T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ ÜRÜNLERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ali Can ERŞAN

DOKTORA TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Şubat, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ ÜRÜNLERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ ve AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ali Can ERŞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 15.02.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Tülin Banu İYİM, Üye
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa _____

Doç. Dr.Emek DERUN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Saadet Kevser PABUCCUOĞLU, Üye
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa _____

Danışmanım Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Deniz Ürünlerinin Farklı Yöntemlerle Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ali Can ERŞAN

İmza

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü' nün FDK-2019-3528 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Canım Anneme

ve

Erşan ile Oktay Ailelerine

TEŞEKKÜR

Bu değerli çalışmada yer almamı sağlayıp yüksek lisansta olduğu gibi doktora eğitimim süresince her zaman yanımda olan, sabrını, hoşgörüsünü ve manevi desteğini esirgemeyip çalışmalarım boyunca elinden gelen desteği ve ilgiyi gösteren, değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL'a,

Çalışmalarımın her aşamasında sonsuz emeği olan, elinden gelen tüm manevi desteği hiçbir zaman esirgemeyen, desteğiyle, tecrübesiyle bana yol gösteren, çalışmamda hızla yol almamı sağlayan, değerli hocam Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK'a,

Tez sürecim boyunca bilgisi ve tecrübesiyle her zaman yanımda olup yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Tülin Banu İYİM'e,

Eğitimim süresince bilgi, tecrübelerini benimle paylaşan, sabır ve hoşgörüsü ile bana destek olan değerli hocam Doç. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN'a teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında, benden desteğini eksik etmeyen, bugünlere gelmemde, bütün zorlukları aşmamda her zaman payı olan, hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim canım annem Mualla ERŞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ali Can ERŞAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ x
KISALTMA LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xii
TABLO LİSTESİ xvi
ÖZET xviii
ABSTRACT xx
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 5
1.3 Hipotez ... 6
2 DENİZ ÜRÜNLERİ 7
2.1 Deniz Ürünleri ... 7
2.2 Deniz Ürünlerinin Besin İçerikleri ... 8
2.2.1 Yağ İçeriği ... 8
2.2.2 Protein İçeriği ... 9
2.2.3 Vitamin İçeriği ... 10
2.2.4 Mineral İçeriği ... 10
2.2.5 Deniz Ürünleri Kaynaklı Enzimler ... 10
2.2.6 Kitosan, Kitin ve Benzeri Ürünler ... 11
2.3 Karides ... 11
2.3.1 Karideslerin Depolanması ... 16
3 KURUTMA 19
3.1 Gıda Muhafaza Yöntemleri ... 19
3.2 Kurutma ... 21
3.3 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler ... 23
3.3.1 Sıcaklık ... 23
3.3.2 Kurutma Havasının Hızı ... 23
3.3.3 Kurutulan Gıda Yüzey Alanı ... 24
3.3.4 Ortamın Nem İçeriği ... 24
3.3.5 Su Aktivitesi (a_w) ... 25
3.3.6 Ortamın Basıncı ... 26
3.3.7 Ürünün Kimyasal Bileşimi ... 27
3.4 Kurutma Prensipleri ... 27

3.5 Kurutma Safhaları 27
3.6 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişiklikler 29
3.6.1 Kimyasal Değişiklikler 29
3.6.1.1 Esmerleşme Reaksiyonları 29
3.6.1.2 Lipid Oksidasyonu 31
3.6.1.3 Renk Değişimleri 31
3.6.2 Fiziksel Değişiklikler 32
3.6.2.1 Rehidrasyon Kapasitesi 32
3.6.2.2 Büzülme 32
3.6.2.3 Dokusal Değişiklikler 32
3.6.2.4 Kabuk Bağlama 33
3.6.2.5 Kitle Yoğunluğundaki Değişiklikler 33
3.6.3 Biyolojik Değişiklikler 33
3.6.3.1 Vitamin Kayıpları 33
3.6.4 Mikrobiyolojik Değişiklikler 34
3.6.4.1 Mikroorganizmaların İnaktivasyonu 34
3.7 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişikliklerin Önlenmesi 35
3.7.1 Kükürtleme İşlemi 35
3.7.2 Tuzlama İşlemi 35
3.8 Kurutma Sırasında Ürün Kalitesini Etkileyen Faktörler 36
3.8.1 Kurutma Süresi 36
3.8.2 Kurutma Sıcaklığı 36
3.8.3 Kurutma Yüzde Nem Oranı 36
3.8.4 Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği) 36
3.9 Kurutucu Seçimi 37
3.9.1 Kurutucu Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler 37
3.10 Kurutma Süreçlerinin Kontrolü 39
3.11 Kurutma Çeşitleri 40
3.11.1 Doğal Kurutma 40
3.11.1.1 Güneşte Kurutma 40
3.11.2 Yapay Kurutma 43
3.12 Kurutucu Tipleri 43
3.12.1 Sıcak Hava Üflemeleri Kurutucu (Konveksiyonel) 43
3.12.1.1 Fırın Tipi Kurutucu 44

3.12.1.2 Kabin (Tepsi) Kurutucu 44
3.12.1.3 Tünel Tipi Kurutucu 45
3.12.1.4 Püskürtmeli (Sprey) Kurutucu 47
3.12.1.5 Akışkan Yataklı Kurutucu 48
3.12.1.6 Bantlı (Konveyör) Kurutucu 48
3.12.1.7 Sandık Tipi Kurutucu 49
3.12.1.8 Puf Tipi Kurutucu 50
3.12.1.9 Flaş Kurutucu 50
3.12.2 Vakum Kurutucu 51
3.12.3 Radyasyon Kurutucu 51
3.12.3.1 Mikrodalga Kurutucu 52
3.12.3.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucu 54
3.12.3.2 Morötesi Radyasyon Tipi Kurutucu 55
3.12.4 Dondurarak Kurutma Yapan Kurutucular (Liyofilizasyon) 55
3.12.4 Kontakt Kurutucu (Kondüksiyon) 57
3.12.4.1 Valsli (Silindirik) Kurutucu 57
3.12.4.2 Döner Kurutucu 57
3.12.6 Helezon Karıştırmalı (Burgu) Kurutucu 58
3.12.7 Pnömatik Kurutucu 59
3.12.8 Osmotik Kurutucu 59
3.12.9 Hibrit Sistemli Kurutucular 60
3.13 Matematiksel Modellemenin Kurutma Teknolojileri Açısından Önemi 61
3.14 Gıda Maddelerinde Ağır Metal İçeriği 61
3.15 Ön İşlem Uygulamalarının Gıda Kalitesi Üzerine Etkileri 63
3.15.1 Ultrasonik Ön İşlem Uygulaması 63
4 DENEYSEL ÇALIŞMA 65
4.1 Materyal 65
4.2 Kurutma Deneylerinin Karakterizasyonunda Kullanılan Cihazlar 65
4.2.1 Etüv Kurutucu 65
4.2.2 Vakum Etüvü Kurutucu 66
4.2.3 Mikrodalga Fırın 66
4.2.4 Infrared (Kızılötesi) Kurutucu 67
4.2.5 Hassas Terazi 67
4.2.6 Renk Analiz Cihazı 68
4.2.7 Ağır Metal Analiz Cihazı 68

4.2.8 Protein Analiz Cihazı 69
4.2.9 Ultrasonik Su Banyosu 69
4.3 Metot 69
4.3.1 Nem Tayini 69
4.3.2 Kurutma İşlemine Hazırlık 70
4.3.3 Kurutma İşlemleri 70
4.3.3.1 Etüv ile Kurutma 70
4.3.3.2 Vakum Etüvü ile Kurutma 71
4.3.3.3 Mikrodalga Fırın ile Kurutma 73
4.3.3.4 Infrared (Kızılötesi) ile Kurutma 74
4.3.3.5 Ultrasonik Ön İşlemli Infrared (Kızılötesi) ile Kurutma 75
4.4 Matematiksel Modelleme 76
4.5 Regresyon Analizi 77
4.6 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 78
4.7 Renk Analizleri 79
4.8 Ağır Metal Analizleri 80
4.9 Protein Analizleri 81
5 DENEYSEL SONUÇLAR 82
5.1 Kurutma Eğrileri 82
5.1.1 Nem İçeriği 82
5.1.2 Kurutma Hızı Eğrileri 85
5.1.3 Zamana Bağlı Nem Oranı Eğrileri 88
5.1.4 Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Değerleri 91
5.2 Matematiksel Modelleme ile Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurutma Modellerinin Uygulanması 99
5.3 Renk Analizi Sonuçları 122
5.4 Ağır Metal Analizi Sonuçları 127
5.5 Protein Analizi Sonuçları 129
6 SONUÇ VE ÖNERİLER 132
KAYNAKÇA 136
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 150

SİMGE LİSTESİ

E_a	Aktivasyon Enerjisi
M_e	Denge Anındaki Nem İçeriği
MR_{exp}	Deneysel Nem Oranı
N	Deneysel Veri Sayısı
D_{eff}	Efektif Nem Difüzyonu
M_t	Herhangi Bir Andaki Nem İçeriği
χ^2	Khi-kare
a	Kırmızılık/Yeşillik Değeri
n	Kullanılan Denklemdeki Katsayı Sayısı
M_i	Kurutmaya Başlamadan Önceki Ürünün İçerdiği Nem İçeriği
M_d	Kuru Madde Miktarı
t	Kurutma Zamanı
DR	Kurutma Hızı
M	Nem İçeriği
MR	Nem Oranı
L	Parlaklık/Beyazlık Değeri
R^2	Regresyon Katsayısı
ΔE	Renk Değişimi
b	Sarılık/Mavilik Değeri
a_w	Su Aktivitesi
M_w	Su Miktarı
M_{t+dt}	t+dt'deki Nem İçeriği
MR_{pre}	Tahmin Edilen Nem Oranı

KISALTMA LİSTESİ

ALA	α-linolenik Asit
DHA	Dokozahekzaenoik Asit
DPA	Dokozapentaenoik Asit
EPA	Eikozapentaenoik Asit
HUFA	Yüksek Doymamış Yağ Asitleri
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektroskopisi
IOC	Hükümetlerarası Oşinografi Komisyonu
IR	Infrared (Kızılötesi)
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
MW	Mikrodalga
PI	Oransal İntegral Kontrol
PID	Oransal İntegral Türevsel Kontrol
PD	Oransal Türevsel Kontrol
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
RMSE	Hata Kareleri Ortalama Karekökü
US-IR	Ultrasonik Infrared
TMA-N	Trimetilamin-azot
TVB-N	Toplam Uçucu Bazik Azot

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Deniz ürünleri 8
Şekil 2.2 Deniz kabukluları ve yumuşakçakar 8
Şekil 2.3 Omega-3 hapları 9
Şekil 2.4 Karides 12
Şekil 2.5 Donmuş karides 16
Şekil 3.1 Kurutulmuş gıdalar 21
Şekil 3.2 Sorbsiyon izotermi 25
Şekil 3.3 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları 27
Şekil 3.4 Kurutma sırasında nemin hareketi 28
Şekil 3.5 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen Vitamin C oksidasyonu 34
Şekil 3.6 Kabinet tipi güneş kurutucu 41
Şekil 3.7 Dolap tipi güneş kurutucu 42
Şekil 3.8 Çadır tipi güneş kurutucu 42
Şekil 3.9 Paralel ve çapraz akışlı kabin tipi kurutucular 45
Şekil 3.10 Paralel akışlı tünel kurutucu 46
Şekil 3.11 Zıt akışlı tünel kurutucu 46
Şekil 3.12 Çift aşamalı tünel kurutucu 47
Şekil 3.13 Püskürtmeli kurutucu ünitesi 47
Şekil 3.14 Akışkan yataklı kurutucu 48
Şekil 3.15 Bantlı kurutucu 49
Şekil 3.16 Flaş kurutucu 50
Şekil 3.17 Vakum kurutucu 51
Şekil 3.18 Mikrodalga fırın 52
Şekil 3.19 Kızılötesi kurutucu üç boyutlu gösterimi 55
Şekil 3.20 Dondurarak kurutma yapan kurutucu 56
Şekil 3.21 Dondurarak kurutmanın evrelerinin şematik gösterimi 56
Şekil 3.22 Döner kurutucu 58
Şekil 3.23 Helezon karıştırmalı kurutucu 58
Şekil 3.24 Hibrit kurutma teknolojisinin sınıflandırılması 60
Şekil 4.1 Karides numuneleri 65
Şekil 4.2 Etüv kurutucu 65

Şekil 4.3 Vakum etüvü kurutucu 66
Şekil 4.4 Mikrodalga fırın 66
Şekil 4.5 Infrared (kızılötesi) kurutucu..... 67
Şekil 4.6 Hassas terazi 67
Şekil 4.7 Renk analiz cihazı 68
Şekil 4.8 Ağır metal analiz cihazı..... 68
Şekil 4.9 Protein analiz cihazı 69
Şekil 4.10 Ultrasonik su banyosu 69
Şekil 4.11 Etüvde 60° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum 70
Şekil 4.12 Etüvde 70° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum 71
Şekil 4.13 Etüvde 80° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum 71
Şekil 4.14 Vakum etüvünde 60° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 72
Şekil 4.15 Vakum etüvünde 70° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 72
Şekil 4.16 Vakum etüvünde 80° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 72
Şekil 4.17 Mikrodalgada 140 W gücünde kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 73
Şekil 4.18 Mikrodalgada 210 W gücünde kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 73
Şekil 4.19 Mikrodalgada 350 W gücünde kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 74
Şekil 4.20 Infrared cihazında 60° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 74
Şekil 4.21 Infrared cihazında 70° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 75
Şekil 4.22 Infrared cihazında 80° C' de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum..... 75
Şekil 4.23 "L*", "a*" ve "b*" değerlerini gösterir renk skalası..... 80
Şekil 5.1 Etüv ile 60, 70 ve 80° C' lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi..... 82

Şekil 5.2 Vakum etüvü ile 60, 70 ve 80° C' lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi 83
Şekil 5.3 IR cihazı ile ile 60, 70 ve 80° C' lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi 83
Şekil 5.4 Mikrodalga fırın ile 140, 210 ve 350 W' larda kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi 84
Şekil 5.5 US-IR ile 60, 70 ve 80° C' lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi 84
Şekil 5.6 Etüv ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri 86
Şekil 5.7 Vakum etüvü ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri 86
Şekil 5.8 IR ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri 87
Şekil 5.9 Mikrodalga ile kurutmanın farklı güçlerdeki kurutma hızı eğrileri 87
Şekil 5.10 US-IR ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri 88
Şekil 5.11 Etüv ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri 89
Şekil 5.12 Vakum etüvü ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri 89
Şekil 5.13 IR (kızılötesi) kurutucu ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri ... 90
Şekil 5.14 Mikrodalga ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri 90
Şekil 5.15 US-IR ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri 91
Şekil 5.16 Etüv ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi 94
Şekil 5.17 Vakum etüvü ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi 94
Şekil 5.18 IR ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi 95
Şekil 5.19 Mikrodalga ile kurutma için güce bağlı D_{eff} değişim eğrisi 95
Şekil 5.20 US-IR ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi..... 96
Şekil 5.21 Etüv ile kurutma için E_a eğrisi..... 97
Şekil 5.22 Vakum etüvü ile kurutma için E_a eğrisi 97
Şekil 5.23 IR ile kurutma için E_a eğrisi 98
Şekil 5.24 Mikrodalga ile kurutma için E_a eğrisi 98
Şekil 5.25 US-IR ile kurutma için E_a eğrisi..... 99
Şekil 5.26 Etüv metodu için Alibas modeli eğrisi 120
Şekil 5.27 Vakum etüvü metodu için Midilli&Kucuk modeli eğrisi 120
Şekil 5.28 IR metodu için Alibas modeli eğrisi..... 121
Şekil 5.29 Mikrodalga metodu için Verma modeli eğrisi 121
Şekil 5.30 US-IR metodu için Alibas modeli eğrisi 122
Şekil 5.31 Etüv metodu için renk analizi grafiği 123

Şekil 5.32 Vakum etüvü metodu için renk analizi grafiği 123
Şekil 5.33 IR metodu için renk analizi grafiği..... 124
Şekil 5.34 Mikrodalga metodu için renk analizi grafiği 124
Şekil 5.35 US-IR metodu için renk analizi grafiği 125
Şekil 5.36 Etüv ile kurutulmuş karideslerin protein oranı (%)..... 130
Şekil 5.37 Vakum etüvü ile kurutulmuş karideslerin protein oranı (%)..... 130
Şekil 5.38 IR metodu için protein oranı (%) 131
Şekil 5.39 Mikrodalga metodu için protein oranı (%)..... 131

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Deniz ürünlerinde üretilen bazı özel enzimler 10

Tablo 2.2 Karideslerin sınıflandırılması 11

Tablo 2.3 Karideslerin üretim miktarları (ton) 13

Tablo 2.4 2017 karides ithalat-ihracat verileri 14

Tablo 2.5 2016 yılı deniz ürünleri yetiştiricilik değerleri 14

Tablo 2.6 Yetiştiriciliği yapılan eklembacaklı türleri, üretim miktarı ve yüzdesi 15

Tablo 2.7 Yaklaşık oda sıcaklığında (+20 ° C ± 1) depolanan karideslerin duyusal değerlendirme, ağırlık kaybı, nem, pH, TMA-N TVB-N TVB-N değerleri .. 17

Tablo 2.8 Soğukta (+4 ° C ± 1) depolanan karideslerin duyusal değerlendirme, nem, pH TMA-N ve TVB-N bulguları 18

Tablo 3.1 Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelen değişiklikler 29

Tablo 3.2 Kurutucu seçim kriterleri şeması 39

Tablo 3.3 Doğal ve yapay kurutmanın karşılaştırılması 43

Tablo 3.4 Ağır metallerin insan sağlığına etkileri 62

Tablo 3.5 Deniz ürünlerinde kabul edilebilir ağır metal miktarları 63

Tablo 3.6 Ultrasesin gıdalardaki mevcut ve potansiyel uygulamaları 64

Tablo 4.1 Kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler 77

Tablo 5.1 D_{eff} değerleri 92

Tablo 5.2 E_a değerleri 96

Tablo 5.3 Etüv ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları 100

Tablo 5.4 Vakum ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları 104

Tablo 5.5 IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları 108

Tablo 5.6 Mikrodalga ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları 112

Tablo 5.7 US-IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları 115

Tablo 5.8 ΔE renk değişimi değerleri 125

Tablo 5.9 Ulusal ve uluslararası standartlara göre izin verilen maksimum ağır metal sınırları (mg / kg) 127

Tablo 5.10 Ağır metal analizi değerleri 128

Tablo 5.11 Ağır metal analizi değerleri 129

ÖZET

Deniz Ürünlerinin Farklı Yöntemlerle Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi

Ali Can ERŞAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Deniz ürünleri, geçmişten günümüze insanlar için önemli bir hayvansal protein kaynağıdır ve son yıllarda balık dışındaki diğer yumuşakça ve kabuklu deniz ürünlerinin tüketimine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Deniz ürünlerine olan bu talep doğrultusunda, tüketimin artmasıyla bu ürünlere yönelik artan bir koruma ve depolama ihtiyacı doğmuştur. Birçok gıda ürünü gibi deniz ürünleri de içerdiği bakteri faaliyetlerinden dolayı kolayca bozulmaktadır. Bunu önlemek amacıyla, çeşitli kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Kurutma yöntemlerinin uygulanmasıyla ürünlerin içerdiği su miktarı azaltılarak, depolama süresi ve raf ömrünün uzatılması sağlanmakta olup aynı zamanda besin içeriğinin de korunması istenmektedir.

Bu çalışmada deniz ürünlerinden biri olan karidesin kurutulması konusunda yapılan çalışmalar incelenmiş olup farklı kurutma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir. Kurutma deneyleri; etüv, vakum etüvü, mikrodalga fırın, infrared (kızılötesi) kurutucu ve ultrasonik ön işlemli infrared kurutucu olmak üzere beş farklı yöntemle farklı güç ve sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklıkları 60, 70 ve 80 °C olarak belirlenmiştir. Karideslerin kurutma işlemlerinden sonra kurutma kinetiğini belirlemek için nem oranı-kurutma zamanı eğrileri çizilmiş ve on dört farklı matematiksel

modele uyarlanmış, daha sonra renk analizi, protein oranı analizi, ağır metal içeriği analizi ve rehidrasyon kapasitesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak mikrodalga ile yapılan çalışmalarda kurutma işleminin daha kısa sürede gerçekleştiği görülmüştür. Mikrodalga yöntemiyle kurutma deneyleri sırasıyla 140 W, 210 W ve 350 W güçlerinde gerçekleştirilmiş olup kurutma süreleri sırasıyla 40, 26 ve 6 dakika olarak belirlenmiştir. Uygulanan bütün kurutma yöntemlerinde kurutma sıcaklıkları arttıkça kurutma sürelerinin kısalmakta olduğu görülmüştür. Kurutulmuş karideslerin protein açısından taze ürünlere göre daha zengin olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen ağır metal analizleri sonucunda karideslerin As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Fe ve Hg içerdikleri metalleri görülmüş ve içeriklerde kurutma işlemi sonrası azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Karideslerin kurutulmasıyla depolama süreleri ve besin değerlerinin arttığı belirlenmiş, tüm deniz ürünlerinin kurutularak saklanabileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karides, kurutma kinetiği, protein analizi, renk analizi, ağır metal analizi

ABSTRACT

Investigation of Drying Characteristics of Aquatic Products by Different Methods and Determination of Heavy Metal Content

Ali Can ERŞAN

Department of Chemical Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nurcan TUGRUL

Aquatic products is an important source of animal protein for humans from past to present, and interest in its consumption in other mollusks and shellfish in the last world is increasing day by day. In line with this demand for seafood, an increasing need for protection and storage has arisen for these products in direct proportion to the increase in consumption.As in many food products, seafood is easily degraded due to bacterial activities. In order to prevent this, various drying methods have been developed. By applying these drying methods, the amount of water contained in the products is reduced, thus extending storage time and shelf life, and preserving the nutrient content is also desired.

In this study, studies on drying shrimp, which is one of the seafood products, were examined and advantages and disadvantages of different drying methods were determined. Drying experiments; It was carried out at different power and temperatures using five different methods: oven, vacuum oven, microwave oven, infrared (infrared) dryer and ultrasonic pre-treated infrared dryer. Drying temperatures are set at 60, 70 and 80 ° C. To determine the drying kinetics of shrimps after drying, moisture rate-drying time curves were drawn and adapted to fourteen different mathematical models, then

color analysis, protein ratio analysis, heavy metal content analysis and rehydration capacity studies were carried out.

As a result, it was observed that the drying process took place in a shorter time in studies conducted with microwave. Microwave drying experiments were carried out at 140 W, 210 W and 350 W respectively, with drying times of 40, 26 and 6 minutes, respectively. In all the drying methods applied, it has been observed that drying times shorten as drying temperatures increase. It has been determined that dried shrimps are richer in protein than fresh products. As a result of the heavy metal analysis carried out, the metals that the shrimps contain As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Fe and Hg were seen and it was determined that there was a decrease in the contents after drying.

It was determined that the storage times and nutritional values of shrimps increased by drying, and it was predicted that all aquatic products could be dried and stored.

Keywords: Shrimp, drying kinetics, protein analysis, color analysis, heavy metal analysis

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kurutma, gıda endüstrisinde en çok kullanılan ve en eski fiziksel muhafaza yöntemlerindendir. Kurutma aynı zamanda gıdaların su içeriği ile su aktivitesini azaltmak ve bunun sonucunda meydana gelebilecek mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmaları önlemek için endüstriyel ölçekte uygulanan bir muhafaza yöntemidir. Gıda ürünleri açısından bu denli önemli bir muhafaza yöntemi olan kurutma ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır.

Literatürde meyve, sebze, et, tavuk ve deniz ürünleri gibi birçok gıda ürününün kurutulması ile ilgili çeşitli çalışmalar aşağıdaki gibi derlenmiştir;

Jansawang, et ürünlerinin güneş tipi kabin kurutucuyla kurutulması üzerine çalışmıştır. Çalışmada gıdaların kurutması için optimum sıcaklık aralığı 47-50 °C olarak belirlenmiş olup güneş tipi kabin kurutucunun açık havada güneşle kurutmadan daha hızlı sonuç verdiği kanısına varılmıştır [1].

Azadbakht vd., portakal kabuklarının ozmotik ön işlem sonrasında mikrodalga yöntemiyle kurutulmasının enerji ve ekserji analizinin yapay sinir ağı metoduyla tahmin edilmesi üzerine çalışmışlardır. 90-360 ve 900 watt güçlerinde gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonucunda %42,1 enerji verimliliği, %31,08 ekserji verimliliği elde edilmiştir [2].

Da Silva vd., Brezilya fıstığı tohumlarının mikrodalgada kurutulması ve dezenfeksiyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda nem oranı %46,4'e indirilmiştir. Mikrodalga ile fıstık içeriğindeki kontaminasyon azaltılmıştır [3].

Ando vd., mikroldalga-vakum kombine sistemiyle kurutulmuş olan elmanın yapısal özelliklerinin incelenmesi ve ön dondurmanın kurutma üzerine etkisi ile ilgili çalışmışlardır. Ön dondurma işleminin dokulardaki su transferini hızlandırdığı görülmüştür. Hava üflemeli kurutma sistemi ile kurutulmuş ve ön işlem uygulanmamış

numunelere göre seçilen kurutma yönteminin daha verimli olduğu ortaya konulmuştur [4].

Dinçer vd., farklı tuz içeriğine sahip et ürünlerinin vakum kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada kalite özellikleri, adsorpsiyon izotermleri ve kurutma kinetiği incelenmiştir. 70 °C'de beş farklı tuz içeriğine sahip et dilimlerinin kurutulması sonucu kinetik çalışmaları yapılmıştır [5].

Başlar vd., et ve tavuk ürünlerinin ultrasonik- vakum kombine kurutma tekniği ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. 75 °C gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonucunda etin kurutulması 300, 480 ve 750 dakika, tavuğun ise 330, 570 ve 780 dakika aralıklarında gerçekleşmiştir [6].

Vega-Galvez vd., farklı kurutma yöntemleriyle kurutulmuş olan havucun fizikokimyasal karakterizasyonu ve biyoaktif bileşimi üzerinde çalışmışlardır. 40 ile 80 °C aralığında sıcak hava üflemeli kurutucu ile kurutulan havuçların C vitamini ve β-karoten içeriklerindeki değişim incelenmiştir [7].

Cantalejo vd., ozonlanarak ve dondurarak kurutulmuş tavuk etinin raf ömrü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Dondurarak kurutulmuş tavuk etinin raf ömrü dört ay iken, ozonlama etkisiyle bu süre sekiz aya çıkarılmıştır [8].

Chabbani vd., bezelyenin mikrodalga kurutucu ile kurutlması sonucu biyoaktif bileşimi ve antioksidan aktivitesini incelemişlerdir. 100 , 300 ve 450 W güçlerinde olmak üzere üç farklı parametrede gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonucunda kurutma kinetiği incelenmiştir [9].

Cuccurullo vd., kabağın mikrodalga kurutucu ile kurutulmasında hava yenilenmesinin ve karıştırıcının etkisi üzerine çalışmışlardır. Hava yenilenmesi kurutma süresini kısalttığı ortaya konmuştur [10]

Ahktar vd., tavuk etinin konveksiyonel kurutucu ile kurutulmasına sıcaklığın ve ön işlemin etkilerini incelemişlerdir.45, 55, 65, 75 ve 85 °C sıcaklıklarında hava üflemeli kurutucu ile gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonucunda aktivasyon enerjileri ve efektif nem difüzyonları hesaplanmıştır [11].

Kaleta vd., elmanın akışkan yataklı kurutucu ile kurutulması sonucu kurutma modellerini ve kurutma kinetiğini incelemişlerdir [12].

Kıpçak, midyenin mikrodalga kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmıştır. 90, 180, 360, 600 ve 800 W güçlerinde gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonucu kinetik incelenmiş, en etkin parametrenin 360 W olduğu belirlenmiştir [13]. Kıpçak vd., kuşkonmaz bitkisinin mikrodalga kurutma ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. 90, 180 ve 360 W güçlerinde 41 ile 5,5 dakika arasında gerçekleştirilen kuruma yöntemleri sonucu kinetik modelleme çalışmaları yapılmıştır [14]. Kıpçak vd., midyenin kızılötesi kurutucu ile kurutulması ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. 88- 146 W güçleri arasında yapılan kurutma işlemleri 8 ile 20 dakika arasında gerçekleşmiştir [15]. Kıpçak vd., midyenin geleneksel yöntemlerle kurutulması üzerine çalışmışlardır. Kabin tipi, etüv ve vakum etüvü ile gerçekleştirilen kurutma işlemleri 120 ile 570 dakika arasında gerçekleşmiştir [16]. Kıpçak vd., tavuk, balık ve et ürünlerinin mikroldalga ile kurutulmasına yönelik çalışmışlardır. 90, 180, 270 ve 360 Wgüçlerinde gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonrasında balık ürünleri tavuk ve et ürünlerine göre daha kısa sürede kurutulmuştur [17]. Kıpçak vd, karadutun mikrodalga ile kurutulmasına yönelik çalışmışlardır. Kurutmadan sonra matematiksel modelleme ve kurutma kinetiği üzerine çalışılmıştır [18]. Kıpçak vd, çeri domatesin mikrodalga ve kızıöltesi yöntemlerine kurutulmasına yönelik çalışmışlardır. Kurutmadan sonra kurutma kinetiği üzerine çalışılmıştır [19].

Doymaz vd., yeşil fasulyenin ince tabaka kızılötesi kurutucu ile kurutma karakteristiğini incelemişlerdir. 83, 104, 125, 146, 167 ve 188 W güçlerinde gerçekleştirilen kurutma işlemlerinden sonra rehidrasyon ve renk değişimleri incelenmiştir [20]. Doymaz vd., yeşil fasulyenin mikrodalga kurutucu ile kurutulmasını incelemişlerdir. 180, 360, 600 ve 800 W güçlerinde gerçekleşen kurutma işlemleri sonucunda kinetik modelleme yapılmış, renk analizleri gerçekleştirilmiştir [21]. Doymaz, havuç dilimlerinin konveksiyonel sıcak havalı kurutma metoduyla 50 ile 70 °C arasında kurutması üzerine çalışmıştır. Kurutmadan sonra rehidrasyon, kurutma kinetiği ve renk analizi çalışmaları gerçekleştirmiştir [22]. Doymaz, kivinin 50 ile 70 °C arasında kabin kurutucu ile kurutulmasına sitrik asitin etkisi üzerine çalışmıştır [23].

Zhang vd., meyve, sebze ve deniz ürünlerinin mikrodalga destekli kurutma sistemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Sıcak hava üflemeli, vakum, dondurarak, mikrodalga-vakum ve mikrodalga-dondurarak tipi kurutucuların gıda maddeleri üzerindeki kurutma etkinlikleri araştırılmıştır [24].

Monteiro vd., balkabağının mikrodalga-vakum kurutucu ile ve çoklu flaş kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. Kurutma işlemlerinden sonra tekstür analizleri gerçekleştirilmiştir [25].

Zlatanovic vd., elmanın düşük sıcaklıklı konveksiyonel kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmıştır. Kurutma işlemleri 35-55 °C aralığında gerçekleşmiştir. Kurutma işlemlerinden sonra modelleme ve kinetik çalışmaları gerçekleştirilmiştir [26].

Darvishi vd., biberin kurutma kinetiği üzerine çalışmışlardır. Mikrodalga kurutucu ile 180, 240, 300, 360, 420, 480 ve 540 W güçlerinde gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonucu kurutma kinetiği hesaplamaları gerçekleştirilmiştir [27].

Pereria da Silva vd., muzun ince tabakalı kurutucuyla kurutulması ve matematiksel modellenmesi üzerine çalışmışlardır. 40, 50, 60 ve 70 °C' de gerçekleştirilen kurutma deneyleri sonucununda matematiksel modelleme analizleri gerçekleştirilmiştir [28].

Onwude vd., tatlı patatesin kızılötesi ve konveksiyonel kurutucularla kurutulması üzerine çalışmışlardır. Kurutma işlemleri sonrasında matematiksel modelleme analizleri gerçekleştirilmiştir [29].

Zarein vd., elmanın dehidrasyon prosesi ve bu prosesin matematiksel modellenmesi ve kurutma kinetiği üzerinde çalışmışlardır. Sıcak hava ile kurutma yöntemi kullanılarak 50, 65, 80 ve 95 °C'lerde kurutulan elmaların kurutma kinetiği hesaplamaları yapılmıştır [30].

Kroehnke vd., havucun ultrasonik ve mikrodalga destekli konveksiyonel kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. Kurutma işlemleri gerçekleştikten sonra kinetik modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir [31].

Li vd., karidesin dondurarak kurutulması ve sıcak hava üflemeli kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. İki farklı yöntemle kurutulmuş karideslerin yağ içerikleri, raf ömürleri ve renk değişimleri kıyaslanmıştır. Dondurularak kurutulan ürünlerin sıcak hava ile kurutulanlara göre daha uzun raf ömürlü olduğu tespit edilmiştir [32].

Darvishi vd., karidesin mikrodalga ile kurutulmasının matematiksel modellenmesi üzerine çalışmışlardır. 200, 300, 400 ve 500 W güçlerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda matematiksel modellemeler gerçekleştirilmiştir [33].

Da Silva vd., karideslerin kızılötesi kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. Daha sonra ağır metal analizleri gerçekleştirilmiş, As ve Cd gibi ağır metallerin varlığı ortaya çıkmıştır. Kızılötesi kurutmanın diğer kurutma yöntemlerine göre daha hızlı sonuç verdiği görülmüştür [34].

Akonor vd., farklı geleneksel kurutma yöntemleriyle karidesin kurutulması üzerine çalışmışlardır. Kurutma işlemlerinden sonra fiziksel özellikler ve besin özelikleri incelenmiştir. Etüv kurutucu ve güneş tipi tünel kurutucu metodları tercih edilmiştir. Renk değişimleri ve rehidrasyon kapasiteleri incelenmiştir. Güneş tipi tünel kurutucunun etüv kurutucuya göre daha hızlı kurutma gerçekleştirdiği tespit edilmiştir [35].

Komolafe vd., deniz ürünlerinden çipuranın konveksiyonel kurutucu ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. 60 ile 90 °C aralığında gerçekleşen deneyler sonucunda aktivasyon enerjisi ve efektif nem difüzyonu analizleri yapılmıştır [36].

Nguyen vd. karidesin konvektif kurutulması ve kurutma kinetiği üzerine çalışmıştır. Çalışmada taşınım olaylarının deneysel ve nümerik analizlerinin gerçekleştirmiştir [37].

Aytekin vd., İskenderun bölgesindeki karides ve balık türlerinin içerisinde bulunan ağır metal içeriklerinin insan sağlığına olan riskleri üzerine çalışmıştır. Cu, Fe ve Zn elementlerinin kabul edilebilir sınırlarda olduğunu fakat Cd ve Pb elementlerinin kabul edilebilir sınırları aştığını tespit etmiştir [38].

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde kurutma işlemleri, gıdaların tüketilmesinin yanında saklanmasının da bir ihtiyaç haline gelmesi nedeniyle önemli bir süreçtir. Özellikle deniz ürünlerinin çabuk bozulmasının önüne geçilmesi açısından kurutma işlemleri önem arz etmektedir. Birçok farklı metotla gıdaların kurutulması gerçekleştirilmiş olsa da ürünlerin yapılarına en uygun kurutma metodunu belirlemek uzun ömürlü saklama koşullarını sağlama açısından önemlidir.

Yapılan bu çalışmada etüv, vakum etüvü, kızılötesi, ultrasonik ön işlemli kızılötesi ve mikrodalga yöntemleri ile karidesin kurutulması işlemleri gerçekleştirilerek en kısa süreli ve en verimli kurutma yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu işlemler sonucunda kurutma yöntemlerinin ürünler üzerine etkileri kıyaslanacaktır. Kurutma işlemleri sonucunda elde edilen karideslerde meydana gelen renk değişimleri, protein oranları ve

ağır metal içeriği analizlerinin gerçekleştirilmesi, uygun ve uzun vadeli olarak gıdaların depolanmasından sonra içeriklerinde ne tür değişiklikler olduğunun gözlenmesi açısından fayda sağlayacaktır.

1.3 Hipotez

Besin değeri çok yüksek olan deniz ürünleri önemli bir protein kaynağıdır. Dünya genelinde yapılan çalışmalar sonucunda balık etinin insan vücuduna oldukça faydalı bir besin kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Yaşam standartlarının artışıyla birlikte günümüzde balığın yanı sıra yumuşak ve kabuklu deniz canlılarının tüketiminde de büyük bir artış gözlenmektedir. Midye, karides, kalamar, ahtapot, deniz tarağı vb. bunlara örnek olarak verilebilir. Pek çok deniz ürünü sağlıklı ve dengeli beslenme açısından mükemmel bir vitamin ve mineral kaynağıdır. Protein kaynağı olan diğer besinlerle karşılaştırıldığında deniz ürünlerinin sindiriminin daha kolay ve yağ oranının daha düşük olduğu görülmüştür.

Gıda ürünlerinin içerdikleri su miktarı sebebiyle mikrobiyolojik faaliyetler gerçekleşmekte, bu sebeple de kolayca bozulabilmektedirler. Gıdanın korunması açısından içerdiği nem oranı düşürülmelidir. Bu da kurutma yöntemleri ile mümkündür. Kurutma işlemi ayrıca gıdanın depolama ve raf ömrünü uzatacağı gibi; depolama, paketleme ve taşıma faaliyetlerinde de kolaylık sağlayacaktır.

Gıda muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma, gıda güvenliği için çok önemli olup gıdaya uygun olmayan bir metot seçmek ürünün kalitesinde ve besin değerinde kayıplara sebep olabilmektedir. Bu sebeple ürüne uygun kurutma metodunun tercih edilmesi çok önemlidir.

2
DENİZ ÜRÜNLERİ

2.1 Deniz Ürünleri

Deniz ürünleri, içeriklerinde sağlıklı beslenme açısından istenilen düzeyde gerekli bileşenleri bulundurmaları nedeniyle önemli gıda ürünleri arasında yer almaktadır. Deniz ürünleri günlük hayatta tüketilen protein içerikli yiyeceklerin önemli bir grubunu oluşturmaktadır. Günlük su ürünleri tüketimi ortalama olarak Dünya'da yılda kişi basına 22.3 kg, Avrupa Birliği ülkelerinde ise yıllık 27 kg'dır. Üç tarafı denizle çevrili olan Türkiye, balık türleri ve kabuklu deniz ürünleri açısından oldukça zengin bir potansiyele sahip olmasına rağmen, yıllık tüketim açısından Dünya ve Avrupa Birliği ortalamalarının oldukça altındadır.

Deniz ürünlerinin besin bileşimi bakımından yağ oranı oldukça düşük olup, esansiyel yağ asidi ve aminoasit bakımından ise oldukça zengin bir içeriğe sahiptirler. Protein açısından oldukça zengin olan deniz ürünlerinin vitamin ve mineral madde içeriği de oldukça fazladır. Protein içeriğinin yüksek olması, doyurması ve tok tutması, esansiyel yağ asidi ve aminoasitlerin temel kaynağı olması nedeniyle, deniz ürünleri beslenme açısından önemli bir yere sahiptir Deniz ürünleri bu özellikleriyle insan sağlığını birçok katkıda bulunmalarının yanı sıra fonksiyonel gıda sınıfınında önemli bir üyesi olarak yer almaktadır. Fonksiyonel gıdalar tüketildiği zaman besleyici etkisine ilaveten insan sağlığını korumaya, düzeltmeye veya hastalık riskini azaltmaya da yardımcı olurlar. İnsan sağlığı açıcından bu tür faydalı özelliklerinden dolayı deniz ürünlerinin yeterli miktarda tüketilmesi özellikle ülkemizdeki tüketim oranının artması oldukça önem arz etmektedir [39]. Başlıca deniz ürünleri Şekil 2.1 ve 2.2'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Deniz ürünleri [40]

Deniz ürünleri genel olarak balıklar, kabukluklar ve yumuşakçalar olmak üzere üç grup altında sınıflandırılmaktadır. Istakoz, kerevit, karides ve yengeç kabuklular sınıfında, kalamar, deniz tarağı, midye, ahtapot, mürekkep balığı ve istiridye yumuşakçalar sınıfında yer almaktadır [41].



