=αa/DWA burada, α_a, kurutucu havanın termal yayılımıdır [187,188].

BÖLÜM 9

DENEYSEL ÇALIŞMA

9.1. DONDURARAK KURUTMA DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI

Kanlıca mantar numunesinin 14 saatlik süreyle dondurarak kurutulması sonucunda elde edilen deneysel nem oranı Şekil 9.1'deki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 9.1. Kanlıca mantar numunesinin zamana göre ayrılabilir nem oranı.

Numunelerin nem miktarları hesaplanıp, zamana bağlı ağırlık kayıpları da elde edildikten sonra matematiksel modellere göre grafiği oluşturulmuştur. Bu sayede uygulanan 8 farklı kurutma kinetik modellerinden en uygun olanının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu modelleri belirlemek için MATLAB programı kullanılmıştır. Tablo 1'de MATLAB programında kullanılan tahmini nem oranlarını (MR) gösteren 8 farklı kurutma kinetik modeli formülleriyle birlikte verilmiştir.

Çizelge 9.1. Kurutma kinetik modelleri.

Model No	Model Adı	Model
1	Newton	MR=exp(-kt)
2	Page	MR= exp(-kt ⁿ)
3	Geliştirilmiş Page 1	MR= exp [-(kt) ⁿ]
4	Henderson ve Pabis	MR= a.exp(-kt)
5	Logaritmik	MR= a.exp(-kt) +c
6	İki terimli-eksponansiyel	MR= aexp(-kt)+(1-a)exp(-kat)
7	Wang ve Singh	MR= 1+at+bt ²
8	Difüzyon Yaklaşım	MR= aexp(-kt)+(1-a)exp(-kbt)

Deneysel çalışma sonucunda bulunan ve modeller ile tahmin edilen nem oranı değerleri arasındaki denkliği istatistiksel olarak açıklamak için tahminin standart hatası (RMSE), khikare (X^2) değerleri ile modelin modelleme yeterliliği (R^2) verileri, Eşitlik 9.1, Eşitlik 9.2 ve Eşitlik 9.3'te gösterilen denklemler yardımıyla bulunabilir [114].

$$RMSE = \left[\frac{-1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini} - MR_{deneysel})^2 \right]^{1/2} \quad (9.1)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{deneysel} - MR_{tahmini})^2}{N-z} \quad (9.2)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (MR_{deneysel,ort} - MR_{tahmini,ort})^2}{\sum (MR_{tahmini,ort})^2} \right] \quad (9.3)$$

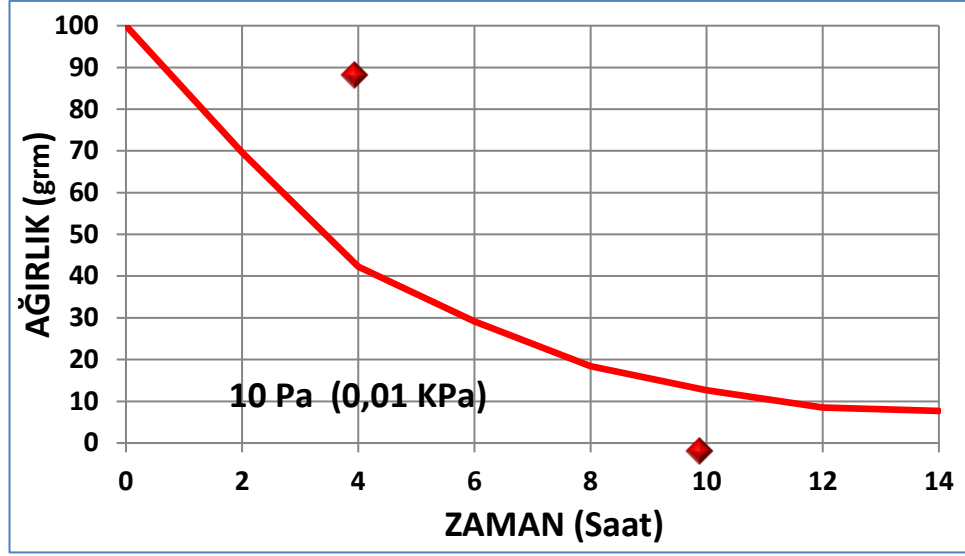
Eşitlik 2'de gösterilen tahmini standart hata (RMSE) formülü, elde ettiğimiz tahmini değerler ile model deneysel değerler arasındaki sapma miktarını göstermektedir. Eşitlik 9.2'de ise khikare (X^2) değerinin azalmasıyla aralarındaki uyumun arttığı belirtilmektedir. Bunların yanı sıra deneysel verileri açıklayan modelin Eşitlik 9.3'te modelleme yeterliliği (R^2) değerinin bire yakın olması bu modelin kullanılabilirliğinin bir belirtisidir. İstatistiksel olarak yaptığımız değerlendirme sonuçlarına göre en uygun modelde yer alan katsayılar çoklu regresyon yöntemi ile tayin edilir.

Yapmış olduğumuz çalışma sonucunda elde edilen verilerle toplam 8 kurutma kinetik modeli üzerinde uygulama yapılmıştır. Uygulanan farklı modellerden en uygun olan kurutma modeli belirlenmiştir. Matematiksel modellere ait sabit sayılar (a, k, n ve b) değerleri verilmiştir. Belirleme kriterleri için X^2 , R^2 ve RMSE değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 9.2. Kurutma kinetik modelleri ile hesaplanan sonuçlar.

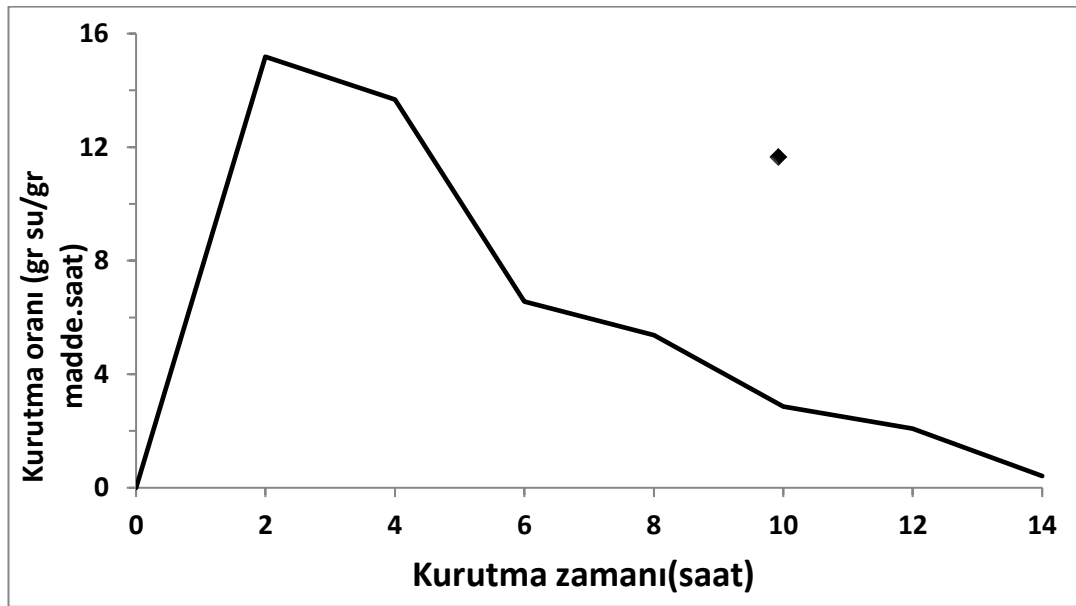
Model No	Model parameters	R^2	X^2	RMSE
1	k = 0,2471	0,9914	$1,115 \times 10^{-3}$	0,0334
2	k = 0,1726 n = 1,222	0,9988	$1,851 \times 10^{-4}$	0,01358
3	k = 0,2371 n = 1,233	0,9987	$1,865 \times 10^{-4}$	0,01366
4	a = 1,027 k = 0,2528	0,9923	$1,163 \times 10^{-3}$	0,0341
5	a = 1,083 c = -0,07075 k = 0,212	0,9978	$3,982 \times 10^{-4}$	0,01996
6	a = 1,774 k = 0,3378	0,9986	$2,137 \times 10^{-4}$	0,01462
7	a = -0,171 b = 0,007273	0,9929	$1,076 \times 10^{-3}$	0,02381
8	a = 3,895 b = 0,8494 k = 0,1515	0,9982	$3,321 \times 10^{-4}$	0,01823

Çizelge 9.2’de 8 farklı modelin verdiği R^2 , X^2 ve RMSE değerleri gösterilmektedir. Bu modellerden 1’e en yakın olan R^2 değeri 0,9988 ve 0’a en yakın $1,851 \times 10^{-4}$ X^2 değeri ile Page modeli uygun kurutma kinetik modeli olarak görülmektedir. Page modelinin uygunluğunu destekleyen diğer bir faktör ise tahmini standart hata (RMSE) değerinin 0,01358 olarak 0’a yakın bir değer çıkmasıdır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda 100 gr olarak hazırlanan 5 mm kalınlığında kanlıca mantar numunesinin dondurarak kurutulması neticesinde ağırlık kaybını en iyi gösteren modelin page modeli olduğu belirlenmiştir. Ağırlık kaybı, grafikte görüldüğü gibi başlangıç durumunda ilk 4 saat hızlı bir düşme göstermektedir. Sonrasında daha yavaş yavaş azalmaya devam etmektedir. Nem miktarı, üründe bulunan mevcut su miktarının kuru maddeye oranı olarak gösterilmektedir.



Şekil 9.2. Ürünün zamana göre ağırlık kaybı.

Kanlıca mantar dilimlerinin dondurarak kurutulması esnasında zamana bağlı olarak ağırlığının değişimi Şekil 9.2’de gösterilmektedir.

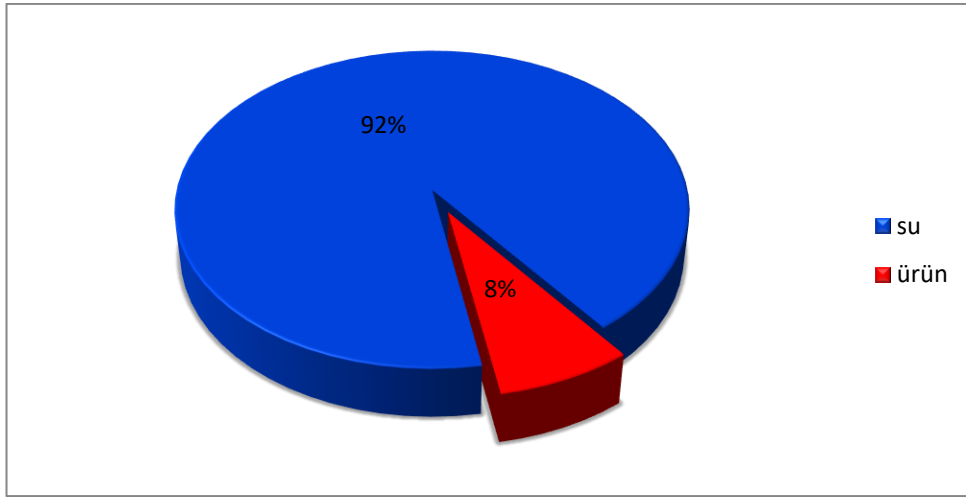


Şekil 9.3. Kanlıca mantar dilimlerinin dondurarak kurutulmasında kurutma hızının değişimi.