Şekil 2.2 Deniz kabukluları ve yumuşakçalar [42]

2.2 Deniz Ürünlerinin Besin İçerikleri

2.2.1 Yağ İçeriği

Yağsız balıkların karaciğerlerinden, yağlı balıkların gövdelerinden ve deniz ürünlerinin yağlı dokularından elde edilen marin yağları, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) veya yüksek doymamış yağ asitleri (HUFA) ve ikiden daha fazla doymamış bağ içeren yağ asitlerinin ana kaynağıdır. Çoklu doymamış yağ asitleri Omega-3 (n-3) ve Omega-6 (n-6) olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

Omega-3'ler, eikozapentaenoik asit (EPA), α-linolenik asit (ALA), dokozahekzaenoik asit (DHA) ve dokozapentaenoik asit (DPA) balık yağlarında en çok bulunan yağ

asitleridir. Yağların yapısı elde edildikleri kaynak ve işleme koşullarından etkilenmektedir. En çok kullanılan kaynaklar hamsi, ringa türleri, sardalya ve somon vb. gibidir.

Modern yaşamla birlikte insanların beslenme şekillerinin değişmesi sonucunda Omega-3/Omega-6 oranı bozulmuştur. Bu oran normal şartlarda 6:1 olarak tavsiye edilirken, Amerika'da 20-30:1, Avrupa'da 10:1 olarak tespit edilmiştir. Günlük ihtiyacı karşılamak için haftada iki kere balık veya deniz ürünü tüketmek veya günlük enerjinin %0,2'sini çoklu doymamış yağ asitlerinden (1-2 g/gün PUFA) alınması önerilmektedir.

Omega yağ asitlerinin veya balık yağlarının kullanıldığı birçok ürün hap şeklinde tüketilmektedir. Deniz ürünlerinin yeterince tüketilmemesi durumunda bu şekilde takviyelerle bu yağ asitlerinin vücuda alımı sağlanabilmektedir. Deniz ürünlerinin DPA, EPA ve DHA bakımından içerikleri zengin olmakla birlikte yapılarında E vitamini de bulunmaktadır. Okside olmaya karşı daha dirençli oldukları için bu hapların kapsül, akışkan veya diğer formlarda tüketilmesi tercih edilmektedir [43].



Şekil 2.3 Omega-3 hapları [44]

2.2.2 Protein İçeriği

Proteinlerin yapıtaşı aminoasit olup enerji verme açısından yağlar ve karbonhidratlardan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Protein oranı balıklarda %15-20 arasında değişkenlik göstermektedir. Balıklar esansiyel aminoasitlerin tamamını (lizin, lözin, valin, fenilalanin, metionin, izolözin, treonin, triptofan) içeriğinde bulundurmaktadır. Deniz ürünleri protein kaynağı olarak diğer gıda ürünleriyle kıyaslandığında süt, yumurta ve kırmızı et gibi biyolojik kalitesi yüksek besinler arasında yer almaktadır [41].

2.2.3 Vitamin İçeriği

Deniz ürünleri A, D ve K vitaminleri açısından zengindir. B1, B2, B3, B6 ve B12 gibi B vitaminleri bakımından verimli besin kaynaklarıdır. Özellikle B12 vitamini kabukluklular sınıfı deniz ürünlerinde oldukça fazla miktarda bulunmaktadır [43].

2.2.4 Mineral İçeriği

Minerallerin insan vücudunda tamamlayıcı besin öğeleri olarak birçok farklı fonksiyonu bulunmaktadır. Magnezyum (Mg), Fosfor(P), Kükürt (S), Sodyum (Na), İyot (I), Potasyum (K), Klorür (Cl) ve Kalsiyum (Ca) gibi birçok mineral deniz ürünlerinin içeriğinde bulunmaktadır. Bunların yanı sıra Çinko (Zn), Mangan (Mn), Selenyum (Se), Bakır (Cu), ve Demir (Fe) bakımından da zengindirler. Özellikle balık kemikleri ve derisi kalsiyum ve fosfor açısından zenginlik göstermektedir [43].

2.2.5 Deniz Ürünleri Kaynaklı Enzimler

Enzimler canlıların yaşamsal fonksiyonlarında hayati önem taşıyan reaksiyona girme özellikleri yüksek olan biyokatalizörlerdir. Bu yapılar analitik kimya ve biyokimyada, fonksiyonel gıda üretiminde, tıp ve eczacılıkta, kağıt ve deri işleme gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Deniz ürünleri ve atıkları yapılarında farklı katalitik ve yapısal özelliklerdeki yüzlerce enzim bulundurmaktadır. Deniz ürünlerinden en fazla kitinaz, sistein hidrolaz familyası amidazlar, mannosidaz, galaktosidaz, hiyalurunoglukosidaz, aldolaz, trimetilamin oksit demetilaz, karnosinaz, laktat dehidrojenaz, thiaminaz, hidrolaz enzimleri, alkalin fosfataz, tripsin, arginin kinaz, pepsin gibi enzimler üretilmektedir [45]. Deniz ürünlerinden elde edilen özel enzimlerin bazıları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Deniz ürünlerinde üretilen bazı özel enzimler [45]

Enzim	Kaynak	Özellik
Laktat dehidrojenaz	Derin-su balıklar	Atmosfer basıncında proteolize daha dayanıklı
Pepsin/Gastriksin	Tuzlu su balıklar	Pepsin izoformları NaCl ile aktive olur

Tablo 2.1 Deniz ürünlerinde üretilen bazı özel enzimler (devamı) [45]

Tripsin	Deniz memelileri/Somon	pH stabilitesi daha yüksek
Sindirim proteinazları	Kalamar	Sistein proteinaz yapıda
Sinidirm peptidazları	Deniz omurgasızları	Ekzopepdidaz özellikte

2.2.6 Kitosan, Kitin ve Benzeri Ürünler

Kitin (poli-1,4-N-asetil-D-glikozamin) ve kitosan (de-asetile kitin) deniz ürünlerinin işlenmesi sonucu oluşan yan ürünlerdir. Karides, ıstakoz, yengeç, istiridye gibi yumuşakçalar ve eklem bacaklılar başlıca kitin ve kitosan kaynağıdır.

Kitosan ve kitin; doğal, yüksek molekül ağırlıklı, toksik-olmayan, suda sınırlı çözünür veya suda-çözünmez, su tutma kapasiteleri yüksek, biyobozunur, film yapma özelliklerine sahip polimerlerdir. Bu özelliklerinden dolayı su arıtma, gıda, kağıt işleme, tarım, kimya, kozmetik, biyoteknoloji, tıp gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Gıda sektöründe ambalaj uygulamaları, kaplama materyali, filtre ortamı, antimikrobiyal koruyucu, fonksiyonel gıda maddesi ve jelleştirici katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Kitosanın kullanıldığı gıda maddelerinde önemli ölçüde lipit oksidasyonunu geciktirdiği ve antioksidan etkisi gösterdiği belirlenmiştir [45].

2.3 Karides

Karidesler, kabuklular (Crustacea) sınıfının on ayaklılar (Decapoda) takımındandır, Karideslerin boyutları değişkenlik göstermekte olup birkaç milimetreden 35 cm'ye kadar farklı boyutlarda bulunabilmektedir.

Tablo 2.2 Karideslerin sınıflandırılması [46]

Şube	Arthropoda
Sınıf	Crustacea
Altsınıf	Malacostraca

Tablo 2.2 Karideslerin sınıflandırılması (devamı) [46]

Üsttakım	Eucarıda
Takım	Decapoda
Alttakım	Penaeidea

Karidesler dünya genelinde geniş bir alana yayılmıştır. Karideslerin yaklaşık iki bin beş yüz türü bilinmekte olup bunların sadece üç yüz kadarı ticari öneme sahiptir. Özellikle yüz kadarı dünyadaki avcılığın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.



Şekil 2.4 Karides [47]

Karidesler çoğu dünya ülkesi için tüketici talebi yüksek bir deniz ürünüdür. Karidesler üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde oldukça fazla miktarda bulunmaktadır. Özellikle Marmara Denizi, Akdeniz ve Ege Deniz'inde daha çok bulunmaktadır. Bunlardan Penaeus japonicus, Metapenaeus stebbingi, Metapenaeus monoceros, Penaeus semisulcatus ve Trachypenaeus curvirostris Kızıldeniz kökenli olup Ege ve Akdeniz sahillerinde; Parapenaeus longirostris ve Penaeus kerathurus ise Karadeniz haricindeki denizlerimizde yaygın olarak bulunmaktadır. Karadeniz'de ticari öneme sahip türlere rastlanmamaktadır; bunun nedeni ekolojik koşulların karidesler için uygun olmamasıdır. Başta Hindistan, Malezya, Japonya gibi Uzakdoğu ülkeleri olmak üzere birçok ülkede yoğun bir şekilde karides yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Ülkemiz karides yetiştiriciliği için uygun iklim şartlarına sahip bir coğrafyada bulunmaktadır. Diğer birçok ülkede yoğun bir yetiştiricilik yapılmasına ve karideslerin

kontrollü olarak avlanmasına karşın, ülkemiz denizlerinde yaşayan karides türleri tam olarak araştırılmadığı için bilinen türlerin mevcut stokları da tam olarak belirlenememiştir [48]. Ülkemizde karidesin yıllara göre üretim miktarları Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3 Karidesin üretim miktarları (ton) [49]

Yıllar	**Karidesler (ton)**
2000	2000
2001	3000
2002	4000
2003	6000
2004	5279
2005	6339
2006	3856
2007	3917
2008	4668
2009	4614
2010	4705
2011	4770
2012	5038
2013	4028
2014	4416
2015	3995
2016	4501
2017	4730

Ülkemizde çalı karides, pembe karides ve diğer karides türleri taze, dondurulmuş, soğutulmuş ve su buharında pişirilmiş olmak üzere dört farklı şekilde başta İtalya, Almanya, İspanya, Yunanistan Fransa gibi ülkelere ihraç edilmektedir. Özellikle Japonya, Kanada ABD ve bazı Avrupa ülkelerinden gelen yoğun talep lüks deniz ürünleri sınıfına giren karidesin fiyatlarında çok hızlı bir artışa neden olmaktadır. Türkiye'de ve dünyada 2017 yılında gerçekleşen karides ithalat ve ihracat verileri Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4 2017 yılı karides ithalat-ihracat verileri [50]

2017 Dünya İthalat ($)	**2017 Dünya İhracat ($)**	**2017 Türkiye İthalat ($)**	**2017 Türkiye İhracat ($)**
15.491.759,00	18.274.379,00	4.464,00	5.918,00

Genellikle az gelişmiş ülkelerin denizlerinde bulunan karides populasyonlarının bilinçsiz ve aşırı şekilde avlanması ürün stoklarına azalmasına sebep olmuştur. 2016 yılı verilerine göre su ürünleri sektöründe 171 milyon ton toplam su ürünleri üretiminin 80 milyon tonu yetiştiricilikten elde edilmiştir [51]. Su ürünleri yetiştiriciliğinde karides ve kerevit gibi eklembacaklıların üretimi, 7,9 milyon ton ile balık ve kabuklulardan sonra 3. büyük üretim grubunu oluştururken, ekonomik değer bakımından 57.1 milyar dolarlık gelirle balıklardan sonra 2. büyük grubu oluşturmaktadır.

Tablo 2.5 2016 yılı deniz ürünleri yetiştiricilik değerleri [51]

Yetiştiricilik Grupları	**Üretim (Milyon Ton)**	**Üretim (%)**	**Ekonomik Değeri (Milyar $)**	**Ekonomik Değeri (%)**
Balık	54.1	68	138.5	60
Kabuklu	17.1	21	29.2	12
Eklembacaklı	7.9	10	57.1	25
Diğerleri	0.94	1	6.8	3

Tablo 2.5'deki verilerde görüldüğü gibi eklembacaklıların yetiştiriciliği Dünya'da hızlı bir gelişme göstererek su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli bir yer almıştır. Araştırmaların önemli bir kısmı penaeid karides yetiştiriciliği endüstrisinin büyüklüğü, pazar değerinin yüksek oluşu, tüm kabuklu yetiştiriciliğinin yarısından fazlasını oluşturmasından dolayı çoğunlukla penaeidler üzerinde yapılmıştır (Tablo 2.6). Yetiştiriciliği yapılan karides türleri arasında beyaz karides (Litopenaeus vannamei), dev kaplan karidesi (Penaeus monodon) ve nehir karidesi (Marsupenaeus Nipponense) gibi türler ön plana çıkmaktadır [52].

Tablo 2.6 Yetiştiriciliği yapılan eklembacaklı türleri, üretim miktarı ve yüzdesi [51]

Eklembacaklı Türleri	**Üretim Miktarı (Milyon Ton)**	**Üretim Miktarı (%)**
Beyaz Karides Litopenaeus Vannamei	4156	52.86
Kırmızı Kerevit Procambarus Clarkii	920	11.70
Çin Yengeci Eriocheir Sinensis	812	10.33
Dev Kaplan Karidesi Penaeus Monodon	701	8.91
Oriental Nehir Karidesi Macobrachium Nipponense	273	3.47
Dev Tatlısu Karidesi Macrobrachium Rosenbergii	234	2.98
Diğer Eklembacaklılar	767	9.76
Eklembacaklılar Toplam	7862	-

2.3.1 Karidesin Depolanması

Karidesin proteince zengin bir gıda ürünü olmasının yanı sıra, bağ dokusu yönünden zayıf olması daha kolay sindirilebilen bir deniz ürünü olmasını sağlamakta ancak, aynı zamanda kolay bozulmasına sebep olmaktadır. Kolay bozulmasının diğer nedenleri arasında bakteriyel ve enzimatik aktivitelerde yer almaktadır. Çok kısa sürede bozulan gıda ürünlerinden biri olan karidesler avlandıktan kısa süre sonra canlılıklarını kaybetseler de dokuları hala biyokimyasal olarak aktif durumdadır. Dolayısıyla hem orijinal hem de bakteriyel enzimlerin aktivitesi sonucunda hızlı bir bozulma süreci gerçekleşmektedir. Karideslerin depolanması sırasında diğer deniz ürünlerinde olduğu gibi bir takım değişimler meydana gelmektedir [53].

Avlandıktan kısa bir süre sonra canlılığını kaybeden karideslerin çevre koşullarına karşı dayanıksız olmaları renginin kısa bir sürede değişmesine ve alkali özellik göstermesine sebep olmaktadır. Bu yüzden karideslerin fiziki ve besinsel kalitesini korumak için dondurularak muhafaza edilmeleri ya da hemen işlenmeleri gerekmektedir. Karideslerin muhafaza edildiği sıcaklık düştükçe raf ömürlerinde artış meydana gelmektedir.



Şekil 2.5 Donmuş karides [54]

Duyusal analiz sonuçları deniz ürünlerinin tazeliğinin belirlenmesinde en güvenilir kriterlerdendir. Sonuçları uygun olmayan karidesler tüketime sunulmamalıdır. Duyusal analiz tek başına yeterli olmadığından bunun kimyasal ve fiziksel analizlerle de desteklenmesi gerekmektedir.

pH tayini kalite kontrol yöntemlerinin en sık kullanılanıdır. Bakteri ve enzimlerin etkisi ile organizmanın oksidoredüksiyon dengesi bozulmakta olup hidroksil (OH) ve serbest hidrojen iyonlarının (H^+) derişimlerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu da pH'ın

değişmesine sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalarda tüketime hazır kabuklu deniz ürünlerinde pH'ın 7-8 arasında olması gerektiği tespit edilmiştir [55].

TVB-N (Toplam Uçucu Bazik Azot) tayini yöntemi, deniz ürünlerinin kalitesinin belirlenmesinde en çok kullanılan kimyasal yöntemlerdendir. Ürünlerin depolamanması esnasında TVB-N değerinde yükseliş görülmektedir. Toplam uçucu bazik azot değerleri, duyusal analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilmelidir. TVB-N değeri;

- 25 mg/ 100 g çok iyi,
- 30 mg/ 100 g TVB-N'e kadar iyi,
- 35 mg/ 100 g TVB-N'e kadar pazarlanabilir
- 35 mg/ 100 g TVB-N üstü ise deniz ürünlerinin bozulmuş olduğu şeklinde değerlendirilmektedir.

Kimyasal yöntemlerden bir diğeri de Trimetilamin-azot (TMA-N) tayinidir. Trimetilamin genellikle balıksı olarak ifade edilen bir kokuya sahiptir ve TMA-N miktarı artışı bozulma ile paralellik göstermektedir. TMA-N değerinin 1-8 mg/100 g olmasının deniz ürünlerinin tüketime uygun olduğu, 8 mg/ 100g TMA-N değerinin bozulmuşluğu gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 2.7' de +20°C'de yani hemen hemen oda sıcaklığında muhafaza edilen karideslerin, Tablo 2.8'de ise soğukta depolanan karideslerin duyusal, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle kalitesindeki değişimi gösterilmektedir. +4 °C ± 1 sıcaklıkta depolama süresinin iki gün olduğu görülmektedir [56].

Tablo 2.7 Yaklaşık oda sıcaklığında (+20 °C ± 1) depolanan karideslerin duyusal değerlendirme, ağırlık kaybı, nem, pH, TMA-N TVB-N TVB-N değerleri [56]

Depolama Süresi	**Duyusal Değerlendirme**	**Nem(%)**	**Ağırlık Kaybı**	**pH**	**TVB-N (mg/100g)**	**TMA-N (mg/100g)**
0.GÜN	9,46	82,70	0,00	6,53	13,09	0,85
1.GÜN	4,67	78,95	4,54	6,81	68,52	16,90

Tablo 2.8 Soğukta (+4 °C ± 1) depolanan karideslerin duyusal değerlendirme, nem, pH TMA-N ve TVB-N bulguları [56]

Depolama Süresi	Duyusal Değerlendirme	Nem(%)	pH	TVB-N (mg/100g)	TMA-N (mg/100g)
Başlangıç	9,00	77,70	6,73	22,95	1,75
1.Gün	6,62	76,28	6,96	23,98	2,95
2.Gün	3,9	77,34	7,1	40,21	8,00
3.Gün	2,31	75,50	7,25	60,12	17,5
4.Gün	2,06	76,80	7,81	109,15	19,7

*Duyusal değerlendirme puanları = 9,0- 7,0 arası çok iyi, 6,9- 4,0 arası iyi, 3,9- 1,0 arası bozulmuş

Gıdaların dondurulması işlemi, sıvı N_2 ve CO_2 kullanılarak bireysel hızlı dondurma ya da güçlü hava akımında dondurma (şoklama) şeklinde yapılabilmektedir. Dondurma, gıdaların korunmasında etkili bir yöntem olmasına karşın, muhafaza esnasında dondurulmuş gıdaların kalitesinde kayıplar gözlenmektedir. Yağların oksidasyonu, renk solması, buzun süblimasyonu, proteinlerin denatürasyonu ve rekristalizasyonu dondurulmuş karideslerde görülen önemli kalite değişiklikleridir. Bu değişiklikler; ağırlık kaybına, dehidrasyona, acılaşmaya, üründe sululuğun azalmasına, kötü lezzete, su bağlama kapasitesinin azalmasına, tekstürel değişikliklere neden olmaktadır [53].

3
KURUTMA

3.1 Gıda Muhafaza Yöntemleri

Gıda ürünleri fiziksel, biyolojik veya kimyasal etmenlerin ayrı ayrı ya da birlikte meydana gelmesinden dolayı bozulabilmektedir. Mikroorganizmalar (bakteri, küf, maya), lipid oksidasyonu (oksidatif ransidite), enzim faaliyetleri, enzimatik olmayan esmerleşme (maillard) reaksiyonları ve fiziksel (çarpma, ısı vs.) etkiler bu bozulmalara sebep olabilmektedir. Bu şekilde bozulmaya sebep olan bu etmenleri ortadan kaldırmak ya da engellemek için gıda muhafaza yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

- Kurutma,
- Isıl işlem (pastörizasyon, sterilizasyon),
- Fermantasyon
- Koruyucu katkı maddeleri ilavesi (tuzlama ve şekerleme),
- Dumanlama (tütsüleme)
- Dondurma,
- Konserveleme,
- Soğukta muhafaza,
- Işınlama.

Kurutma yöntemiyle muhafaza en çok tercih edilen ve en etkili yöntemlerdendir. Kurutma ile gıdanın nem içeriğinin düşürülmesiyle; muhafaza süresi artırılarak enzimlerin ve mikroorganizmaların çalışmasına engel olacak bir ortam sağlanması amaçlanmaktadır. Doğal kurutma güneş altında, yapay kurutma ise endüstriyel tesislerde yapay kurutma yöntemleri ile yapılmaktadır.

Gıdaların ısıl işlem yoluyla muhafazasında asitli gıdalar, 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda "pastörize" edilerek; düşük asitli gıdalar ise 100°C'nin üzerinde "sterilize" edilerek dayanıklı hale getirilmektedir.

Gıdaların fermantasyon ile muhafazası, hayvansal ve bitkisel ürünlerden doğal yolla ya da başlatıcı kültürlerin (maya, bakteri ve mantarlar gibi mikroorganizmalar ve enzimler) eklenmesiyle üretim gerçekleştirilmesidir. Fermente ürünler faydalı mikroorganizmaları barındırmaları sayesinde bozulabilir besinleri muhafaza etmektedir [57].

Gıdaların koruyucu madde ile muhafazasında, dayanımını arttırmak için ulusal ve uluslararası standartlarda belirlenen miktarlarda kimyasal koruyucu maddeler eklenmektedir. Bu kimyasallar, mikroorganizmaların çoğalmasını ve çalışmalarını durdurucu etkiye sahip antimikrobiyal kimyasallar ile oksijenin etkisiyle gıdalarda meydana gelen acılaşma ve değişmelere engel olan antioksidanlardır. Mikrobiyolojik bozulmaları ortadan kaldırmak için gıdalara ilave edilen şeker, tuz ve sirke gibi maddeler de koruyucu maddeler grubuna girmektedir [58].

Gıdaların tütsüleme ile muhafazasında; eskiden ürünün muhafaza edilmesi amaçlanırken, günümüzde daha çok tütsü renginden ve aromasından faydalanılarak gıdanın çekici hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Geleneksel tütsüleme yönteminde tuzlanmış gıda direkt dumana temasıyla tütsülenir. Tütsüleme yönteminde kurutma ve tuzlama ile ürünün su aktivitesi azalmış olup tütsünün yapısında yer alan maddeler mikroorganizma faaliyetini azaltıcı etki yapmaktadır.

Gıdaların dondurma ile muhafazasında; -18°C veya daha düşük sıcaklıklarda dondurma işlemi gerçekleştirilmektedir. Dondurma işlemi sırasında genellikle mikroorganizmalar yok olmazlar fakat üremeleri durur, ayrıca bu sırada parazitler parçalanabilirler. Bu nedenle, parazitlere sıkça rastlanan gıdalar (domuz eti, balık vs.) dondurularak parazitlerin parçalanması sağlanmaktadır.

Gıdaların konserveleme ile muhafazasında; gıdaların içerisinde bulunan mikroorganizmaların yok olmasını sağlayacak sıcaklıkta işlendikten sonra steril biçimde havasız ortamda kapatılmasıyla gerçekleşmektedir.

Gıdaların soğuk uygulaması ile muhafaza yönteminin esası; patojen mikroorganizmalar 5°C'nin üzerinde gelişebildikleri için, gıdaların 5°C'nin altındaki sıcaklıklarda muhafaza

edilmeleridir 5°C'nin altında patojen mikroorganizmalar üreyebilse dahi, bu son derece yavaş gerçekleşmektedir.

Gıdaların ışınlama yöntemiyle muhafazasında, mikroorganizmaların DNA'sına zarar verilerek mikrobiyal faaliyetlerin azaltılması amaçlanmaktadır. Işınlama uygulaması yapılan gıdanın ısısının önemli oranda yükselmemesi nedeniyle bu muhafaza işlemi soğuk bir işlem olarak kabul edilmektedir. Bu işlemin avantajları; ambalajlanmış son ürün için de uygulanabilir olması, kimyasal kalıntı bırakmaması ve işletme maliyetinin göreceli olarak düşük olmasıdır [59].

3.2 Kurutma

Gıda endüstrisinde kullanılan "kurutma" terimi genel olarak, yarı işlenmiş, ham ya da işlenmiş katı, sıvı veya yarı sıvı gıdaların içeriğinde bulunan suyun büyük bir bölümünün kontrollü koşullarda ısı uygulanarak buharlaştırılması ya da süblimasyon yoluyla materyalden giderilmesini ifade etmektedir. Bu yöntemin endüstriyel boyuta taşınması ilk olarak 1795 yılında Fransa'da bir fırın kurutucusunun sebze ve meyvelerin kurutulmasında kullanılması ile başlamıştır. Daha sonra özellikle savaş yıllarında uzun süre saklanabilecek gıdalara ihtiyaç duyulmasından dolayı gitgide yaygınlaştırılmıştır. İnsanoğlunun ilk zamanlarından beri uyguladığı en eski ve en yaygın gıda saklama yöntemi olan kurutarak saklama; pek çok saklama yöntemi olmasına rağmen, daha az donanım, daha az işçilik gerektirdiğinden hala en çok tercih edilen yöntemdir.

Sebze, meyve ve bünyesinde su bulunduran gıda ürünlerinin içeriklerindeki fazla su sebebiyle uzun süre saklanmaları zordur çünkü fazla su, gıdaları bozan mikroorganizmaların üreyip yaşaması için elverişli bir ortam oluşturmaktadır. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere et ürünlerinden meyve sebzelere kadar hemen hemen her gıdaya kurutma işleminin uygulanması mümkündür [60].



Şekil 3.1 Kurutulmuş gıdalar [61]

Gıdaların bileşiminde çok farklı oranlarda bulunabilen su; duyusal özelliklerini, kalitesini ve güvenliğini kimyasal, mikrobiyolojik ve fiziksel yollarla etkileyen en önemli bileşendir. Bu zararlı ortamın yok edilmesi, besinlerin kurutulup içeriklerinden suyun uzaklaştırılmasıyla mümkündür. Kurutma aynı zamanda gıdaların su içeriğini azaltarak, su aktivitesini düşürmek ve böylece biyokimyasal, mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmaları önlemek amacıyla endüstriyel ölçekte uygulanan bir muhafaza yöntemidir. Kurutmada temel amaç, yaş ürünlerdeki serbest varlığını ortadan kaldırarak mikroorganizmaların gelişmesini ve ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları durdurup üreyemeyeceği bir seviyeye indirerek gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre muhafaza edilmelerini sağlamaktır.

Kurutmanın diğer avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Kurutulan besinlerin boyutları küçülüp ağırlıkları azalacağı için ambalaj masraflarını düşürmektedir. Dolayısıyla taşınmaları da kolay olmaktadır.
- Kuru gıdalar geniş bir kullanım alanına sahiptirler.
- Kuru gıdalar, konserve halinden daha ucuza mal olmaktadır.
- Kuru gıdaların besin ve kalori değeri, aynı miktarlarda yenilen yaş besinlerinkinden daha yüksektir.

Su ve gıda arasındaki fizikokimyasal ilişkiyi anlamak gıdanın işlenme, depolanma ve paketlenme süreçlerinin uygun bir şekilde yapılması ve kalite stabilitesinin sağlanması bakımından önemlidir. Gıda işleme yöntemlerinden en çok kullanılan kurutma işlemi için de su aktivitesi değerinin iyi anlaşılması oldukça önem taşımaktadır.

Gıdaların su içerik oranları %50 civarında olsa dahi su aktiviteleri 0,90'dan fazla olabilmektedir. Gıdalar su aktivitelerine göre, nemli gıdalar (a_w>0,92), yarı nemli gıdalar (0,62<a_w<0,92) ve kuru gıdalar (a_w<0,62) olarak gruplandırılmaktadır [62].

3.3 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

Gıdaların kurutma işlemleri sırasında kurutmanın hızı pek çok farklı değişkenden etkilenmektedir.

3.3.1 Sıcaklık

Kurutma sıcaklığı kurutma esnasında kuruma hızını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Kurutma işleminde sıcaklık arttıkça difüzyon hızı artmakta olup buna bağlı olarak kurutma hızı artmaktadır. Kuruma hızı arttıkça kurutma süresi de kısalmaktadır.

Gıdaların kurutulması işleminin yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmesinin avantajları şu şekildedir;

- Yüksek sıcaklıklarda havanın nem tutma oranının yüksek olmasından dolayı yüksek buhar basıncı sağlanmakta olup daha hızlı kurutma gerçekleşmektedir,
- Gıdanın erişeceği denge nem içeriği yükselmektedir.
- Isı kayıpları en aza indirilmiş olur,

Yüksek sıcaklıklarda kurutmanın gerçekleştirmesinin sağladığı avantajların yanı sıra bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Özellikle ince tabaka halindeki gıdalarda yüksek sıcaklıklarda yanmaya bağlı olarak besin değerlerinde kayıplar meydana gelebilmektedir [63].

3.3.2 Kurutma Havasının Hızı

Kurutucudaki kurutma havasının hızı gıdaların kurutma hızını etkileyen diğer bir faktördür. Kurutma havasının belirlenen sıcaklıkta üründen absorplayabileceği nem miktarı sınırlı seviyededir. Özellikle hava hızının düşük olduğu durumlarda gıdanın yüzeyinden absorplanan nem miktarı, kurutma havasının kısa zamanda doygun hale gelmesine sebep olmakta ve hava debisinin düşük olması nedeniyle doygun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi zaman almakta, bunun sonucu olarak gıdanın kurutulması uzun sürmektedir.

Yüksek kurutma havası hızında, hava akımı sayesinde doygun havanın doygun olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu nedenle, kurutma işlemlerinde kurutma havası hızının yüksek olması tercih edilmektedir.

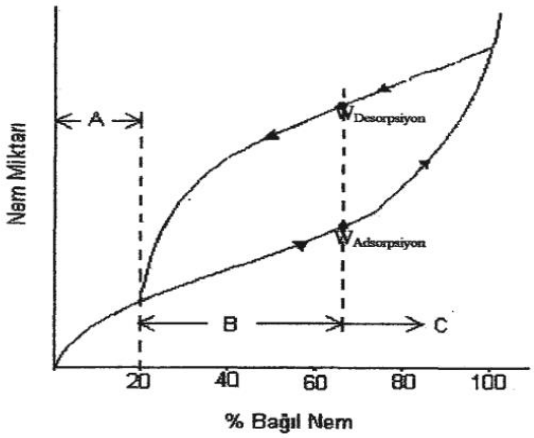
Hava hızının olumlu etkisi, kurutmanın periyoduna göre değişkenlik göstermektedir. Hava hızı kurutma işleminin başlangıç aşamalarında çok etkili olmasına rağmen ileriki aşamalarda kuruma hızı alt kısımlardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bir katkısı bulunmamaktadır [64].

3.3.3 Kurutulan Gıda Yüzey Alanı

Kurutulacak gıda maddesinin birim yüzey alanı, kütle ve ısı aktarım hızını etkileyen bir diğer faktördür. Etkin bir kurutma gerçekleştirilebilmesi için kurutulacak üründe daha büyük yüzey alanı elde edilip daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini sağlamak amaçlanmalıdır. Bunun içinde kurutulacak ürünün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmesi gerekmektedir. Bu şekilde nemin uzaklaşacağı alan arttırılmış olacaktır. Kurutulacak gıdanın çok ince dilimlere bölünmesi yanmasına sebep olacağından, kullanılabilecek optimum dilim kalınlığı seçilmelidir. Küçük parçalar ya da dilimler, ısının kurutulan gıdanın merkezine ilerleme süresini azaltarak daha kısa zamanda suyun uzaklaştırılmasını sağlar. Kurutma hızı gıdanın yüzey alanı arttıkça artmakta ürün dilim kalınlıkları arttıkça azalmaktadır [65].

3.3.4 Ortamın Nem İçeriği

Kurutma prosesi tasarlanırken işlemin ekonomik olmasının yanı sıra kaliteli ürün eldesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Kontrol, sıcaklık ve nem dağılımının belirlenmesi ile yapılmaktadır. Sabit sıcaklıkta çevre bağıl neminin değişimi veya sabit nemde çevre sıcaklığının değişimi, gıda ve su arasındaki ilişkiyi etkiler. Ortamda bulunan su buharı miktarına göre kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı değişkenlik göstermektedir. Ortamın nemi arttığında ve azaldığında kurutulacak gıdadaki nem değişimi farklı karakteristik özelliklere sahip olmaktadır. Gıdanın bulunduğu ortamdaki havanın nem içeriği ile ilgili sorbsiyon izotermleri Şekil 3.2’ deki gibidir.



Şekil 3.2 Sorbsiyon izotermi [62]

Sıcaklığın sabit olduğu durumda ortamdaki nemin artması ile meydana gelen maddenin içerdiği nem miktarındaki değişim adsorbsiyon, ortamdaki nemin azaltılması ile nem miktarında meydana gelen değişim ise desorbsiyon olarak tanımlanmaktadır. Genellikle birçok ürün için bu izoterm eğrileri birbirinden farklılık göstermektedir [66].

A bölgesinde su tamamen ürüne bağlı haldedir. A bölgesinde biyolojik ve kimyasal tepkimeler görülmemekte olup buradaki bağlı su monomoleküler bir katman oluşturmaktadır. C bölgesindeki su serbest halde olup kurutulacak ürünlerin bozulmasına neden olan reaksiyonlara sebep olmaktadır. B bölgesinde ise kısmen bağlı olarak bulunan su, orta nemli gıdalar olarak adlandırılan grubu oluşturur.

Ortamdaki nem oranı arttıkça kurutulacak maddede adsorbsiyon gerçekleşirken, nem oranı azaldıkça desorpsiyon gerçekleşmektedir. Verimli bir kurutma işleminin gerçekleşmesi için ortamın nem oranının düşük olması istenmektedir [65].

3.3.5 Su Aktivitesi (a_w)

Su aktivitesi değeri, suyun fizikokimyasal ve termodinamik özellikleriyle ilgili bir parametre olmasından dolayı su içeriğine (% m) göre gıda depolanması ve işlenmesinde daha belirleyici özelliktedir. Koligatif özellikler, aktif uçlar yüzey etkileşimleri ve kapillerite genel olarak su aktivitesi üzerinde etkili olmaktadır. Tek tabaka ve çok tabaka suyu ile kapiler su olmak üzere üç farklı fizikokimyasal özellikte olan su, gıdadaki serbest suyu oluşturmakta ve su aktivitesine sebep olmaktadır [62].

Birçok kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyon gıdaların yapısında bulunan serbest su içeriğine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Gıdalardaki bağlı olarak bulunan su

ise hidrojen bağı yapma kapasitesinin tamamını makromoleküllerin iç yüzeylerindeki suyu seven (hidrofilik) gruplarla yapmış ve bu makromoleküller tarafından tuzaklanmış su olarak tanımlanmaktadır. Bağlı su tüm hidrojen bağlarını makromoleküllerle yaptığı ve tuzaklandığı için su aktivitesine neden olmamaktadır. Saf bir çözücünün içerisine çözücü ile reaksiyona girmeyen ve çözünen bir madde eklendiğinde, çözücünün bazı fizikokimyasal özellikleri çözünen maddenin molekül ağırlığına, molekül sayısına ve iyonlaşma durumuna bağlı olarak değişmektedir. Çözücünün kaynama noktasının yükselmesini ve buhar basıncının düşmesini de kapsayan bu değişimlere neden olan fiziko-kimyasal etkiler koligatif özellikler olarak tanımlanmaktadır. Saf sudaki bir su molekülünün buhar fazına geçebilmesi için diğer su molekülleri ile birlikte kalmasını sağlayan hidrojen bağlarından kurtulması gerekir. Bunun için gerekli olan enerji, buharlaşma entalpisi olarak tanımlanır. Su ve gıda bileşenleri arasındaki etkileşimler buhar fazına geçen su moleküllerinin sayısında bir azalmaya, dolayısıyla buhar basıncında da bir düşmeye neden olur. Su aktivitesinin tanımı gereği buhar basıncı düşüşüne neden olan bu durum su aktivitesini azaltıcı yönde etki eder. Gıdalarda deneysel olarak ölçülen ve hesap edilen su aktivitesi değerleri arasındaki sapmalar çok küçüktür. Proteinler ve polisakkaritler gibi makromoleküller hidrofilik uçlar içerdiği için, su ile hidrasyon oluştururlar. Lipit gibi hidrofobik uçlar içeren bileşikler de suyun hareketliliğini kısıtlayarak suyun hidrofobik bileşenlerden belli bir uzaklıkta ve düzende durmasını sağlarlar. Buna hidrofobik hidrasyon denir. Hidrofobik ve hidrofilik etkileşimlerde bulunan suyun fizikokimyasal özellikleri saf suyun özelliklerinden farklıdır [65].

Gıdalarda bulunan su; bünyesindeki çözünen ve çözünmeyen gıda bileşenleri ile sürekli bir etkileşim halindedir. Bu etkileşimlerin sonucu olarak da gıdadaki suyun buhar fazına geçebilmesi için, saf suya göre daha fazla enerji gerekli olmaktadır. Bu yüksek enerji gereksinimi, buhar fazındaki molekül sayısının azalması nedeniyle su aktivitesini düşürücü bir etki yapmaktadır. Bu etki, düşük su aktivitesi değerlerinde daha büyük olmaktadır [67].

3.3.6 Ortamın Basıncı

Bilindiği üzere su 1 atmosfer basınçta 100°C'de kaynar. Bu değerin altındaki basınçlarda kaynama olayı daha düşük derecelerde meydana gelmektedir. Bir başka deyişle, kaynama derecesi sabit tutularak basınç düşürüldüğü sürece kaynama işlemi hızlanacaktır. Ürünü

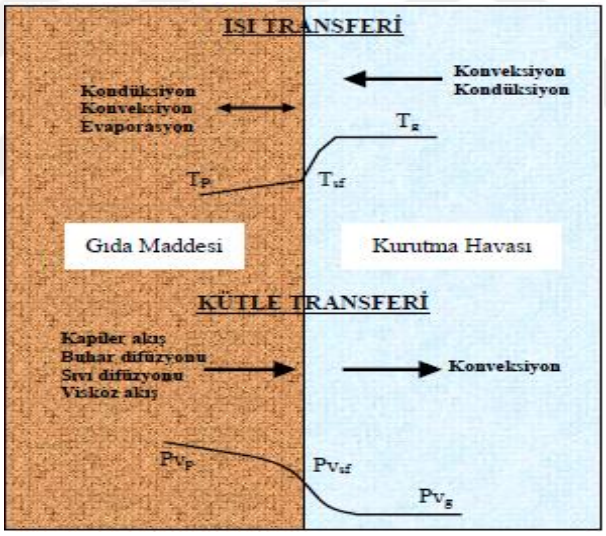
atmosfere kapalı bir ortama koyarsak üründeki su daha düşük sıcaklık derecelerinde uzaklaştırılabilir. Bu olay, ısıya duyarlı ürünlerde düşük kurutma dereceleri ve kısa süreli kurutma yönünden önem taşır [68].

3.3.7 Ürünün Kimyasal Bileşimi

Gıdanın kimyasal yapısı kurutma işlemi sırasında değişkenlik göstermektedir. İçerisinde tuz, şeker gibi çözünmüş maddeler bulunduran ürünler, nişasta ve pektin içeren maddeler, glikoz ve yağ içeren ürünler daha uzun sürede kurumaktadır. Gıdanın homojenliğini bozan çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürdüğü için bu durum gıda içerisinde bulunan suyun buharlaşmasını zorlaştırmaktadır [68].

3.4 Kurutma Prensipleri

Kurutma, ısı ve kütle transferlerinin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi sonucunda ürün içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması prosesidir. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları Şekil 3.3'de gösterilmektedir.

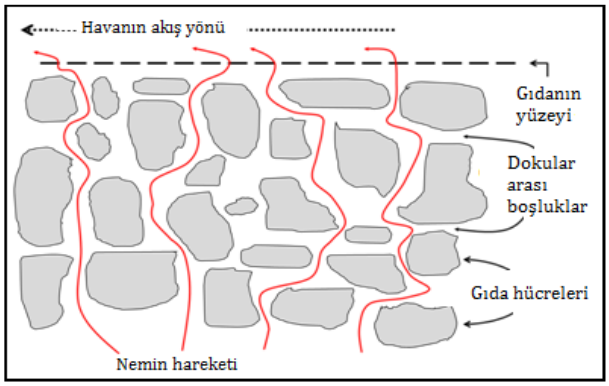


Şekil 3.3 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları [63]

3.5 Kurutma Safhaları

Kurutma işlemi başlamadan önceki nem miktarı kurutma şartları için, kurutma sonrasındaki nem miktarı ise depolama şartları için önemli parametrelerdir. Deney öncesi ve sonrasında seçilen numunelerde nem miktarı tayini yapılmalıdır [30].

Katılardaki nem bağıl nem ve bağıl olmayan nem olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bağıl olmayan nem evaporasyon ve vaporizasyon olmak üzere iki yöntemle uzaklaştırılmatakdır. Kurutma sırasında nemin hareketi Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Kurutma sırasında nemin hareketi [69]

Her iki yöntemde buharlaştırma prensibine dayanmakta olup arada bazı farklılıklar bulunmaktadır Evaporasyon, katı yüzeyindeki buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olduğunda gerçekleşen buharlaşma işlemidir. Kurutma işlemi, ısıya duyarlı ise evaporasyon olayındaki sıcaklık, kaynama sıcaklığı ve basıncın düşürülmesiyle azaltılabilmektedir. Eğer basınç üçlü noktanın altına düşürülürse, sıvı faz yok olur ve materyaldeki nem donmuştur. Bu halde bir maddenin ısıya maruz kalması buzun doğrudan su buharına süblimleşmesine neden olur ve dondurarak kurutma işlemi gerçekleşmiş olur.

İkinci yöntem olan vaporizasyonda kurutma konveksiyonla gerçekleşir ve bu sıcak havanın doğrudan ürüne iletilmesidir. Hava ürün tarafından soğutulur ve nem üründen havaya transfer olur. Bu bağlamda katı üzerindeki nemin doygun buhar basıncı atmosferik basınçtan daha azdır. Katının kurutma davranışı, nem içeriği kaybının zamana oranlanmasıyla karakterize edilebilmektedir. Su içeren ürünler nem içeriklerine göre farklı kuruma davranışları göstermektedirler. Hava kurutma proseslerinde, sabit debi periyodu ve azalan debi periyodu olmak üzere genellikle iki periyot görülmektedir [70].

3.6 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişiklikler

Gıdaların kurutulması sırasında kurutucunun tipine ya da kurutma parametrelerine bağlı olarak kimyasal, fiziksel, biyokimyasal ve mikrobiyolojik bir takım değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler gıdada kalite kaybına, besin değerinin olumsuz etkilenmesine ve gıdaların tüketiciler tarafından tercih edilmemesine sebep olmaktadır.

Tablo 3.1 Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelen değişiklikler [71]

Kimyasal Değişiklikler	**Fiziksel Değişiklikler**	**Biyokimyasal Değişiklikler**	**Mikrobiyolojik Değişiklikler**
Esmerleşme reaksiyonları	Rehidrasyon	Vitamin kayıpları	Mikroorganizmaların inaktivasyonu
Lipid oksidasyonu	Büzülme	Protein kayıpları	
Renk değişimleri	Dokusal değişiklikler		
	Kabuk bağlama		
	Kitle Yoğunluğundaki Değişimler		

Gıdaların bozulması gıdanın çeşidine, depolanması sırasındaki ortama, içeriğine ve kurutma şartlarına göre değişkenlik göstermektedir

3.6.1 Kimyasal Değişiklikler

3.6.1.1 Esmerleşme Reaksiyonları

Gıdaların işlenmesi ve saklanması sırasında esmerleşme reaksiyonları olarak adlandırılan bir takım değişiklikler meydan gelebilmektedir. Gıdanın yapısında meydana gelen esmerleşme reaksiyonları, gıdanın besin değerinin, renginin, tadının ve görünümünün değişmesine sebep olmaktadır. Tüketicinin alışkın olduğu geleneksel damak tadına

uyabildiği halde rengi ve tadı olumsuz etkilediğinden meyve ve sebzelerin kurutulması ve dondurulmasında genelde istenmeyen bir özelliktir.

Esmerleşme reaksiyonunun hızı; nem içeriğine, pH'a, kuruma hızına, kurutma süresine ve gıdanın bileşimine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Reaksiyon hızı; yüksek sıcaklıkta gerçekleşen kurutma işleminde ve yüksek şeker içeren gıdalarda daha fazladır. Özellikle gıdaların işlenmesi sırasında yüksek sıcaklıklarda işlem görmeleri nedeniyle renk değişimlerine sebep olurlar. Enzimlerin etkin olmadığı durumlarda varlıklarını gösterirler. Bu tip reaksiyonlarda; tıpkı enzimatik reaksiyonlarda olduğu gibi gıdanın kalitesinin azalmasına, renginin, kokusunun ve tadının değişmesine neden olur. Esmerleşme reaksiyonları depolama sırasında da görülebilmektedir. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları Maillard reaksiyonları ve karamelizasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Maillard reaksiyonları ilk defa; Fransız bir kimyacı olan Maillard tarafından 1912 yılında kesfedilmiştir. Maillard'a göre glikoz ve glisin içeren gıdalar yüksek sıcaklarda işlem gördüğünde kahverengi bir renge sahip melanoidlere dönüşmektedir. Bu değişim gıdanın sadece rengini değil, kokusunu, dokusunu ve tadını etkilemektedir. Maillard reaksiyonları, aminoasitlerin ve proteinlerin seker üstündeki etkilerini incelemektedir. Gıdanın içeriğindeki karbonhidrat indirgenmiş şeker olmalıdır. İndirgenmiş şeker, daha sonra melanoidlere ve amin yapılarına dönüşerek gıdanın kahverengi renk almasına neden olmaktadır. Maillard reaksiyonları sadece monosakkaritlerin varlığında değil disakkaritlerin varlığında (Laktoz, Maltoz vb.) da gerçekleşebilmektedir. Maillard reaksiyonları pek çok faktörden etkilenebilmektedir;

- Gıdanın nem içerigi
- Sıcaklık
- Zaman
- pH
- Su aktivitesi
- Oksijen-metal varlığı
- İnhibitörler

Diğer enzimatik olmayan reaksiyon tipi karamelizasyondur. Aminoasit veya proteinin olmadığı anhidrit ortamlarda gıdanın yüksek sıcaklıklarda işlem görmesi sonucunda

meydana gelmektedir. Reaksiyon mekanizması kısaca; gıdanın yapısında bulunan şekerin gıdanın kurutulması sırasında erime noktasının üzerine çıkarak karamelize olmasıdır. Değişik şeker yapılarının karamelize olma sıcaklıkları farklı farklıdır. Örneğin; Sakkaroz ve Glikoz yaklaşık 160°C sıcaklıkta karamelize olurken, Fruktoz, 110°C sıcaklıkta karamelize olmaktadır. Genel olarak asit veya baz katalizörlüğünde 120°C üstünde ve 3<pH<9 ortamında gerçekleşmektedir. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, istenmeyen renk değişimleri nedeniyle kurutulmuş gıdaların raf ömürlerinin kısalması, askorbik asit parçalanması, potansiyel toksik etkisi yaratması ve metal iyonları ile kompleks oluşturması sonucu minerallerin bozulması gibi dezavantajlarından dolayı istenmeyen reaksiyonlardır [12, 53].

3.6.1.2 Lipid Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu oksijenli ortamda, serbest radikallerin katalizörlüğünü yapan metallerin varlığında meydana gelmektedir. Gıdaların vitamin içeriklerini kaybetmesine, tat ve koku kayıplarına ve acılaşmaya neden olan önemli bir esmerleşme reaksiyonudur. Oksidasyon hızını etkileyen temel faktörler; kurutulan gıdanın nem içerigi, kurutma ortamında bulunan oksijen miktarı, sıcaklık, metal iyonlarının ve antioksidanların varlığı ve protein içeriği olarak sayılabilir. Gıdaların kurutulması ve depolanması sırasında ortamdaki oksijen miktarının düşürülmesi sayesinde lipid oksidasyonu engellenebilir [12, 32].

3.6.1.3 Renk Değişimleri

Gıdaların doğal renkleri pigment olarak tanımlanan maddelerden kaynaklanmaktadır. Renk, gıdaların duyusal özellikleri dikkate alındığında, tüketici tercihi bakımından önemli bir kriterdir.

Gıdaların kurutulması esnasında renk verici karoten pigmentleri, ısı ile bozunarak okside olmakta bu da gıdanın renginde değişimlere sebep olmaktadır. Genel olarak yüksek sıcaklıklar ve uzun kurutma süreleri gıdanın renginin değişmesine ve pigmentlerin daha çok bozunmasına sebep olmaktadır. Gıdaların renginin kurutma esnasında değişmesini engelleyebilmek için gıdanın türüne bağlı olarak askorbik asit ile yıkama veya sülfürleme gibi ön işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Tüketici tarafından kalitenin bir göstergesi olarak kabul edilen kurutulmuş gıdaların renkleri farklı yöntemlerle ölçülebilmektedir.

Renk ölçüm sistemlerinin başlıcaları; CIE sistemi, Hunter L, a, b sistemi ve Munsell sistemi olarak sınıflandırılmaktadır [71].

3.6.2 Fiziksel Değişiklikler

3.6.2.1 Rehidrasyon Kapasitesi

Rehidrasyon, gıdanın kurutulması sırasında desorpladığı suyun geri kazanılabilmesi için belirli bir sıcaklıktaki su içinde bekletilmesi işlemidir. Gıdaların kurutulmaları sırasında yapılarında ve dokularında pek çok değişim meydan gelmesinden dolayı, kaybetmiş olduğu su miktarı ile rehidrasyonu sonucunda geri absorpladığı su miktarı eşit değildir. Gıdanın kurutma sonrasında geri absorpladığı su miktarının, gıdanın kurutulması sırasında desorpladığı su miktarına oranı 'Rehidrasyon Oranı' olarak adlandırılmaktadır. Rehidrasyon oranı; gıdanın nem içeriğine, hücresel ve dokusal bozunma miktarına, kurutma ortamının cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir [71].

3.6.2.2 Büzülme

Kurutmanın ilk aşamalarında yüksek sıcaklık uygulamasıyla birlikte, meyve ve sebze parçalarının hacmindeki daralma, buharlaşma ile kaybedilen su miktarına neredeyse eşit olmaktadır. Daha fazla su buharlaştıkça; daha fazla büzülme meydana gelmektedir. Büzülme sonucunda gıdanın dış tabakası sertleşir ve son hacim sabitlenmektedir. Düşük kuruma oranlarında, parçalar şekil değişikliği ile küçülmektedir. Kurutma ilerledikçe, dokular içsel olarak açık bir yapı oluşturduğunda bölünüp kırılmaktadır. Hacimde küçülme daha azdır ve daha sonraki aşamalarda hacimde önemli ölçüde azalma olmaz.

Yapının çökmesi ve gıda maddelerinin dehidrasyona uğradığı durumlarda gözeneklilikteki değişiklikler doku dahil tüketiciler tarafından algılanan organoleptik özellikler açısından çok önemlidir [72].

3.6.2.3 Dokusal Değişiklikler

Gıdaların kurutulması sonucunda dokularında meydana gelen değişimler, kurutma işlemi sonucunda gıda yüzeyinde meydana gelen degişimlerin bir göstergesidir. Dokusal özellikleri etkileyen faktörler; gıdanın nem içeriği, ortamın pH'ı, gıdanın boyutları, gıdanın besin içeriği, kurutma ortamı ve kurutma sıcaklığıdır. Gıdalarda kurutma sırasındaki dokusal değişimlere bağlı olarak meydana gelen kimyasal değişimler; pektinin bozunması, selüloz kristalizasyonu ve nişastanın jelatinlesmesi olarak

sıralanabilir. Genel olarak, yüksek sıcaklık ve buna bağlı olarak değişen yüksek kurutma hızları ile dokusal değişimler doğru orantılıdır. Sıcaklık ve hız arttıkça, dokudaki değişimlerde artmaktadır [73].

3.6.2.4 Kabuk Bağlama

Gıdalarda kabuk bağlama kurutma şartlarının yanlış seçiminden kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulanan ürünün yüzeyinde sert bir kabuk oluşmakta ve büzülmeyi engellemektedir. Alt katmanlar kuruyup büzüşse de sert kabuk kendi yapısını korumaktadır. Kabuk bağlama istenmeyen bir durumdur ayrıca kurutma hızını da yavaşlatmaktadır. Uygun kurutma şartları seçilerek bu oluşum engellenebilmektedir [74].

3.6.2.5 Kitle Yoğunluğundaki Değişiklikler

Kitle yoğunluğu bir materyalin birim hacminin ağırlığı olarak tanımlanmaktadır ve kurutulmuş ürünler için bir kalite olgusudur. Kitle yoğunluğu düşük gıdalar tüketici tarafından tercih edilmektedir çünkü ilk olarak satın alınan aynı ağırlıktaki ürün, daha fazla görülmekte ve bunların rehidrasyon yetenekleri daha iyi olmaktadır. Kurumuş ürün orijinaline daha fazla benzemektedir [74].

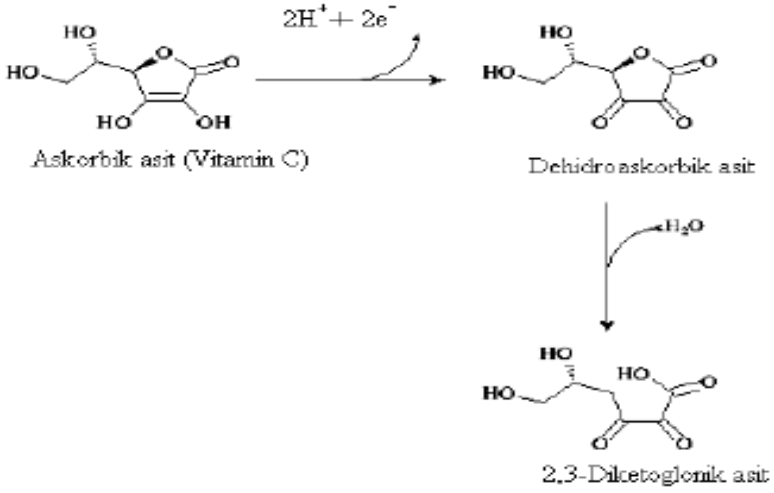
Yığın yoğunluğu genellikle gözeneklilikle ters orantılıdır. Böylece yüksek gözenekli malzemenin düşük yığın yoğunluğuna sahip olmasını sağlamaktadır. Bu iki özellik kurutulmuş malzemelerin rehidrasyonunda ve ayrıca kullanım ve ambalajlamada önemli bir rol oynamaktadır. Gözeneklilik ayrıca, bir gıda maddesinin kurutma sırasında maruz kaldığı büzülme derecesi hakkında bir göstergedir; bu da kurumuş ürünün boyutunu ve şeklini belirlemektedir [75].

3.6.3 Biyolojik Değişiklikler

3.6.3.1 Vitamin Kayıpları

Gıdaların kurutulması besin içeriğinde kayıplara yol açabilmektedir. Gıdaların yapısında bulunan A, D, E ve K gibi yağda çözünebilen vitaminler ile B ve C gibi suda-çözünebilen vitaminlerin kurutma işleminde meydana gelen oksidasyon ürünleri ile reaksiyonları sonucunda besin değerlerinde azalma görülmektedir. Kurutma süresi kısa tutulup, depolanmaları esnasındaki sıcaklık, nem ve oksijen düzeyi düşük tutularak vitamin kayıplarının azaltılabilmesi sağlanabilmektedir [76].

Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen Vitamin C oksidasyonu Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen Vitamin C oksidasyonu [76].

3.6.4 Mikrobiyolojik Değişiklikler

Su aktivitesi (a_w) değeri 0.7'nin altına düşürülerek gıdanın, mikrobiyolojik değişimlere karşı daha dayanıklı hale getirilmesi sağlanabilir; çünkü aktiflik için bakterilerin a_w değeri 0.9, maya ve küflerin ise 0.7 olmalıdır. Bu değerin altında mikrobiyolojik faaliyetler yavaşlamaktadır.

Kurutmada mikroorganizmalardan kaynaklı sorunların önlenebilmesi için kurutma öncesi ön işlemler ve kurutma sırasındaki el hijyenine önem verilmesi gerekmektedir. Bu gerçekleştirilmediğinde, özellikle fekal kontaminasyonlar nedeniyle, son üründe mikroorganizma kaynaklı sorun çıkma ihtimali artmaktadır. E. Coli gibi mikroorganizmaların son üründe bulunması ürünün satılamaması anlamına gelmektedir [77].

3.6.4.1 Mikroorganizmaların İnaktivasyonu

Susuz ortamlarda canlıların yaşaması mümkün olmadığı için mikroorganizmalar da yaşamak ve çoğalmak için suya ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmaların bozunmalarını sağlamak için gıdaların kurutulması çok eskiden beri uygulanan saklama yöntemlerinden biridir. Bakterilerin kullanabileceği su gıdadan buharlaştırıldığı için kurutulmuş gıdalarda bakteri üremesi olmamaktadır [63].

3.7 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişikliklerin Önlenmesi

3.7.1 Kükürtleme İşlemi

Kurutulacak gıdanın belirli değişimlere maruz kalmaması açısından tercih edilen bir yöntemdir. Asıl amacı gıdanın renginin bozulmaması (taze rengini koruması) ve vitamin kayıplarının azalmasını sağlamaktadır. Kükürt; kurutulacak gıdanın yüzeyinde yarıklar oluşturmaktadır. Bu yarıklardan su daha hızlı bir şekilde buharlaşır ve gıdanın daha hızlı kuruması sağlanır.

Kükürtleme (sülfürleme) işlemi aynı zamanda gıdanın içerisinde bulunan zararlı böcekleri yumurta ve kurtçukları öldürerek gıdanın uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Kükürtleme (sülfürleme) işlemi sırasında, kükürtleme odalarında toz kükürt yakılarak elde edilen SO_2 gazı numune ile temas ettirilmektedir. Belirli yoğunluktaki sodyum bisülfit, sodyum sülfit vb. çözeltilere batırılır. Bu çözeltiler gıdanın üzerine de püskürtülebilir. Yakma işlemi ile kükürtleme daha çok kullanılmaktadır.

Kükürtleme (sülfürleme) işlemi ile kurutulmuş gıdalarda bulunması gereken minimum ve maximum değerler SO_2 standartlarında belirtilmiştir. Bu miktarların üstüne çıkılmasına izin verilmemektedir [77].

3.7.2 Tuzlama İşlemi

Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelebilecek olumsuz değişikliklerin (mikrobiyolojik bozulma, renk kararması vb.) önlenmesinde, kükürtleme dışında bazı kimyasal maddelerin de kullanılması mümkündür.

Tuz, antimikrobiyal olarak tanımlanmamasına rağmen belirli bir doz aşıldığında bu etkiyi göstermekte olup aynı zamanda ürünün rengini koruyucu özelliğe sahiptir. Kullanılan tuzun dozu, gıdaya ve mikrobiyal yüke göre değişkenlik göstermektedir. Genelde % 6'dan sonra koruyucu etki başlamaktadır.

Tuz miktarı kurutma öncesi yapılan ön işlemlere bağlıdır. Gıdanın su aktivitesi, pH, su niceliği, ortam sıcaklığı, besinin bileşimi, osmotik basınç, vb. gibi faktörler gıdanın stabilitesine etki etmektedir [77].

3.8 Kurutma Sırasında Ürün Kalitesini Etkileyen Faktörler

3.8.1 Kurutma Süresi

Yüksek sıcaklıkta daha kısa sürede ürünleri kurutmak verimli kurutma prosesleri için en çok kullanılan yöntemdir. Uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalmak gıdanın besleyici içeriğinin kaybolmasına yol açmaktadır. Fırında dört saat gibi uzun sürelerde kurutulan ürünün kalitesi, güneşte iki günde kurutulan ürününkinden daha fazladır. Kurutma süresi ürünün cinsine ve miktarına göre değişiklik göstermektedir. Kurutma prosesleri için en önemli unsur kurutmayı kısa sürede gerçekleştirmektir [74].

3.8.2 Kurutma Sıcaklığı

Kurutma sıcaklığı kurutulacak ürünün içeriğindeki su miktarı ile ilişkili bir parametredir. Katı gıdaların içeriğinde bulunan serbest su sebebiyle sıcaklığı fazla artmaz ve çevresinden ısı alır. Su buharlaşırken yüzey soğur ve sıvı halden gaz haline geçerken çevreden sürekli ısı alır [74].

3.8.3 Kurutma Yüzde Nem Oranı

Kurutulacak gıdanın nem oranı %10 seviyelerinde olmalıdır. Nem oranı bu değerin altına düştüğü zaman kullanım sırasında su çekme özelliği değişmekte ve sert bir yapı oluşmaktadır. Nem oranı %10'un üzerinde olduğu zaman ise; depolama süresi azalarak mikroorganizmaların üremesi için ortam şartları uygun hale getirilmiş olur [74].

3.8.4 Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği)

Gıdanın kurutulması sonucunda bünyesinden kaybedilen suyun tekrar geri kazanılabilmesi rehidrasyon olarak tanımlanmaktadır. Kurutulan gıda suda bekletilince taze halde içerdiği kadar suyu tekrar bünyesine alarak eski formuna dönüşürse mükemmel nitelikte olduğu kabul edilmektedir [74].

Kurutulmuş gıdaların rehidrasyon özelliği fiziksel bir olay olarak görülse de, materyaldeki kimyasal ve fizikokimyasal değişimlerle alakalıdır. Kurutma koşullarına bağlı olarak üründe meydana gelen buruşma ve parçalanma sonucu, hücrelerin ve dokuların kapiler yapısının bozulması rehidrasyonu olumsuz yönde etkileyen fiziksel faktörlerdir.

Kurutulmuş bir gıdanın rehidrasyon yeteneği suda belli koşullarda ıslatılması neticesinde kazandığı su miktarıyla ölçülmektedir; ancak rehidrasyon anındaki koşullar özellikle süre ve suyun sıcaklığı rehidrasyon yeteneği açısından son derece önemlidir [74].

3.9 Kurutucu Seçimi

3.9.1 Kurutucu Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler

Gıdaların kurutulması işlemi gerçekleştirilmeden önce, gıda için verimli kurutmanın yapılabilmesi için en uygun kurutma sisteminin seçilmesi çok önemlidir. Kurutucuların kurutulacak gıdaya uygun olması kurutma sisteminden sonra gıdadaki suyun uzaklaştırılmasının yanı sıra meydana gelebilecek bir takım olumsuz değişikliklerin minimuma inidirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden kurutucunun seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörler bulunmaktadır.

Kurutulacak ürünün özellikleri

- Islak ve kuru haldeki fiziksel karakteristikleri
- Korozyon etkisi
- Parça büyüklüğü
- Zehirlilik
- Tutuşabilirlik
- Aşındırıcılık

Ürünün kuruma karakteristikleri

- Başlangıç nem oranı
- Nemin çeşidi (bağsız nem, bağlı nem)
- Son nem miktarı
- Kurutma sıcaklığı
- Farklı kurutucular için muhtemel kurutma süresi

Ürünün kurutucudan ve kurutucuya akışı

- Kurutma öncesi işlemler
- Birim zamanda kütlesel debiler

- Kesikli veya sürekli işlem
- Kurutma sonrasındaki işlemler

Ürün Kalitesi

- Bulaşma
- Son nem miktarının dağılımı
- Aşırı kuruma
- Büzülme
- Ürünün bileşimi
- Yığın yoğunluğu
- Ürün sıcaklığı
- Ürünün alt kısmının durumu

Geri kazanım problemleri

- Çözücü geri kazanımı
- Toz geri kazanımı

Kurutmanın yapıldığı yerdeki mevcut durumlar

- Havanın nem, sıcaklık ve temizliği
- Hacim
- Mevcut elektrik gücü
- Mevcut yakıtlar
- Islak ürün beslemenin tipi
- İzin verilen titreşim, gürültü ısı kaybı veya toz
- Çıkan egzoz gazları

Kurutulacak ürün için tercih edilecek kurutucunun ön seçiminden sonra tüm analizler maliyetler ve boyut üzerine yapılmaktadır. Kurutucunun verimliliğiyle ile alakalı faktörler bu değerlendirmede özel bir önem taşımaktadır. Seçilen kurutma çeşidinin bir bütün olarak değerlendirilmesi ve kurutma öncesi ve sonrası işlemleri azaltma olanakları

da araştırılmaktadır [78]. Kurutucuların seçimide dikkat edilmesi gereken kriterler Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2 Kurutucu seçim kriterleri şeması [79]

Kurutucu Seçim Kriterleri		
Kurutulacak Maddelerin Özellikleri	**Kurutma Havası Özellikleri**	**Kurutucu Ekipman Özellikleri**
Madde miktarı	Kurutma havası nemi	Hava akışına göre malzemenin geometrik dizilişi
Maddenin nem içeriği	Kurutma havası akış hızı	Kurutucu Boyutları
Maddenin boyutu ve geometrisi	Kurutma havası sıcaklığı	

3.10 Kurutma Süreçlerinin Kontrolü

Gıda endüstrisindeki ürünlerin kurutma süreçlerinde dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Üretim verimini arttırmak,
- Ürün kayıplarını azaltmak,
- İşçilerin üretim verimini arttırmak,
- Ürün kalitesinin belirli bir çerçeve etrafında koruyabilmek (renk, koku, , tat, yumuşaklık v.s.),
- Biyolojik ürünlerin doğal değişkenliklerinin etkilerinin azaltmak
- Sürecin esnekliğini arttırmak,
- Üretim ve sürecin hijyenliğini arttırmak.
- Biyolojik ürünlerin doğal bozulma etkilerini azaltmak,

Yukarıdaki hedefleri yakalayabilmek için kurutma süreçlerinde kullanılan birçok kontrol uygulaması vardır: PD, PI, PID, optimal kontrol, model tabanlı öngörülü kontrol, bulanık kontrol, yapay sinir ağları ile kontrol gibi.

Kurutma prosesleri genel olarak gıdaları daha kısa zamanda kurutabilmek için yüksek enerji maliyetlerini beraberinden getirmektedir. Bunun yanı sıra yüksek sıcaklıklarda özellikle biyolojik ürünlerin kurutulmasında ürün aktivitesinde düşüş meydana gelmektedir. Kurutma sürecinin ürün kalitesini istenen seviyede tutmaya çalışmak, enerji maliyetini minimize etmek ve istenilen nem oranı değerine en kısa zamanda ulaşabilmek için öncelikle bir optimizasyon probleminin tanımlanması gerekmektedir. Tanımlanmış olan problemin çözüm sınırları belirlenmeli ve bu sınırlar içerisinde çözüme ulaşılması amaçlanmalıdır [80].

3.11 Kurutma Çeşitleri

3.11.1 Doğal Kurutma

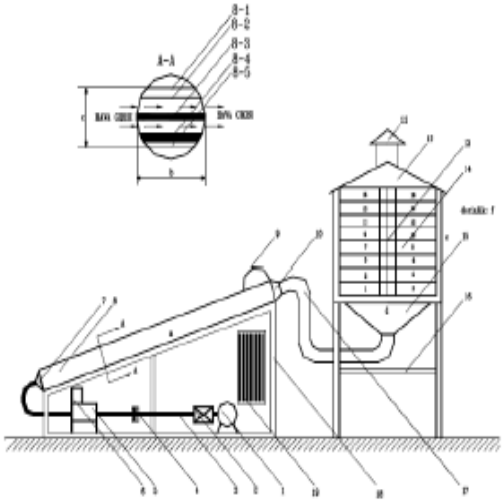
Güneş ışığından faydalanarak gıdanın yapısındaki suyun bertaraf edilmesi için uygulanan yöntem doğal kurutma olarak tanımlanmaktadır. Kurutulması planlanan bazı gıdaların güneşte kurutulma olanağı bulunmamaktadır. Gıdaların son ürün kalitesi incelendiğinde kuş, böcek vb. hayvanların gıdaya verecekleri zarar ve kurutulan ürünün açık alanda tozlanması bu kurutma yönteminin önemli dezavantajlarıdır. Bu yöntem ile ürünlerin kurutulması için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutma işleminin bu yöntemde çok yavaş gerçekleşmesinden dolayı kuruma süresi oldukça uzundur. Kurutma sonucunda genellikle ürünün su oranı %15' den daha aşağıya inilemez. Bu olumsuz yönleri nedeniyle doğal kurutma birçok gıda için yeterli ve uygun bir yöntem değildir [60].

3.11.1.1 Güneşte Kurutma

Güneşte kurutma yöntemi bir doğal kurutma yöntemi olup, çok yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemlerinden biri olmasına karşın beraberinde kontaminasyon başta olmak üzere bir takım problemlere sebep olmaktadır. Her zaman ve her yerde güneş ışınından faydalanarak kurutmanın mümkün olmaması, kurutulan gıdaların böcek vb. dış etkilere maruz kalması, kurutmayla birlikte fermantasyon meydana gelebilme riski güneşte kurutmanın tercih edilmeme nedenleri arasında yer almaktadır. Kurutma sürelerinin güneşte kurutma ile oldukça uzun olması; daha hızlı, homojen ve hijyenik özellik gösteren endüstriyel boyutlu farklı kurutma metotlarının geliştirilmesini sağlamıştır.

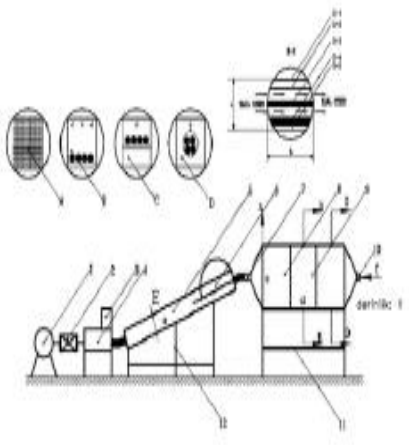
Güneşte kurutmanın dezavantajlarının yanı sıra son zamanlarda geliştirilen güneş tipi kurutucular, mevcut olumsuzlukları ortadan kaldırmış ve enerji etkinliğini arttırmıştır. Solar kurutuculardа elektrik enerjisini kullanmak yerine doğrudan güneş enerjisi kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin kurutulacak gıdaya direkt etki etmesi yerine, güneş enerjisi ile ürün etrafında dolaşacak hava ısıtılmakta veya ısıtmada kullanılacak su buharlaştırılmaktadır.

Güneş tipi kurutucular, kabinet, dolap tipli ve çadır tipli kurutucular olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu kurutucuların kullanımındaki temel sebep; basit tasarıma sahip olmaları, yerel imkanlarla üretilebilmeleri, işletme ve bakım masraflarının az olması, mevsimine göre farklı ürünlerin de kurutulmasına olanak sağlamalarıdır.Şekil 3.6, 3.7 ve 3.8'de güneş tipi kurutucu çeşitleri gösterilmiştir.



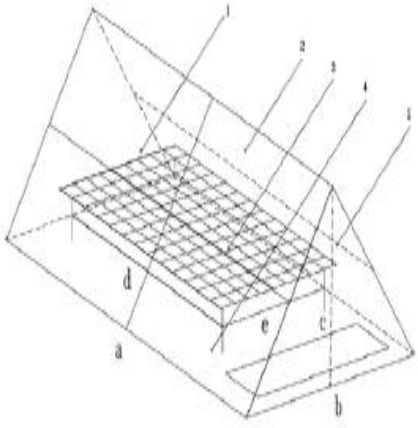
Şekil 3.6 Kabinet tipi güneş kurutucu [81]

Kabinet tipli kurutucu ile taneli ürünler (ceviz, fındık, elma, mantar, erik vb.), raflar üzerine tek ya da çok sıralı olarak serilip kurutulabilmektedir.



Şekil 3.7 Dolap tipi güneş kurutucu [81]

Dolap tipli kurutucu, kurutulacak ürünün asılması ile (tütün, balık vb.) gerçekleştirilen kurutmaya daha uygundur.



Şekil 3.8 Çadır tipi güneş kurutucu [81]

Çadır tipli kurutucuda ise her türlü kurutmayı (askı ve sergi usulü) yapmak mümkündür. İndirekt solar kurutma, daha zor kullanılan ve pahalı bir sistem olmasına rağmen sıcaklık kontrolü yapılabilmektedir. Bu tip kurutucuda UV ışınların uzaklaştırılması gerçekleştirilebileceği için ürün renginde değişme meydana gelmemektedir. Ayrıca indirekt solar sistemler, hasat sezonunun planlanması, erken hasat, hasattan birkaç ay sonra yüksek fiyat alma avantajı, bozulmadan uzun dönem depolama ve daha yüksek kalitede ürün eldesi gibi avantajlara sahiptir [82].

3.11.2 Yapay Kurutma

Kurutma işleminin çevresel faktörlerin daha rahat kontrol altına alınabileceği kapalı alanlarda gerçekleştirilebilmesine yapay kurutma denir. Gıdanın yapısındaki suyun tamamının ya da bir kısmının ürünün özelliklerinde önemli değişiklikler olmaksızın uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Kurutulmuş gıdalarda dikkat edilen en önemli husus, gıdaların rehidrasyonu halinde eski durumlarına geri dönebilmeleri ya da eski durum ile rehidrasyon işleminden sonraki durum arasındaki farkın yok denecek kadar az olmasıdır [63]. Kurutma prosesleri, yaşam şartlarına, gelişen ve değişen teknolojiye ve istenen son ürün kalitesine göre değişmektedir.

Tablo 3.3 Doğal ve yapay kurutmanın karşılaştırılması [60]

Doğal Kurutma	**Yapay Kurutma**
Nem %13-18 seviyelerine düşer.	Nem %6-7 seviyelerine düşer.
Kurutma süresi uzundur.	Kurutma süresi kısadır.
Geniş alan gerekir	Az alan gerekir.
Mikrobiyolojik açıdan hijyenik değildir.	Mikrobiyolojik açıdan hijyeniktir.
Daha düşük kalitede ürün elde edilir.	Daha kaliteli ürün elde edilir.
Kontrolsüz kurutma gerçekleşir.	Kontrollü kurutma gerçekleşir.
Ürün randımanı düşüktür.	Ürün randımanı yüksektir.
Daha ucuz bir yöntemdir.	Daha pahalı bir yöntemdir.

3.12 Kurutucu Tipleri

3.12.1 Sıcak Hava Üflemeli Kurutucu (Konveksiyonel)

Hava üflemeli kurutma sistemleri basit tasarımlı, farklı yapıdaki ürünlerin kurutulabildiği, hızlı, homojen ve hijyenik kurutma sağlayan sistemlerdir. Hava üflemeli kurutucuda sürekli olarak belli şartları sağlayan havanın kullanılması amaçlanır. Enerji

verimini de dikkate alarak, sürekli taze hava kullanmak yerine, kurutucudan çıkan kullanılmış havanın bir bölümü ile taze hava karıştırılıp, bu karışımın ısıtılarak kullanılması ve kurutucu içerisinde birkaç kez dolaştırılıp nem içeriğinin belli bir değere ulaşması daha verimli olmaktadır. Kurutma süresinin artmaması için havanın bağıl nemi %60-70 olduktan sonra nemli hava kurutucudan atılır. Böylelikle kurutucu hava sürekli aynı sıcaklıkta ve nemde kurutucuya besleneceğinden kurutmaya olumsuz etkisi olmaz [83].

3.12.1.1 Fırın Tipi Kurutucu

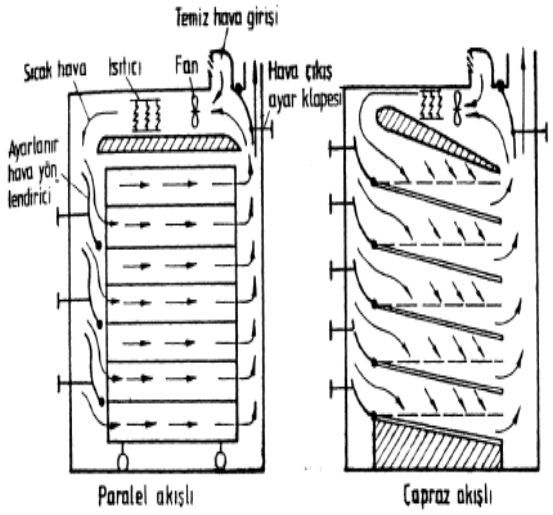
Fırın tipi kurutucular, hava taşınımlı kurutucuların en basit çeşididir. İki katlı fırın tipi kurutucuda altta bir fırın ya da brülör ile ısıtılan hava, tabanı ızgaralı olan ikinci kata yükselmektedir. Izgaralar üzerine serilmiş olan ürün ara sıra karıştırılır. Bu tip kurutucularda nem oranı %10'un altına düşürülememektedir [84].

3.12.1.2 Kabin (Tepsi) Kurutucu

Kurutulacak gıda, tabanı ızgaralı veya delikli tepsilere konulduktan sonra, kabin içindeki raflara yerleştirilmektedir. Kuru hava bu odalara fan yardımıyla verilmektedir. Tepsiler ve raflar havanın dolaşımını engelleyemeyecek şekilde dizayn edilmelidir. Gıdaların yüzeyini dolaşan hava aldığı nemle birlikte dışarı atılmaktadır. İnsan faktörü göz önünde bulundurularak doldurma ve boşaltmalarda süreden ve iş gücünden tasarruf etmek için arabalı sistem uygulanabilir.

Bu tip kurutucular, kurutma havasının kabin içinde dolaşımı esnasında tepsilere göre izlediği akış yönü dikkate alınarak çapraz ve paralel akışlı olmak üzere farklı tiplerde tasarlanabilmektedir. Kabin tipi kurutuculardа ürüne göre belli bir hava hızı uygulanmakta olup, ürün kısa zamanda kurutulabilmektedir [85].

Kabin kurutucuların dezavantajı kabinin her yerinde aynı hava hızının, sıcaklığın ve nemin, dolayısıyla aynı kurutma hızının sağlanamamasıdır. Bunu önleyebilmek için ısıtıcı fanın pozisyonu değiştirilerek çalıştırılır veya uygun pozisyonda sabit olarak yerleştirilmiş çift fan kullanılmaktadır [84]. Kabin tipi kurutucu Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



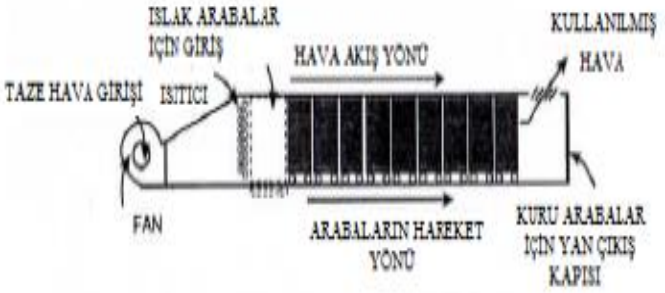
Şekil 3.9 Paralel ve çapraz akışlı kabin tipi kurutucular [84]

3.12.1.3 Tünel Tipi Kurutucu

Sürekli veya yarı sürekli sistemde çalıştırılan tünel tipi kurutucular modifiye edilmiş kurutucu tipidir. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava, fan yardımı ile sistemde dolaştırılmaktadır. Madde, kurutucuda periyodik veya sürekli olarak arabalar, tepsiler veya bölmeler içerisinde hareket ettirilmektedir. Hava tepsi yüzeyi boyunca herhangi bir doğrultuda veya dikey olarak yatak boyunca akmaktadır [83].