Şekil 9.3’te gösterdiği gibi ilk 2 saatlik süreden sonra, dondurarak kurutma cihazının plaka sıcaklığındaki sıcaklık arttırmanın bir neticesi olarak kurutma hızı kurutma işleminin sonuna kadar kademeli olarak düşmektedir. Nemin içeriği azaldığında

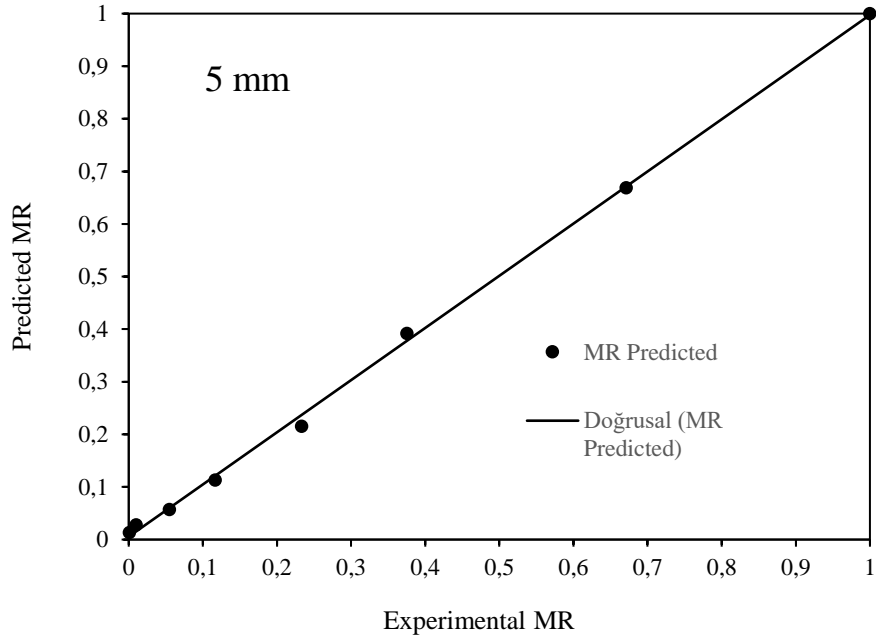
kurutma hızını azaldığını belli biçimde gösterir. Kurutma işleminin ilk iki saatinde ürünün yüzey kısmında yüksek nem miktarında ihtiva ettiği için kurutma hızı oldukça yüksektir. Böylece eğim davranışı sergilemektedir. Bir sonraki aşamayı seyrettiğimizde kanlıca mantar numunelerinin yüzey kısmındaki nemin içeriği (MC) hızla kurur.

Etüv ve desikatörle yapılan nem miktarı tayini sonunda 100 gr olan numuneden 92,4 gr nem içeriği, 7,6 gr ise numunenin kuru oranı belirlenmiştir. Sonrasında yapılacak hesaplama işlemlerinde denge nemi olarak istenilen değer, numunenin 7,6 gr olan kuru kısmıdır. Şekil 9.4'te dondurarak kurutma işlemi sonunda her iki saatte bir alınan kanlıca mantarlarının ağırlık kayıp eğrisi gösterilmektedir.

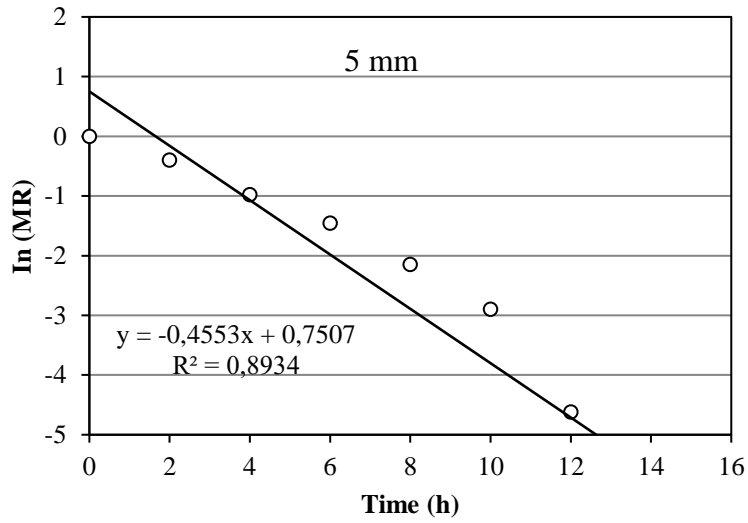


Şekil 9.4. Nem içeriği ve kuru madde yüzdesi.

Süblimasyon işlemi sonucunda yüzey kısmında bulunan su buharı, dondurarak kurutulan ürünün kılcal damarların aktarımıyla gerçekleşir. Böylece su buharı tarafından dondurarak kurutma cihazının kondansatörü tarafından çıkarılmış olan ürünün yüzeyine ulaşır. Dondurarak kurutma esnasında ürünün içindeki suyun süblimasyonla uzaklaştırılmasıyla, üründeki hücre yapısı bozulmaz, rengini ve taze görüntüsü korunur.



Şekil 9.5. Page modelinin deneysel ve tahmin edilen nem oranı verileri doğrultusunda zamana göre eğrisi.



Şekil 9.6. Kanlıca mantar numunesi için ln(MR) ve dondurarak kurutma süresi.

Kanlıca mantar numunelerinin efektif difüzyon değerini hesaplayabilmek için Eşitlik 8.7 kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılmakta olan 5 mm kalınlığındaki numunenin efektif difüzyon değeri; $Deff = 3.2035 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ olarak bulunmuştur. Kanlıca mantarı için efektif difüzyon katsayıları literatürle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

9.2. SICAK HAVALI KURUTMA DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI

Kurutma işlemlerinde ürünün kalitesi, bağıl nem ve kurutma sıcaklığı gibi değişkenlerin uygun şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Değişkenlerin uygun olmaması halinde ürünler kalitesiz kuruyabilirler. Bağıl nemin yüksek olması ve kurutma süresinin uzaması enerji tüketiminin fazla olmasına sebep olmaktadır. Belirtilen bu değişkenlerin kanlıca mantarı kurutma işlemi için uygun, daha az enerji harcadığı ve maliyeti dışında herhangi bir masrafı bulunmayan kurutma düzeneği kullanılmıştır.

Sıcak havalı kurutucuların içerisindeki ısıtılmış hava sirkülasyonu genel olarak fan sistemleriyle sağlanıp ürünün arasından, üzerinden sıcak havanın geçişi sağlanmaktadır. Gıdadan nemin buharlaştırılması için sıcak hava akımından enerji sağlanır ve bu akımla nem uzaklaştırılır. Uygulanabilir ve ekonomik olmasından dolayı gıdaların kurutulmasında çokça tercih edilmektedir.

9.2.1. Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi ve Ürünlerin Kurutulması

Üründeki nem içeriğinin bulunması için kurutma işlemine başlamadan önce kuru madde tayini yapılmalıdır. Deneye başlamadan önce kanlıca mantarının tam kuru ağırlığını belirlemek için yaş kanlıca mantarlarıyla ön hazırlık çalışmaları yapılmıştır. Deneyde kullanılmak üzere temin edilen kanlıca mantarlarının sapları atılarak 5 m kalınlığında dilimlenmiştir. Ön çalışma; etüv fırınında kanlıca mantarının ağırlık değişimine göre nem kontrolünün belirlenmesi ve sabit sıcaklıkta (103 + 2°C) ayarlanan bu fırında belirli aralıklarla kanlıca mantarlarının tartılıp ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesiyle yapılmıştır. Ön çalışmada bulunan ölçüm sonuçlarına bağlı olarak kanlıca mantarının ağırlık değişimi %1 'den daha az olana kadar devam etmektedir. Ağırlık ölçümlerine kanlıca mantarının nem miktarı sabit değere ulaşana kadar alınmaya devam edilip; son ölçümlerin arasındaki ağırlığın % 1'den az olması durumunda kanlıca mantarları kuru kabul edilmiştir. Başlangıç nem miktarları belirlenen dilimlenmiş kanlıca mantarları kurutucu ızgaralarına yerleştirilip kurutma işlemine hazır duruma getirilmiştir. Ağırlık değişimleri 15

dakikada bir ölçülmüştür. Beş farklı sıcaklık dereceleri için alınan ağırlık ölçümleri dijital ortamda kaydedilmiştir. Böylece ürünlerin kuru ağırlığı belirlenmiştir.



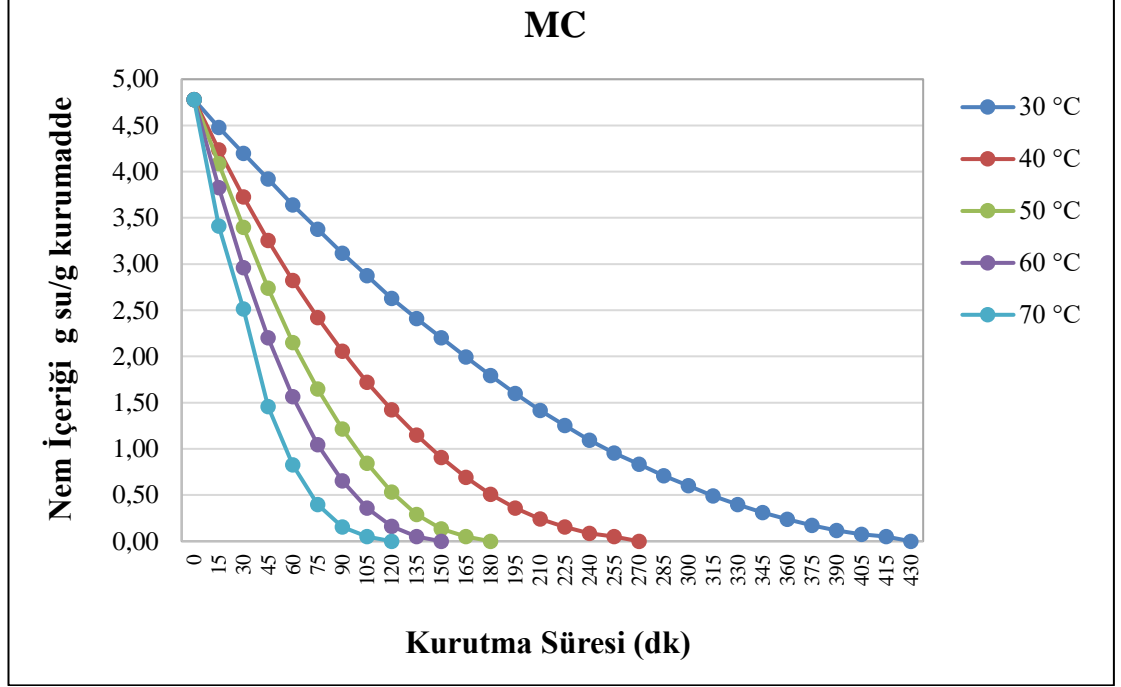
Şekil 9.7. Kurutma işlemi için dilimlenmiş kanlıca mantar numuneleri.