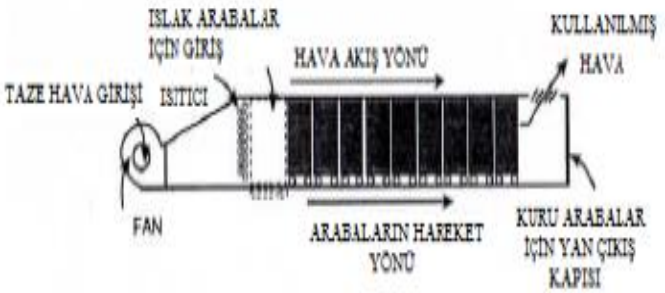
Kurutucuda havanın tekrar kullanılması veya ısıtılması ile sistemi terk etmeden önce daha fazla nem alması önlenmektedir. Tünel tipi kurutuculardа farklı sıcaklık, hava hızı ve akış yönü ile kurutma yapmak mümkündür [86]. Hava akışı paralel, çapraz şeklinde hareket edebilmektedir.

Hava ile kurutulan ürün aynı yönde hareket ederse buna paralel akış tüneli adı verilmektedir. Paralel akış tünellerinde kurutma hızı başlangıçta çok fazladır. Ürünün yüzeyi çok süratli kuruduğu için üründe çok az bir büzüşme meydana gelmektedir; ancak parçacıkların içinde boşluk ve çatlaklar oluşmaktadır. Kurutma tünelinin sonunda kurutucu havanın soğuk ve fazla nemli olmasından dolayı kurutmanın son aşaması çok yavaş gerçekleşmektedir. Paralel akışlı tünel tipi kurutucu Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



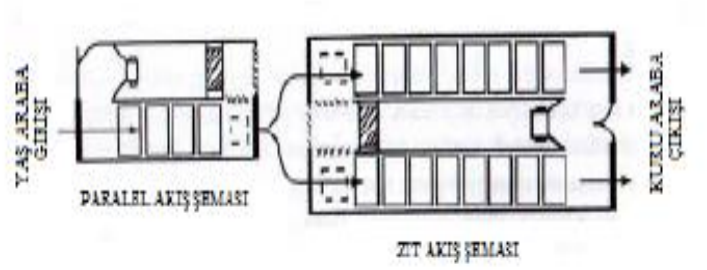
Şekil 3.10 Paralel akışlı tünel kurutucu [87]

Ürün ve hava birbirine zıt yönde hareket ederse buna zıt akış tüneli adı verilmektedir. Zıt akış tünellerinde ürün kurudukça daha uygun kurutma koşulları ile karşılaşmaktadır. Kurutmanın ilk aşaması daha nemli ve soğuk hava ile gerçekleştiğinden ve kurutulan ürün içinde nem dağılımındaki farklılık fazla olmadığından, tam ve engelsiz bir kurutma gerçekleşir. Zıt akış tüneli, özellikle erik gibi yumuşak meyveler için çok uygun bir metottur. Zıt akışlı tünel tipi kurutucu Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Zıt akışlı tünel kurutucu [87]

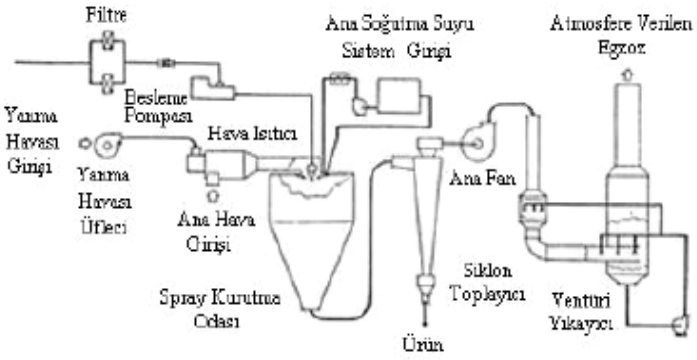
Bir bölmesi paralel akış, diğer bölmesi zıt akışlı olan çok kademeli veya iki kademeli tünel kurutucular da mevcuttur. Çift aşamalı tünellerin genellikle ilk aşaması paralel, ikinci aşaması zıt akım tüneli şeklindedir [74]. Çift aşamalı tünel tipi kurutucu Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Çift aşamalı tünel kurutucu [87]

3.12.1.4 Püskürtmeli (Sprey) Kurutucu

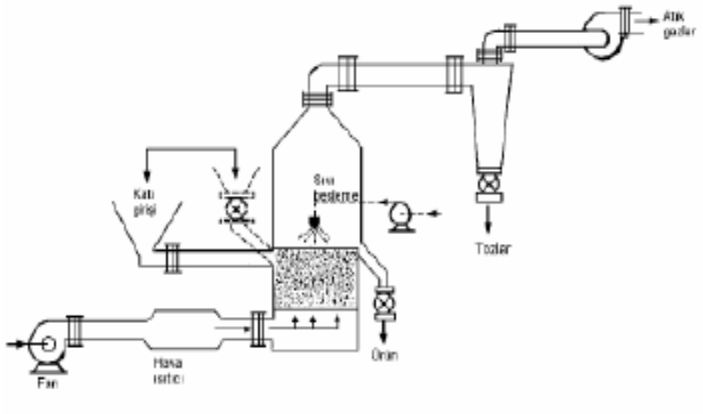
Püskürtmeli (Sprey) kurutucular peynir altı suyu tozu, süt tozu, süt, tereyağı ve peynirle yapılan bazı çocuk mamalarının üretiminde, kahve, çay, sebze ve meyve sularının tozlarının yapımında kullanılmaktadır. Bir sıvı veya bulamaç kurutulduğunda, sprey kurutucular yüksek verimle çalışabilmektedir. Gaz sıcaklığı 93-760°C arasında değişkenlik gösterirken, yüksek sıcaklıklar için özel yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Gazın sıcaklığı yükseldikçe ısıl verim artmakta olup bu nedenle yüksek sıcaklıklar tercih edilmektedir. Sıcak hava, dökülen madde damlacıklarıyla aynı yönde veya ters yönde sisteme verilebilmektedir. Kuruyan madde, yerçekimi etkisiyle dökülmektedir. Egzoz havası içerisindeki madde parçacıkları, siklon ayırıcılar veya torba filtreler yardımıyla toplanılmaktadır. Kurutulan maddenin fiziksel özelikleri (örneğin; parça boyutu, yığın yoğunluğu ve toz içeriği) püskürtme karakteristiği ve kurutucu havanın sıcaklık ve akış yönüyle değişebilmektedir. Ürünün son nem içeriği, hava akımının sıcaklık ve nemliliği ile kontrol edilebilmektedir [88]. Püskürtmeli kurutucu Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Püskürtmeli kurutucu ünitesi [88]

3.12.1.5 Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkan yataklı kurutucuda tanecik yapısındaki gıdalar arasından kurutma ortamı gazı geçirilmektedir. Akışkan yataklı kurutucuda hava hızı çok dikkatli ayarlanmalıdır. Taneli veya toz yapıdaki madde ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ile tanecikler arasında ısı transferi de etkin bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları olmaksızın maddelerin kurutulması mümkün olmaktadır. Otomatik yükleme ve boşaltma özelliğine sahip bu sistemin en önemli avantajı kurutma işleminin kısa zamanda tamamlanmasıdır Akışkan yataklı kurutucular bezelye, havuç, taze fasulye, patates, soğan, kahve, et, tuz kakao, ve şekerin kurutulmasında kullanılmaktadı [89]. Akışkan yataklı kurutucu Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Akışkan yataklı kurutucu [89]

3.12.1.6 Bantlı (Konveyör) Kurutucu

Bantlı kurutuculardaki tünel kurutuculardaki raylı-araba sisteminin yerini sonsuz dönüş hareketli bir bant almaktadır. Gıda maddelerindeki kullanımıyla genelde %80'den %10 nem içeriği oranlarına geçişi sağlayan basit kurutma sistemlerindendir. Paslanmaz çelik örgü zincirden yapılmış olan bandın taşıdığı ürüne üstten ve alttan sıcak hava verilmektedir. Bant açık, yarı açık veya tümü ile kapalı bir tünelin içinde olabilmektedir. Bu sistemin en önemli özelliği, kurutulacak maddenin fazla zarar görmeden kurutulması ve kurutma şartlarının kolayca düzenlenebilmesidir. Kurutma zamanı uzun olan gıdalar söz konusu olduğunda üst üste konumlandırılmış bir dizi bant içeren kurutucular kullanılmaktadır. Bu kurutuculardа, gıdalar üst banttan bir alttaki banda geçerek kurutucu

içinde yol almaktadır. Havuç, elma, soğan ve fasulye gibi kıyılmış, doğranmış, parça halindeki gıdaların kurutulması için uygundur [84]. Bantlı kurutucu Şekil 3.15'te gösterilmektedir.



Şekil 3.15 Bantlı kurutucu [90]

3.12.1.7 Sandık Tipi Kurutucu

Sandık tipi kurutucular özellikle sebzelerde, kurutmanın son aşamasında tünel ve bantlı kurutuculardа kurutulmuş gıdanın son nem oranına düşürülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu bakımdan bağımsız kurutucular değildir. Ana kurutucudan genellikle %10–15 nemli çıkan ürün, sandık kurutuculardа %3–6 nem düzeyine kadar kurutulmaktadır.

Sandık kurutuculardа ilke, ana kurutucuda kurutulmuş ürünün bir sandığa doldurulup, alttan ılık ve kuru hava verilmesinden ibarettir. Böylece, örneğin büyük bir tünelin 30-35 saat süreyle büyük işletme masraflarıyla işgal edilmesi yerine, birkaç metreküp bir sandık kullanılarak aynı amaca ulaşılmakta, böylece hem yerden hem de işletme masraflarından tasarruf sağlanabilmektedir. Bu kurutucu tipinde dikkat edilmesi gereken husus verilen havanın sıcaklık derecesi ve bağıl nemin doğru seçimidir. Sıcaklık genel olarak 40–45°C aralığındadır. Bağıl nem ise; havanın bulunduğu sıcaklık derecesindeki su buharı basıncı, kurutulan üründe ulaşılan nem düzeyinde iken göstereceği su buharı basıncından daima düşük olacak bir nem düzeyinde olmalıdır. Aksi halde kurutma gerçekleşmemektedir [74].

3.12.1.8 Puf Tipi Kurutucu

Islak bir gıda ürününün, basınçlı bir hücrede aşırı ısıtılması, ardından basıncın atmosferik duruma hızlı bir şekilde bırakılması neticesinde kaliteli, gözenekli bir kuru malzeme üretilmesine olanak sağlayan bir tekniktir. Tipik olarak taze sebze ve meyvelerde bulunan su miktarı, genellikle puf yapı kazandırarak kurutma yöntemiyle tamamen buharlaşmayacak kadar çoktur. Bu nedenle, bu teknolojiyi kullanırken, taze ürünün ilk ön kurutması gereklidir.

İşleme başlamak için sebze ve meyvelerin ortalama nem içeriği %15-35 değerlerine düşürülmelidir. Aslında bu yöntem kurutma işlemi yapılan sebze meyvelerin, kurutma ilerledikçe bozulan doğal gözenek yapılarının işlemi oldukça yavaşlatmasının önüne geçmek için bir basamak olarak da kullanılmaktadır. Bu aşamada yapıya puf nitelik kazandırılıp, kurutma işlemi yeniden hızlanabilmekte ve kuruma süresi kısalmaktadır. Bu amaçla basınca dayanıklı kapalı bir silindirde ürün ısıtılır. Silindirde belli bir basınç oluşturulup, silindir kapağı bir anda açılınca aniden kaldırılan basınç, dokunun derinliklerinde yüksek derecelere kadar ısınmış suyun bir anda buharlaşmasına neden olur; daha da önemlisi dokuya sünger bir yapı kazandırır. Puf yapı kazandırılan ürün, herhangi bir kurutma sisteminde artık kolayca kuruyabilmektedir [91, 92].

3.12.1.9 Flaş Kurutucu

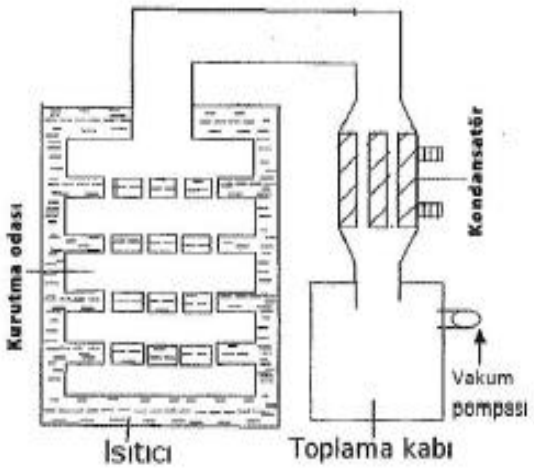
Flaş kurutma sisteminde, düzgün olarak ayrılmış katı parçacıklar, sıcak gaz akımı içine girerek hızlı ve düzenli olarak kurutulabilmektedir. Genellikle kurutma uygulamaları arasında pigment (boya maddesi), sentetik reçine, sulu bileşikler, yiyecek maddeleri, kağıt ve tahtaların kurutulması gerçekleşmektedir [93]. Flaş kurutma sistemi Şekil 3.16'da gösterilmiştir



Şekil 3.16 Flaş kurutucu [94]

3.12.2 Vakum Kurutucu

Vakum kurutucu, meyve sebze gibi uzun sürede kuruyan gıdalar için kullanılan önemli bir kurutucu tipidir. Kurutma süresi baz alındığında diğer metotlara kıyasla çok daha kısa sürede gerçekleştiği görülmektedir. Vakum, kurutulacak gıdada bulunan suyun düşük sıcaklıklarda daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Bir diğer nokta suyun uzaklaştırılması sırasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi ihtimali azalmaktadır. Vakum kurutuculardа kurutulmuş olan gıdaların renk, tekstür ve aroma gibi özellikleri iyi bir şekilde korunabilmektedir [82]. Gerek tesis ve gerek işletme maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, ısıya çok duyarlı ürünlerin kurutulmasında veya nem içeriğinin çok düşük seviyelere düşürülmesi gereken gıdalar için kullanılmaktadır. Vakum kurutuculardа hem sıvı hem katı parçacık halindeki ürünler kurutulabilmektedir [63]. Vakum kurutucularla mikrodalga kurutucuların kombine edilerek kullanılmaları da ürün kalitesi ile enerji verimliliğini arttırmaktadır [60]. Vakum kurutucu Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Vakum kurutucu [60]

3.12.3 Radyasyon Kurutucu

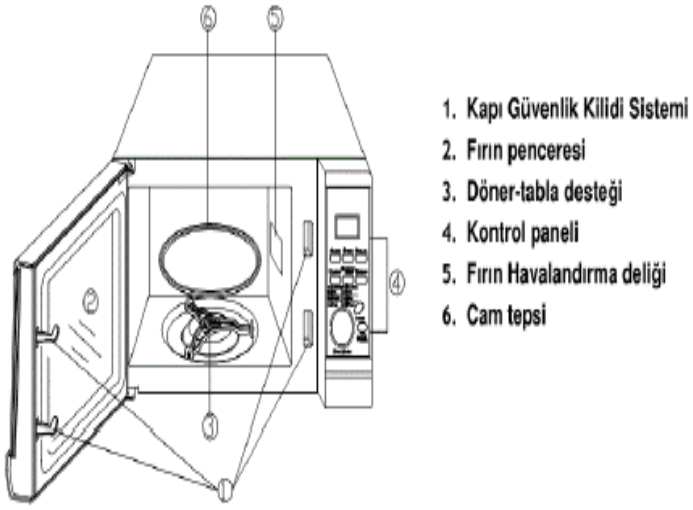
Radyasyon kurutucuda, kurutulacak gıdaya ısı herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek kalmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Radyasyon tipi kurutuculardа infrared veya mikrodalga gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır [74].

3.12.3.1 Mikrodalga Kurutucu

Mikrodalga kurutucunun çalışma prensibi, üründeki polar molekülleri etkileyerek elektromanyetik enerjinin termal enerjiye dönüşümünün sağlanmasıdır. Tahıl ürünleri, meyveler ve başlangıçtaki nemi yüksek olan birçok gıdanın başarılı bir şekilde kurutulduğu sistemlerdir. Mikrodalga kurutucu enerji verimliliği, hızlı işlem, maliyet ve kurutulmuş üründe yüksek kalite gibi özellikler taşımaktadır.

Mikrodalga kurutucu ile kurutmada gıdalardaki uçucu organik bileşiklerin ve gıda renginin korunması sağlanırken gıda yüzeylerinin sertleşmesi ve çatlaması engellenmektedir. Mikrodalganın çalışma prensibinden kaynaklı olarak ısınmanın gıdanın merkezinden başlaması ısı ve kütle transferini hızlandırıp gıdanın kurutma hızını arttırmaktadır. Kurulum ve işleme kolaylığı, geniş ürün yelpazesinde kullanılabilirliği ve diğer yöntemlere göre enerji tasarrufu sağlaması bu kurutucu tipinin başlıca avantajlarındandır [60].

Gıda maddelerinden suyun uzaklaştırılması için uygulanan ısıl işlemler, gıdanın fizikokimyasal ve fiziksel yapısına zarar vermekte olup; daha az kurutma süresi, daha yüksek verim ve rehidrasyon özelliği nedeniyle alternatif bir kurutma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Mikrodalga fırın Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Mikrodalga fırın [95]

Mikrodalgaların gıda endüstrisinde değişik kullanım alanları bulunmaktadır. Bazı uygulamaların amacı, yemeklerin ısıtılması veya dondurulmuş gıdanın çözülmesi gibi, ürünün yapısı bozulmadan yalnızca sıcaklığını artırmaktır. Bazen de gıdaların

kurutulmaları veya mikroorganizmalardan arındırılmasına yönelik ısıl işlemlerde mikrodalgalardan faydalanılmaktadır.

Mikrodalga kurutmada sisteminin enerjitik etkinliğinin arttırılması ve enerji kullanımının optimizasyonu amacıyla çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bunlar;

- Geleneksel kurutma sistemiyle mikrodalganın kombine edilmesi,
- Kurutma işlemi sırasında mikrodalga enerjisinin sürekli yerine kesikli olarak ortama verilmesi yoluyla kurutulan ürünün aşırı ısınmasını önleyerek kaliteyi yükseltmek
- Mikrodalga uygulama zamanının kısaltarak enerji ekonomisini sağlamak şeklinde özetlenebilir [96].

Mikrodalga kurutucunun avantaj ve dezavantajları asağıdaki gibidir;

Mikrodalga ile kurutmanın avantajları şöyle sıralanabilir;

- Mikrodalga ile kurutmada, ısı üretimi moleküler düzeyde başlamakta ve bu sayede hem zamandan hem de enerjiden çok büyük oranda tasarruf sağlanmaktadır.
- Mikrodalga ile kurutma kapalı bir kabinin içinde gerçekleştiğinden güneşte kurutmaya göre daha temiz ve steril son ürün eldesini sağlamaktadır.
- Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplamakta olup bakımı ve kullanımı kolaydır.
- Isıtma çevriminin hızlı olmasından dolayı gıda maddelerinin depolaması için çok fazla depo alanı gerekmemektedir.
- Gıdaların kurutulması sırasında daha az büzüşme meydana gelmektedir.
- Özel ambalajlar kullanıldığında da ısıtma işlemi uygulanabilir.
- Mikrodalga ile ısıtma, istenen sonuca ulaşılabilmesi açısından diğer ısı transfer kaynaklarıyla kombine olarak kullanılabilmektedir.
- Mikrodalga ile kurutmada, gıdayı çevreleyen hava ve fırın ısınmadığından kurutma daha etkindir, enerji ve zaman kaybı meydana gelmemektedir.
- Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşüm verimi oldukça fazladır. Geleneksel kurutucularda %7-14 arası değişen ısı verimi mikrodalga fırınlarda %40'a kadar çıkmaktadır.

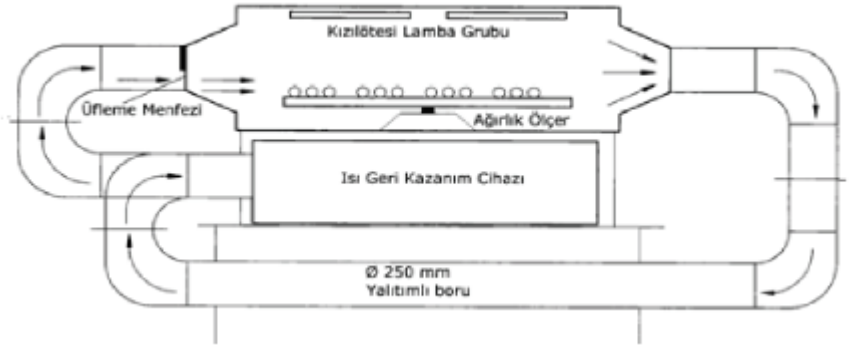
Bunların yanı sıra mikrodalga kurutucu ile kurutmanın dezavantajları şöyle sıralanmaktadır;

- İlk yatırım masrafları yüksektir.
- Gıdaların karakteristiklerine göre boyuta ve şekile bağlı olarak düzensiz pişme meydana gelebilmektedir.
- İnce tabakalı gıdalarda, aşırı pişme meydana gelmekte ve geniş parçalı gıda maddelerinin merkezinde pişme tam gerçekleşmemektedir.
- Geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirmektedir.
- Mikrobiyolojik yönden hassas (et ve süt ürünleri vb.) ve tekrar ısıtılması gereken ürünlerde işlem süresinin çok kısa olması nedeniyle yeterli ve güvenli mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak zor olabilmektedir.
- Kullanılan ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir [97].

3.12.3.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucu

En eski muhafaza yöntemi olan güneşte kurutma bazı temel dezavantajları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle kurutmada yeni yöntem arayışına geçilmiştir. Infrared diğer adıyla kızılötesi kurutma tekniği güneşte, sıcak hava konveksiyonel, mikrodalga gibi diğer kurutma yöntemlerine alternatif yeni bir kurutma yöntemidir. Kızılötesi kurutucunun üç boyutlu gösterimi Şekil 3.19'daki gibidir.

- Düşük maliyetle yüksek kaliteli ürün elde etme olanağı sağlaması,
- Kurutma süresinde kısalma,
- Yüksek verimlilikli enerjiye sahip olması,
- Alternatif enerji kaynağı olması,
- Kurutma esnasında gıdanın sıcaklığının düzgün bir şekilde dağılması,
- İşlem parametrelerinin kolay bir şekilde ayarlanabilir olması
- Yer tasarrufu sağlanması gibi durumlar avantajları olara sıralanabilmektedir.



Şekil 3.19 Kızılötesi kurutucu üç boyutlu gösterimi [29]

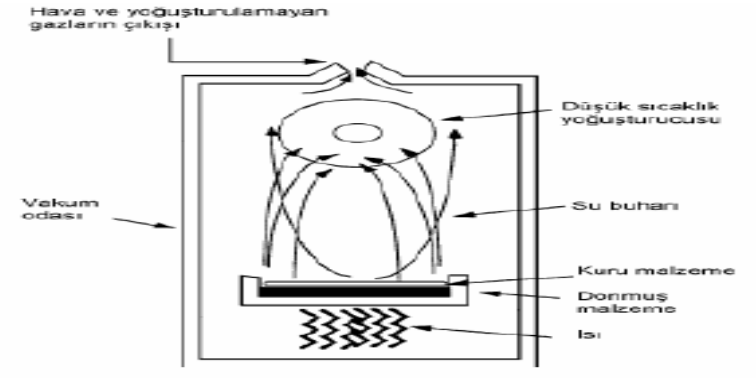
Kızılötesi kurutucu başarılı bir şekilde patates, tatlı patates, soğan, elma gibi meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Gıdalar uzun sure kızılötesi radyasyona maruz bırakıldıklarında yapısal özelliklerinde bozulmalar meydana gelmesi kızılötesi kurutucunun dezavantajları arasından görülmektedir. Bu ve buna benzer bir takım olumsuz durumdan dolayı kızılötesi-kombine ısıtma teknolojileri gündeme gelmiştir. Bu kombine ısıtma teknolojileri arasında, kızılötesi,konvektif ısıtma, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma ve kızılötesi-hızlı hava akımı ile ısıtma teknolojileri yer almaktadır [60].

3.12.3.3 Morötesi Radyasyon Tipi Kurutucu

Morötesi radyasyon kurutma sistemi, elektromagnetik radyasyon kullanılarak gerçekleştirilir. Monomer yapılı boyar maddeler ve kaplamalar ultraviyole (UV) radyasyon altında kurutularak işleme tabii tutulurlar. Morötesi ya da ultraviyole ışınım görebildiğimiz en küçük dalga boylu ışık olup dalga boyu 100 ile 400 nm arasındaki ışınımdır. Morötesi radyasyon kurutma sisteminin en büyük problemi yüksek yatırım maliyeti olarak görülür [98].

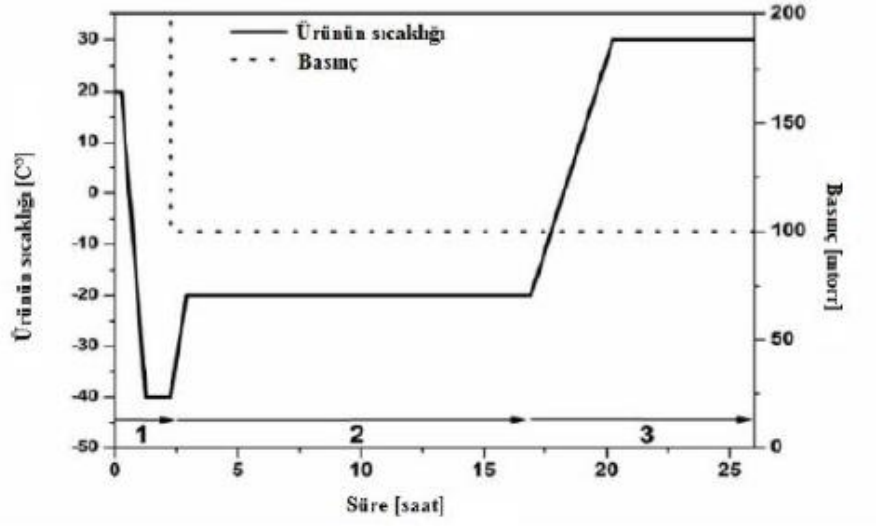
3.12.4 Dondurarak Kurutma Yapan Kurutucular (Liyofilizasyon)

Birçok kurutma yönteminin dezavantajları arasında yer alan gıdanın sıcaklığa maruz kalması, aroma ve lezzet bileşenlerini etkilemektedir. Bazı gıda maddeleri ve tıbbi ürünler sıcaklığın bazı karakteristik özelliklerini etkilemesi nedeniyle bilinen geleneksel yöntemlerle kurutulamamaktadır. Bu ürünler liyofilizasyon olarak da adlandırılan dondurarak kurutma yöntemiyle kolaylıkla kurutulabilirler [99]. Dondurarak kurutma yapan kurutucu tipi Şekil 3.20'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20 Dondurarak kurutma yapan kurutucu [100]

Dondurarak kurutma, dondurulmuş gıdadaki buzun süblimleştirilerek uzaklaştırılması ilkesine dayanır. Dondurarak kurutma; dondurma, birincil kurutma ve ikincil kurutma şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada ürün çok düşük sıcaklıklarda dondurulmaktadır. İkinci aşamada vakum altında süblimleşme ile gıdadaki su uzaklaştırılmaktadır. Süblimleşmenin gerçekleşmesi için sistemin basıncının donmuş çözücünün buhar basıncının altına düşürülmesi gerekmektedir. Birincil kurutma esnasında bir miktar bağlı su da uzaklaştırılmaktadır. Kalan bağlı su ikincil kurutma periyodunda yüksek sıcaklıklarda desorpsiyon yardımıyla uzaklaştırılmaktadır [101]. Dondurarak kurutmanın evrelerinin şematik gösterimi Şekil 3.21'de verilmektedir.



Şekil 3.21 Dondurarak kurutmanın evrelerinin şematik gösterimi

1)Dondurma, 2) Birincil Kurutma 3) İkincil Kurutma [101]

Dondurarak kurutma sonucundan üründe büzüşme meydana gelse de kabuk oluşumu gerçekleşmemektedir. Gözenekli yapı hızlı rehidrasyona olanak sağlar fakat son ürünün kırılgan yapısı nedeniyle mekanik zararların önlenmesi gerekmektedir. Bu yöntemin dezavantajlarından biri gözenekli yapının oksidasyonunun artırmasıdır. Dondurarak kurutma yöntemi ile yüksek kalitede ürün elde edildiği bilinmektedir. Bunun nedeni diğer kurutma yöntemlerine kıyasla dondurarak kurutmanın gıdanın yapısına büyük ölçüde zarar vermemesidir [69].

3.12.5 Kontakt Kurutucu (Kondüksiyon)

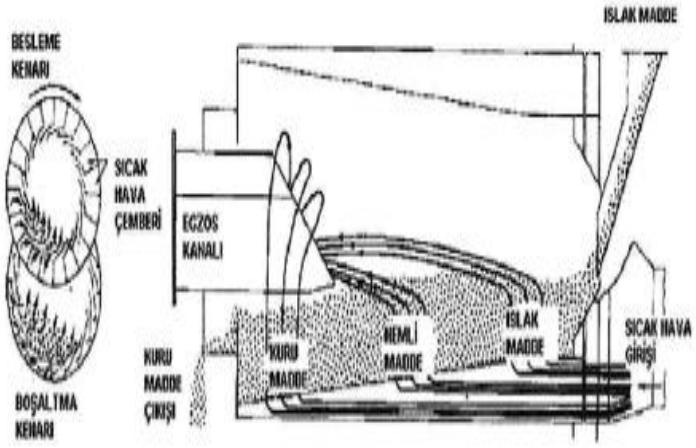
Kontakt kurutma yönteminde buharlaşma için gerekli ısı, kondüksiyon mekanizmasıyla taşınmaktadır. Kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken maddeye temas ettiği sıcak yüzeyden kondüksiyonla ısı taşınmaktadır. Yöntemin en yaygın uygulama şekli valsli (silindirik) ve döner kurutuculardır [74].

3.12.5.1 Valsli (Silindirik) Kurutucu

Valsli kurutucuların çalışma prensipi, içten ısıtılan bir silindirin (vals) sıcak bir yüzeyinde ince bir tabaka halinde yayılan lapa veya sıvı halindeki gıdanın, silindirin yaklaşık 300° lik dönüşü sırasında yüzeyde kuruması ve buradan kazınıp uzaklaştırılmasıdır. Silindirler; içeri verilen buhar, sıcak su veya ısı iletimi yüksek bir sıvı ile ısıtılabilmektedir. Valsli kurutuculardа daha çok patates püresi gibi sebze püreleriyle, domates salçası kurutulmaktadır [74].

3.12.5.2 Döner Kurutucu

Döner kurutucu, geniş çaplı uzun silindirik bir boru şeklinde olan kurutma ortamı ve ürünün boru içinde hareketini kolaylaştırmak amacıyla bu silindirik boruya gerekli açıyı veren ayarlanabilen ayaklardan oluşan bir kurutucu sistemidir. Kurutmayı yapacak kısımlar doğrudan veya dolaylı olarak ısıtılır, hava akışı paralel veya ters akımlı olarak uygulanabilmektedir. Döner raflı kurutucuda hava, rafların altına verilmektedir [84]. Döner kurutucu Şekil 3.22'de gösterilmektedir.

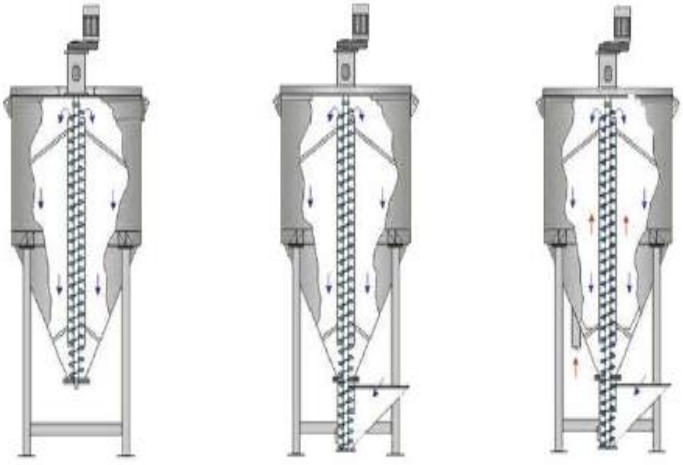


Şekil 3.22 Döner kurutucu [88]

Döner kurutucularda ürün silindir içerisine verilmektedir. Döner kurutucular hazır çorba, süt tozu, patates tozu ve bazı çocuk mamaları yapımında kullanılmaktadır [74].

3.12.6 Helezon Karıştırmalı (Burgu) Kurutucu

Genellikle dik konumlanmış alt kısmı konik formdaki silindirik kazanlar kullanılmaktadır. Alttan gelen hava gıda içinde bulduğu yollardan üste ulaşarak tahliye edilmektedir. Önce alt tarafın sıcak-kuru hava ile temas etmesi sebebiyle, alttan üste ve içten dışa doğru karışmanın sağlanması için Şekil 3. 23 ’de görüldüğü gibi bir helezon karıştırıcı kullanılmaktadır.



Şekil 3.23 Helezon karıştırmalı kurutucu [102]

Helezon karıştırıcı hareket sırasında gıda üzerinde basınç oluşturduğu için ürüne zarar verme riski bulunmaktadır. Granül formundaki taneli ürünler için daha uygun bir gıda kurutma yöntemidir. Kurutma kabini ürünle dolu olabileceği gibi, kabin içi farklı odacıklara bölünerek ürünün bu odacıklar arasında dökülerek hareketi ve hava ile daha fazla teması da sağlanabilir. Ürüne göre farklı tasarım ve uygulamalar söz konusu olabilir.

Burgulu sistemin çeşitli dezavantajları bulunmasına rağmen basit ve ucuz bir yöntemdir. Teknoloji ve sanayide yenilikler yapıldıkça, ürünlerin tutuluşu, hareket verilmesi, transferi gibi konularda yeni çözümler ve yöntemler geliştirilmektedir. Ürünün katı, sıvı, hamur veya granül formunda olması veya ürünün dış görünümünün, kabuğunun veya renginin muhafaza edilmesi şartları ürüne nasıl muamele edilmesi gerektiği konusunda belirleyicidir [102].

3.12.7 Pnömatik Kurutucu

Ürün tanecik yapısının ve yüksek sıcaklığın fiziksel olarak değişmeye sebep olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Kurutma, bir kırıcı içerisinde ürünün pnömatik ve mekanik işlemle kırılarak ardından boru içerisinde pnömatik olarak taşınmasıyla sağlanmaktadır. Son ürün toz halinde elde edilmektedir. Ürünün yüksek sıcaklıkta çok kısa bir sürede kurutulması sebebiyle iç yapısı minimum zarara uğramaktadır [84].

3.12.8 Osmotik Kurutma

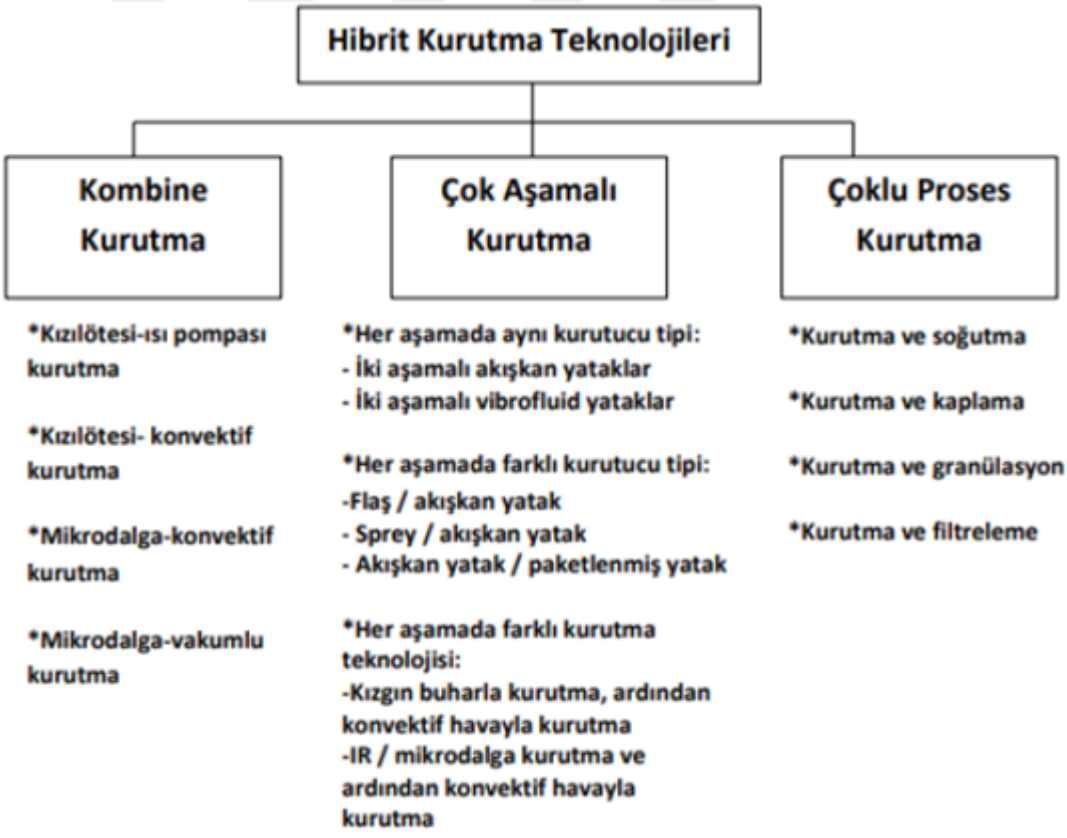
Osmotik kurutma, gıdaların özellikle sebze, meyve ve etlerin minimum işleme tabi tutularak kurutulmasına bir örnektir. Osmotik kurutma, hipertonik (osmotik) bir çözeltiye daldırılmış ürün dokularından suyun kısmen uzaklaştırılmasıdır. Dokulardan çözelti içerisine suyun difüzyonu, doku ve hipertonik çözelti arasındaki osmotik basınç tarafından sağlanmaktadır. Su difüzyonu ile aynı anda katının da doku içerisine zıt difüzyonu olmaktadır. Osmotik taşınmada rol oynayan hücre zarı tam olarak seçici olmadığından, hücre içinde bulunan diğer katıların da osmotik çözelti içerisine geçmesi söz konusudur.

Osmotik kurutmanın diğer kurutma işlemlerine göre en önemli avantajları; enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının önlenmesi, işlemin düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi sebebiyle lezzet ve aroma maddelerinin kaybının düşük düzeyde olması, ve renkte ortaya çıkan kayıpların azalmasıdır. Bu yöntemin başka bir avantajı da klasik kurutma yöntemlerine göre daha düşük enerji ihtiyacı göstermesidir. Bunun yanı sıra osmotik

çözeltinin konsantre edilerek ya da osmotik katıların ilavesi ile aynı çözeltinin tekrar kullanılabilmesi işlemin daha ekonomik yürütülmesine olanak sağlamaktadır [92, 103].

3.12.9 Hibrit Sistemli Kurutucular

Gıdaların çeşitliliği, gıda endüstrisinde farklı tip kurutucu türlerinin gelişmesini sağlamıştır. Genellikle uygun kurutucunun seçimi, gıdanın kurutma özelliklerine göre yapılır. Isıya duyarlı gıdalar için, ürüne ısı sağlama ve üründen nemi uzaklaştırma, istenen ürün nem içeriğini elde etmek için doğru kurutucuyu seçmek için kritik husustur. Hibrit kurutma teknolojilerinin geliştirilmesindeki amaç kurutulacak gıdanın kurutma sonrası istenilen özelliklerini iyileştirmek ve yine istenen nem içeriğine sahip bir ürün elde etmektir. Hibrit kurutma teknolojisinin sınıflandırılması Şekil 3.24'te görülmektedir. Araştırmalar sonucunda hibrit kurutma tekniklerinden bazıları, doğru bir şekilde birleştirilirse, gelişmiş ürün kalitesi ve enerji tüketiminde azalma açısından etkili oldukları saptanmıştır [104].



Şekil 3.24 Hibrit kurutma teknolojisinin sınıflandırılması [105]

Kurutucuların kombinasyon halinde kullanılması genellikle, konveksiyon-mikrodalga, konveksiyon-ozmotik dehidrasyon, konveksiyon-kızılötesi radyasyon, konveksiyon-ultraviyole radyasyon, konveksiyon-vakum, konveksiyon-ultrason, sprey kurutma-liyofilizasyon, liyofilizasyon-kızılötesi radyasyon olarak kullanılır [106].

3.13 Matematiksel Modellemenin Kurutma Teknolojileri Açısından Önemi

Matematiksel bir model, bir olayı veya işlemi matematiksel terimlerle açıklayan formüller dizisidir. Yani gerçek, fiziksel dünyayı matematiksel eşitliklerle gösterme işlemidir. Gerçek dünyanın deneysel olarak ele alınmasının maliyetli ve imkansız olması gibi durumlarda sistemlerin nasıl davranacağını öngörebilmek amacıyla matematiksel modelleme yapılmaktadır. Matematiksel modeller, bir olayın fiziksel gerçeğini anlamak, matematiksel olarak tanımlamak ve diğer olaylardan ayırt etmek ile birlikte matematiksel olarak formüllendirilmiş modeli bir sistemin değişik koşullardaki davranışını ön görmede bir araç olarak kullanmak üzere kullanılmaktadır. Bir model gerçeği olabildiğince yansıtmalıdır. Bu yüzden, bir modelin kullanılmaya başlanmadan önce güvenirliğinin sağlanması amacıyla gerçek olaylarla doğrulanması gerekmektedir [62].

3.14 Gıda Maddelerinde Ağır Metal İçeriği

IOC (Intergovernmental Oceanographic Commision)'a göre kirlenme, deniz çevresine dolaylı veya dolaysız şekilde bırakılan madde veya enerji sonucunda deniz canlılarını ve insan sağlığını olumsuz etkileyen, deniz suyunun içme suyu olarak kullanımında kaliteyi bozan ve tatlılığını düşüren, balıkçılık da dahil olmak üzere denizlerdeki aktiviteyi değiştiren etmenlerin tümü olarak tanımlanmaktadır.

Ağır metaller, asit yağmurlarının veya endüstriyel atıkların toprakta bulunan ağır metalleri çözmesi ile göl, ırmak ve yer altı sularına ulaşırlar. Sulara taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfür, sülfat şeklinde katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler.

Ağır metallerin ekolojik sistemde yayılımları incelendiğinde doğal olarak bulunmalarının yanı sıra, insan faaliyetlerinin çevreye yayılımda daha etkili olduğu gözlenmektedir. Endüstriyel üretimler arasında demir-çelik, çimento, termik santraller, çöp, cam ve atık çamur yakma tesisleri gibi alanlar önde gelmektedir. Su ortamındaki ağır metallerin deniz

ürünleri tarafından bünyelerine alınması en fazla vücut yüzeyi solungaçlar ve sindirim sistemi ile meydana gelmektedir.

Metallerin toksisite hedefleri genellikle, enzimler, hücre membranları ve hücre içi organellerdir. Metallerin toksik etkisi, serbest metal iyonu ile toksikolojik hedef arasındaki etkileşimi kapsamaktadır. Belirli bir toksik etkinin oluşmasında çok sayıda faktör etkili olmaktadır [107]. Tablo 3.4'te ağır metallerin insan sağlığına olan etkileri verilmiştir.

Tablo 3.4 Ağır metallerin insan sağlığına etkileri [108]

Metaller	**Etkileri**
Arsenik (As)	➢ Saç, tırnak, karaciğer ve böbreklerde birikim ➢ Kanserojen etki
Bakır (Cu)	➢ Kusma, karın ağrısı, kanama, kansızlık, bitkinlik, sarılık, akyuvar çoğalması, soluma zorluğu,
Çinko (Zn)	➢ Öksürme, solunum güçlüğü, adale ve eklem ağrıları, peptik ülserler, boğaz tahrişi, mide tahrişi, ve çeşitli karaciğer etkileri
Demir (Fe)	➢ Özellikle sanayi bölgelerinin çevresinde yaşayan kişilerde zaman zaman demir zehirlenmeleri ➢ Bazı alerjik rahatsızlıklar ve siroz gibi hastalıklar
Kadmiyum (Cd)	➢ Kansızlık, böbrek üstü bezi etkileri, indirgenmiş hemoglobin düzeyleri,
Kurşun (Pb)	➢ Diş eti mavileşmesi, inme, akıl sağlığı bozukluğu, sinir sistemi hastalıkları, kas kilitlenmesi, kansızlık, beyin kanaması
Civa (Hg)	➢ Sinir sisteminde nörolojik, bilişsel ve motor fonksiyonlarına etki

Deniz ürünlerinde bulunan kabul edilebilir ağır metal miktarları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 Deniz ürünlerinde kabul edilebilir ağır metal miktarları [109]

Ağır Metaller (mg/kg)	As	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn
Balıklar	1	0,5	0,1	1	20	50
Yumuşakçalar	1	0,5	0,1	1	20	50
Kabuklular	1	1	1	2	20	50

3.15 Ön İşlem Uygulamalarının Gıda Kalitesi Üzerine Etkileri

Gıdalar kurutulmadan önce gıda çeşidine göre belirlenen ön işlemlerin uygulanması, farklı kurutma işlemlerinin gıda üzerindeki zararlı etkilerini azaltırken, kurutma süresinin azalması ve son ürün kalitesinin arttırılması bakımından büyük önem arz etmektedir. Ultrasonik veya osmotik ön işlemler uygulanarak kurutulan gıda maddelerinin besin değerlerinin ve fonksiyonel özelliklerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir [110].

3.15.1 Ultrasonik Ön İşlem Uygulaması

Ultrasonik ses, mekaniksel nitelikte olan ve insanların işitebileceği, 20 kHz - 100 kHz frekans aralığındaki ses dalgalarıdır [111]. Ultrasonik uygulama, gıdalarda kavitasyon etkisi yaratarak kütle ve ısı transferini hızlandırmakta ve suyun uzaklaşmasını kolaylaştırmaktadır [112].

Ultrasonik ses, kurutma işlemlerinde ön işlem olarak veya bir kurutma yöntemiyle eş zamanlı olarak kullanılan, kurutma hızını materyalin sıcaklığında önemli bir değişime neden olmadan arttırabilen, ısıl olmayan alternatif bir uygulamadır. Ultrason veya ultrases, insan kulağının duyabileceği sesten daha yüksek ses şiddetine sahip olan, sonik dalgalar aracılığı ile üretilen enerji çeşidi olarak tanımlanabilir [113].

Sesin mekanik yapısından dolayı, ultrasonik dalgalar girdiği ortamdaki partiküller üzerinde bir seri sıkışma ve gevşeme hareketleri meydana getirir ve bu hareketlerle dışarıdan sıvı girişi ve içeriden sıvı çıkışı sağlanmaktadır. Bu olaya 'sünger etkisi'

denilmektedir. Ultrason destekli kurutma, hem ısıl olmayan bir metot olması hem de kurutma hızını arttırmasından dolayı önemli bir yöntemdir. Kurutma işlemlerinin tek başına yeterli olmadığı durumlarda ultrason ile kombine olarak kullanılması mümkündür [114].

Ultrasonik ses, gıda sanayiinde enzim inaktivasyonu ve ekstraksiyonu, dondurma, mikroorganizma inhibisyonu, filtrasyon, kurutma, homejenizasyon/emülsifikasyon, tenderizasyon gibi alanlarda kullanılmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır [115]. Ultrasesin gıdalardaki mevcut ve potansiyel uygulamaları Tablo 3.6'da verilmektedir.

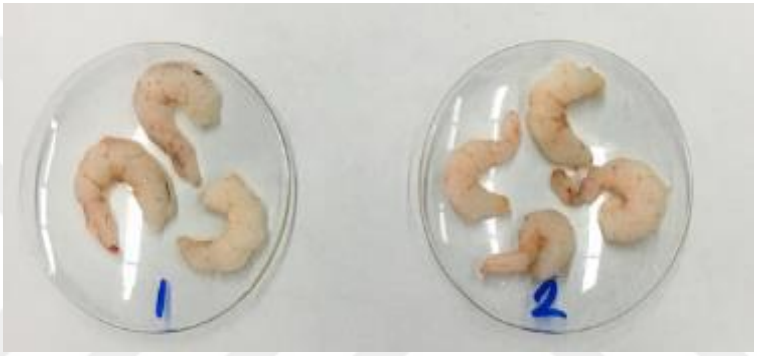
Tablo 3.6 Ultrasesin gıdalardaki mevcut ve potansiyel uygulamaları [116]

Uygulama Alanı	**Etki**
Et prosesleri	Kürlenmiş etlerde proteinlere etki ederek etin olgunlaşmasına yardımcı olur.
Ultrases destekli dondurma	Donma işlemi sırasında kristal büyüklüğünün kontrolü ve buz kristal oluşum evresinde geçen sürenin kısalmasında etkilidir.
Ultrases destekli filtrasyon	Filtrasyon sırasında birim alandan birim zamanda madde geçişini arttırır
Ultrases destekli kurutma	Sıcak havayla kurutma işleminde ultrases kombine ya da ön işlem olarak kullanıldığında kurutma etkinliğini arttırarak daha düşük hava hızlarında ve sıcaklıklarda yüksek verimle kurutmayı sağlar.

4
DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Materyal

Kurutma işlemlerinde kullanılan Pınar marka Türkiye menşeli karides ürünleri İstanbul'da bir süpermarketten satın alınmış olup, deneyler gerçekleştirilinceye kadar -18 °C'de dondurucu da muhafaza edilmiştir. Kurutma deneylerinin başlangıcından bir gün önce +4 °C'de buzdolabı kısmına alınarak buzlarının çözünmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.1 Karides numuneleri

4.2 Kurutma Deneylerinin Karakterizasyonunda Kullanılan Cihazlar

4.2.1 Etüv Kurutucu

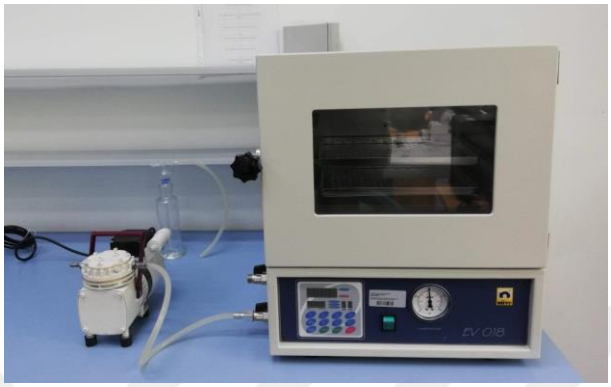
Yapılan kurutma deneylerinde karideslerin nemini uzaklaştırmak için Şekil 4.2'deki PCD- E6000 marka etüv kullanılmıştır. 220 V, 50 Hz, 3,5 A ve 800 W çıkış gücünde çalışmaktadır. Sıcaklık 1°C'lik artışlarla 250 °C'ye kadar ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.2 Etüv kurutucu

4.2.2 Vakum Etüvü Kurutucu

Kurutma deneylerinde Nüve marka EV-018 model Şekil 4.3'te gösterilen vakum etüvü kullanılmıştır. Normal etüvden farklı olarak kurutma ortamındaki havanın uzaklaştırılması için KNF N026 1.2 AN 18 marka laboratuvar tipi vakum pompası ile entegre edilmiştir. Vakum pompası 220 V, 50 Hz ve 0,85 A de çalışmaktadır.



Şekil 4.3 Vakum etüvü kurutucu

4.2.3 Mikrodalga Fırın

Kurutma deneylerinde Delonghi MW205S marka, 140 - 790 W aralığındaki güçlerde çalışan mikrodalga fırını kullanılmıştır (Delonghi, Treviso, Italy). Çeşitli maddelerin kurutulmasına uygun, istenilen sıcaklıkta ve hava akımı sağlayabilen ev tipi bir kurutucudur. İstenilen güç ayarları, cihaz üzerinde bulunan kontrol panelindeki dijital göstergeden ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.4 Mikrodalga fırın

4.2.4 Infrared (Kızılötesi) Kurutucu

Kurutma deneylerinde Şekil 4.5'teki Radwag MA50.R marka infrared (kızılötesi) kurutucu kullanılmıştır. Maximum 160 °C'ye kadar kurutma gerçekleştirilebilmektedir (Radwag, Radom, Poland).



Şekil 4.5 Infrared (kızılötesi) kurutucu

4.2.5 Hassas Terazi

Kurutma deneyleri sırasında tartım işlemleri Şekil 4.6'daki Radwag As 310 R.2 marka hassas terazi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6 Hassas terazi

4.2.6 Renk Analiz Cihazı

Kurutma deneyleri sonrasında gerçekleştirilen renk analizi için Şekil 4.7'deki PCE-CSM 1; PCE (Instruments UK Ltd., Southampton Hampshire, United Kingdom) marka renk analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Renk analiz cihazı

4.2.7 Ağır Metal Analiz Cihazı

Kurutma deneyleri sonrasında gerçekleştirilen ağır metal analizi için Şekil 4.8'deki Agilent 700 Series marka ICP-MS ağır metal analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.8 Ağır metal analiz cihazı

4.2.8 Protein Analiz Cihazı

Kurutma deneyleri sonrasında gerçekleştirilen protein analizi için Şekil 4.9'daki Leco FP-528 (3000 Lakeview Ave, USA) marka analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Protein analiz cihazı

4.2.9 Ultrasonik Su Banyosu

Infrared kurutma ön işlemi için ISOLAB Laborgerate GmNH marka ultrasonik su banyosu kullanılmıştır.Sıcaklık 80 °C'ye kadar 1 °C aralıklarla ayarlanabilmektedir. Zaman kontrolü ise birer dakika aralıklarla 60 dakikaya kadar ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.10 Ultrasonik su banyosu

4.3 Metot

4.3.1 Nem Tayini

Kuru madde miktarını belirlemek için Şekil 4.1'de gösterilen karides numuneleri etüvde 105°C'de 2 saat kurutulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda nem miktarı, %83,09 (yaş baz) olarak hesaplanmıştır

4.3.2 Kurutma İşlemine Hazırlık

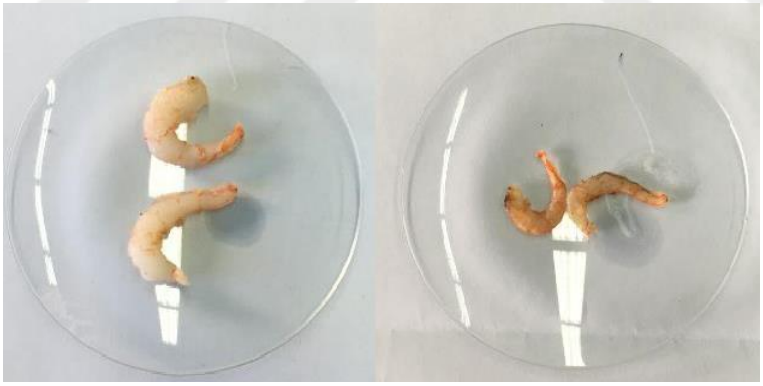
Buzdolabında +4°C'de muhafaza edilen karidesler kurutma deneylerinden önce oda sıcaklığında bir süre bekletilerek çözülmeleri sağlanmıştır. Kurutma işlemine başlamak için boyut ve şekil olarak birbirine eş karides numuneleri seçilmiştir.

Öncelikle petri kabının ağırlığı, daha sonra üzerinde karides numuneleri ile olan ağırlığı ölçülmüş, ortaya çıkan fark sayesinde karidesin ağırlığı belirlenmiştir. Daha önceden yapılan çalışmalardan yola çıkarak belirlenen %5 ile %10 aralığındaki su miktarına ulaşmak için karideslerin getirilmesi gereken ağırlık miktarı bulunmuştur.

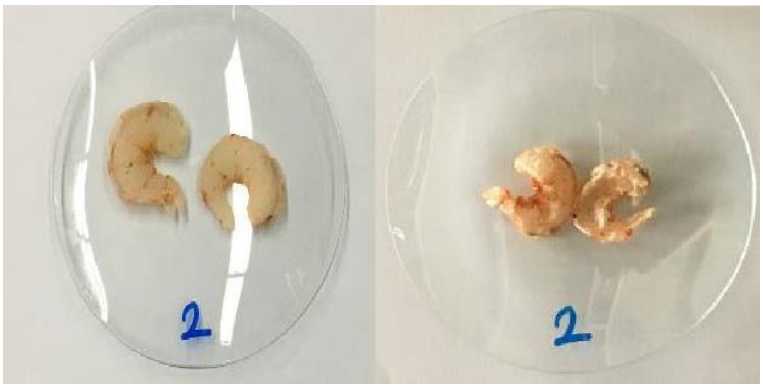
4.3.3 Kurutma İşlemleri

4.3.3.1 Etüv ile Kurutma

Karides numuneleri etüvde 60°C, 70°C ve 80°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta kurutulmuştur. Karideslerin başlangıç ağırlığı belirlendikten sonra 30 dakika aralıklarla tartımları alınıp istenilen ağırlığa ulaşıncaya kadar deneyler gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinden sonra her bir numune düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) paketlere alınarak desikatör içinde muhafazaları sağlanmıştır. Numunelerin kurutma işlemi öncesi ve sonrasındaki görüntüleri Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13'deki gibidir.



Şekil 4.11 Etüvde 60°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



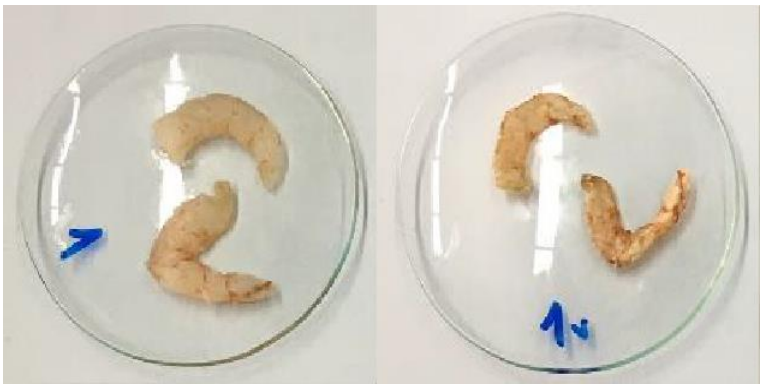
Şekil 4.12 Etüvde 70°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



Şekil 4.13 Etüvde 80°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum

4.3.3.2 Vakum Etüvü ile Kurutma

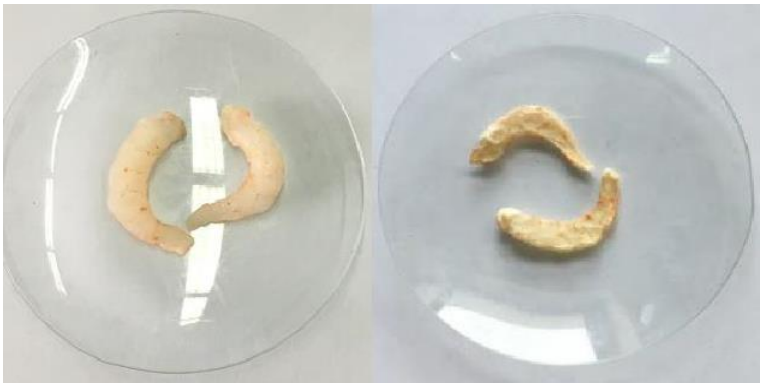
Karides numuleri vakum etüvünde 60°C, 70°C ve 80°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma esnasında etüv içerisindeki havayı çekebilmek için vakum pompası kullanılmıştır. Karideslerin başlangıç ağırlığı belirlendikten sonra 30 dakika aralıklarla tartımları alınıp istenilen ağırlığa ulaşıncaya kadar deneyler gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinden sonra her bir numune düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) paketlere alınarak desikatör içinde muhafazaları sağlanmıştır. Numunelerin kurutma işlemi öncesi ve sonrasındaki görüntüleri Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'daki gibidir.



Şekil 4.14 Vakum etüvünde 60°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



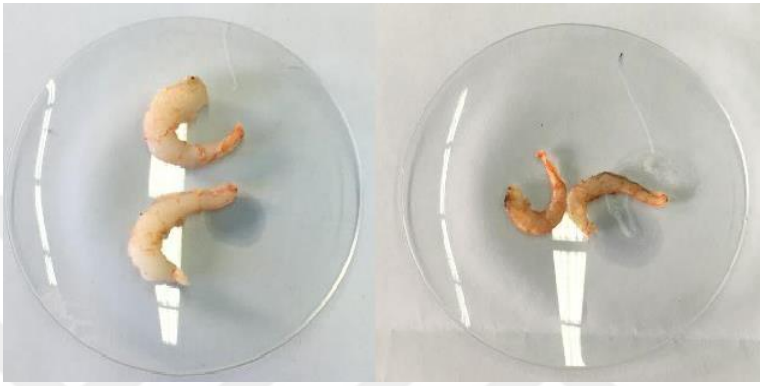
Şekil 4.15 Vakum etüvünde 70°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



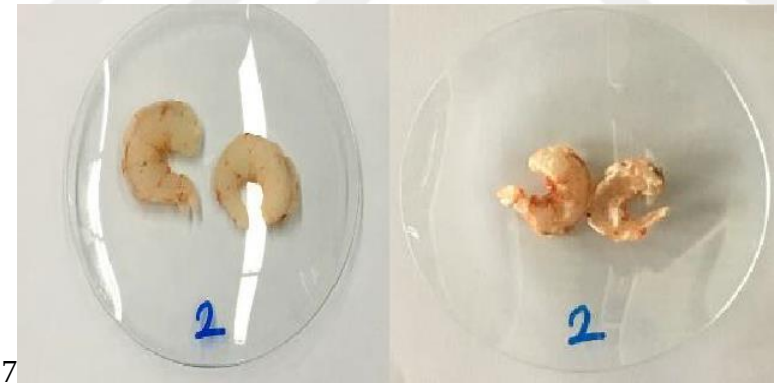
Şekil 4.16 Vakum etüvünde 80°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum

4.3.3.3 Mikrodalga Fırın ile Kurutma

Karides numuleri mikrodalga fırında 140, 210 ve 350 W olmak üzere üç farklı güçte kurutulmuştur. Karideslerin başlangıç ağırlığı belirlendikten sonra 1 dakika aralıklarla tartımları alınıp istenilen ağırlığa ulaşıncaya kadar deney gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinden sonra her bir numune düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) paketlere alınarak desikatör içinde muhafazaları sağlanmıştır. Numunelerin kurutma işlemi öncesi ve sonrasındaki görüntüleri Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19'daki gibidir.



Şekil 4.17 Mikrodalgada 140 W gücünde kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



7

Şekil 4.18 Mikrodalgada 210 W gücünde kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



Şekil 4.19 Mikrodalgada 350 W gücünde kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum

4.3.3.4 Infrared (Kızılötesi) ile Kurutma

Karides numuleri infrared cihazında 60°C, 70°C ve 80°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta kurutulmuştur. Karideslerin başlangıç ağırlığı belirlendikten sonra 15 dakika aralıklarla tartımları alınıp istenilen ağırlığa ulaşıncaya kadar deney gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinden sonra her bir numune düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) paketlere alınarak desikatör içinde muhafazaları sağlanmıştır. Numunelerin kurutma işlemi öncesi ve sonrasındaki görüntüleri Şekil 4.20, 4.21 ve 4.22'deki gibidir.



Şekil 4.20 Infrared cihazında 60°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



Şekil 4.21 Infrared cihazında 70°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum



Şekil 4.22 Infrared cihazında 80°C'de kurutma işlemi uygulanmasından önceki ve sonraki durum

4.3.3.5 Ultrasonik Ön İşlemli Infrared (Kızılötesi) ile Kurutma

Infrared ile kurutma işleminden önce üç farklı sıcaklıkta kurutma için hazırlanan karidesler ayrı ayrı olarak, içerisinde 100 ml su bulunan 250 ml'lik beherlere konulmuştur. Daha sonra her bir beher ayrı ayrı şekilde ultrasonik su banyosuna alınarak 5 dakika süresince oda sıcaklığı olan 25°C'de bekletilmiştir. Su banyosundaki ön işlem bittikten sonra 60, 70 ve 80 °C'lerdeki infrared ile kurutma işlemleri sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Karideslerin başlangıç ağırlığı belirlendikten sonra 15 dakika aralıklarla tartımları alınıp istenilen ağırlığa ulaşıncaya kadar deney gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinden sonra her bir numune düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) paketlere alınarak desikatör içinde muhafazaları sağlanmıştır.

4.4 Matematiksel Modelleme

Matematiksel modelleme işlemleri Statistica 8.0 programı (Statsoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneylerinde kullanılan karides numunelerinin nem içeriği kuru baza göre aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$M = \frac{m_w}{m_d} \tag{4.1}$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \tag{4.2}$$

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \tag{4.3}$$

Denklemlerde;

- M, numunenin nem içeriğini (kg su/kg kuru madde),
- m_w, su miktarını (kg),
- m_d, kuru madde miktarını (kg),
- DR, kurutma hızı (kg su/ kg kuru madde x sn),
- M_{t+dt}, t+dt'deki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde),
- t, kurutma zamanını (sn),
- MR, nem oranını (boyutsuz),
- M_i, kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği nem içeriğini (kg su/kg kuru madde),
- M_t, herhangi bir andaki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde),
- M_e, ise denge anındaki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde) göstermektedir.

Deneysel verilerden faydalanarak nem içeriği ile kurutma süresi arasında bir ilişki kurulması amacıyla literatürde gıda ürünleri için kullanılan on dört farklı nem oranı modeline göre denklemler uygulanmıştır.

Tablo 4.1 Kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler

Model	Denklem*
Aghbaslo vd.	$MR = \exp(-k_1 t/(1 + k_2 t))$
Alibas	$MR = a \,.\, \exp((-kt^n) + bt) + g$
Henderson& Pabis	$MR = a \,.\, \exp(-kt)$
Jena & Das	$MR = a \,.\, \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a \,.\, \exp(-kt) + c$
Midilli & Kucuk	$MR = a \,.\, \exp(-kt^n) + bt$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Parabolic	$MR = a + bt + cr^2$
Peleg	$MR = a + t/(k_1 + k_2 t)$
Two-term exponential	$MR = a \,.\, \exp(bt) + c.\exp(dt)$
Verma vd.	$MR = a \,.\, \exp(-kt) + (1 - a).\exp(-gt)$
Wang&Singh	$MR = \exp(-(t/b)^a)$
Weibull	$MR = a - b.\exp(-(kt)^n)$

* *a, b, c, k, k_1, k_2, n*: kurutma modellerindeki ampirik sabitler ve katsayılardır

Tablo 4.1'de gösterilen Aghbashlo vd.,, Alibas, Jena & Das, Henderson & Pabis, Lewis, Logarithmic, Midilli & Kucuk, Page, Parabolic, Peleg, Two Term Exponential, Verma, Wang & Singh ve Weibull denklemleri test edilmiş ve istatistiksel olarak kıyaslanmıştır [117-126].

4.5 Regresyon Analizi

Regresyon analizlerinde Statistica programı (Statsoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) ürünlerin kurutma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Ayrıca khi-kare (χ^2) ve hata kareleri ortalama karekökü (RMSE) değerleriyle de kullanılan denklemin uygunluğu saptanmıştır [127].

$$R^2 \equiv 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(MR_{exp,i} - \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{N} MR_{exp,i})} \quad (4.4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2}{N-z} \quad (4.5)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2\right)^{1/2} \quad (4.6)$$

Burada MR_{exp} ve MR_{pre} deneysel ve tahmin edilen nem oranları, N deneysel veri sayısı ve n kullanılan denklemdeki katsayı sayısı olarak ifade edilmektedir.

Tahminin standart hatası, deneysel ve ampirik değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değerin sıfıra yakın olması istenilmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir.

4.6 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Kütle difüzyonu Fick'in ikinci yasasına dayandırılmaktadır. Azalan hız periyodunda gıdaların kurutma karakteristiği Fick'in ikinci yasası kullanılarak tanımlanabilir [128]. Fick'in ikinci yasası eşitlik (4.7)'deki gibi çözülürken, nem transferinin sadece difüzyonla gerçekleştiği, ürünün büzülmediği, sıcaklık ve difüzyon katsayısının sabit olduğu ve kurutma süresinin yeterince uzun olduğu varsayılmıştır [129].

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\left[\sum_{n=1}^{\infty}\frac{4}{a^2 a_n^2}\exp\frac{Ka^2 a_n^2 t}{\pi^2}\right]\left[\sum_{n=0}^{\infty}\frac{4}{(2n+1)^2}\exp\left[-K(2n+1)^2 t\left(\frac{a}{l}\right)^2\right]\right] \quad (4.7)$$

Burada l, silindir uzunluğunun yarısını (m), a değeri, sonlu silindirin yarıçapını (m), K değeri efektif nem difüzyonunu (D_{eff}) (m^2/s), t kurutma süresini (s) ifade etmektedir. Eşitlik (4.7)'nin basitleştirilmiş hali Eşitlik (4.8)'deki gibidir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\exp\left[-Kt\left(\frac{a}{l}\right)^2\right] \quad (4.8)$$

Eşitlik (4.8)'in her iki tarafının ln'i alındığında Eşitlik (4.9) elde edilmektedir.

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{D_{eff}X\pi^2}{a^2} x \left(\frac{a^2}{l}\right) xt \quad (4.9)$$

Kurutma süresine karşı ln(MR) grafiğinin eğimi;

$$\text{eğim} = -D_{eff} = \frac{\pi}{l^2} \quad (4.10)$$

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

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273{,}15)}\right) \quad (4.11)$$

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-E_a \text{ x } \frac{m}{P}\right) \quad (4.12)$$

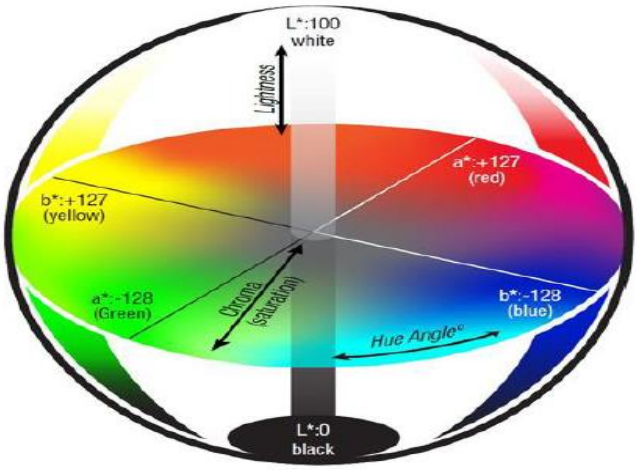
Burada D_{eff} efektif difüzyon katsayısını (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabiti (m^2/s), E_a aktivasyon enerjisini (kJ/mol), R üniversal gaz sabitini (8,314 kJ/(mol×K)), T kurutma sıcaklığını (°C), m kütleyi (kg) ve P mikrodalga gücünü (W) ifade etmektedir. Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden yararlanarak aktivasyon enerjisinin değeri hesaplanmaktadır [19].

4.7 Renk Analizleri

Kurutulmuş tüm karidesler ve kontrol grubu olarak taze karideslerin renk ölçümleri Şekil 4.7'de gösterilen PCE-CSM 1; PCE (Instruments UK Ltd., Southampton Hampshire, United Kingdom) marka renk analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan her bir deney sonunda kurutulmuş olan örneklerden rastgele seçim yapılarak "L*", "a*" ve "b*" değerleri ölçülmüş ve bu değerler alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

Şekil 4.23'de gösterilen CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) sistemine göre, renk ölçümü esnasında elde edilen "L*", "a*" ve "b*" değerlerinden, "L*" parametresi parlaklığın beyazlığın bir göstergesi olup 0-100 değerleri arasında değer alır. "L*" parametresinin değerinin artması rengin siyahtan beyaza gidişine, "a*" değerinin pozitif

olması kırmızılığa, negatif olması yeşilliğe; "b*" parametresinin pozitif olması sarılığa, negatif olması ise maviliğe gidiş göstermektedir [130].



Şekil 4.23 "L*", "a*" ve "b*" değerlerini gösterir renk skalası [131].

Toplam renk değişimleri (ΔE) her bir metot için Eşitlik (4.13) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \tag{4.13}$$

‘’L_0’’, ‘’a_0’’ ve ‘’b_0’’ kurutmadan önceki renk değerlerini, "L*", "a*" ve "b*" ise kurutmadan sonra renk değerlerinin ifade etmektedir [17].

4.8 Ağır Metal Analizleri

Kurutulmuş karides numunelerinin ağır metal içeriklerinin analizi için Agilent 700 Series marka ICP-MS (İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi), analiz cihazı kullanılmıştır. Numunelerin eser element içeriklerini belirlemek için hem katı hem de sıvı numuneler için uygun bir teknik olan ICP-MS analizi gerçekleştirilmiştir.

ICP-MS, numunelerin yüksek sıcaklıktaki bir plazmaya, genellikle argon gazı gönderilerek moleküller arası bağların kırıldığı ve atomların iyonlaştırıldığı bir analiz tekniğidir. Numune, genel olarak bir solüsyon halinde numune giriş sistemi aracılığıyla nebulizatöre ve sprey odacığına sunulur. Burada yüksek hızlı argon gazı akışı sayesinde numune solüsyonu sisleştirilir. 6000 K civarında sıcaklıklardaki plazma numuneyi buharlaştırır ve iyonize eder. İyonlar, atmosferik basınçtan örnekleyici ve süzücü konilerle yüksek vakumlu ortama geçerler. İyon akımı, iyon lensleri ile kütle filtresine

yönlendirilir. İyonlar, kütle spektrometresinde kütle/yük oranına göre ayrılarak ölçülürler [132].

4.9 Protein Analizleri

Kurutulmuş karides numunelerinin içeriğindeki protein yüzdelerinin analizi için Leco FP-528 (3000 Lakeview Ave, USA) marka analiz cihazı kullanılmıştır. AOAC metoduna göre, deney numunesi öğütülerek homojen hale getirildikten sonra 0,25 g civarında numune tartılıp yüksek sıcaklıktaki (975°C) fırında, oksijen atmosferi altında yakılarak içerisindeki toplam azot (protein) miktarı yüzde olarak tespit edilmektedir. Azot oranı belli EDTA (azot oranı %9.56±0.04) standart örneği olarak kullanılmıştır. Eşitlik (4.14)'de yerine konularak protein oranı hesaplanır [133].

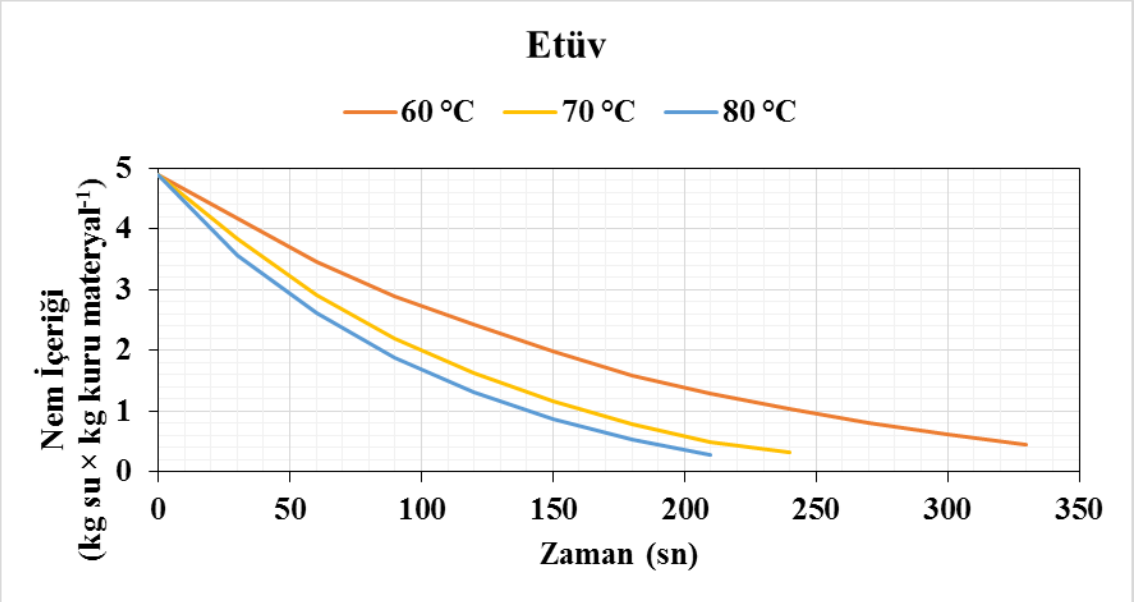
$$\text{Protein (\%)} = \%\ \text{N} \times \text{Protein Faktörü (6.25)} \tag{4.14}$$

5
DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 Kurutma Eğrileri

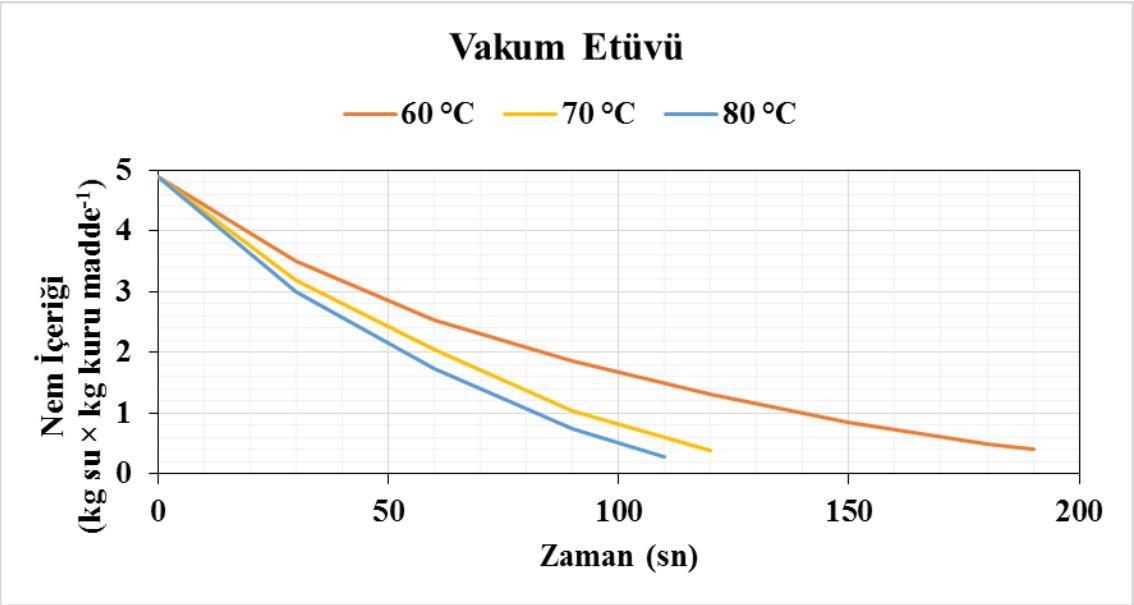
5.1.1 Nem İçeriği

Kurutma deneyleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak beş farklı metod için çizilen karideslerin nem içeriğinin zamana bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5'te gösterilmektedir.