Yapılan sıcak havalı kurutma işlemlerinde her bir deney 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklar için yapılmıştır. Ürünler son denge nem miktarına ulaştığında kurutma işlemi tamamlanmıştır. Kurutma deneylerinde kanlıca mantarlarının; son nem miktarları, su aktiviteleri ve renk analizleri gibi hususlar göz önünde bulundurularak işlemler yapılmıştır.

Kanlıca mantarının oluşması ve toplanması iklim şartları bakımından kısıtlı zaman dilimlerinde yetiştiği için bu çalışmada kurutma düzeneği analiz edilip farklı sıcaklıklarda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kurutma deneyine başlamadan önce Kanlıca mantarlarının nem içeriği Eşitlik 1 kullanılarak kuru baza göre 4.78 g su/g kuru madde miktarından 0.05 g su/g kuru madde miktarına kadar düşürülmüştür. Deneyler 30 °C (7 saat 10 dk.), 40 °C (4 saat 15 dk.), 50 °C (2 saat 50 dk.), 60 °C (2 saat 15 dk.), 70 °C (1 saat 40 dk.) sabit sıcaklıklarda ve farklı saat aralıklarında saat aralıklarında gerçekleştirilmiştir.

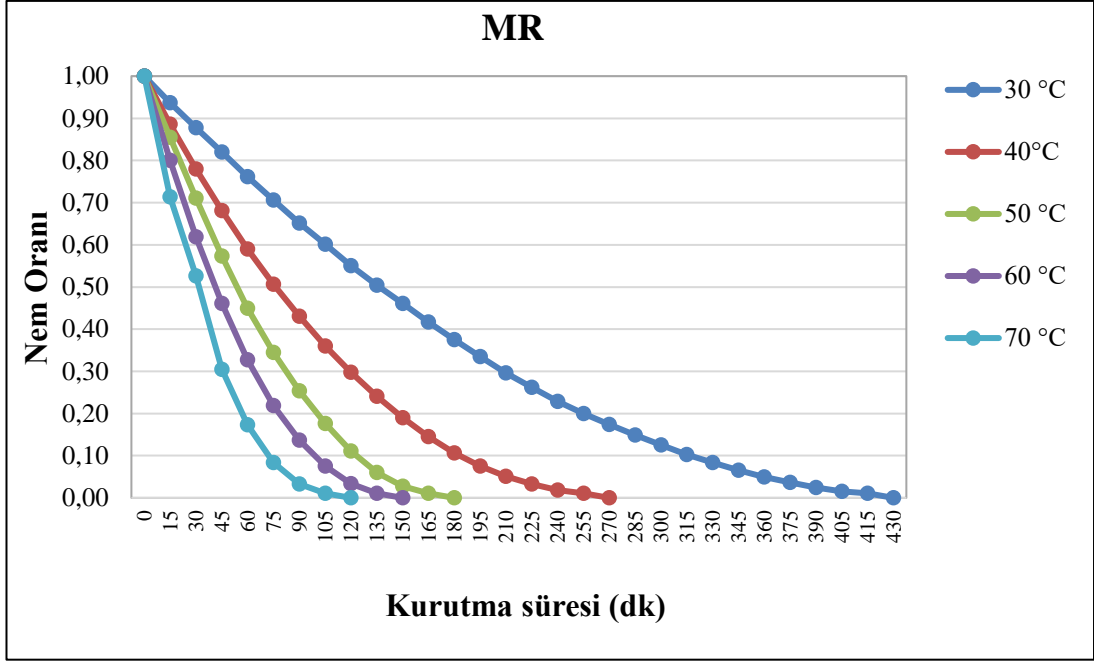
Deneylemler sonlandırıldıktan sonra bulunan veriler ile nem içeriğinin zamana göre değişimi hesaplanmıştır.



şekil 9.8. Zamana göre nem içeriğinin değişimi.

Her sıcaklık değerlerinde kurutulanan mantar örneklerine ait kaydedilen verilerden yararlanarak nem içeriğinin kurutma süresi ile değişim eğrileri çizilmiştir.

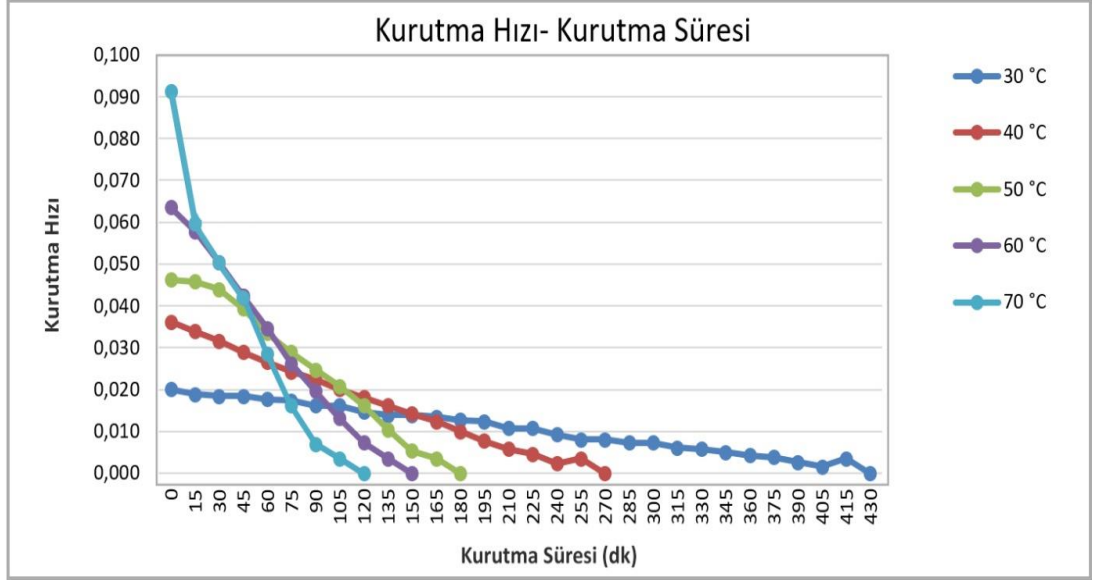
Kurutma süreleri boyunca kanlıca mantarları için nem oranlarının değişimleri şekil 9.9'da gösterilmiştir.



Şekil 9.9. Nem oranı-kurutma süresi.

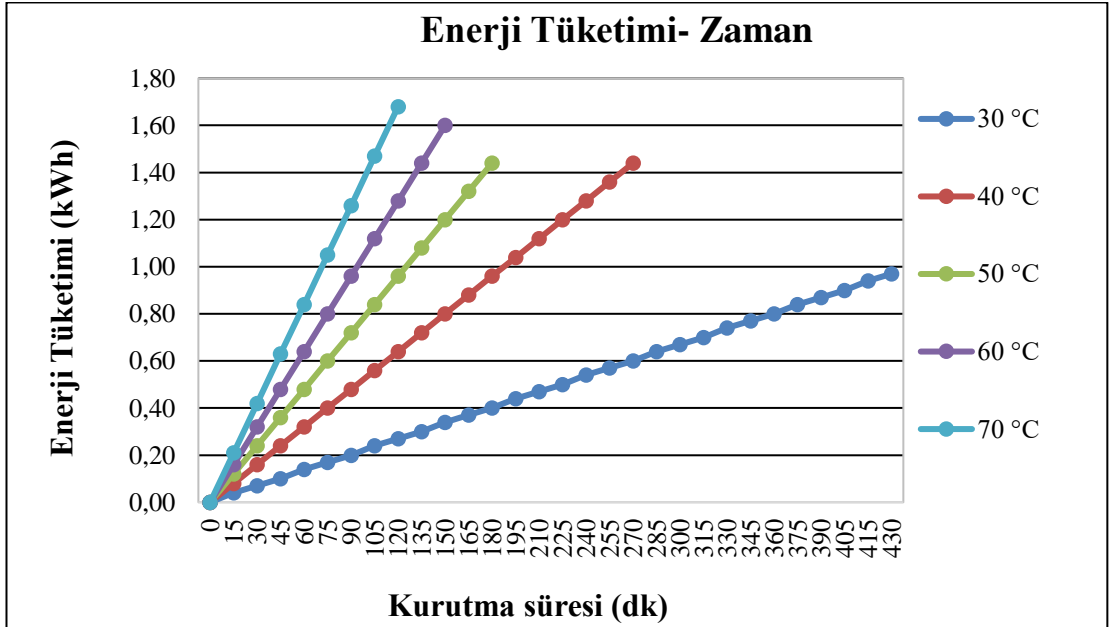
Yapılan deneylerde nem oranı 1 den 0,01 e kadar düşmüştür. Görüldüğü gibi kurutma süresine bağlı olarak nem oranı dengeli şekilde azalan bir eğim göstermiştir. Kuruma hızına bazı iç ve dış faktörler etki etmektedir. Dış faktörler; ortamın bağıl nemi, kurutma havası sıcaklığı ve hızı, iç faktörler ise ürünün yapısal özelliklerine bağlı olarak bazı fiziksel ve kimyasal özellikler sayılabilir.

Kurutma süresine bağlı olarak kurutma hızındaki değişim Şekil 9.10'da gösterilmektedir. Ürünlerin kuruma hız değerlerine sıcaklığın önemli etkisinin olduğu bulunmuştur. Sıcaklık arttıkça kurutma hızında hızlı bir azalış belirlenmiştir. Kanlıca mantarlarının kuruma hızlarının belirgin bir şekilde azaldığı ve sonrasında hızın yavaşlayarak düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 9.10. Zamana göre kurutma hızının değişimi.

Her 15 dakikada bir yapılan ağırlık ölçümlerine ilave olarak diğer tüm veriler not edilmiştir. Tüm deneyler aynı şartlarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.11’de görüldüğü gibi yapılan deneylerde zamana göre enerji tüketimlerinde farklılıklar gözlemlenmektedir.



Şekil 9.11. Kurutma süresine bağlı enerji tüketimi.

Deneysel tüketlenen enerji miktarları 30 °C’ de 14.600 kWh, 40 °C’ de 13.680 kWh, 50 °C’ de 9.360 kWh, 60 °C’ de 8.800 kWh, 70 °C’ de 7.560 kWh olarak hesaplanmıştır.

Birçok kaynakta mikroorganizmaların faaliyeti ile alakalı belirlenmiş farklı minimum su aktivite değerleri bulunmaktadır. Bu durum su aktivitesinin mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon etkisinin diğer koşullar ile ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Bazı mikroorganizmalar zaman içerisinde düşük su aktivitesine uyum sağlayabilmekte ve böylece faaliyetlerini engelleyen minimum su aktivite değerleri için değişiklik göstermektedir. Mikroorganizmaların üreyecekleri en düşük su aktivitesi değerleri Çizelge 9.3’te verilmiştir.

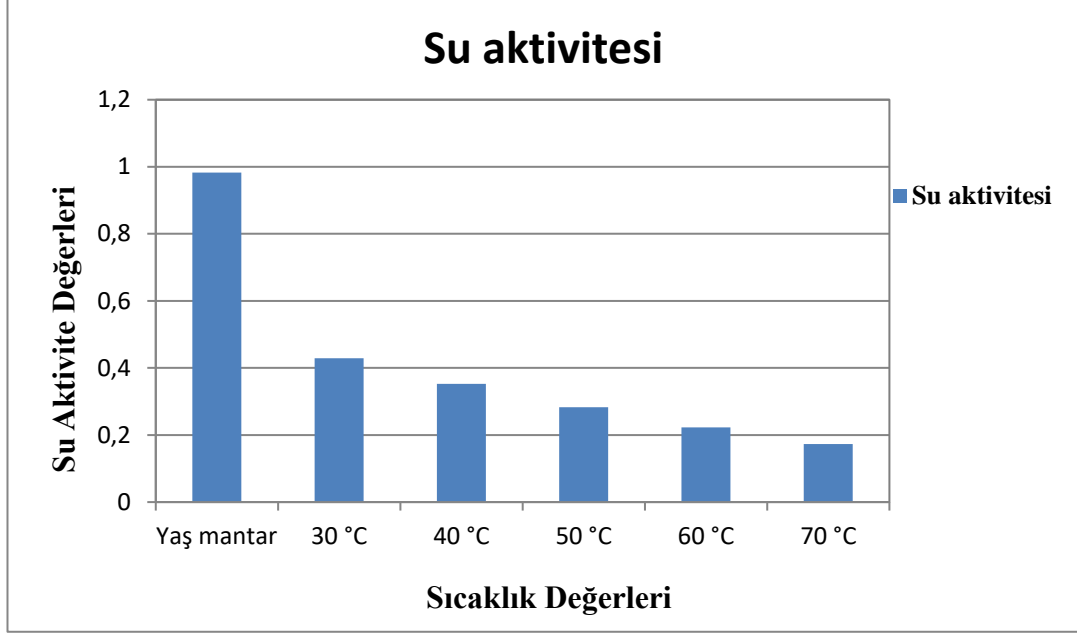
Çizelge 9.3. Gıdalar için önemli olan mikroorganizma faaliyetlerinin yaklaşık minimum su aktivite (a_w)değerleri [99].

Mikroorganizmalar	a_w	Mikroorganizmalar	a_w
Gruplar		Gruplar	
Bozulma yapan bakterilerin çoğu	0.90	Halofilik bakteriler	0.75
Bozulma yapan mayaların çoğu	0.88	Kserofilik mayalar	0.61
Bozulma yapan küflerin çoğu	0.80	Ozmofilik küfler	0.61

Taze ve kurutulmuş durumdaki kanlıca mantarı örneklerinin su aktiviteleri ± 0.001 hassasiyete sahip su aktivitesi ölçüm seti olan Aqua-Lab cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla yaklaşık 3-4 gram dilimlenmiş kanlıca mantar numuneleri, paslanmaz çelikten yapılmış cihazın sızdırmayan haznesine yerleştirilmiştir. Su aktivitesi değerinde, 10 dakikalık süre boyunca 0.001’den az bir değişim olması halinde sistemin dengeye ulaştığı kabul edilmiştir. Cihazın ekranında yer alan göstergeden su aktivitesi değeri doğrudan okunmuştur.

Genel olarak çoğu kurutulmuş kanlıca mantarlarının su aktivitesi (a_w) düşüktür. Güvenli saklama için tipik olarak kurutulmuş gıdanın su aktivitesi 0.6’den daha az düzeyde olması önerilmektedir. Ancak farklı türdeki gıdalar birbirlerinden farklı su aktivitelerine sahiptirler. Düşük su aktivitesi, çeşitli mikroorganizmaların büyümesini, oksidasyon ve enzimatik reaksiyonları önler. Gıdadaki su oranı çevre

havası bağıl nemiyle dengeye ulaştığı zaman, çevre havası bağıl nemi 100' bölününce o gıdaya ait mevcut su aktivitesi (a_w) değeri bulunmuş olur.



Şekil 9.12. Yapılan deneylerde su aktivitesi değerleri.

Su aktivitesi, gıdaların muhafazasında önemli bir değerdir. Her bir sıcaklık için hesapladığımız su aktivite değerleri Şekil 9.12'deki gibi bulunmuştur. Deneyler sonunda numunelerin " a_w " değeri en az 0.173 en fazla 0.983 su aktivitesi değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu değerlerin ürünlerde mikrobiyolojik oluşumlar için gerekli minimum su aktivitesi değerinin çok altında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen " a_w " değerleri sıcak havalı kurutma sisteminin kaliteli kurutma özelliğinin yüksek olduğunun göstergesi olarak kabul edilmiştir.

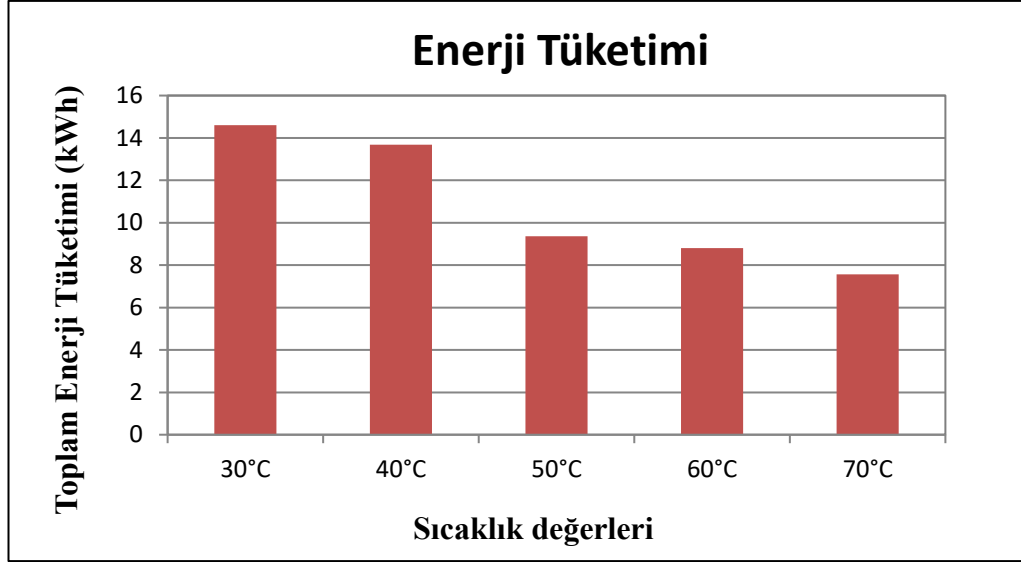
Gıdadaki parlaklık değeri; mevcut pigmentlerin konsantrasyonu ve türü, su içeriği, su matrisinde çözünen maddenin higroskopisitesi, hava akımı, yüzey suyu varlığı, lif içeriği ve türü dâhil olmak üzere birçok faktör ile ilişkilidir. Gıdalardaki kırmızı-yeşil koordinatın (a^*) davranışı, kullanılan teknolojiye, gıda maddesinin yapısal bütünlüğünden, pigment içeriği ve eğiliminden (su veya lipitte çözünebilme) ve yüzey su varlığından etkilenir. Gıdalardaki b^* değeri büyük ölçüde gıda matrisine bağlıdır ve matris içindeki değişikliklerin (pH, oksidasyon kapsamı, su aktivitesi vb.) en fazla b^* değeri üzerine etkisi olduğu kabul edilmektedir.

Çizelge 9.4. Renk analizinde elde edilen değerler.

Kurutma Sıcaklığı	L *	a *	b *	C *	h°	BI	ΔE
Yaş mantar	47.93	14.20	20.82	25.20	55.70	587.46	1.45
30°C	42.58	5.25	10.87	12.07	64.22	587.85	1.12
40°C	36.00	5.07	8.57	9.95	59.39	587.86	1.02
50°C	33.98	3.96	6.88	7.93	60.07	587.93	0.90
60°C	34.05	3.01	5.98	6.69	63.28	587.99	0.56
70°C	30.81	2.38	4.62	5.19	62.74	588.02	0.55

Taze ve farklı sıcaklıklarda kurutulan kanlıca mantarlarının renk analizleri sonucunda L*, a*, b*, C*, H°, ΔE, BI değerleri elde edilmiştir. Kurutma işlemi mantarın esmerleşmesine L* azalmasına a* artışına sebep olmuştur. Her bir deneylerden elde edilen sonuçlara göre, literatürdeki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kanlıca mantarının sıcak havalı kurutma ile kurutulmasının başarılı olduğu görülmüştür.

Sıcak havalı kurutmada 60°C ve 70°C sıcaklıklardaki ürünlerin koyu renklerde olmasının nedeni; uzun süre sıcaklığa maruz kalarak esmerleşme reaksiyonlarının oluşmasıdır. L*değerlerinin azalması kurutmanın kısa sürede gerçekleşmesiyle orantılıdır. L* değerleri yani parlaklık taze mantara göre azalmaktadır. Renk skalasında a* değeri kırmızılığı temsil etmekte olup, kurutulmuş kanlıca mantarlarında en yüksek değer 30°C, en düşük değer 70°C kurutmada gözlemlenmiştir. Kurutulan üründe b* değerlerinde azalma saptanmıştır. Bunun sebebinin ısı uygulamasının ürünün renk maddeleri üzerinde, deformasyona sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9.13. Sıcaklığa bağlı toplam enerji tüketim değerleri.

Tüketilen toplam enerjinin büyük kısmı 30°C ve 40°C'lerde görülmektedir. Sıcaklık değerleri arttıkça tüketilen enerji miktarlarında düşüş gözlemlenmiştir. Kurutma sürelerinin artması enerji tüketiminde artmasına neden olmuştur.