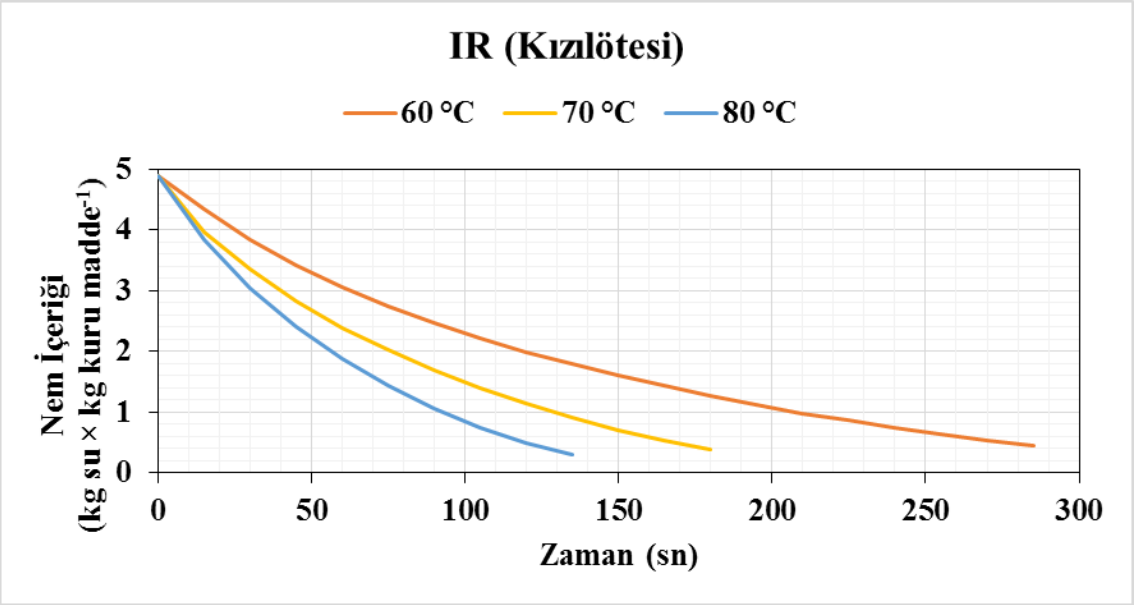
Şekil 5.1 Etüv ile 60, 70 ve 80°C'lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi

Etüvde kurutulan karideslerin başlangıçtaki nem oranı 4,8824 kg su/kg kuru madde iken bu değer 60, 70 ve 80 °C için sırasıyla 0,4497, 0,3210 ve 0,2865 kg su/ kg kuru madde değerlerine kadar düşmüştür.



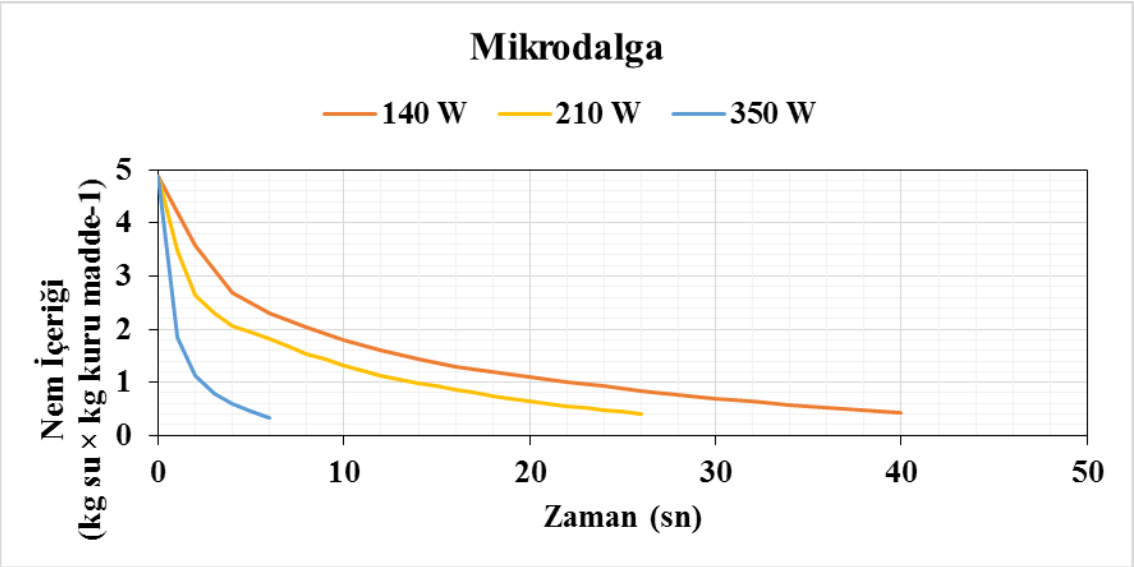
Şekil 5.2 Vakum etüvü ile 60, 70 ve 80°C'lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi

Vakum etüvü ile kurutulan karideslerin başlangıçtaki nem oranı 4,8824 kg su/kg kuru madde iken bu değer 60, 70 ve 80 °C için sırasıyla 0,3997, 0,3895 ve 0,2759 kg su/ kg kuru madde değerlerine kadar düşmüştür.



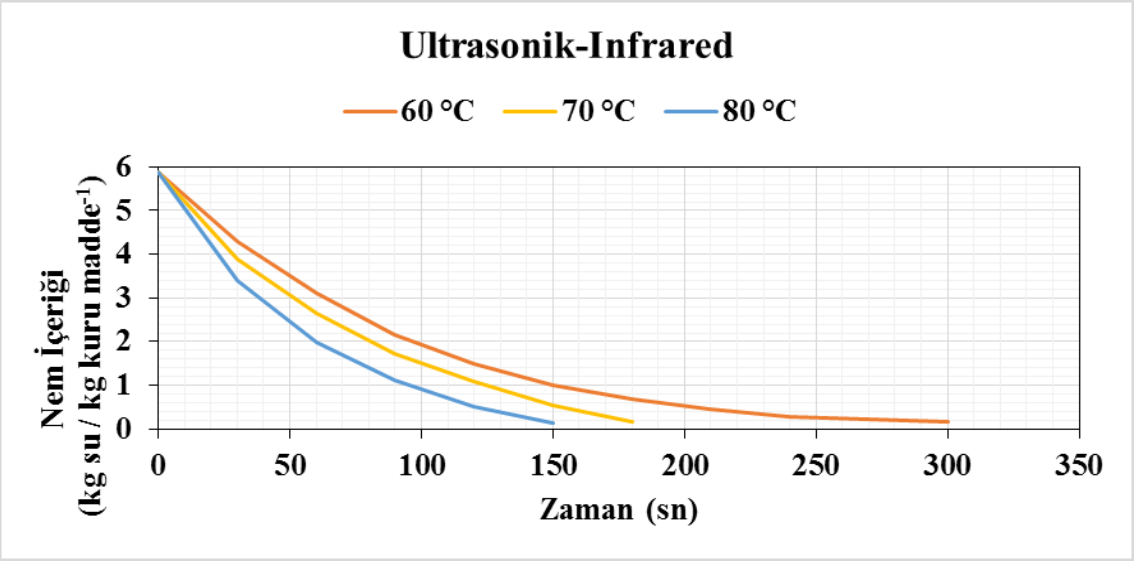
Şekil 5.3 IR cihazı ile ile 60, 70 ve 80°C'lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi

IR (Kızılötesi) cihazı ile kurutulan karideslerin başlangıçtaki nem oranı 4,8824 kg su/kg kuru madde iken bu değer 60, 70 ve 80 °C için sırasıyla 0,4582, 0,3840 ve 0,30 kg su/ kg kuru madde değerlerine kadar düşmüştür.



Şekil 5.4 Mikrodalga fırın ile 140, 210 ve 350 W'larda kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi

Mikrodalga fırını ile kurutulan karideslerin başlangıçtaki nem oranı 4,8824 kg su/kg kuru madde iken bu değer 140, 210 ve 350 W için sırasıyla 0,4174, 0,4112 ve 0,32 kg su/ kg kuru madde değerlerine kadar düşmüştür.



Şekil 5.5 US-IR ile 60, 70 ve 80°C'lerde kurutulan karideslerin zamana bağlı nem içeriği eğrisi

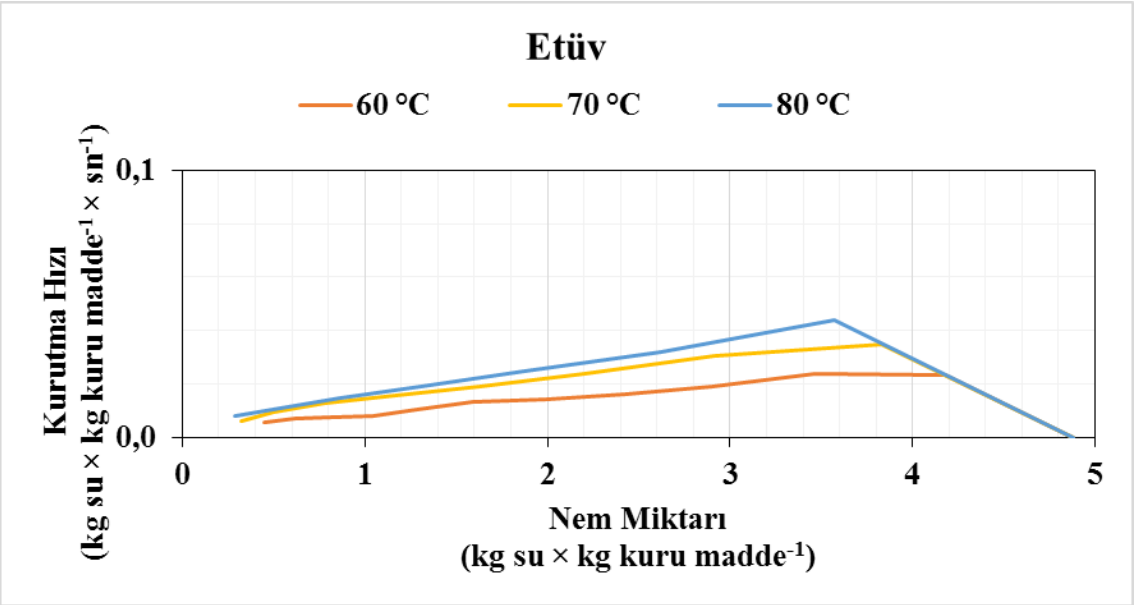
US-IR (Kızılötesi) cihazı ile kurutulan karideslerin başlangıçtaki nem oranı 5,8824 kg su/kg kuru madde iken bu değer 60, 70 ve 80 °C için sırasıyla 0,1794, 0,1676 ve 0,1471 kg su/ kg kuru madde değerlerine kadar düşmüştür.

Elde edilen veriler doğrultusunda çizilmiş olan eğriler daha önce yapılmış gıda kurutma çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı ise karidesin bağ dokulu yapısı sayesinde kurutma işlemi sonucunda, meyve ve sebze ürünlerine oranla daha düşük bir nem içeriğine ulaşabilmesidir. Mikrodalga fırını için güç arttırıldıkça; etüv, vakum etüvü, IR ve US-IR için ise sıcaklık arttıkça kurutmaya harcanan zamanın düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Mikrodalga yöntemiyle kurutma deneyleri sırasıyla 140 W, 210 W ve 350 W güçlerinde gerçekleştirilmiş olup kurutma süreleri sırasıyla 40, 26 ve 6 dakika olarak belirlenmiştir. En uzun sürede kurutmanın yapıldığı etüv ile kurutma ise 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleşmiştir. Kurutma süreleri ise sırasıyla 330, 240 ve 210 dakika olarak tespit edilmiştir. Vakum etüvü ile kurutma deneyleri 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleştirilmiş olup 190, 120 ve 110 dakika sürelerinde tamamlanmıştır. Infrared yani kızılötesi ışın ile gerçekleştirilen kurutma deneyleri 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleştirilmiş olup kurutma süreleri sırasıyla 285, 180 ve 135 dakika olarak belirlenmiştir. Ultrasonik ön işlemli kızılötesi ışın ile gerçekleştirilen kurutma deneyleri 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleştirilmiş olup kurutma süreleri sırasıyla 300, 180 ve 150 dakika olarak belirlenmiştir. Ultrasonik ön işlem uygulanarak gerçekleştirilen infrared kurutma yönteminin ön işlemsiz infrared kurutma yöntemine göre kurutma süresinin bir miktar daha fazla olmasının sebebi ultrasonik su banyosu içerisinden kurutulduktan sonra bir miktar su almasıdır. Kurutma zamanlarındaki düşüşler gıda endüstrisi için önemlidir. Çünkü et ürünlerinin içerisindeki yağ miktarı ısıl işlem sırasında peroksitlerine ayrılmaktadır. Bu oksidasyon etin tadında ve kalitesinde düşüşe ve raf ömrünün azalmasına neden olmaktadır.

5.1.2 Kurutma Hızı Eğrileri

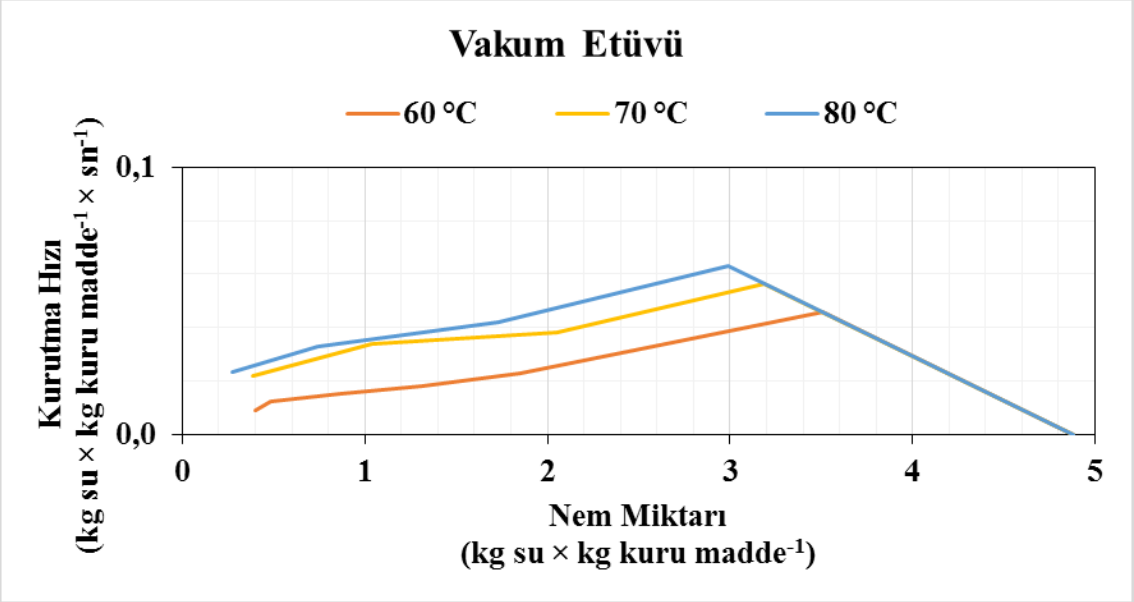
Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen katı maddeden nem transferi işlemi Fick'in II. Kanunuyla açıklanmaktadır [134]. Şekil 5.6'da etüv ile kurutma, Şekil 5.7'de vakum etüvü ile kurutma, Şekil 5.8'de IR ile kurutma (kızılötesi) Şekil 5.9'da US-IR ile kurutma işlemlerinin farklı sıcaklıklarında, Şekil 5.10'da ise mikrodalga ile kurutma işleminin farklı güçlerde kurutma hızı eğrileri verilmiştir. Güç ve sıcaklık artışıyla

beraber kurutma hızınında arttığı gözlemlenmiştir. Kurutma hızındaki bu artış yüksek güç, yüksek sıcaklık, ısı ve kütle transferindeki artış ile açıklanmaktadır.



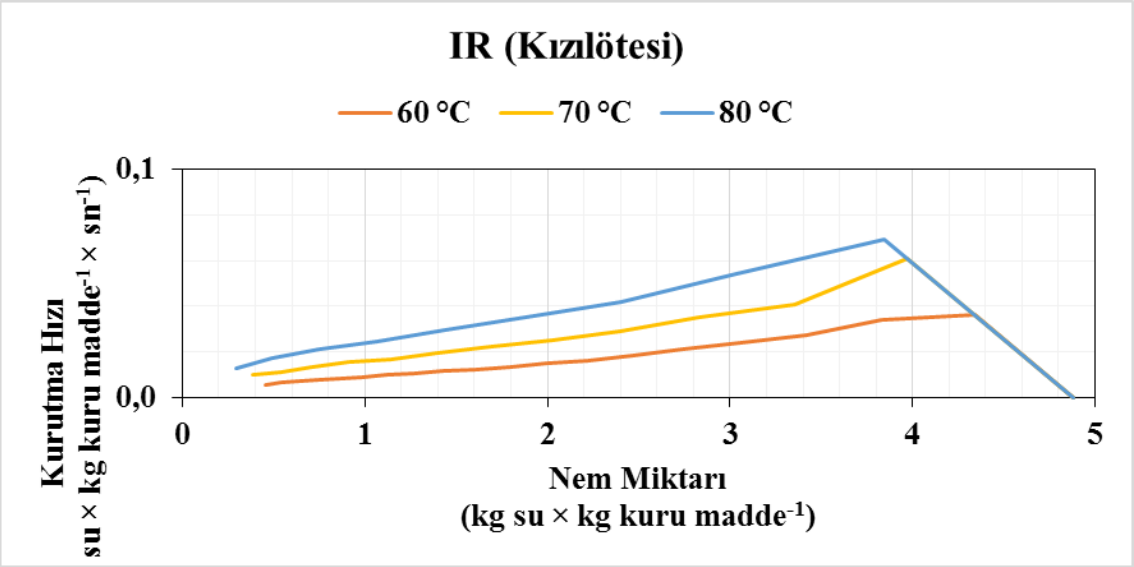
Şekil 5.6 Etüv ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri

Etüv ile kurutmaya ait grafik incelendiğinde 60 °C için kurutma hızı 0,055 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar; 70 °C için 0,060 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e ve 80 °C için 0,082 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar artan kurutma periyodu gösterirken bu değerden sonra düşen kurutma periyodu göstermektedir.



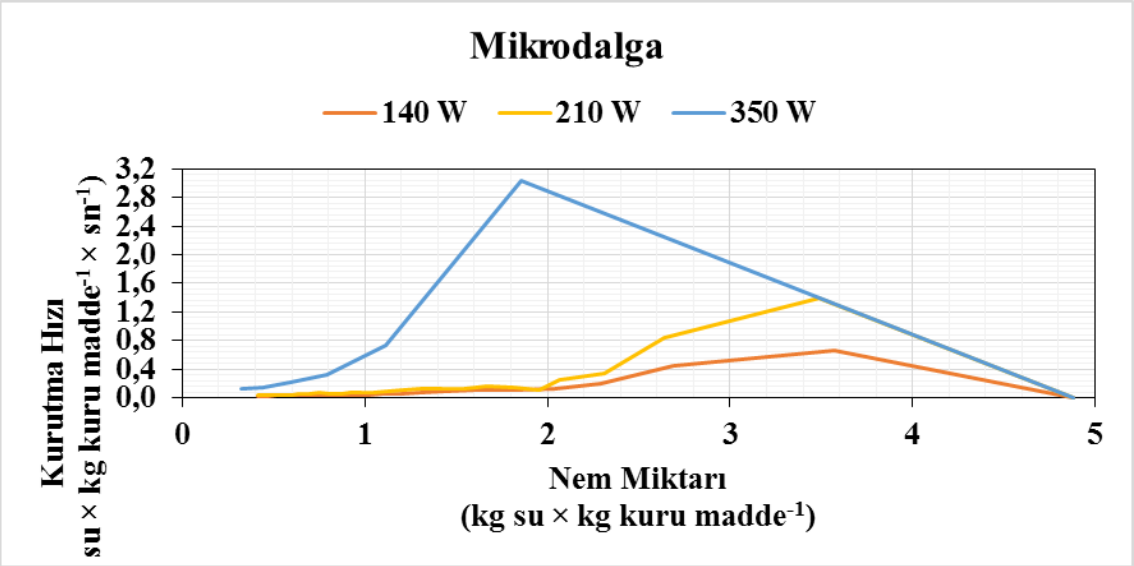
Şekil 5.7 Vakum etüvü ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri

Vakum etüv grafiği incelendiğinde, 60 °C için kurutma hızı 0,088 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar; 70 °C için 0,0216 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar ve 80 ° için 0,0233 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar artan kurutma periyodu gösterirken bu değerden sonra düşen kurutma periyodu göstermiştir.



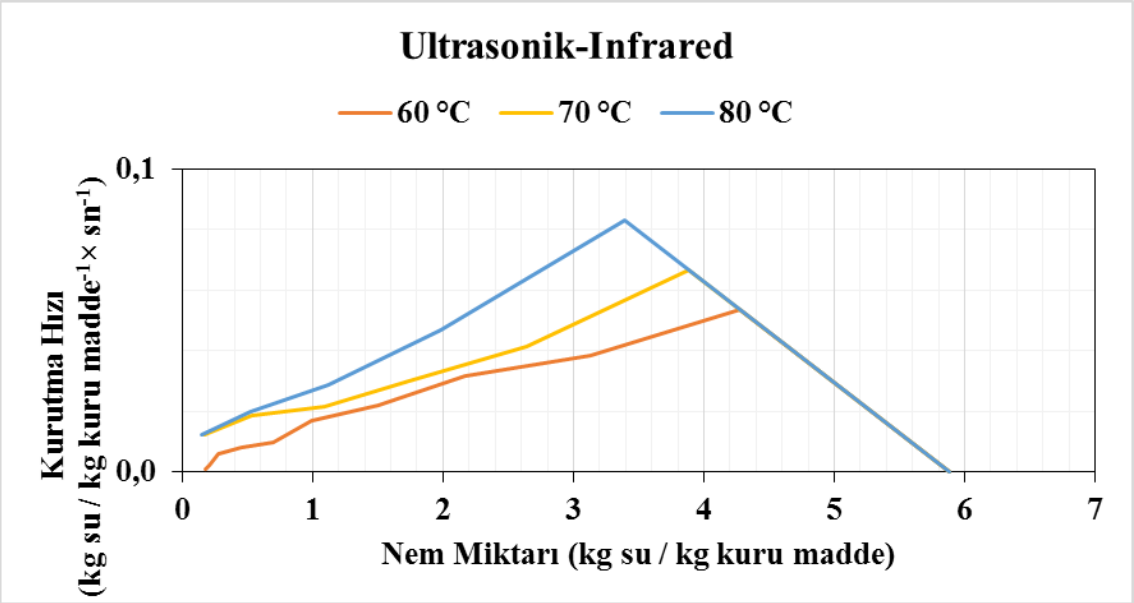
Şekil 5.8 IR ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri

IR ile kurutma grafiği incelendiğinde, 60 °C için kurutma hızı 0,056 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar; 70 °C için 0,0102 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar ve 80 ° için 0,013 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar artan kurutma periyodu gösterirken bu değerden sonra düşen kurutma periyodu göstermiştir.



Şekil 5.9 Mikrodalga ile kurutmanın farklı güçlerdeki kurutma hızı eğrileri

Mikrodalga fırını ile kurutma grafiği incelendiğinde, 90 W için kurutma hızı 0,0226 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar; 210 W için 1,56 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar ve 350 W için 4,99 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar artan kurutma periyodu gösterirken bu değerden sonra düşen kurutma periyodu göstermiştir.

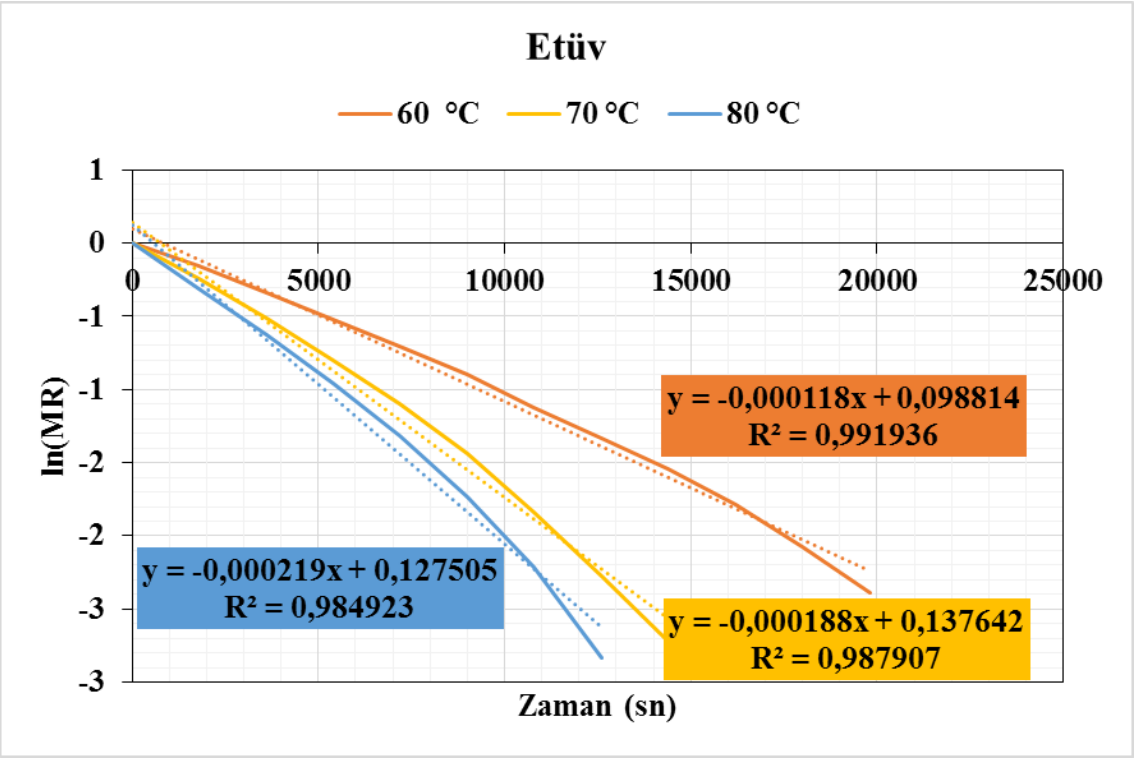


Şekil 5.10 US-IR ile kurutmanın farklı sıcaklıklardaki kurutma hızı eğrileri

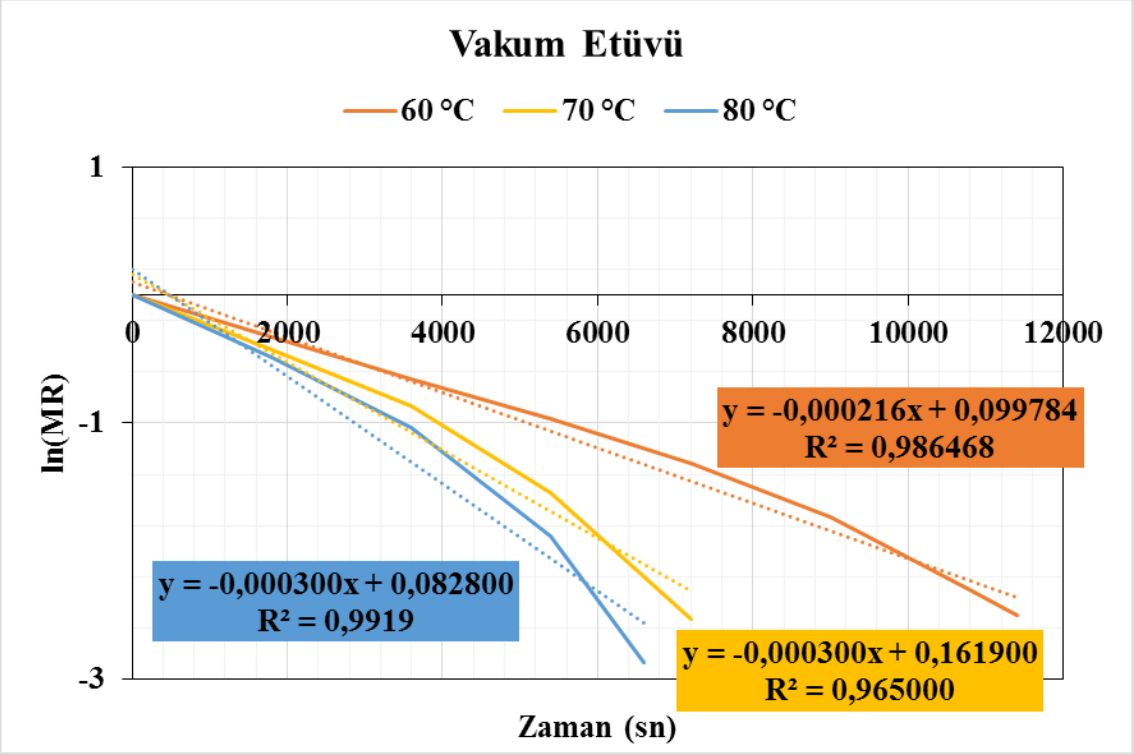
US-IR ile kurutma grafiği incelendiğinde, 60 °C için kurutma hızı 0,0010 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar; 70 °C için 0,0123 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar ve 80 ° için 0,012 kg su/ kg kuru madde x sn^{-1}'e kadar artan kurutma periyodu gösterirken bu değerden sonra düşen kurutma periyodu göstermiştir.

5.1.3 Zamana Bağlı Nem Oranı Eğrileri

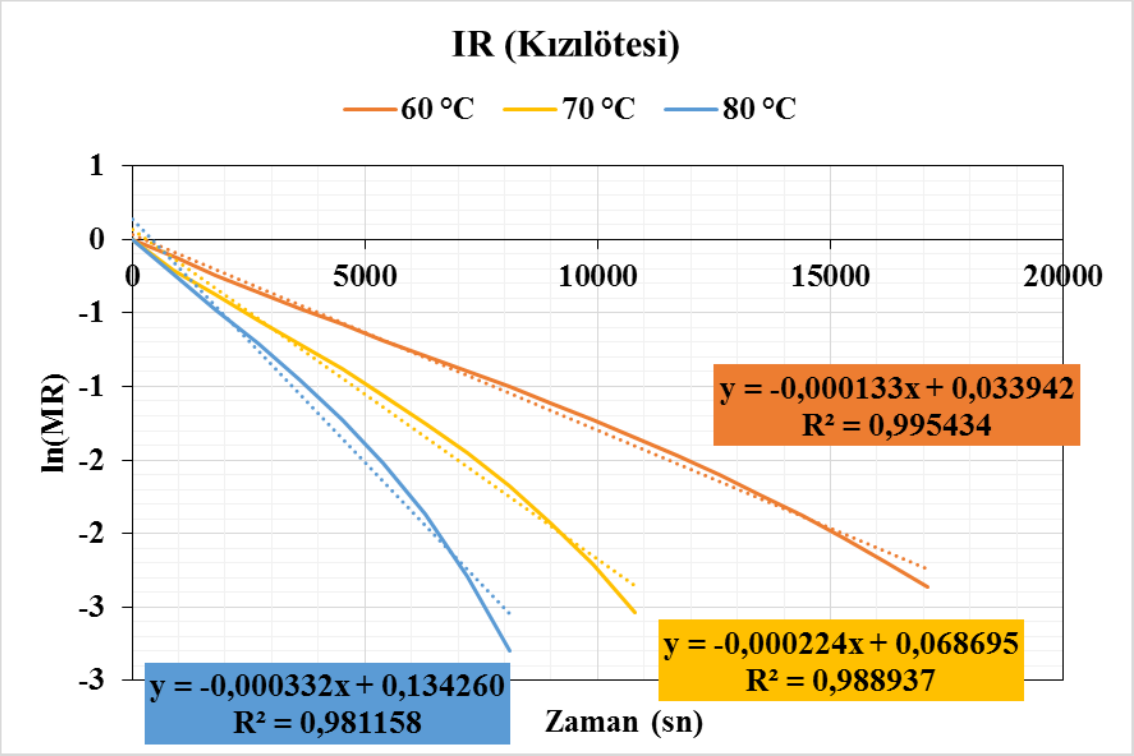
Beş farklı kurutma metoduna ait zamana bağlı nem oranı eğrileri Şekil 5.11, 12, 13, 14 ve 15'te sırasıyla gösterilmektedir. Elde edilen R^2 değerlerinin istenildiği gibi 1'e yakın olduğu görülmektedir.



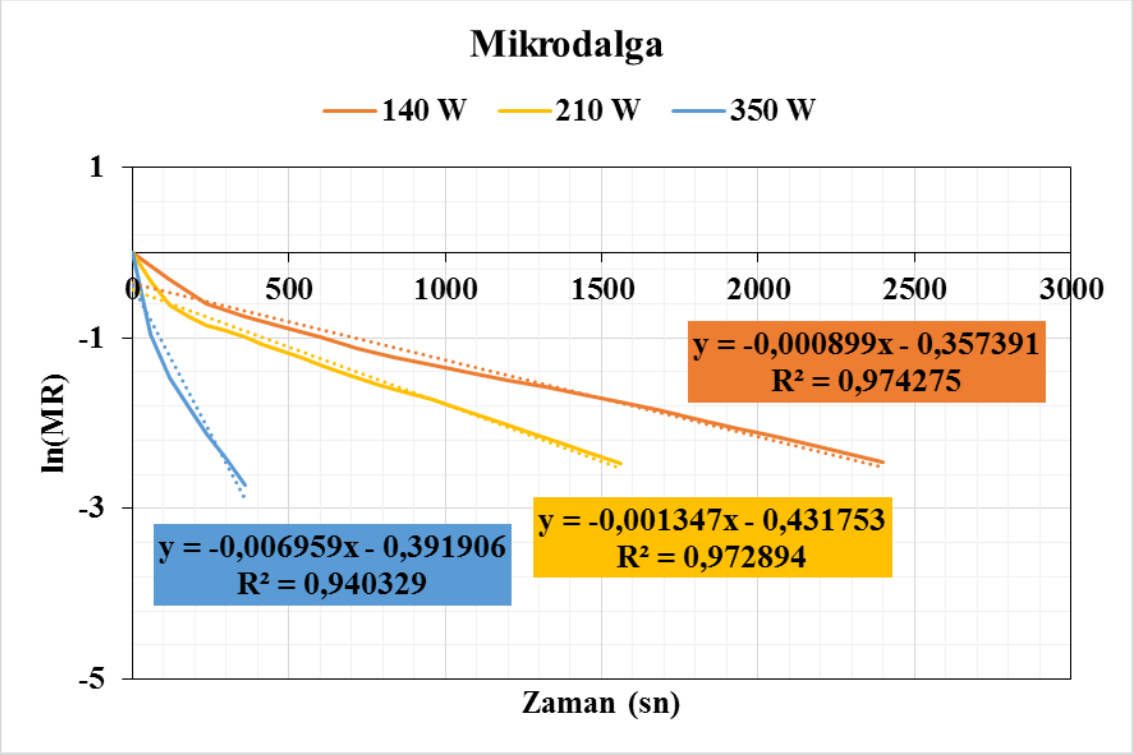
Şekil 5.11 Etüv ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri



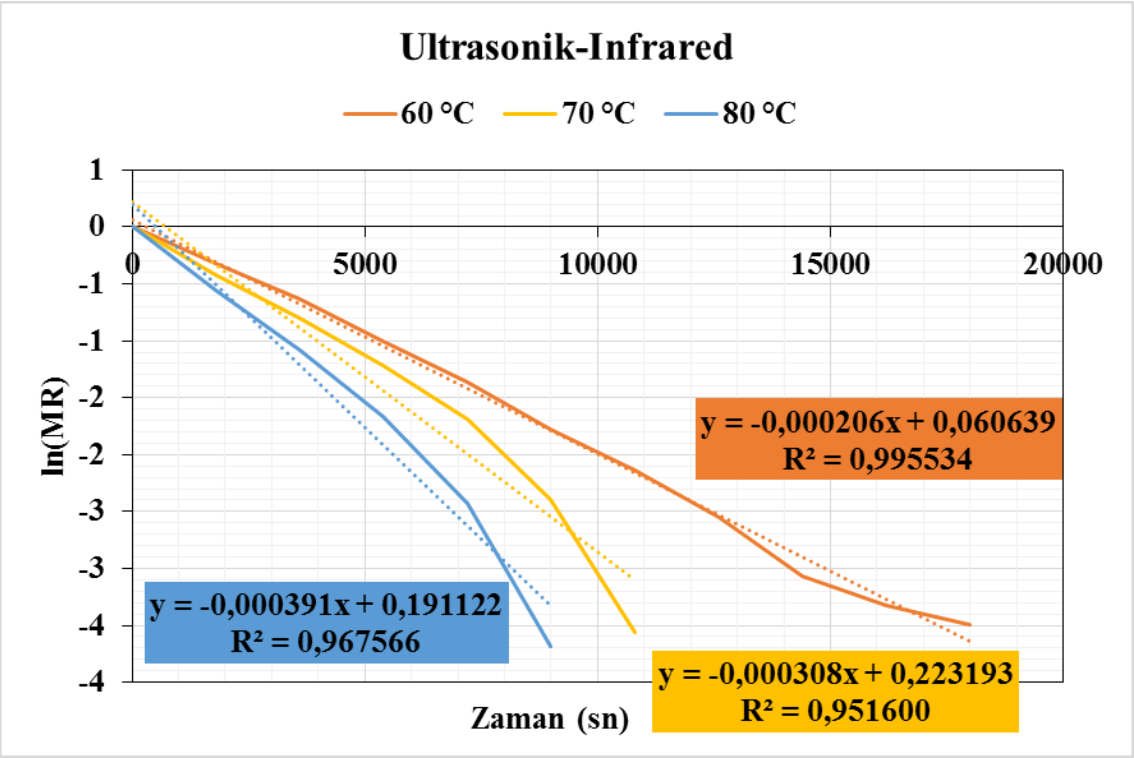
Şekil 5.12 Vakum etüvü ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri



Şekil 5.13 IR (kızılötesi) kurutucu ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri



Şekil 5.14 Mikrodalga ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri



Şekil 5.15 US-IR ile kurutma için zamana bağlı nem oranı eğrileri

5.1.4 Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Değerleri

Efektif nem difüzyonu katsayısı (D_{eff}) değerleri her bir metod için çizilen zamana bağlı nem oranı eğrilerinden elde edilen eşitliklerden hesaplanmıştır.

Etüv 60°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000118t + 0{,}098814$ ($R^2 = 0{,}991936$) (5.1)

Etüv 70°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000188t + 0{,}137642$ ($R^2 = 0{,}987907$) (5.2)

Etüv 80°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000219t + 0{,}127505$ ($R^2 = 0{,}984923$) (5.3)

Vakum Etüvü 60°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000216t + 0{,}099784$ ($R^2 = 0{,}986468$) (5.4)

Vakum Etüvü 70°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000300t + 0{,}161900$ ($R^2 = 0{,}965000$) (5.5)

Vakum Etüvü 80°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000300t + 0{,}082800$ ($R^2 = 0{,}991900$) (5.6)

IR 60°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000133t + 0{,}033942$ ($R^2 = 0{,}995434$) (5.7)

IR 70°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000224t + 0{,}068695$ ($R^2 = 0{,}988937$) (5.8)

IR 80°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000332t + 0{,}134260$ ($R^2 = 0{,}981158$) (5.9)

MW 140 W $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000899t + 0{,}357391$ ($R^2 = 0{,}974275$) (5.10)

MW 210 W $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}001347t + 0{,}431753$ ($R^2 = 0{,}972894$) (5.11)

MW 350 W $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}006959t + 0{,}391906$ ($R^2 = 0{,}940329$) (5.12)

US-IR 60°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000206t + 0{,}060639$ ($R^2 = 0{,}995534$) (5.13)

US-IR 70°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000308t + 0{,}223193$ ($R^2 = 0{,}951600$) (5.14)

US-IR 80°C $\rightarrow \ln(MR) = -0{,}000391t + 0{,}191122$ ($R^2 = 0{,}967566$) (5.15)

Eşitliklerden elde edilen D_{eff} değerleri her bir metod için Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1 D_{eff} değerleri

Metot	**Sıcaklık**	**D_{eff}**
Etüv	60°C	$1{,}46 \times 10^{-8}$
	70°C	$2{,}09 \times 10^{-8}$
	80°C	$2{,}8 \times 10^{-8}$
Vakum Etüvü	60°C	$3{,}6 \times 10^{-8}$
	70°C	$5{,}24 \times 10^{-8}$
	80°C	$5{,}49 \times 10^{-8}$
Infrared	60°C	$1{,}81 \times 10^{-8}$
	70°C	$2{,}41 \times 10^{-8}$
	80°C	$3{,}83 \times 10^{-8}$
Ultrasonik-Infrared	60°C	$2{,}8 \times 10^{-8}$
	70°C	$3{,}32 \times 10^{-8}$
	80°C	$4{,}51 \times 10^{-8}$

Tablo 5.1 D_{eff} değerleri (devamı)

Metot	Güç	D_{eff}
Mikrodalga	140 W	$1{,}21 \times 10^{-7}$
	210 W	$2{,}95 \times 10^{-7}$
	350 W	$1{,}66 \times 10^{-6}$

Elde edilen D_{eff} değerlerine bakıldığında mikrodalga fırın ile kurutma yöntemi diğer yöntemlere göre daha yüksek difüzyon katsayısı değerlerine sahiptir. Biyolojik malzemeler için difüzyon katsayısı değerleri genel olarak 10^{-8} ile 10^{-12} m^2/s aralığındadır [135]. Sıcaklık ve güç seviyesindeki artış, et tipi ürünlerde sıcaklık artışına neden olarak buhar basıncını arttırmaktadır [11,136].