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER

10.1. SONUÇLAR

1. Gıdalarda toplam su miktarı olarak bilinen nem değeri; gıdanın raf ömrünün, mikrobiyal kararlılığının, fiziksel özelliklerinin ve endüstriyel işleme süreçlerinin belirlenmesi için çok önemlidir. Sıcak havalı kurutma öncesinde, sırasında ve sonrasında nem miktarlarının ölçümleri yapılmıştır. Kuru madde miktarı belirlenen kanlıca mantarlarının başlangıç nem miktarı 4.78 g su /g kuru madde olarak bulunmuştur. Son nem miktarı olan 0.05 g su /g kuru madde' ye kadar kurutulmuştur.
2. Kurutma süresi ile kurutma sıcaklığının ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle sıcak havalı kurutmanın 30 °C'de (7 saat 10 dk), 40 °C'de (4 saat 15 dk), 50 °C'de (2 saat 50 dk), 60 °C'de (2 saat 15 dk), 70 °C'de (1 saat 40 dk) sürdüğü bulunmuştur. Sıcaklık arttıkça birim zamanda daha fazla enerji aktarımı sağlanır.
3. Sıcak havalı kurutma öncesinde su aktivite değeri 0.983 a_w iken; deneyler sonucunda bu değer 0,429 ile 0,173 değerleri arasında ölçülmüştür. Sıcak havalı kurutma yöntemiyle literatürdeki diğer çalışmalara göre ürün daha kısa sürede kurutulmuş ve depolamaya hazır hale getirilmiştir. Kurutma sıcaklığının artışı ve buna bağlı olarak son nem düzeyinin düşmesi su aktivite değerlerinde önemlidir.
4. Kurutulmuş kanlıca mantar dilimlerinin saklanması, taşınması ve kullanımı taze kanlıca mantarına göre çok daha kolaydır.
5. Sıcak havalı kurutmayla kurutulmuş ürünlerde gözeneksiz bir yapı, dondurarak kurutma işlemi ile kurutulan ürünlerde ise yüksek gözeneklilik elde edilmiştir.

6. Sistemde daha yüksek sıcaklıkta kanlıca mantarları kurutulabilir ancak bu durumda kurutma süresi azalırken kurutulan ürün kalitesinde bazı bozulmalar meydana gelebilir. Örneğin; kanlıca mantarının büzülmesi, kararması, kırılması gibi durumlar oluşabilir.
7. Sıcak havalı kurutma deneylerinde tüketilen enerji miktarları 30 °C’de 14.600 kWh, 40 °C’de 13.680 kWh, 50 °C’de 9.360 kWh, 60 °C’de 8.800 kWh, 70 °C’de 7.560 kWh olarak hesaplanmıştır.
8. Kanlıca mantarının sıcak havalı kurutmada farklı sıcaklıklarda kurutulmasında elde edilen en iyi sıcaklık değerinin ve kurutma performansının 50°C olduğu bulunmuştur. Bu sıcaklıkta fiziksel ve kimyasal özelliklerin en iyi sonuçlarda olduğu gözlemlenmiştir. 30°C ve 40°C’de kurutma süresinin uzun olması ve nem içeriğinin yüksek olmasından dolayı ideal sıcaklık olarak kabul edilmemektedir.
9. Renk analizleri sonucunda sıcaklığın artışıyla beraber artan enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, L* değerindeki azalmaya neden olmuştur. L* değişim ürünün kuruması ile renginin koyulaştığını göstermiştir. L* renk parametresi açısından incelendiğinde en iyi renk 40°C- 50°C sıcaklıklarında olduğu görülmüştür. Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri tüm sıcaklıklar için 1.42-0.55 aralığında bulunmuştur. En çok renk değişiminin 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. h° değerlerinde farklılıkların az olduğu görülmüştür. Dondurarak kurutma işleminde renk değişiminin olmadığı görülmektedir.
10. Her iki kurutma yöntemi içinde kütle azalması, saklama kolaylığı ve raf ömrünün uzun olması nedeniyle avantajlı işlemler olduğu öngörülmüştür.
11. Toplam 14 saatlik dondurarak kurutma işleminin sonunda 8 farklı kurutma modeli için MR ve DR değerleri hesaplanarak her iki saatte bir kütle kayıpları ölçülerek uygun kinetik kurutma modeli belirlenmiştir. Uygun kinetik kurutma modeli Page Modelidir. Çünkü R² değeri yaklaşık 0,9988, X² değeri 5 mm için yaklaşık $1,851 \times 10^{-4}$, RMSE değeri yaklaşık 0,1358 dir.
12. 5mm kalınlıktaki kanlıca mantar dilimleri için efektif difüzyon katsayısı, eşitlik 7’deki denklemlerle hesaplanarak D_{eff} : 3.2035×10^{-10} m²/s olarak bulunmuştur.
13. Mantarın dondurularak kurutulması diğer kurutma yöntemlerinden daha verimlidir. Dondurarak kurutma yöntemiyle yapısal durumu en az şekilde

etkilenir. Mantar örnekleri yapı olarak hassastır. Kararma gibi bozunmaların önlenmesi için yüksek sıcaklıklardan kaçınmak gerekir. Basınç ve sıcaklık farkının diğer yöntemlere nazaran daha az olması bozulmayı engeller dolayısıyla dondurarak kurutma yöntemini diğer yöntemlerden daha verimli bir yöntem yapar.

14. En yaygın *Lactarius* türlerinden olan, *L. deliciosus* ile *L. salmonicolor*'un birbirinden ayırt edilmesinin en kolay yöntemi *L. deliciosus*'un yeşilimsi bir şapkaya sahip olması ve koparıldığında koyu yeşil renk almasıdır.

10.2. ÖNERİLER

1. Besin analizleri ve içerisinde yer alan vitamin ve minerallerin tespiti için çalışmalar yapılabilir. Kurutucu düzenekte kanlıca mantarı haricinde başka gıda maddelerinin de kurutulması ve saklanması mümkündür.
2. Endüstri alanında artan enerji tüketimi, endüstriyel işletmelerin enerjiyi en verimli şekilde kullanmalarını gerektirmektedir. Kurutucu düzenekte yapılacak geliştirmeler ile gıdaların nem içeriğinin anlık tayin edilmesi enerji alanında tasarruf sağlar. Endüstriyel kurutmalarda gıda kalitesini bozmadan kanlıca mantarının konvektif kurutma şeklinde çalışmaları yapılabilir.
3. Bu çalışmada tüketici kabul edilebilirliğine yönelik duyu analizi çalışmaları gerçekleştirilmemiş olup, ileriki çalışmalar için farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan kanlıca mantar örneklerinin duyu değerlendirme ve tüketici tarafından kabul edilebilirliği araştırmalarının yapılmasının gerekli olduğu önerilmektedir.
4. Kurutma işlemlerinde gerekli olan büyük miktardaki enerjiyi azaltmaya ve daha hızlı kurutma tekniklerine ihtiyaç duyulmakta, kurutma hızını ve kalitesini arttıran yenilikçi teknikler giderek büyük ilgi görmektedir. Bundan dolayı farklı kurutma yöntemlerinin bir arada kullanıldığı kombine kurutma sistemlerinin ürün kalitesini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. İstanbul Sanayi Odası, “<http://www.iso.org.tr/tr/documents/mkraporlar/gidaislemede-kurutmateknolojileri-.pdf> Predirected=1,” **İstanbul Teknik Üniversitesi**, Doktora/Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi.
2. Evrenuz, Ö., “Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri”, **Gıda 13**, (1), 51-58, (1988).
3. Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., “Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt-3”, **Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları**, Ankara, 77-570 (2003).
4. Keçebaş, T., “Farklı Haşlama Uygulamalar ile Saklamanın Kurutulmuş Brokolinin Renk ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**, Adana, s. 1-76, 2007.
5. Sarıkürkçü, C., D. S. Karşlı, M. H. Solak, M. Harmandar., “Muğla Yöresi Yenilebilir Mantar Ekstraktlarının Antioksidant Aktivitelerinin Belirlenmesi”, **Türkiye 8. Gıda Kongresi**, Bursa, s. 57, 26-28, (2004).
6. Liang, B., “The Fungi Kingdom: Common Characteristics of Fungi”, **<http://www.wisc-online.com>** (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2011).
7. Singh, A. K., H. K. Sharma, P. Kumar, & B. Singh., “Physicochemical Change in White Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) at Different Drying Temperatures”, **Mushroom Research**, 8(2), 27-30, (1999).
8. Soylu, K., H. İ. Soylu, A. Zülkadir, S. Erdoğan, E. Uysal., “Çıntar (*Lactarius deliciosus*) Ektomikorizal Mantarının Misel Gelişine Farklı Ortamların Etkisinin İncelenmesi, Kimyasal ve Besin İçeriğinin Belirlenmesi”, **Türkiye 8. Yemeklik Mantar Kongresi Bildirisi**, Kocaeli, s. 101-113, (2008).
9. Subaşı, R., “Sivas (Ulaş ilçesi) yöresinde yetişen makromantarlar üzerinde taksonomik bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, **Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tokat, (2010).
10. Erbay, B. ve E. Küçüköner., “Mantarın Besin Değeri ve Tüketim Şekilleri”, **Türkiye 8. Yemeklik Mantar Kongresi Bildirisi**, Kocaeli, s. 181, (2008).
11. Bano. Z., S. Rajaratham, and , M. N. Shashi Rekha., “Mushroom as The Unconventional Single Cell Protein for a Conventional Consumption”, **Indian Food Parker**, 46(5), 20-31, (1992).

12. Rama. V., and John, P. J., "Effects of Methods of Drying and Pretreatments on Quality of Dehydrated Mushroom", *Indian Food Packer*, 54(5), 59-64, (2000).
13. Çelen, S., "Sabit Hava Akış Hızında Mantarın Kurutulmasına Hava Sıcaklığı ve Malzeme Kalınlığının Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, s.1-59, (2004).
14. Doğan N., Doğan C., Hayoğlu İ., "Farklı Sıcaklık ve Süre Uygulamalarının Pleurotus Ostreatus (İstiridyeye Mantarı)'un Bazı Özelliklerine Etkisi", *Harran Tarım ve Gıda Bilimi Dergisi*, 18 (4): 10-16, (2014).
15. Doymaz İ., "Infrared Drying of Button Mushroom Slices", *Food Sci. Biotechnol.*, 23 (3): 723-729, (2014).
16. Şevik S., Aktaş M., Özdemir M. B., Doğan H., "Güneş Destekli Isı Pompalı Bir Kurutucuda Mantarın Kuruma Davranışlarının Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Modellenmesi", *Tar. Bil. Dergisi*, 20 (2): 187-202, (2014).
17. Kantrong H., Tansakul A., Mittal G. S., "Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushroom Undergoing Microwave-Vacuum Drying and Microwave-Vacuum Combined With Infrared Drying", *Journal Food Science Technology*, 51 (12): 3594-3608, (2014).
18. Kemer, M., "Elmanın Kuruma Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (1996).
19. Wang H., Zhang M., Mujumdar A. S., "Comparison of Three New Drying Methods For Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushroom (Lentinus Edodes)", *Drying Technology*, 32: 1791-1802, (2014).
20. Salehi F., Kashaninejad M., Jafarianlari A., "Drying Kinetics and Characteristics of Combined Infrared-Vacuum Drying of Button Mushroom Slices", *Heat Mass Transfer*, 53: 1751-1759, (2017).
21. Darvishi H., Najafi G., Adel H., "Far-Infrared Drying Characteristics of Mushroom Slices", *Chemical Product and Process Modeling*, 8 (2): 107-117, (2013).
22. Srivastava, B., "Effects of Blanching Methods on Drying Kinetics of Oyster Mushroom", *International Journal of Food Engineering*, 5(4): Article 2, (2009).
23. Karaaslan, S., Havuz, M. "Selection and Evaluation of Thin Layer Drying Models for Microwave Drying of Mushroom", *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(Özel Sayı 2): 2057-2061, (2014).
24. Rodriguez R., Lombrana J. I., Kamel M., Elvira C., "Kinetic and Quality Study of Mushroom Drying Under Microwave and Vacuum", *Drying Technology*, 23: 2197-2213, (2005).