Sıcaklık ve gücün D_{eff} değerleri üzerindeki etkisi aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır

$$\text{Etüv} \rightarrow D_{eff} = 7 \times 10^{-9}T + 8 \times 10^{-9} (R^2 = 0.9985) \quad (5.16)$$

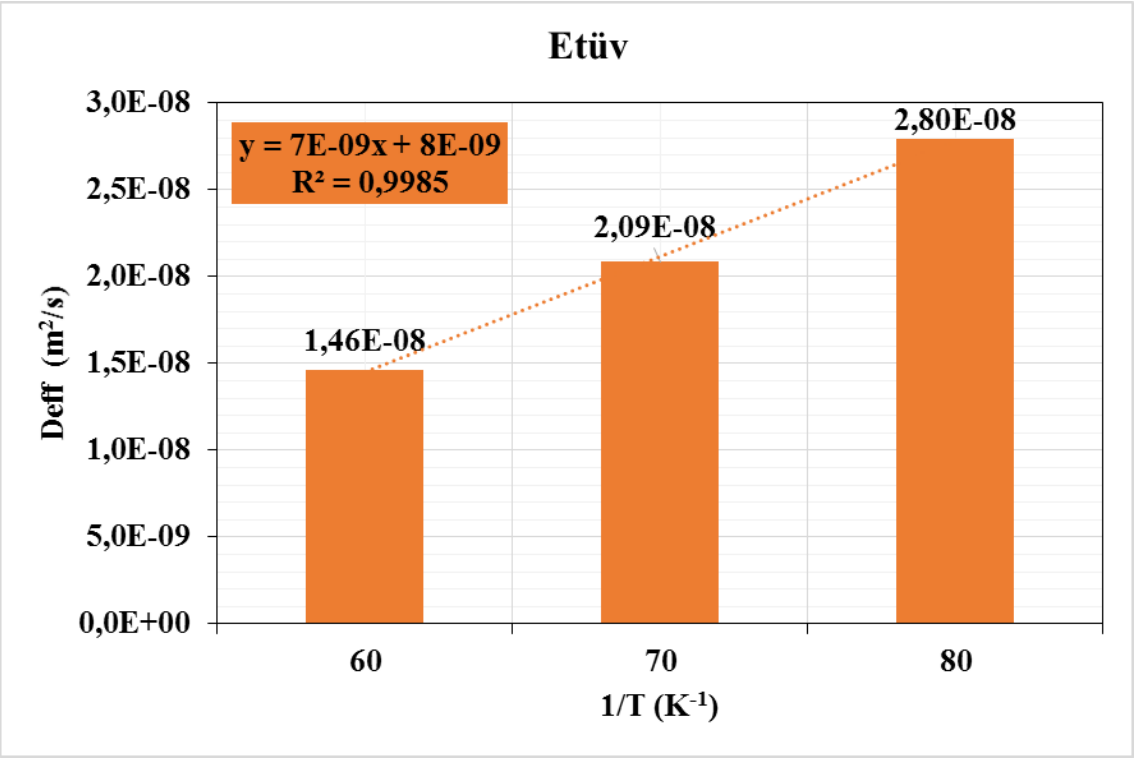
$$\text{Vakum Etüvü} \rightarrow D_{eff} = 9 \times 10^{-10}T + 2 \times 10^{-8} (R^2 = 0.8533) \quad (5.17)$$

$$\text{IR} \rightarrow D_{eff} = 6\times10^{-8}T + 3\times10^{-6} \ (R^2 = 0.9571) \quad (5.18)$$

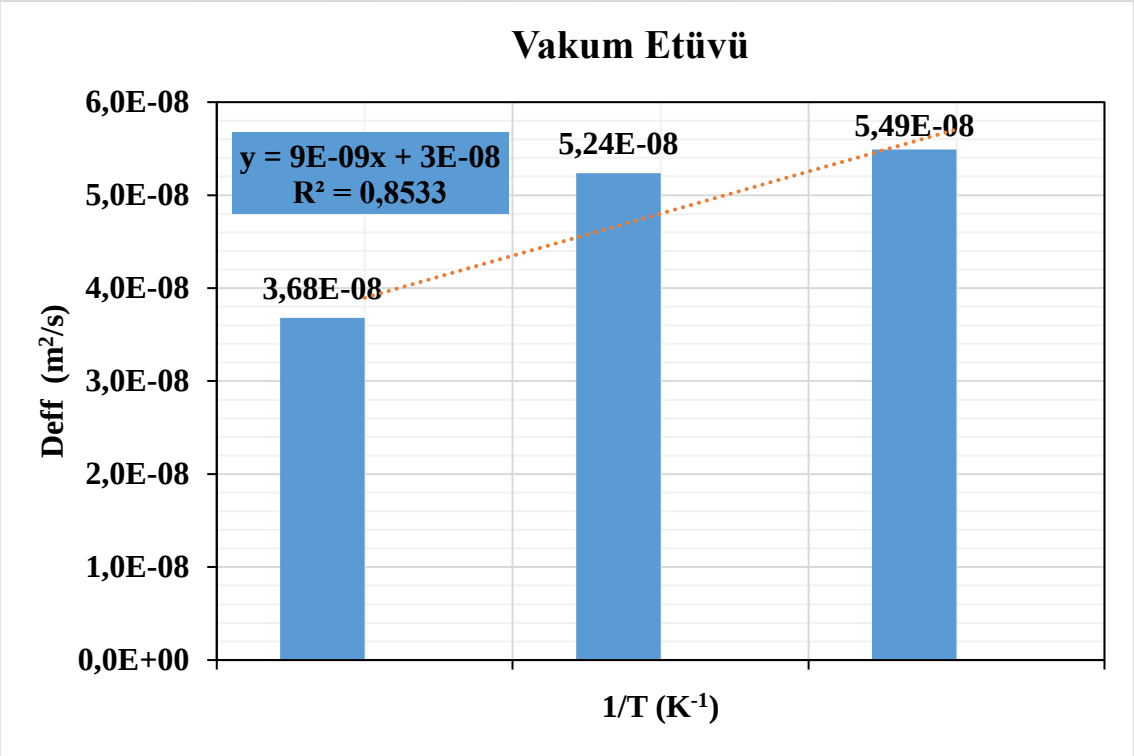
$$\text{MW} \rightarrow D_{eff} = 8\times10^{-9}P + 1\times10^{-6} \ (R^2 = 0.9480) \quad (5.19)$$

$$\text{IR-US} \rightarrow D_{eff} = 9\times10^{-9}T + 2\times10^{-8} \ (R^2 = 0.9509) \quad (5.20)$$

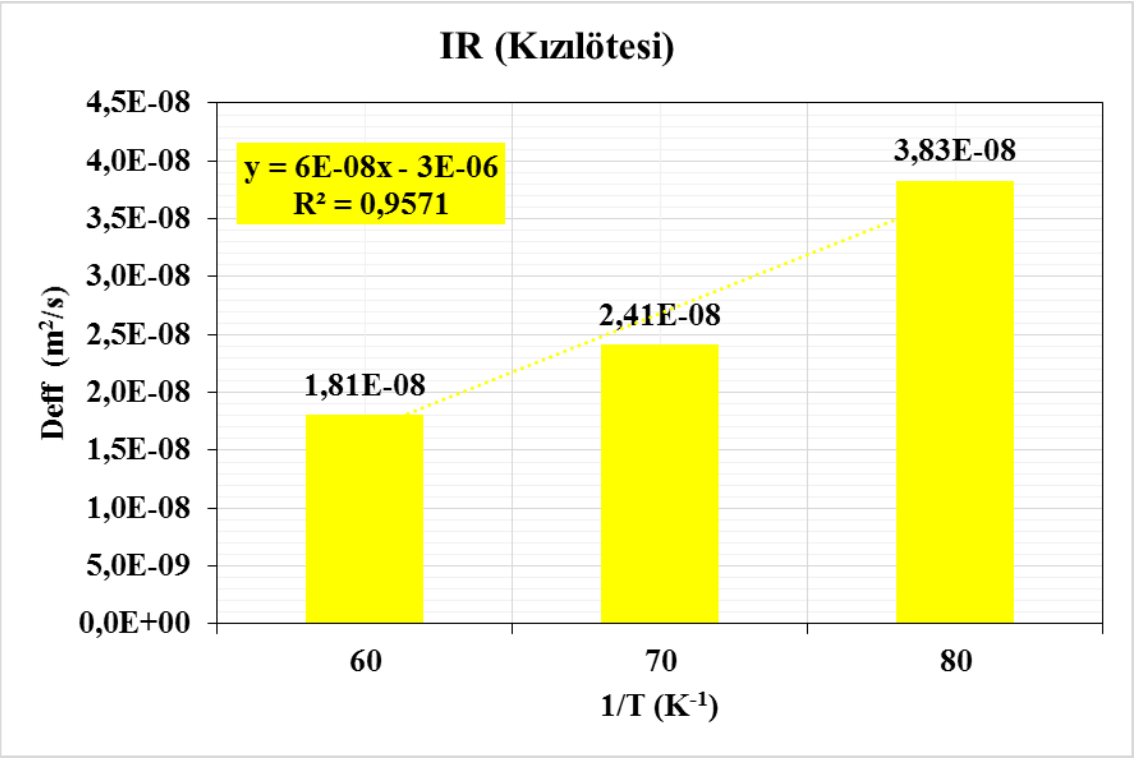
D_{eff} değerlerinin sıcaklığa ve güce bağlı değişimini gösteren eğriler şekillerde verilmiştir.



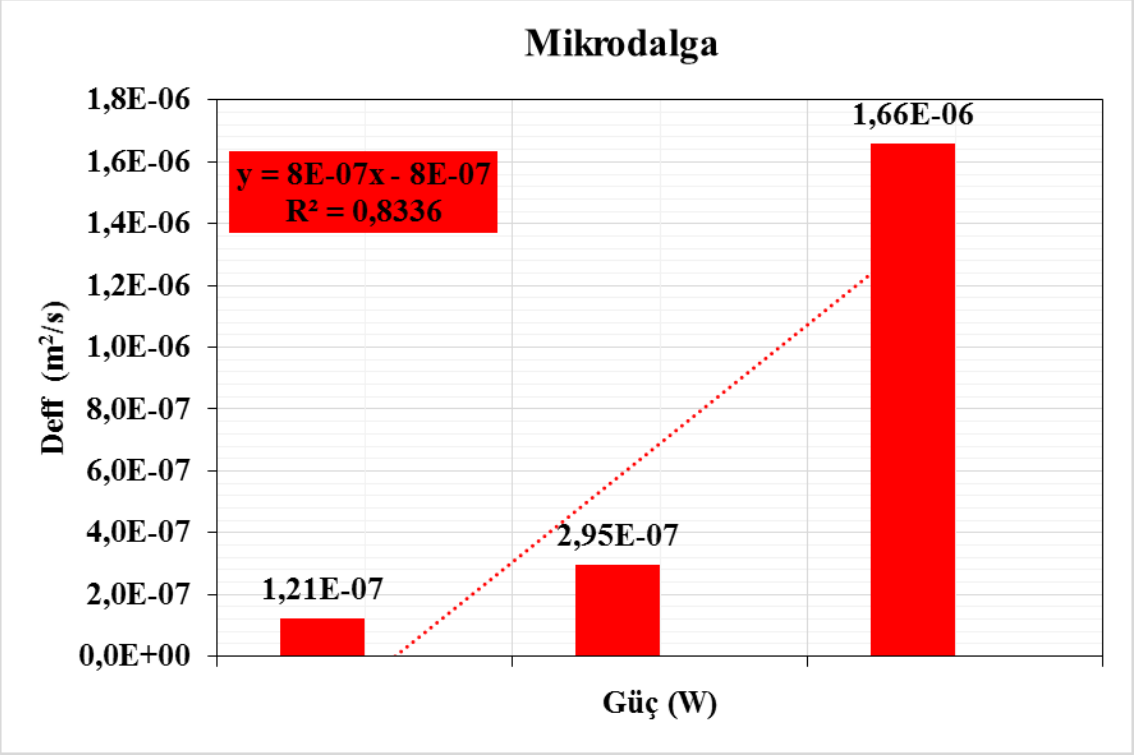
Şekil 5.16 Etüv ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi



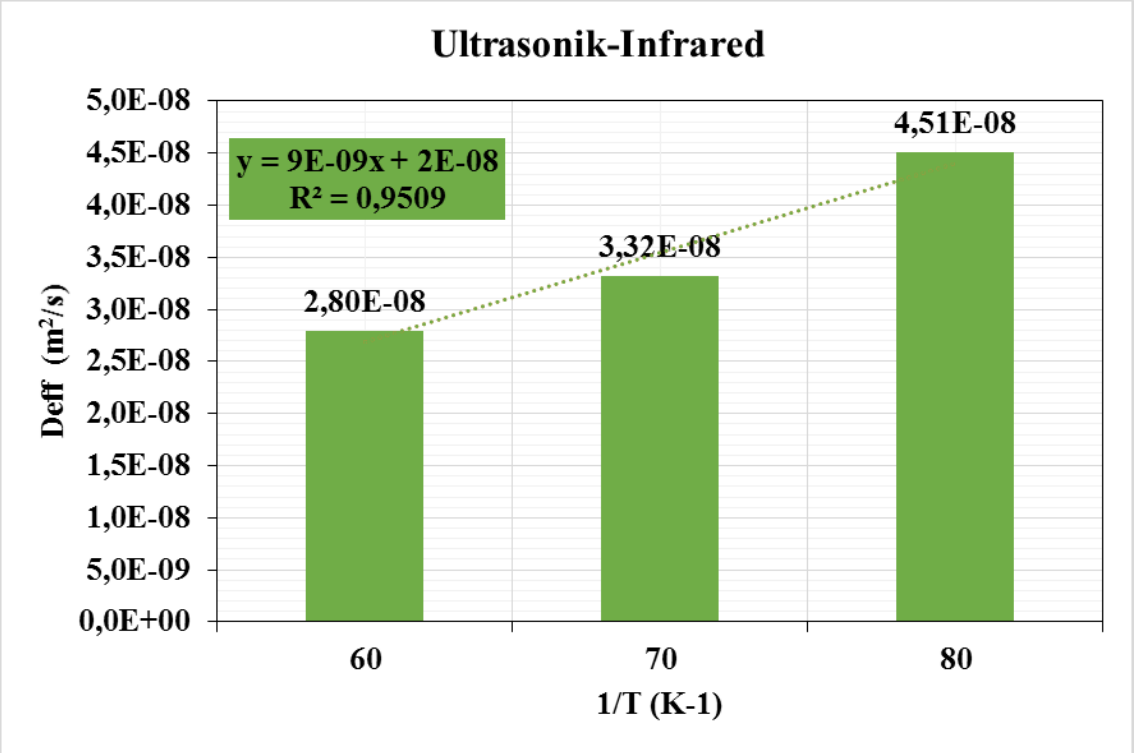
Şekil 5.17 Vakum etüvü ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi



Şekil 5.18 IR ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi



Şekil 5.19 Mikrodalga ile kurutma için güce bağlı D_{eff} değişim eğrisi



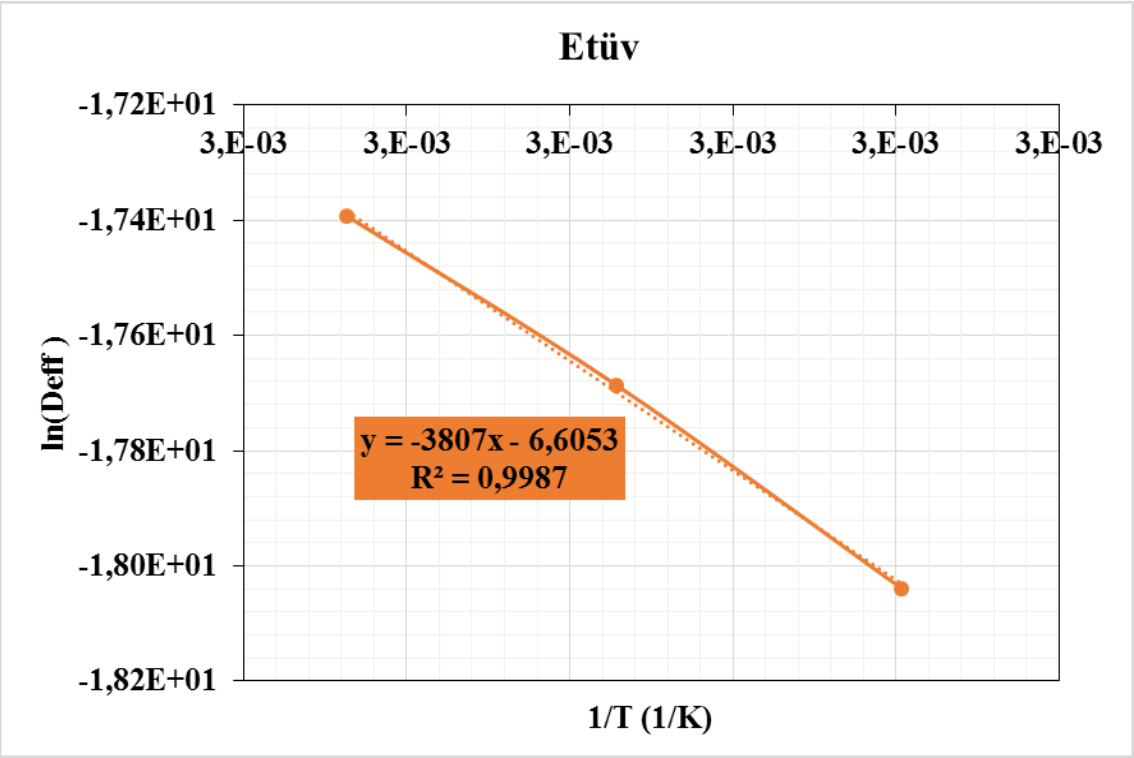
Şekil 5.20 US-IR ile kurutma için sıcaklığa bağlı D_{eff} değişim eğrisi

Uygulanan beş metot için aktivasyon enerjisi değerleri (E_a) Tablo 5.2'de verilmiştir.

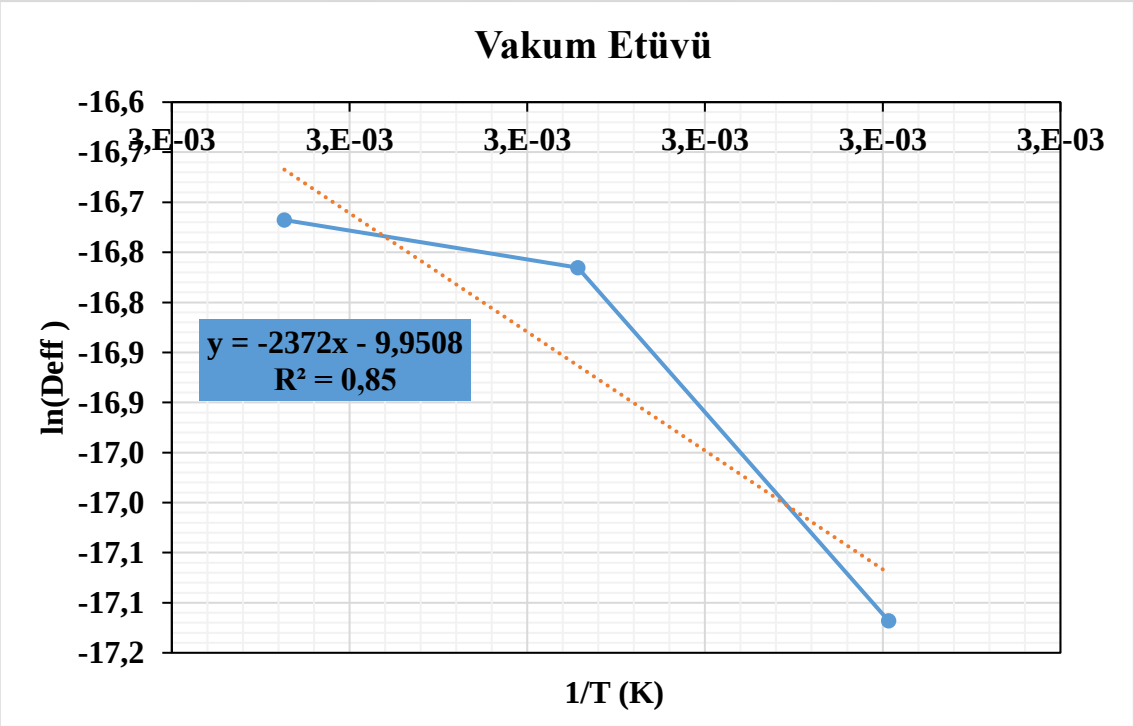
Tablo 5.2 E_a değerleri

Metot	**E_a**
Etüv	31,65 kJ/mol
Vakum Etüvü	19,72 kJ/mol
Infrared	36,71 kJ/mol
Mikrodalga	289,99 kW/kg
Ultrasonik-Infrared	23,33 kJ/mol

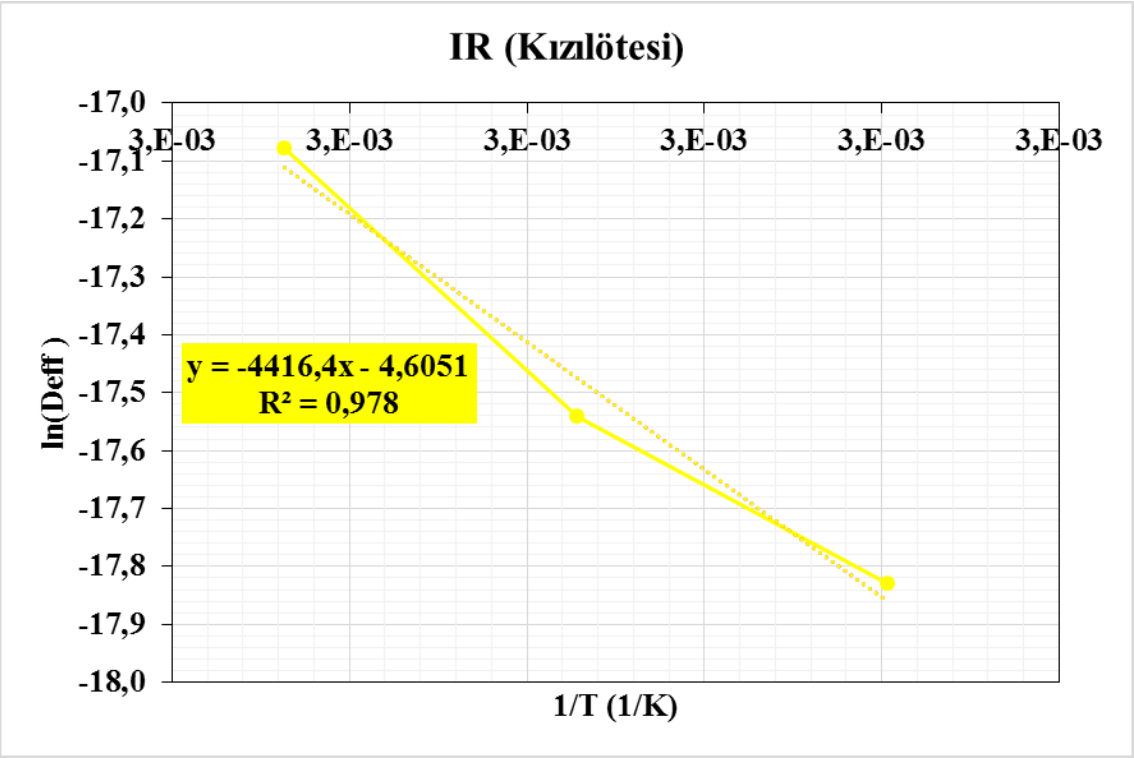
Gıda ürünlerinin aktivasyon enerjisi değerleri 12,7 il 110 kJ / mol aralığında değişmektedir [135]. Elde ettiğimiz E_a değerleri verilerin uygunluğunu kanıtlamaktadır. Aktivasyon enerjisinin elde edilmesinde kullanılan eğriler şekillerde gösterilmiştir.



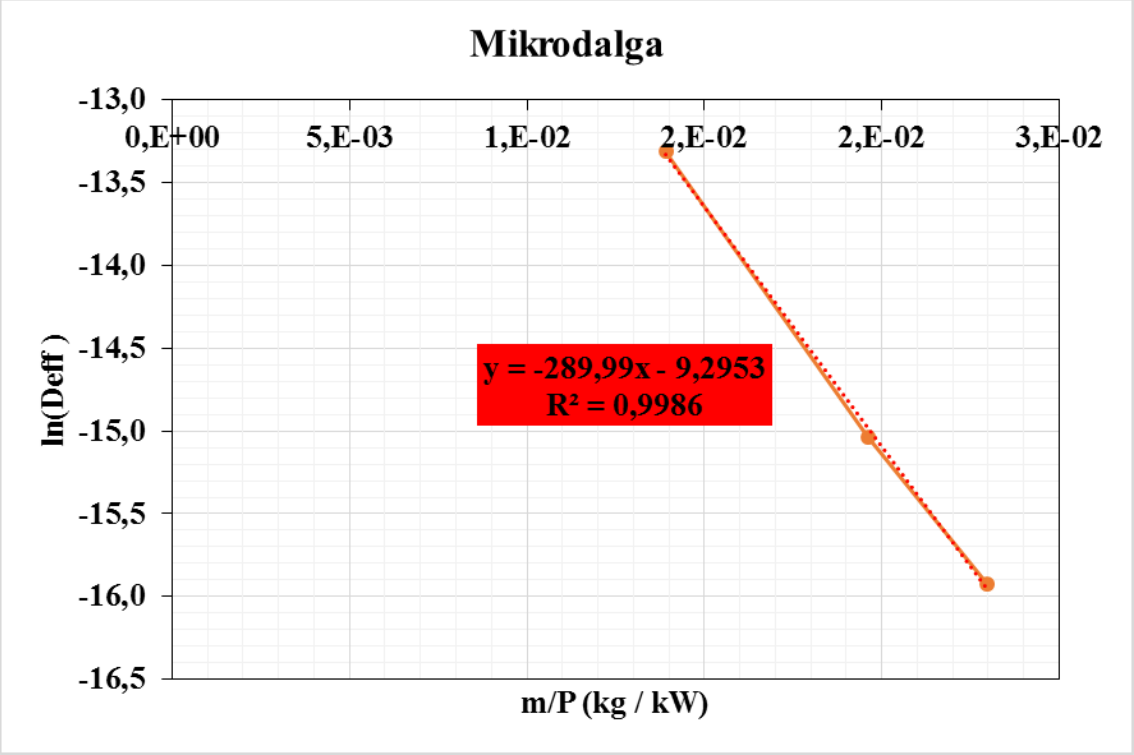
Şekil 5.21 Etüv ile kurutma için E_a eğrisi



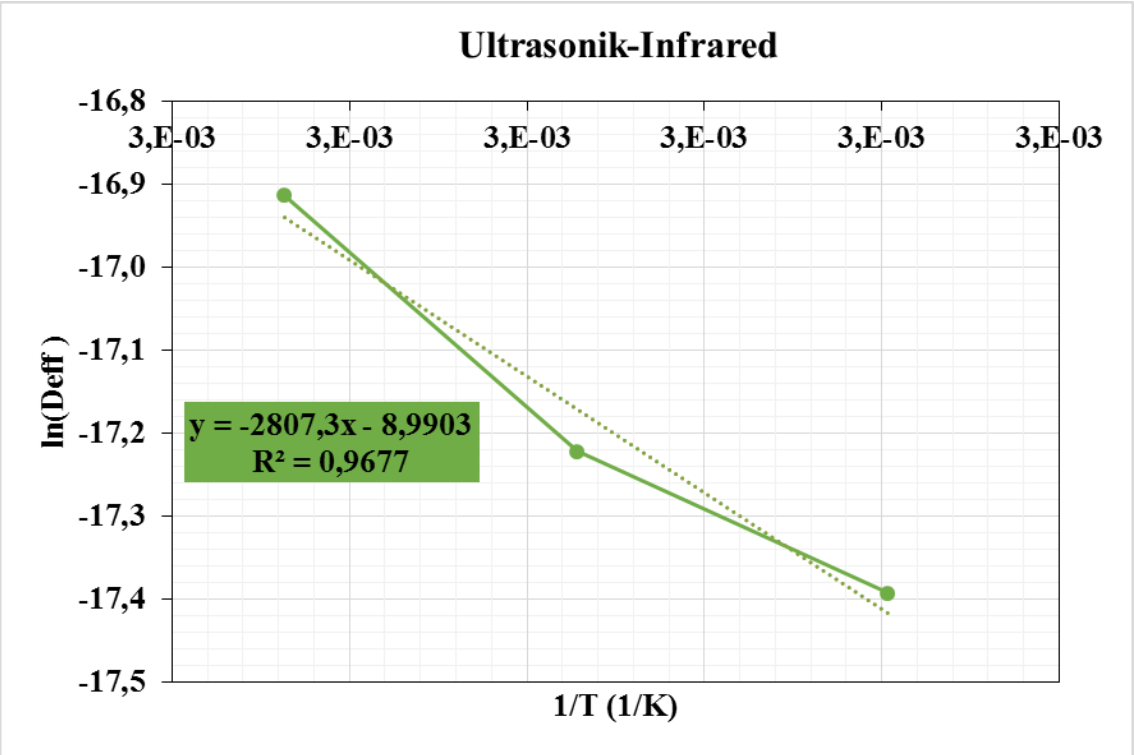
Şekil 5.22 Vakum etüvü ile kurutma için E_a eğrisi



Şekil 5.23 IR ile kurutma için E_a eğrisi



Şekil 5.24 Mikrodalga ile kurutma için E_a eğrisi



Şekil 5.25 US-IR ile kurutma için E_a eğrisi

5.2 Matematiksel Modelleme ile Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurutma Modellerine Uygulanması

Modelleme ve regresyon analizleri için, Tablo 4.1'de verilen matematiksel modellerle kullanılan beş farklı kurutma yönteminin deneysel sonuçları doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her metot için optimum model, regresyon katsayısı (R^2), hata kareleri ortalama karekökü (RMSE), ve khi-kare (χ^2) değerlerinee karşılık gelen değerler karşılaştırılarak belirlenmiştir

Tablo 5.3 Etüv ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Aghbashlo vd.	k1	0,005336	0,007812	0,009611
	k2	-0,000752	-0,001288	-0,001190
	χ^2	0,000016	0,000008	0,000045
	R^2	0,999834	0,999929	0,999645
	RMSE	0,003673	0,002567	0,005793
Alibas	a	0,877978	1,703283	1,767061
	k	0,004299	0,005208	0,007785
	n	1,078032	1,015612	0,946261
	b	-0,000379	0,001377	0,001464
	g	0,122651	-0,702933	-0,767077
	χ^2	0,000014	0,000010	0,000001
	R^2	0,999903	0,999953	0,999997
	RMSE	0,002809	0,002091	0,000537
Midilli&Kucuk	a	1,000995	0,999681	0,999564
	k	0,004259	0,006041	0,009947
	n	1,058002	1,073694	0,997310
	b	-0,000142	-0,000218	-0,000337
	χ^2	0,000012	0,000013	0,000006
	R^2	0,999899	0,999919	0,999968
	RMSE	0,002862	0,002738	0,001718

Tablo 5.3 Etüv ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	70 °C	80 °C
Hendersen&Pabis	a	1,027608	1,026741	1,015541
	k	0,006411	0,009684	0,011311
	χ^2	0,000377	0,000679	0,000497
	R^2	0,996150	0,994321	0,996062
	RMSE	0,017713	0,022977	0,019303
Jena&Das	a	0,369125	21,37189	11,45763
	k	0,007461	0,01175	0,01307
	b	0,015753	0,02439	0,01893
	c	0,992195	-3,06554	-2,44149
	χ^2	0,000155	0,013143	0,000388
	R^2	0,998730	0,998142	0,997951
	RMSE	0,010173	0,000311	0,013924
Logaritmic	a	1,130515	1,139927	1,104165
	k	0,005040	0,007407	0,009075
	c	-0,124145	-0,134962	-0,105782
	χ^2	0,000023	0,000033	0,000005
	R^2	0,999791	0,999967	0,999967
	RMSE	0,004127	0,004676	0,001781

Tablo 5.3 Etüv ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Lewis	k	0,006221	0,009425	0,011136
	χ^2	0,000466	0,000723	0,000472
	R^2	0,994753	0,993088	0,995636
	RMSE	0,020678	0,025347	0,020319
Parabolic	a	0,991314	0,990357	0,980944
	b	-0,004891	-0,007176	-0,008297
	c	0,000007	0,000014	0,000019
	χ^2	0,000089	0,000090	0,000300
	R^2	0,999181	0,999353	0,998020
	RMSE	0,008171	0,007754	0,013686
Two-Term Exponential	a	2,28868	3,14961	-0,062872
	b	-0,00397	-0,00549	0,001695
	c	-1,28352	-2,14591	1,061744
	d	-0,00270	-0,00420	-0,009405
	χ^2	0,000021	0,000021	0,000006
	R^2	0,999831	0,999859	0,999970
	RMSE	0,003711	0,003620	0,001682

Tablo 5.3 Etüv ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Page	k	0,003214	0,004390	0,006577
	n	1,128937	1,160415	1,114041
	χ^2	0,006929	0,000103	0,000170
	R^2	0,999411	0,999136	0,998656
	RMSE	0,000058	0,008958	0,011275
Weibull	b	161,5022	107,5511	90,91102
	a	1,1289	1,1604	1,11404
	χ^2	0,000058	0,000103	0,000170
	R^2	0,999410	0,999136	0,998656
	RMSE	0,006929	0,008958	0,011275
Verma	a	1,064110	1,092442	1,065343
	k	0,006661	0,010321	0,011874
	g	1,000000	1,000000	1,000000
	χ^2	0,000223	0,000386	0,000396
	R^2	0,997949	0,997229	0,997384
	RMSE	0,012928	0,016047	0,015730
Wang&Singh	a	-0,004991	-0,007326	-0,008633
	b	0,000007	0,000014	0,000020
	χ^2	0,000104	0,000114	0,000402
	R^2	0,999039	0,999184	0,997342
	RMSE	0,008847	0,008704	0,015855

Tablo 5.3'de verilen değerlerden yola çıkarak etüv metodu için en uygun model Alibas olarak belirlenmiştir. R^2 değerleri; 0,999953 – 0,999997, RMSE değerleri; 0,000537-0,002809, χ^2 değerleri ise 0,000001- 0,000014 aralığında bulunmuştur.

Tablo 5.4 Vakum etüvü ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Aghbashlo vd.	k1	0,010026	0,011997	0,013738
	k2	-0,001021	-0,003401	-0,003943
	χ^2	0,000144	0,000193	0,000203
	R^2	0,998826	0,998917	0,998949
	RMSE	0,010381	0,010767	0,011043
Midilli&Kucuk	a	1,000271	0,999609	0,999879
	k	0,014127	0,013263	0,016015
	n	0,908217	0,963495	0,950995
	b	-0,000578	-0,001556	-0,001752
	χ^2	0,000008	0,000226	0,000046
	R^2	0,999956	0,999577	0,999920
	RMSE	0,002006	0,006728	0,003036
Hendersen&Pabis	a	1,010273	1,020080	1,020229
	k	0,011469	0,016436	0,019293
	χ^2	0,000455	0,002376	0,002740
	R^2	0,996285	0,986685	0,985839
	RMSE	0,018471	0,037755	0,040544

Tablo 5.4 Vakum etüvü ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	70 °C	80 °C
Jena&Das	a	7,22019	0,176712	0,159741
	k	0,01274	0,022584	0,027783
	b	0,01369	0,051145	0,066982
	c	-1,97968	1,731481	1,832947
	χ^2	0,00050	0,003056	0,003078
	R^2	0,997279	0,994291	0,994697
	RMSE	0,015808	0,024722	0,024810
Logaritmic	a	1,096500	1,340654	1,323021
	k	0,009246	0,009654	0,011297
	c	-0,102732	-0,342574	-0,324664
	χ^2	0,000074	0,000124	0,000047
	R^2	0,999493	0,999538	0,999839
	RMSE	0,006819	0,007031	0,004315
Lewis	k	0,011352	0,016114	0,018948
	χ^2	0,000410	0,001898	0,002169
	R^2	0,996095	0,985817	0,985051
	RMSE	0,018937	0,038966	0,041657

Tablo 5.4 Vakum etüvü ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	70 °C	80 °C
Verma	a	1,043489	1,181248	1,245546
	k	0,011849	0,018968	0,023012
	g	1,000000	1,000000	1,000000
	χ^2	0,000457	0,001849	0,001837
	R^2	0,996887	0,993093	0,993672
	RMSE	0,016907	0,027192	0,027103
Parabolic	a	0,977860	0,994093	0,993956
	b	-0,008490	-0,011921	-0,013626
	c	0,000020	0,000036	0,000047
	χ^2	0,000087	0,000141	0,000136
	R^2	0,996917	0,999209	0,999297
	RMSE	0,016824	0,009201	0,009028
Two-Term Exponential	a	0,998482	0,104081	1,069748
	b	-0,010685	-0,016444	-0,013868
	c	-0,000944	0,915998	-0,070389
	d	0,021133	-0,016436	0,008432
	χ^2	0,000023	0,007127	0,000063
	R^2	0,999874	0,986685	0,999890
	RMSE	0,003394	0,037755	0,003563

Tablo 5.4 Vakum etüvü ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Weibull	b	89,02576	63,03300	54,69342
	a	1,08404	1,25456	1,28402
	χ^2	0,000322	0,000406	0,001041
	R^2	0,997807	0,996212	0,996414
	RMSE	0,014189	0,015920	0,020403
Wang&Singh	a	-0,008914	-0,012092	-0,013816
	b	0,000022	0,000037	0,000048
	χ^2	0,000585	0,000231	0,000224
	R^2	0,996018	0,999135	0,999228
	RMSE	0,019123	0,009620	0,009462

Tablo 5.4'de verilen değerlerden yola çıkarak vakum etüvü için en uygun model Midilli&Kucuk olarak belirlenmiştir. R^2 değerleri; 0,999577 – 0,999956, RMSE değerleri; 0,002006-0,006728, χ^2 değerleri ise 0,000008- 0,000226 aralığında bulunmuştur.