25. Walde S. G., Velu V., Jyothirmayi T., Math R. G., “Effects of Pretreatments and Drying Methods On Dehydration of Mushroom”, *Journal of Food Engineering*, 74: 108- 115, (2006).
26. Omari A., Khazaei N., Sharifian F., “Drying Kinetic and Artificial Neural Network Modeling of Mushroom Drying Process in Microwave-Hot Air Dryer”, *J. Food Process Engineering*, 41 (7): 1-10, (2018).
27. Aghilinategh N., Rafiee S., Gholikhani A., Hosseinpour S., Omid M., Mohtasebi S., Maleki N., “A Comparative Study of Dried Apple Using Hot Air, Intermittent and Continuous Microwave: Evaluation of Kinetic Parameters and Physicochemical Quality Attributes”, *Food Science and Nutrition*, 3 (6): 519-526, (2015).
28. Funebo, T., Ohlsson, T., “Microwave-assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom”, *Journal of Food Eng.*, 63,349-359, (1998).
29. Pappas, C., Tsami, E., Marinos Kouris, D., “The Effect of Process Contidions on The Drying Kinetics and Rhydration Characteristics of Some Microwave-vacuum Dehydrated”, *Fruits Drying Technology*, 17 (1-2): 157-174, (1999).
30. Nour V., Trandafir, I. ve Ionica, M.E., “Effects of Pre-Treatments and Drying Temperatures on the Quality of Dried Button Mushrooms”, *South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 2(1):15-24, (2011).
31. Toğrul H., Toğrul İ., İspir. A., “Mantarların İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi”, *III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı*, Antalya, (2005a).
32. Dinani, S.T., Hamdami, N., Shahedi, M., Havet, M., “Quality Assessment of Mushroom Slices Dried by Hot Air Combined with an Electrohydrodynamic (EHD) Drying System”, *Food and Bioproducts Processing*, 94:572-580, (2014).
33. Zhang, Z., Liu, Z., Li, D., Jiang, N. ve Liu, C., “Effects of Ultrasound Pretreatment on Drying Kinetics and Quality Parameters of Button Mushroom Slices”, 34(15):1791-1800, (2016).
34. İzli, A. ve Işık, E., “Effect of Different Drying Methods on Drying Properties of Mushroom”, *Journal of Food and Nutrition Research*, 53:105-116, (2014).
35. Nehru, C., “Solar Drying Characteristics of Oyster Mushroom”, *Mushroom Research*, India, 4: 1, 27-30, (1995).
36. Das, I. ve Arora, A., “Alternate Microwave and Convective Hot Air Application for Rapid Mushroom Drying”, *Journal of Food Engineering*, 223: 208– 219, (2018).

37. Tian, Y., Zhao, Y., Huang, J., Zeng, H. ve Zheng, B., “Effects of Different Drying Methods on the Product Quality and Volatile Compounds of Whole Shiitake Mushrooms”, *Food Chemistry*, 197:714–722., (2016).
38. Arıcı R.Ç., “Mantarın (*Agaricus bisporus*) Kontrollü Şartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.1-64 s, (2006).
39. Hanmammadli Ç., “Mikrodalga Yöntemiyle Bazı Mantar Çeşitlerinin Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2020).
40. Boztok, K., “Mantar Üretim Tekniği”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, (1990).
41. Alexopoulos, C.J., Mims, C.N. ve Blackwell, M. “Introductory Mycology”, *John Willey & Sons Inc. USA*, 869 p., (1996).
42. Sarıözlü N., Demirel R., “Genel Mikrobiyoloji”, *Anadolu Üniversitesi Web-Ofset Tesisleri*, (2011).
43. Wong, G.J. “Introduction to Botany 135: Magical Mushrooms and Mystical Molds”, *University of Hawaii*, Botany 135 Syllabus, (2011).
44. Anonymous 2011a., “Life on Earth-Organism”, <http://en.wikipedia.org>, Erişim tarihi: 18 Aralık 2011.
45. Cohen, R., Persky, L., Hadar, Y., “Biotechnological Applications and Potential of Wood-Degrading Mushrooms of the Genus *Pleurotus*”, *Appl. Microbiol Biotechnol.*, 58:582- 594, (2002).
46. Harley, J.L., Smith, S.E., “Mycorrhizal Symbiosis”, *Academic Press*, London,(1983).
47. Isaac, S., “Fungal Plant Interactions”, *Chapman and Hall*, London, UK, p.418, (1992).
48. Pilz,D., Molina,R., “Managing Forest Ecosystems to Conserve Fungus Diversity and Sustain Wild Mushroom Harvests”, *USDA Forest Service*, PNW-GTR 371, (1996).
49. Gupta,R., Satayanarayana,T., Garg,S., “Ectomycorrhiza – An Overview”, *In: Mycorrhizal Biology*, (Ed.by K.G.Mukerji, B.P.Chamola, J.Singh), *Kluwer Academic*, 27-44, (2000).
50. Dixon,R.K., Rao,M.V., Grag,V.K., “In situ and In vitro Response of Mycorrhizal Fungi to Salt Stress”, *Mycorrhiza News*, 5: 6-8, (1994).

51. Marschner,H., Romheld,V., Horst,S., Martin,P., “Ammonium and Nitrate Uptake Rates and Rhizosphere pH in Non-mycorrhizal Roots of Norway spruce [Picea abies (L.) Karst]”, *Trees*, Berlin, 5: 14-21, (1991).
52. Malajczuk, N., Groven, T.S., Thomson, B.T., Bougher, N.L., Tommerup, I., Kuek, C and Dell, B., “Ectomycorrhizas.In: Microorganisms that Promote Plant Productivity”, *Kluwer Press*, Amsterdam, (1992).
53. Anonymous., “Mycorrhizas.<http://www.crop.cri.nz/home/products-services/publications/broadsheets/mycorrhizas.pdf>”, (2007).
54. Marschner, H., “Mineral Nutrition of High Plants Second Edition”, *Academic Press*, London, (1995).
55. Glowa, K.R., Arocena, J.M., Massicotte, H.B., “Properties of soils influenced by ectomycorrhizal fungi in hybrid spruce [Picea glauca x engelmannii (Moench.) Voss]”, *Canadian Journal of Soil Science*, 84 (1): 91-102, (2004).
56. Sanmee, R.,B. Dell, P. Lumyong, K. Izumori, S. Lumyong., “Nutritive Value of Popular Wild Edible Mushrooms from Northern Thailand Food Chem”, 84(4): 527-532, (2003).
57. Vetter, J., “Chemical Composition of Fresh and Conserved Agaricus bisporus Mushroom”, *Eur Food Res Technol*, 217:10–12, (2003).
58. Pekşen, A., B. Kibar, G. Yakupoğlu., “Yenilebilir Bazı Lactirus Türlerinin Morfolojik Özelliklerinin, Protein ve Mineral İçeriklerinin Belirlenmesi”, *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 22(3):301-305, (2007).
59. Durkan, N., “Yukarı Büyük Menderes Havzasında Makrofunguslarda Ağır Metal İçeriklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, <http://tez.sdu.edu.tr/tezler7TF01002.pdf>, Isparta, (2006).
60. Breene, W. M. “Nutritional and Medicinal Value of Specialty Mushrooms”, *J. Food Protection*, Vol. 53 (10), 883-894, (1990).
61. Gücin, F., Tamer, A.Ü., “Mikolojiye Giriş”, *Uludağ Üniversitesi Fen Ed. Fak. Ders Notları*, No:1, Bursa, s. 8-37, (1994).
62. Davis, P.H., “Flora of Turkey and The East Aegean Islands”, Vol. 1, *Edinburgh: Edinburgh Univ. Press*, (1965).
63. Pamir, M.H., “Fermantasyon Mikrobiyolojisi”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, No:936 Ankara, (1985).
64. Chang, S.T., Miles, P.G., “Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect and Environmental Impact”, *CRC Press Boca Raton*, 15-18 p, Florida, ABD, (2004).

65. Eren, R., Süren, T. ve Kızıleli, M., “Gastronomik Açıdan Türkiye’de Yenilebilir Yabani Mantarlar Üzerine Kavramsal Bir Değerlendirme”, *Turizm Akademik Dergisi*, 4(2), 77-89, (2017).
66. Günay, A., “Mantar Yetiştiriciliği”, *Ankara: İlke Yayıncılık*, (2005).
67. Yılmaz, A. “Bazı Doğa ve Kültür Mantar Türlerinin Biyoaktif Özelliklerinin ve Radyoaktif Element Miktarlarının Belirlenmesi”, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2015).
68. Lull, C., H. J. Wichers, “Antiinflammatory and immunomodulating properties of fungal metabolites, *Mediators Inflamm*”, 2005(2): 63-80.
69. Bauer Petrovska, B., “Protein Fraction in Edible Macedonian Mushrooms”, *Eur. Food Res. Technol.*, 212(4): 469-472, (2001).
70. Mau, J.-L., H.-C. Lin, “Non-volatile taste components of several speciality mushrooms”, *Food Chem.*, 73(4): 461-466, (2001).
71. Bougher, N.L., Grove, T.S., Malajczuk, N., “Growth and Phosphorus Acquisition of Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell) Seedling Inoculated with Ectomycorrhizal Fungi in Relation to Phosphorus Supply”, *New Phytologist*, 114:237-244, (1990).
72. Manzi, P., Aguzzi, A., Pizzoferrato, L., “Nutritional Value of Mushrooms Widely Consumed in Italy”, *Food Chemistry*, 73: 321-325, (2001).
73. Kızıl, D., “Bazı Doğal Yenilebilir Mantarların Antioksidant Aktivitelerinin Araştırılması”. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, (2014).
74. Karasüleymanoğlu, K., “Aydın Yöresinde Toplanan *Lactarius* Cinsine Ait Türlerin Morfolojik ve Moleküler Tanısı”, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aydın, (2014).
75. Alkın, M., “Türkiye’de Kültürü Yapılan ve Doğal Yenilebilir Mantarların Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2017).
76. Kalyoncu, F., Oskay, M. ve Kalmış, E. “Bazı Yabani Makrofungus Misellerinin Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi”, *Mantar Dergisi*, 1(1): 1-8, (2010).
77. Tamer, Ü., Gücin, F. ve Solak, M.H., “Fungi Alemine Giriş ve İnsanlar için Önemi”, 1-7, *Mikolojiye Giriş*, 3.Baskı, Manisa, (2008).
78. Ak, E. E., Tüzel, Y., Eren, E. ve Atilla, F., “Türkiye’nin Mantar İhracatının Değerlendirilmesi”, *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 239-243, (2016).

79. Barutçiyen, J., “Türkiye’nin Mantarları”, *I. İstanbul: Oğlak Yayıncılık*, (2012).
80. Karahan, H., Başdar, C., ve Gürbüz, İ.B., “Doğada Kendiliğinden Yetişen Mantarların Aile İçi Öztüketimdeki Yerinin Saptanması ve Gelir Arttırmadaki Rolü”, *XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi*, Samsun , (3-5 Eylül 2014).
81. Kaşık, G., “Mantar Bilimi”, *1. Baskı, Marifet Matbaa ve Kağıtçılık*, Konya, (2010).
82. Pekşen A, Akdeniz H, “Organik Ürün Olarak Doğa Mantarları”, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, Ormancılık Dergisi*, 8(1): 34-40, (2012).
83. Yüksel B, Akbulut S, Baysal İ, Gültekin YS., “Düzce Yöresinin Yenilebilir Mantarları”, *I. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu*, Trabzon, (2006).
84. Özkanlı O, Süzer Ö, Uçuk C., “An analysis for the usage of kanlıca mushroom on the practice field of gastronomy as a type of high aromatic mushroom”, *International Congress on Medicinal and Aromatic Plants*, Konya, (2017).
85. Verbeken, A., “Worldwide Systematics of Lactarius: A State of the Art”, *Micol Veg Med*, 16,71-88, (2001).
86. Isıloğlu, M., Allı, H., Solak, M.H. ve Yılmaz Ersel F., “Lactarius Taxa of Turkey. In: Planta Europa Proceedings of the 4th European Conference on the Conservation of Wild Plants”, *September*, Spain, (2004).
87. Hutchison, J.L., “Lactarius. In: Cairney, J.W.G. ve Chambers, S.M. (Ed.), Ectomycorrhizal Fungi: Key Genera in profile”, *Springer*, Berlin, pp. 269-285, (1999).
88. Heilmann-Clausen, J., Verbeken, A., Vesterholt, J. “The Genus Lactarius. (Fungi of Northern Europe, Vol. 2)”, *Denmark: The Danish Mycological Society*, 287 pp., (1998/2000).
89. Pekak, C., “Kestel (Kadınhanı- Konya) Yöresinde Yetişen Bazı Lactarius (DC.ex Fr) S.F. Gray Türlerinin Biyolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2007).
90. Anke, T., “Antibiotika aus Basidiomyceten”, *Z. Mykol*, 44:131-141, (1978).
91. Dedeoğlu, N., “Yenilebilir Mantar Türlerinden Polifenol Oksidaz Enziminin Saflaştırılması ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (2009).
92. Solak M.H, Işıloğlu, M., Kalmış E., Allı, H., “Macrofungi of Turkey Checklist”, *Vol. II. Bornova-İzmir: Üniversiteler Ofset*, (2015).

93. Pekyardımcı, S., “Polifenol Oksidaz Enzimi ve Esmerleşme Reaksiyonlarının Gıda Endüstrisinde Uygulamaları”, *Gıda*, 17 (3): 181-186, (1992).
94. Pekşen A., ve Karaca G H., “Samsun İli ve Çevresinde Saptanan Yenilebilir Mantar Türleri ve Bunların Tüketim Potansiyeli”, *Türkiye VI. Yemelik Mantar Kongresi*, 100-111, Bergama, İzmir, (20-22 Eylül 2000).
95. Özçelik E, Şahin G ve Pekşen A “ Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesinin Bazı Yenen ve Tıbbi Mantar Türleri”, *Türkiye VII. Yemelik Mantar Kongresi*, 128- 139, Korkuteli, Antalya, (22-25 Eylül 2004).
96. Doğan, H.H. and Aydın, S., “Some biological activities of *Lactarius vellereus* (Fr.) Fr. in Turkey”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16(21), 1279-1286., (2013).
97. Dülger, B., Yılmaz, F. and Gücin, F., “Antimicrobial activity of some *Lactarius* species”, *Pharmaceutical Biology*, 40, 304-306, (2002).
98. Özkul, N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği (5. Baskı)”, *Ankara: Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, 115-709, (1999).
99. Kırmacı, V., “Dondurarak Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı Ve Performans Deneylelerinin Yapılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-117, (2008).
100. Aktaş, M., “Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalat ve Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-105, (2007).
101. Günerkan, H., “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 36 (13), 1-10, (2005).
102. Heldmam, D.R., Singh, R.P., Evranuz, Ö., Çataltaş, İ., “Gıda İşleme Mühendisliği”, *İnkılap Kitabevi*, İstanbul, 200 (1989).
103. Kırmacı, B., Batu, A., “Üzümsü Meyvelerin IQF Yöntemi İle Dondurularak Muhafası”, *II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu*, Tokat, 354-358, (2006).
104. Khadatkar, R.M., Kumar, S., Pattanayak, S.C., “Cryofreezing and cryofreezer”, *Cryogenics*, 44: 661-678, (2004).
105. Cemeroğlu, B., Soyer, A., “Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler”, *29. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, Ankara, 78-85, (2005).
106. Acharya, A., Marchese, M.A., Bredenkamp, B., “Cryomechanical Freezing of Strawberries”, *Proceeding of the Int. Conference on Technical Innovations in Freezing and Refrigeration of Fruits and Vegetables*, Davis, 277-280, (1989).

107. Yapar, A., Erdöl, M., “Farklı Sıcaklık ve Tuz Uygulanarak Kurutulan Alabalık (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) larda Kurumanın Fonksiyonel İfadesi”, *Tr. J. of Veterinary and Animal Sciences*, 23 (3): 479-483, (1999).
108. Çalışkan, M.K., “Mikrodalga Enerjisi ile Kurutma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5 (2002). 128
109. Ceylan, İ., Doğan, H., “Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını”, Dumlupınar Üniversitesi, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Kütahya, 155-166 (2004).
110. Bulduk, S., “Gıda Teknolojisi”, *Detay Yayıncılık*, Ankara, 40-44, (2002).
111. Günerkan, H., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 36 (13): 1-10 (2005).
112. Güngör, A., Özbalta, N., “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, *III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 737-747 (1997).
113. Topuz, A., “Akışkan yatakta fındık kurutma prosesinde ısı ve kütle geçişinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1- 93, (2002).
114. Acar B., “Safran Çiçeğinin Dondurarak Kurutulması”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (Mayıs 2011).
115. Çelen E., “Dondurarak Mantar Kurutma”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Aralık 2018.
116. Sham, P.W.Y., Scaman, C.H., Durance, T.D., “Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety”, *Journal of Food Science*, 66 (9): 1341- 1347 (2001).
117. Biçer, Y., Kavak, E., Yıldız, C., “Teknik kurutmada kurutucu seçimi”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bilim Günleri*, Denizli, 221: 606-612 (1999).
118. Strumillo, C., Kudra, T., “Drying: Principles, Applications and Design”, *Gordon and Breach Science Publishers*, 369-405 (1986).
119. Yağcıoğlu, A., “Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 536-540 (1999).
120. Akyurt, M., Sevilir, E., Söylemez, E., Selçuk, K., “Güneş Enerjisi ve Bazı Yakıtlarla Meyve ve Sebze Kurutulması”, Tubitak, Proje No:TOAG-97, Yayın No:299, Ankara (1971).

121. Anthony, J., Fontana, Jr., “Water activity’s role in food safety and quality”, *Presented at the second NSF International conference on food safety, Savannah, GA, USA*, 1 (2000).
122. Senadeera, W., Bhandari, B. R., Young, G., & Wijesinghe, B., “Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying”, *Journal of Food Engineering*, 58(3): 277-283 (2003).
123. Acar, B., Sadikoglu, H., ve Doymaz, I., “Freeze-Drying Kinetics and Diffusion Modeling of Saffron (*Crocus sativus* L.)”, *Journal Of Food Processing And Preservation*, 39 (2): 142–149 (2015).
124. Baysal, T. ve İçier, F., “Gıda Mühendisliğine Giriş”, *Nobel Akademik Yayınevi*, (2015).
125. Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., and Tagawa, A., “Vacuum drying characteristics of eggplants”, *Journal of Food Engineering*, 83(3), 422-429, (2007).
126. Datta, A. K. and Davidson, P. M., “Microwave and radio frequency processing”, *Journal of Food Sci*, 65, 32–41, (2000).
127. Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. and Basak, T., “Microwave food processing—A review”, *Food Res Int*, 52(1), 243-261, (2013).
128. Yoğurtçu, H., “Mikrodalga fırında limon kurutma: kinetiği ve modellenmesi”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 27-33. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd>, (2014).
129. Strumillo, C., Kudra, T., “Drying: Principles, Applications and Design”, *Gordon and Breach Science Publishers*, 369-405 (1986).
130. Kutlu, N., İşçi, A. ve Şakıyan Demirkol, Ö., “Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri”, *Gıda*, 40 (1), 39-46. doi: 10.15237/gida.GD14031, (2015).
131. Demir, V., ve Günhan, T., “Tarım ürünlerinin kuruma karakteristik değerlerinin belirlenmesi”, *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı*, İzmir, 17-31 (2002).
132. Demirtaş, C., “Fındık kurutma şartlarının belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 58 (1996).
133. Ertekin, C., “Bazı Sebze ve Meyvelerin Kurutulması”, *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı*, İzmir, 33-57 (2002).
134. Mengeş, G., “Patatesin farklı kurutma şartlarındaki kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 4-8 (2005).

135. Us, F., "Su ve Buz. In: Saldamlı İ. (Ed.). Gıda Kimyası", *Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara*. s.9-42, (2007).
136. Rahman, M. S., "Food preservation: overview", In: Rahman.M.S. (Ed.). *Handbook of Food Preservation. CRC Press. Boca Raton, FL, USA*. pp. 3-18, (2007).
137. Pala, M. ve Saygı, Y. B., "Su Aktivitesi ve Gıda İşletmedeki Önemi", *Gıda Dergisi*, 8(1): 33-39, (1983).
138. Saldamlı, İ. and Saldamlı, E., "Gıda Endüstri Makineleri", *Savaş Yayınevi, Ankara*, 547 s, 2004.
139. Liapis, A.I. and Bruttini, R., "A theory for the primary and secondary drying stages of the freeze-drying of pharmaceutical crystalline and amorphous solutes: Comparison between experimental data and theory", *Separations Technology*, 4 (3): 144-155 (1994).
140. Perry, V.P., "Freeze-drying for the preservation of human tissues", *Transplantation Proceedings*, 8 (2): 189-192 (1976).
141. Shishegarha, F., Makhlof, J. and Ratti, C., "Freeze-drying characteristics of strawberries", *Drying Technology*, 20 (1): 131-145 (2002).
142. Güler, Ç. ve Koçak, Ö., "Fizikokimya gazlar ve termodinamik", *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları*, İzmir, 236 (2003).
143. Çengel, Y.A. and Boles, M.A., "Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 25-26 (2002).
144. Dolan, J.P., "Use of volumetric heating to improve heat transfer during vial freeze-drying", Ph.D. Thesis, *Virginia Polytechnic Institute and State University*, Virginia, 22 (1998).
145. Özkara, T., "Dondurarak kurutma yöntemi ile saklanan greftlerin mekanik özellikleri üzerine radyasyonla sterilizasyonun etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16 (2003).
146. Pikal, M.J., Shah, S., Roy, M.L. and Putman, R., "The secondary drying stage of freeze drying: drying kinetics as a function of temperature and chamber pressure", *International Journal of Pharmaceutical*, 60 (3): 203-217 (1990).
147. Odabaşoğlu, T., "Ticari soğutucularda alternatif soğutucu akışkan R-134a için kılcal boru uzunluğunun deneysel olarak belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33 (2001).

148. Kırmacı, V. ve Özdemir, M.B., “Soğuk depoların soğutma sisteminde kullanılan R-407c alternatif soğutucu akışkanına göre sistem eleman kapasitelerinin bilgisayar programıyla belirlenmesi”, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 27 (2): 24-38 (2006).
149. Althouse, A.D., Turnquist, C.H. and Bracciano, A.F., “Modern refrigeration and air conditioning 18th ed.”, *The Goodheart-Willcox Company, South Holland*, 230-246 (1979).
150. Watson, J., “The freeze-drying of wet and waterlogged materials from archaeological excavations”, *Physics Education*, 39 (2): 171-176 (2004).
151. Truumees, E. and Herkowitz, H.N., “Alternatives to autologous bone harvest in spine surgery”, *Orthopaedic Journal*, 12: 77-88 (1999).
152. Sadıkoğlu H., Özdemir M., “Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri”, *TÜBİTAK- MAM- Gıda Bilimi ve Teknolojisi Araştırma Enstitüsü*, Gebze-Kocaeli, Gıda (2003) 28 (6):643-649.
153. Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K., Tiwari, B. K., “Novel drying techniques for the food industry”, *Food Eng Rev*, 6(3): 43–55, DOI 10.1007/s12393-014-9078, (2014).
154. Ratti, C., “Freeze drying for food powder production”, B. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, P. Schuck (Eds.) In: Handbook of food powders (pp. 57-84). *Woodhead Publishing*, Sawston, (2013).
155. Duan, X., Yang, X., Ren, G., Pang, Y., Liu, L., Liu, Y., “Technical aspects in freeze-drying of foods”, *Drying Technology*, 34(11), 1271-1285, (2016).
156. Barbosa-Cánovas, G. V., Juliano, P., “Physical and chemical properties of food powders”, *Encapsulated and Powdered Foods*, 39 – 71, (2005).
157. Demiray, E., “Kurutma işleminde domatesin likopen, β -karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2009).
158. Özilgen, M. and Özdemir, M., “A review on grain and nut deterioration and design of the dryers for safe storage with special reference to Turkish hazelnuts”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41:95–132 pp, (2001).
159. Güngör, A., “Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri”, *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, (17-20 Nisan 2013).

160. Ergün, K., “Dondurularak Kurutulmuş Kivi Püresi Tozu Kullanılarak Hazırlanan Keklerde Pişirme Yöntemi ve Formülasyonun Kalite Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 174s, (2012).
161. Rahman, M. S. ve Perera C.O., “Drying and Food Preservation”, *Rahman, M. S. Handbook of Food Preservation*, Boca Raton, CRC Press, (2007).
162. Singh, D. B. ve Ambrose, K., “Effect of convective drying on quality of anardana”, *Indian Journal of Horticulture*, 65(4), 413-416, (2008).
163. Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M. ve Feng, H., “Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods”, *Food Chemistry*, 262, 242-25, (2018).
164. Prior, R. L., Wu, X. ve Gu, L., “Identification and urinary excretion of metabolites of 5-(hydroxymethyl)-2-furfural in human subjects following consumption of dried plums or dried plum juice”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 3744-3749, (2006).
165. Güleç, F., Turhan-Özdemir, G. D., “Karayemiş (*Laurocerasus officinalis* Roemer) meyvesinin kuruma karakteristiğinin incelenmesi”, *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(1), 73-80, (2017).
166. Wojdyło, A., Figiel, A., Legua, P., Lech, K., Carbonell-Barrachina, Á. A. ve Hernández, F., “Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method”, *Food Chemistry*, 207, 170-179, (2016).
167. Rodríguez, M. M., Rodríguez, A. ve Mascheroni, R. H., “Color, texture, rehydration ability and phenolic compounds of plums partially osmodehydrated and finish-dried by hot air”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 2647-2662, (2015).
168. Achanta, S. and Okos, M.R., “Impact of drying on biological product quality”, *Food Preservation by Moisture Control Applications*, (1): 637–657, (1995).
169. Lewicki, P.P. and Jakubczyk, E., “Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples”, *Journal of Food Engineering*, 64: 307-314, (2004).
170. Jangam, S.V., Law, C.L. and Mujumdar, A.S., “Energy efficiency and energy saving in drying”, *Drying of Food, Vegetables and Fruits*, Volume:1, 232 p. ISBN: 978-981-08-6759-1, pp. 145-158, Singapore, (2010).
171. Jen, J.J., “Quality Factors of Fruits And Vegetables”. The university of georgia, ACS syposium series, ISSN. 0065-6156, 405, California. *Agricultural and Food Chemistry at the 196th National Meeting of the American Chemical Society*, 25-30, (1998).

172. Jaros, D.J., Rohm, H., Strobl, M., “Appearance Properties: A Significant Contribution to Sensory Food Quality”, *Food Science and Technology*, (33), 320-326, (2000).
173. Luo, M.R., “Applying Colour Science in Colour Design”, *Optics & Laser Technology*, (38),392-398, (2006).
174. D’Andrade, R.G., Romney, A.K., “A Quantitative Model for Transforming Reflectance Spectra into the Munsell Color Space Using Cone Sensitivity Functions and Opponent Process Weights”, *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, (100), 6281-6286, (2003).
175. Clydesdale FM., “Colorimetry- Methodology and Applications”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (10), 243-303, (1978).
176. Lawless, H.T., Heymann, H., “Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices”, *Editorial Services: Ruth Bloom, Library of Congress*, ISBN:0-8342-1752-X, 827, Gaithersburg, Maryland, (1999).
177. Darvishi, H., Khoshtaghaza, M.H. and Minaei, S., “Drying kinetics and colour change of lemon slices”, *International Agrophysics*, 28:1-6, (2014).
178. Ramsbottom, J. “Mushrooms&Toadstools”, *Collins*, ISBN, (1953).
179. Bilgin Sökmen B., Yılmazoğlu B., “Tirozinaz Enziminin Giresun Yöresinde Yetişen Yenilebilir Kanlıca Mantarından (*Lactarius salmonicolor*) Saflaştırılması ve Karakterizasyonu”, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 10-23, DOI: 10.31466/kfbd.412186, (2018).
180. Therdthai, N., Zhou, W., “Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen)”, *Journal of Food Engineering*, 91, 482-489, (2009).
181. Karaaslan S. N., Tunçer İ K., “Development Of A Drying Model For Combined Microwave–Fan-Assisted Convection Drying Of Spinach”, *Biosystems Engineering*, Volume 100, Issue 1, Pages 44-52, (May 2008).
182. Aktaş M., Şevik S., Aktekeli B., “Development of Heat Pump and Infrared-Convective Dryer and Performance Analysis For Stale Bread Drying”, *Energy Conversion and Management*, Volume 113, Pages 82-94, (April 2016).
183. Quek, S. Y., Chok, N. K., Swedlund, P. “The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders”, *Chemical Engineering and Processing*, 46, 386-392, (2006).
184. Özbalta N, Güngör A., “Kurutma Sistemlerinde Isı Pompası Kullanım Potansiyeli”, *III. GAP Mühendislik Kongresi*, Şanlıurfa, Türkiye, (24-26 Mayıs 2000).

185. Durmuş, M., Bilen, K., Uzun, İ., “Isı Pompalı Tekstil Kurutma Makinelerinde Kurutma Havası Debisinin Kurutucu Performansına Etkisinin Deneysel Analizi,” *Mühendis ve Makina*, cilt 53, sayı 635, s. 40-50, (2012).
186. Kavak Akpınar E., “Drying of mint Leaves in a solar Dryer and Under Open Sun: Modelling, Performance Analyses”, *Energy Conversion and Management*, 51:2407-2418, (2010).
187. Karaca G., Dolgun E., Aktaş M., “Design of a New Energy Efficient and Hygienic System For Drying Honey”, *Journal of Polytechnic*, 23(3): 713-719, (2020).
188. Şevik S., Aktaş M., Dolgun E.C., Arslan E., and Tuncer A.D., “Performance analysis of solar and solar-infrared dryer of mint and apple slices using energy-exergy methodology”, *Solar Energy*, Volume 180, Pages 537-549, (1 March 2019).
189. Wang, J. and Xi, Y. “Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process”, *Journal of Food Engineering*, 68 (4): 505-511, 2005.
190. Aktaş M. ve Gönen E., “Isı pompalı nem kontrollü bir kurutucuda defne yaprağı kurutulması”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(2),433-441, 2014.
191. Ghasemkhani, H., Keyhani, A., Aghbashlo, M., Rafiee, S., ve Mujumdar, A.S., “Improving exergetic performance parameters of a rotating-tray air dryer via a simple heat exchanger”, *Applied Thermal Engineering*, 94, 13-23, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Göknur KAYATAŞ ONGUN İlk ve orta öğrenimini Kars Gazi Ahmet Muhtar Paşa İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Kars Alparslan Lisesinde tamamladı. 2009 yılında Adana Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğinde öğrenime başlayıp 2013 yılında mezun oldu. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. 2018 yılında aynı anabilim dalında doktora eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk annesidir.