Tablo 5.5 IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Aghbashlo vd.	k1	0,007488	0,011567	0,014442
	k2	-0,000131	-0,000591	-0,001853
	χ^2	0,000080	0,000181	0,000089
	R^2	0,998961	0,997990	0,999189
	RMSE	0,008496	0,012388	0,008427
Alibas	a	0,723816	2,07447	1,542991
	k	0,011830	0,01085	0,013211
	n	0,955522	0,84369	0,928608
	b	-0,000840	0,00156	0,001210
	g	0,277736	-1,07463	-0,542769
	χ^2	0,000005	0,000001	0,000004
	R^2	0,999942	0,999993	0,999978
	RMSE	0,002003	0,000709	0,001365
Midilli&Kucuk	a	1,003262	0,999120	0,999779
	k	0,010875	0,018030	0,016634
	n	0,906027	0,871724	0,961578
	b	-0,000240	-0,000627	-0,000723
	χ^2	0,000008	0,000004	0,000005
	R^2	0,999906	0,999961	0,999964
	RMSE	0,002552	0,001724	0,001766

Tablo 5.5 IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	70 °C	80 °C
Hendersen&Pabis	a	0,996168	0,997641	1,016590
	k	0,007612	0,012260	0,017058
	χ^2	0,000034	0,000101	0,000521
	R^2	0,998884	0,997201	0,995240
	RMSE	0,005522	0,009265	0,020420
Jena&Das	a	2,79829	8,70014	0,559120
	k	0,00763	0,01256	0,019349
	b	0,00022	0,00335	0,020807
	c	-1,03337	-2,17079	0,576265
	χ^2	0,000097	0,000302	0,000455
	R^2	0,998885	0,997261	0,996881
	RMSE	0,008802	0,014462	0,016528
Logaritmic	a	1,023682	1,057034	1,119119
	k	0,007009	0,010434	0,013251
	c	-0,036606	-0,074928	-0,124339
	χ^2	0,000053	0,000102	0,000021
	R^2	0,999348	0,998970	0,999833
	RMSE	0,006727	0,008866	0,003821

Tablo 5.5 IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Lewis	k	0,007645	0,012291	0,016766
	χ^2	0,000084	0,000232	0,000510
	R^2	0,998857	0,997191	0,994759
	RMSE	0,008909	0,014649	0,021426
Parabolic	a	0,958201	0,958364	0,976286
	b	-0,005714	-0,008984	-0,012400
	c	0,000010	0,000023	0,000042
	χ^2	0,000355	0,000435	0,000274
	R^2	0,995653	0,995621	0,997809
	RMSE	0,017380	0,018288	0,013854
Two-Term Exponential	a	-0,000053	-0,567125	-0,018579
	b	0,021992	-0,005272	0,010652
	c	0,990043	1,548255	1,015951
	d	-0,007441	-0,008968	-0,014862
	χ^2	0,000030	0,000120	0,000013
	R^2	0,999655	0,998814	0,999912
	RMSE	0,004890	0,009103	0,002764

Tablo 5.5 IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Page	k	0,007586	0,011093	0,010696
	n	1,001558	1,022894	1,107317
	χ^2	0,000088	0,000238	0,000243
	R^2	0,998858	0,997360	0,997777
	RMSE	0,008906	0,014199	0,013955
Weibull	b	130,8204	81,50649	60,22463
	a	1,0016	1,02289	1,10732
	χ^2	0,000088	0,000238	0,000243
	R^2	0,998858	0,997360	0,997776
	RMSE	0,008906	0,014199	0,013955
Wang&Singh	a	-0,006285	-0,009869	-0,013063
	b	0,000011	0,000027	0,000046
	χ^2	0,000633	0,000770	0,000349
	R^2	0,992264	0,992241	0,996770
	RMSE	0,023188	0,024344	0,015634

Tablo 5.5'de verilen değerlerden yola çıkarak infrared (kızılötesi) metodu için en uygun model Alibas olarak belirlenmiştir. R^2 değerleri; 0,999975-0,999993, RMSE değerleri; 0,000709-0,002003, χ^2 değerleri ise 0,000001-0,000005 aralığında bulunmuştur.

Tablo 5.6 Mikrodalga ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları

Model	**Parametre**	**Güç**		
		140 W	**210 W**	**350 W**
Aghbashlo vd.	k1	0,154374	0,297772	1,260672
	k2	0,047480	0,105813	0,333674
	χ^2	0,000451	0,001013	0,000106
	R^2	0,991981	0,978048	0,999188
	RMSE	0,020194	0,030632	0,008691
Alibas	a	0,45673	0,692774	0,70731
	k	1,88646	0,580315	1,71802
	n	18,69105	0,664067	18,14997
	b	-0,01326	-0,009173	-0,03983
	g	0,54327	0,309626	0,29269
	χ^2	0,005323	0,000120	0,000352
	R^2	0,920269	0,997707	0,998918
	RMSE	0,063681	0,009900	0,010031
Midilli&Kucuk	a	1,005039	1,003976	1,000068
	k	0,238863	0,398721	0,976066
	n	0,618432	0,505267	0,579526
	b	-0,000074	-0,001564	0,000891
	χ^2	0,000150	0,000156	0,000021
	R^2	0,997611	0,996885	0,999903
	RMSE	0,011022	0,011539	0,002996

Tablo 5.6 Mikrodalga ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	**Parametre**	**Güç**		
		140 W	**210 W**	**350 W**
Hendersen&Pabis	a	0,845753	0,780241	0,966997
	k	0,070776	0,105051	0,718332
	χ^2	0,003214	0,003852	0,004619
	R^2	0,942821	0,916576	0,964540
	RMSE	0,053928	0,059717	0,057440
Jena&Das	a	0,256863	0,236311	0,298806
	k	0,021669	0,017395	0,089620
	b	-0,244119	-0,371110	-0,891646
	c	1,368580	1,443399	1,208247
	χ^2	-0,001158	0,000192	0,000036
	R^2	0,996748	0,996172	0,999835
	RMSE	0,012860	0,012791	0,003914
Logaritmic	a	0,813138	0,759332	0,898598
	k	0,123195	0,198766	1,059613
	c	0,123419	0,126478	0,096032
	χ^2	0,001196	0,001982	0,000871
	R^2	0,979852	0,958778	0,994649
	RMSE	0,032012	0,041978	0,022312

Tablo 5.6 Mikrodalga ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	**Parametre**	**Güç**		
		140 W	**210 W**	**350 W**
Two-Term Exponential	a	0,559498	-7,10053	0,61288
	b	-0,045855	-0,10506	-1,90579
	c	0,442896	7,88072	0,38712
	d	-0,373565	-0,10506	-0,29356
	χ^2	0,000033	0,004186	0,000001
	R^2	0,999473	0,916576	0,999996
	RMSE	0,005175	0,059717	0,000561
Page	k	0,234359	0,377207	0,976015
	n	0,625558	0,555714	0,567941
	χ^2	0,000136	0,000192	0,000014
	R^2	0,997583	0,995833	0,999894
	RMSE	0,000123	0,013345	0,003134
Weibull	b	10,16927	5,780160	1,043673
	a	0,62556	0,555714	0,567941
	χ^2	0,000030	0,000192	0,000014
	R^2	0,997583	0,995833	0,999894
	RMSE	0,005203	0,013345	0,003134

Tablo 5.6 Mikrodalga ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Güç		
		140 W	**210 W**	**350 W**
Verma	a	0,558925	0,556108	0,387115
	k	0,045817	0,072096	0,293561
	g	0,371097	0,891976	1,905787
	χ^2	0,000003	0,000031	0,000001
	R^2	0,999467	0,999357	0,999996
	RMSE	0,005203	0,005240	0,000561

Tablo 5.6'da verilen değerlerden yola çıkarak mikrodalga ile kurutma için en uygun model Verma olarak belirlenmiştir. R^2 değerleri; 0,999357-0,999996, RMSE değerleri; 0,000561-0,005240, χ^2 değerleri ise 0,000001-0,000031 aralığında bulunmuştur.

Tablo 5.7 US-IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Aghbashlo et al.	k1	0,010344	0,012257	0,016959
	k2	-0,000717	-0,001433	-0,001326
	χ^2	0,000080	0,000288	0,000162
	R^2	0,999718	0,997999	0,999034
	RMSE	0,005159	0,014337	0,010394

Tablo 5.7 US-IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Alibas	a	1,316643	1,547133	1,106638
	k	0,008165	0,014338	0,021615
	n	1,008624	0,859562	0,912543
	b	0,000824	0,000717	-0,000037
	g	-0,317088	-0,547108	-0,106620
	χ^2	0,000019	0,000013	0,000008
	R^2	0,999892	0,999964	0,999987
	RMSE	0,003192	0,001928	0,001188
Midilli and Kucuk	a	0,997700	0,999891	0,999986
	k	0,007491	0,018165	0,022053
	n	1,088256	0,898113	0,933304
	b	-0,000002	-0,000663	-0,000464
	χ^2	0,000041	0,000011	0,000005
	R^2	0,999722	0,999953	0,999986
	RMSE	0,005120	0,002180	0,0012694
Hendersen and Pabis	a	1,014939	1,009655	1,005710
	k	0,011522	0,014330	0,018928
	χ^2	0,000016	0,000781	0,000425
	R^2	0,998383	0,994568	0,997470
	RMSE	0,012358	0,023622	0,016823

Tablo 5.7 US-IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Jena and Das	a	10,81680	2,026778	0,626147
	k	0,01299	0,016264	0,021179
	b	0,01638	0,018441	0,018465
	c	-2,38292	-0,708994	0,467199
	χ^2	0,000075	0,001011	0,000624
	R^2	0,999498	0,995782	0,998139
	RMSE	0,006888	0,020817	0,014427
Logaritmic	a	1,032621	1,098719	1,055804
	k	0,010755	0,011390	0,016446
	c	-0,025281	-0,105766	-0,059022
	χ^2	0,000099	0,000128	0,000070
	R^2	0,999235	0,999290	0,999686
	RMSE	0,008502	0,008539	0,005931
Lewis	k	0,011361	0,014198	0,018830
	χ^2	0,000198	0,000670	0,000347
	R^2	0,998094	0,994410	0,997416
	RMSE	0,013419	0,023963	0,017003

Tablo 5.7 US-IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

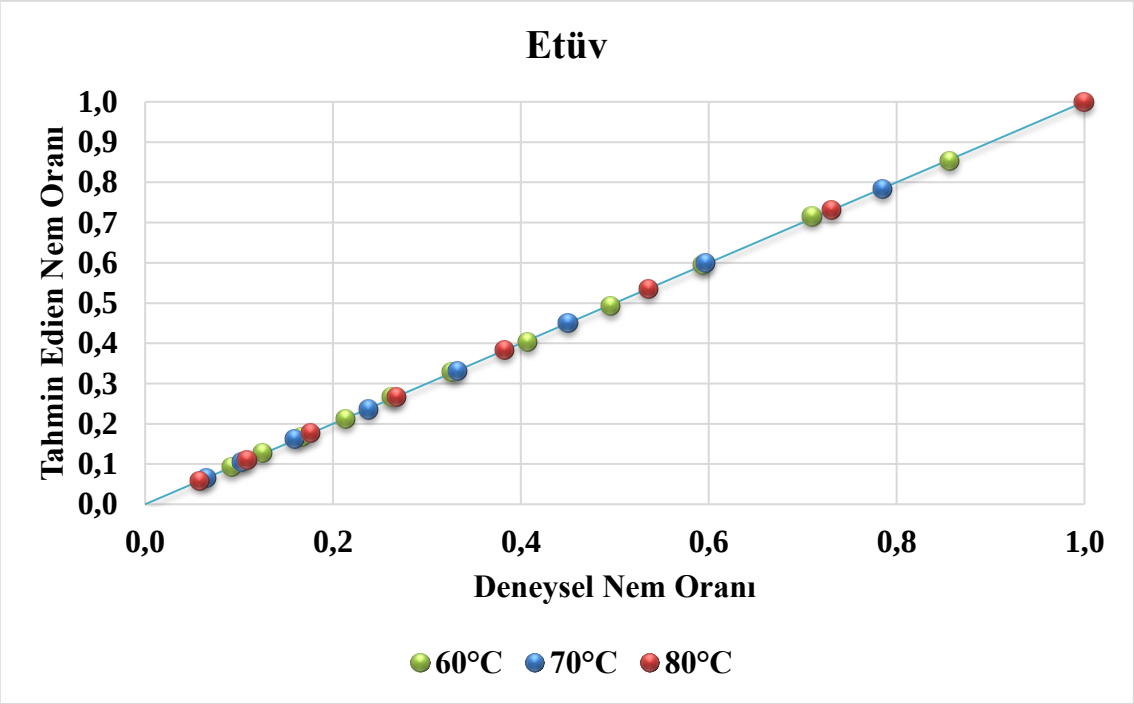
Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		60 °C	**70 °C**	**80 °C**
Parabolic	a	0,955437	0,971821	0,972732
	b	-0,007527	-0,010039	-0,013179
	c	0,000015	0,000027	0,000047
	χ^2	0,000968	0,000905	0,000070
	R^2	0,992549	0,994964	0,993333
	RMSE	0,026530	0,022745	0,005931
Two-Term Exponential	a	3,84845	0,999943	-0,002026
	b	-0,00848	-0,013154	0,020516
	c	-2,84342	-0,003224	1,000791
	d	-0,00767	0,016901	-0,017938
	χ^2	0,000075	0,000064	0,000030
	R^2	0,999491	0,999731	0,999910
	RMSE	0,006931	0,005255	0,003182
Page	k	0,007570	0,009121	0,013645
	n	1,086754	1,099980	1,076954
	χ^2	0,000033	0,000507	0,000267
	R^2	0,999716	0,996476	0,998409
	RMSE	0,005176	0,019027	0,013343

Tablo 5.7 US-IR ile kurutma için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçları (devamı)

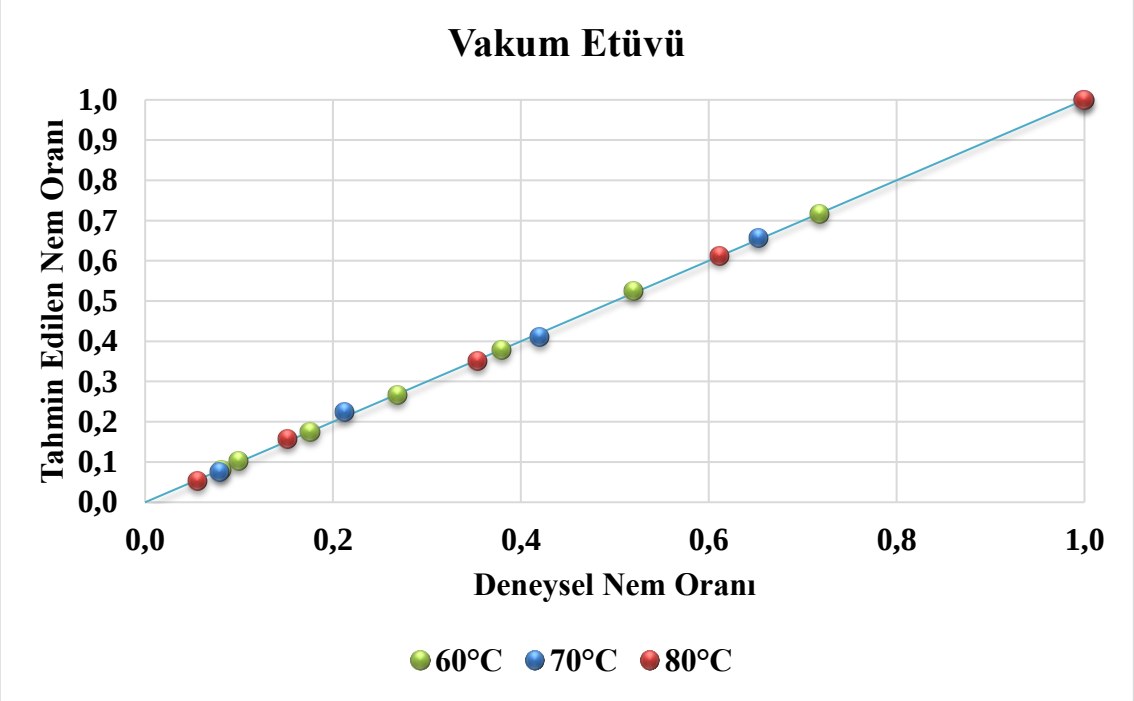
Model	Parametre	Sıcaklık		
		60 °C	70 °C	80 °C
Weibull	b	89,45276	71,54196	53,92250
	a	1,08675	1,09998	1,07695
	χ^2	0,000033	0,000507	0,000267
	R^2	0,999716	0,996475	0,998409
	RMSE	0,005176	0,019028	0,013343
Wang and Singh	a	-0,008091	-0,010611	-0,013831
	b	0,000017	0,000030	0,000050
	χ^2	0,001395	0,001166	0,001794
	R^2	0,989256	0,993514	0,991985
	RMSE	0,031857	0,025811	0,029947
Verma	a	1,060560	1,056846	1,058361
	k	0,012017	0,014974	0,019826
	g	1,000000	1,000000	1,000000
	χ^2	0,000098	0,000842	0,000458
	R^2	0,999242	0,995319	0,997955
	RMSE	0,008460	0,021929	0,015125

Tablo 5.7'de verilen değerlerden yola çıkarak ultrasonik infrared metodu ile kurutma için en uygun model Alibas olarak belirlenmiştir. R^2 değerleri; 0,999892-0,999987, RMSE değerleri; 0,001188-0,003192, χ^2 değerleri ise 0,000008-0,000019 aralığında bulunmuştur.

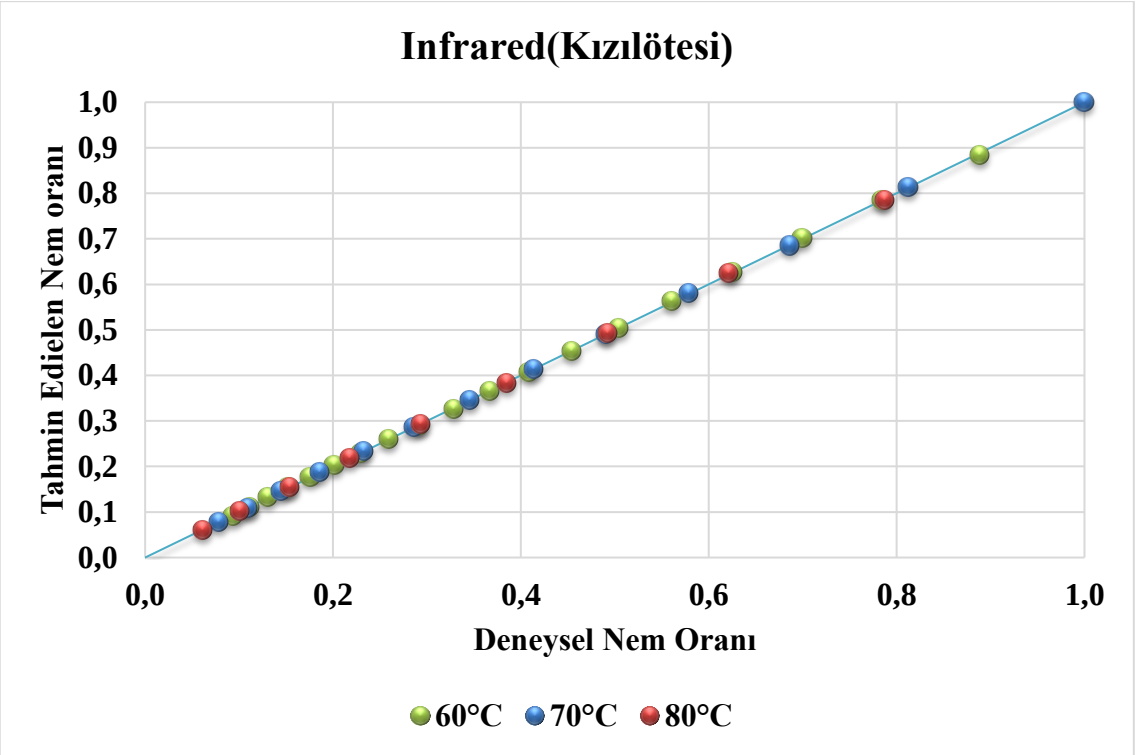
Her bir metot için matematiksel modelleme ve regresyon analizi sonuçlarına göre belirlenmiş olan en uygun modellerin eğrileri Şekil 5.26'dan Şekil 5.30'a kadar verilmiştir.



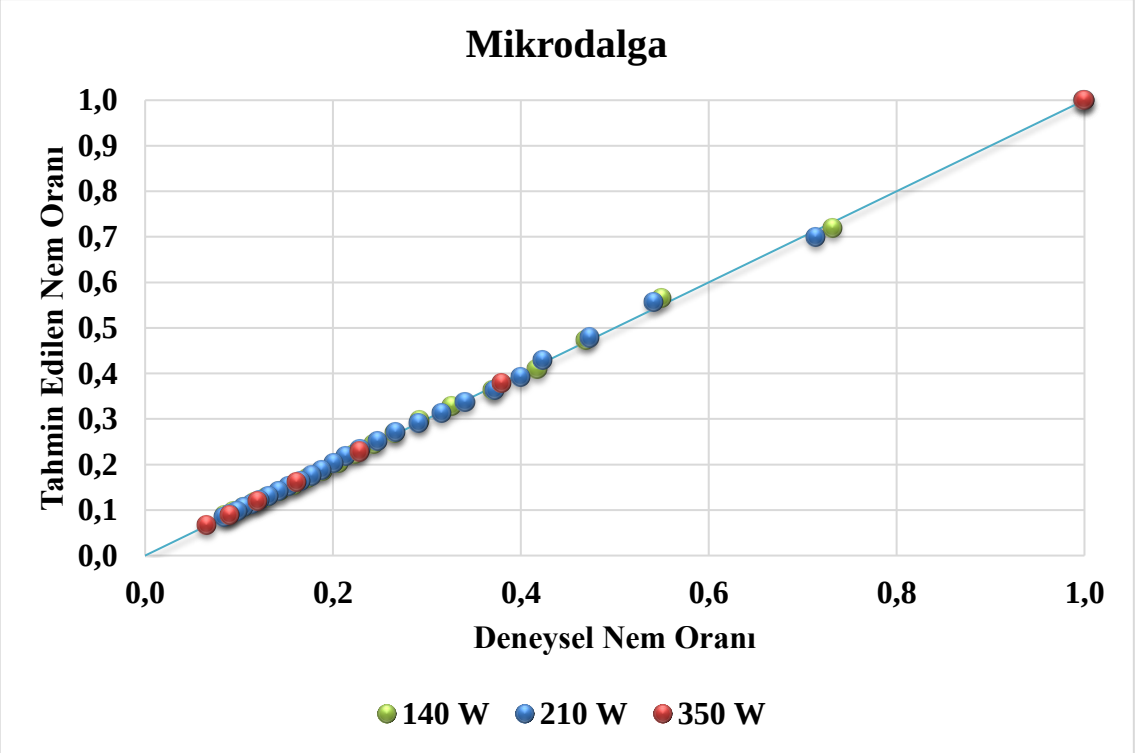
Şekil 5.26 Etüv metodu için Alibas modeli eğrisi



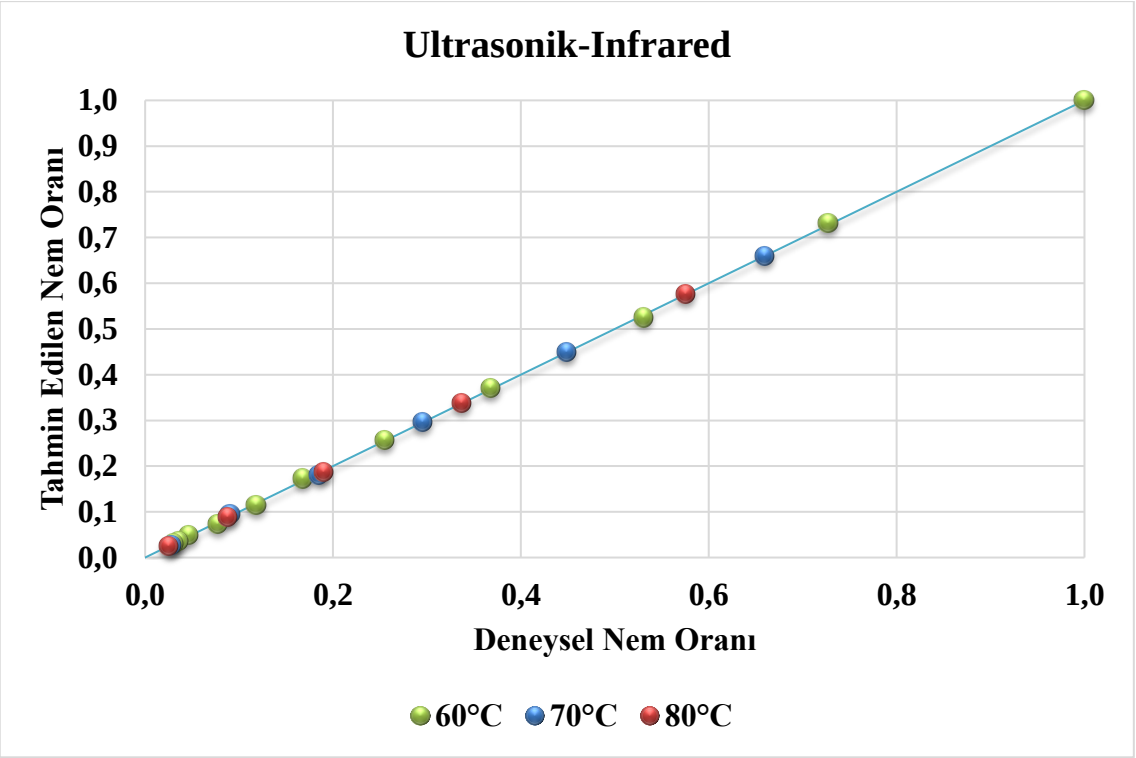
Şekil 5.27 Vakum etüvü metodu için Midilli&Kucuk modeli eğrisi



Şekil 5.28 IR metodu için Alibas modeli eğrisi



Şekil 5.29 Mikrodalga metodu için Verma modeli eğrisi

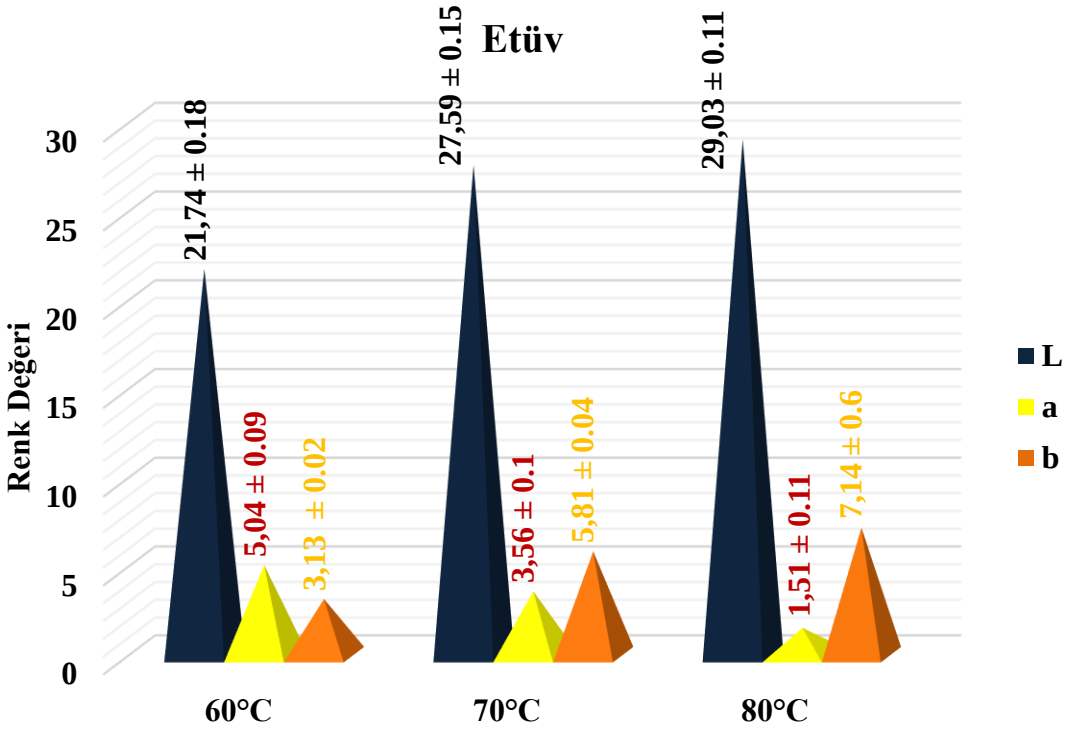


Şekil 5.30 US-IR metodu için Alibas modeli eğrisi

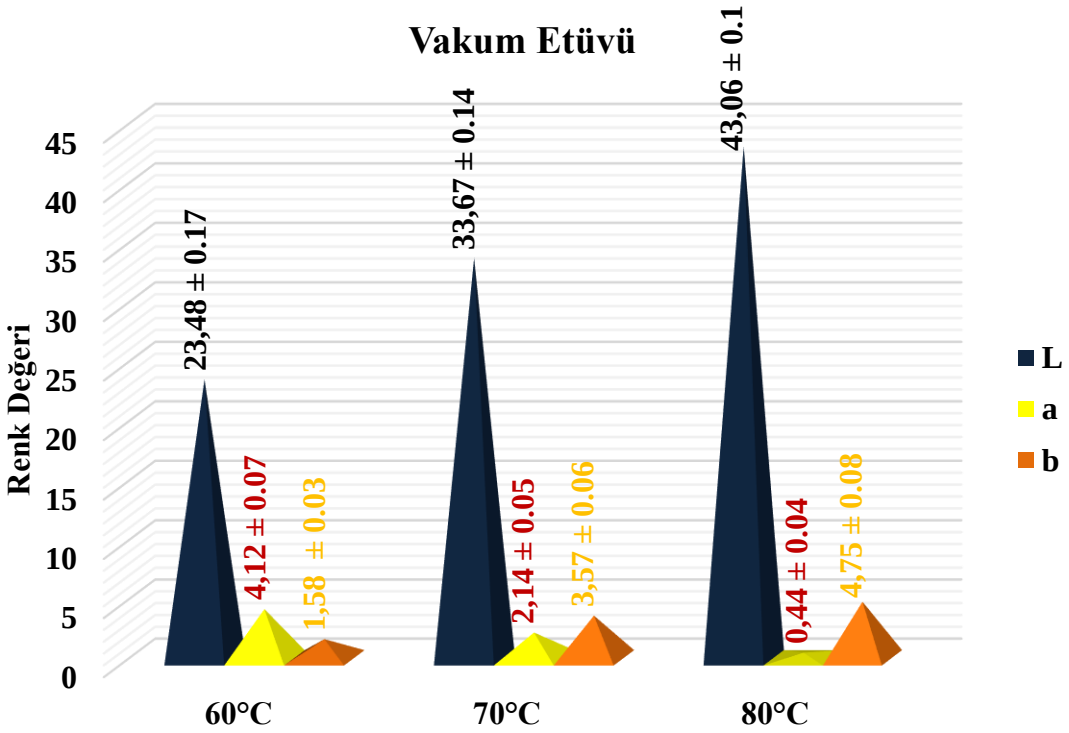
Her bir metot için elde edilen bu sonuçlar tahmin edilen verilerin deneysel verilerle iyi bir uyum içinde olduğunu ve tüm modellerin nem oranı ve kurutma süresi arasındaki ilişkiyi başarıyla tanımladığını göstermektedir.

5.3 Renk Analiz Sonuçları

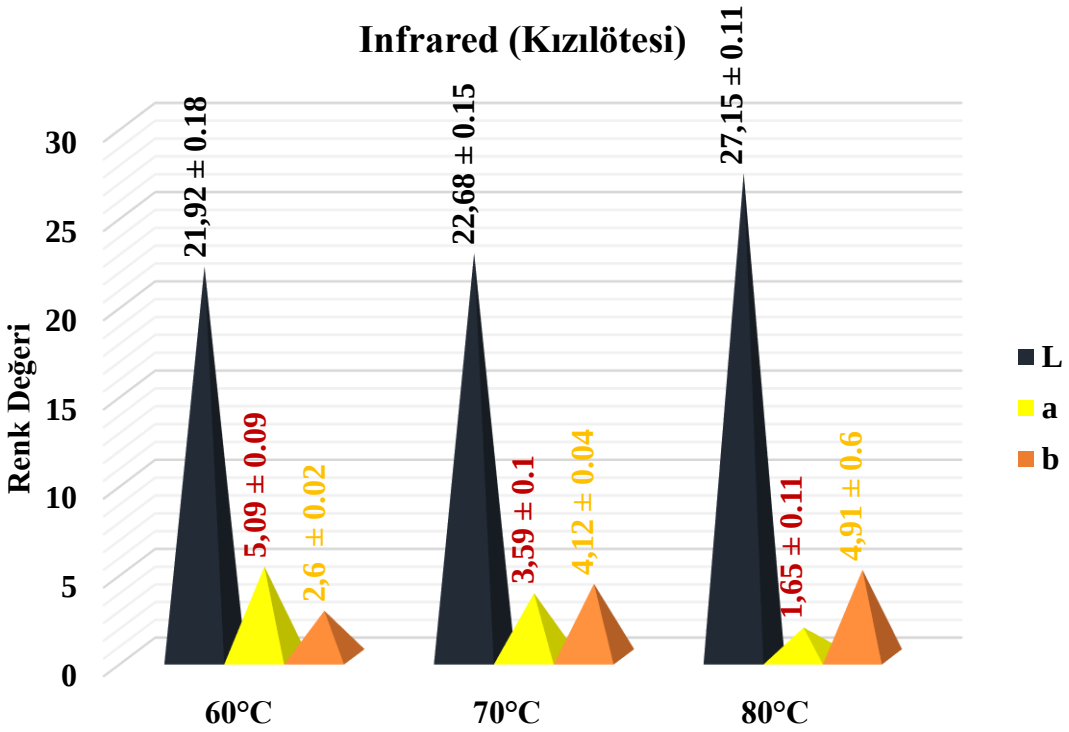
Beş farklı metot ile kurutulmuş olan karideslerin Şekil 4.8'deki renk analiz cihazı kullanılarak kurutmadan önceki ve sonraki renk analizleri gerçekleştirilmiştir ve .ΔE renk değişimleri hesaplanmıştır Tüm yöntemlerde sıcaklık veya güç arttıkça "L *" ve "b *" değerleri artmakta, yani kurutma sürelerinin azalması "L *" ve "b *" değerlerin artmasına, "a *" değerlerinin ise azalmasına neden olmaktadır. Kurutmadan önce karidesin renk değerleri ''L'' 60,18 ± 0,42, ''a'' 5,36 ± 0,09, ''b'' 1,42 ± 0,01 şeklindedir. Her bir metot için elde edilen renk değerleri Şekil 5.31'den Şekil 5.35'e kadar gösterilmektedir.



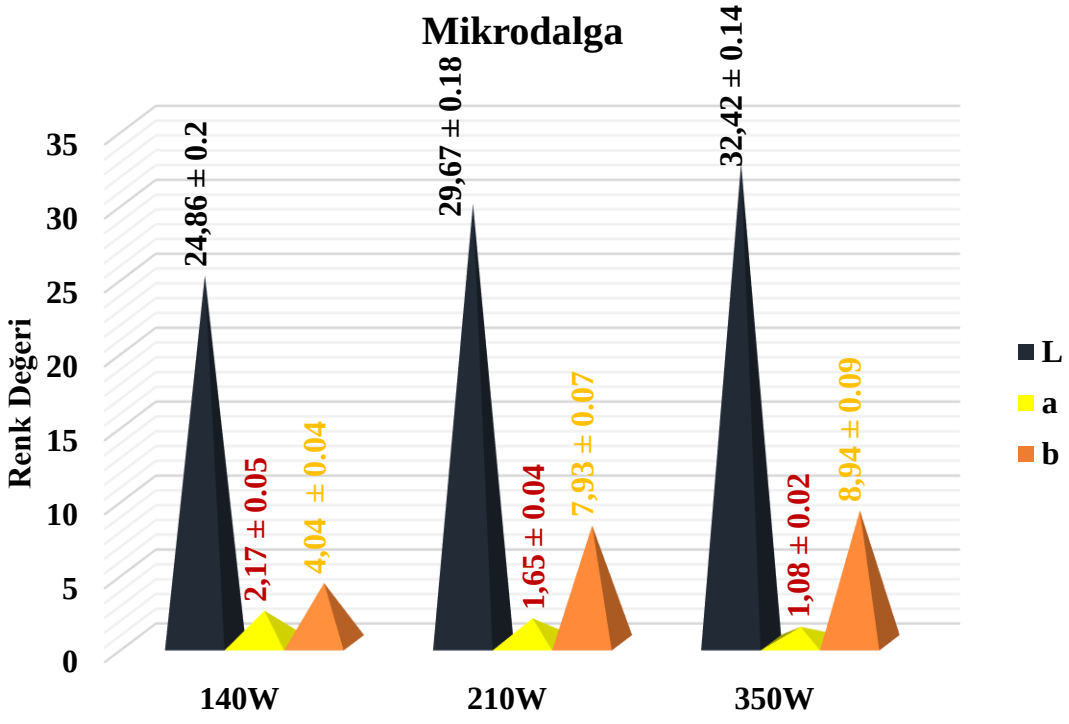
Şekil 5.31 Etüv metodu için renk analizi grafiği



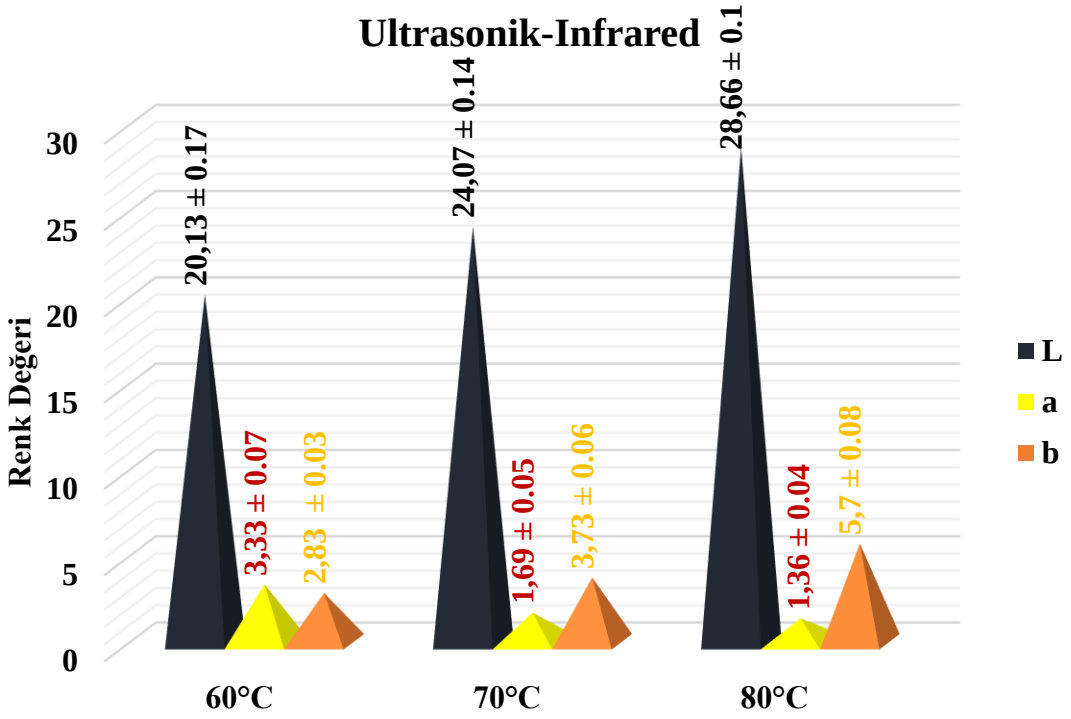
Şekil 5.32 Vakum etüvü metodu için renk analizi grafiği



Şekil 5.33 IR metodu için renk analizi grafiği



Şekil 5.34 Mikrodalga metodu için renk analizi grafiği



Şekil 5.35 US-IR metodu için renk analizi grafiği

Elde edilen renk değerleri kullanılarak beş metod için Eşitlik (4.13) kullanılarak hesaplanan ΔE renk değişimi değerleri Tablo 5.8' de verilmiştir.

Tablo 5.8 ΔE renk değişimi değerleri

	L	**a**	**b**	**ΔE**
Saf Numune	60.18±0.42	5.36±0.09	1.42±0.01	-
Etüv				
Sıcaklık (°C)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
60	21.74±0.18	5.04±0.09	3.13±0.02	38.48±0.24
70	27.59±0.15	3.56±0.10	5.81±0.04	32.93±0.27
80	29.03±0.11	1.51±0.11	7.14±0.06	31.90±0.31

Tablo 5.8 ΔE renk değişimi değerleri (devamı)

Vakum Etüvü				
Sıcaklık (°C)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
60	23.48±0.17	4.12±0.07	1.58±0.03	36.72±0.25
70	33.67±0.14	2.14±0.05	3.57±0.06	26.79±0.29
80	43.06±0.10	0.44±0.04	4.75±0.08	18.12±0.33
IR				
Sıcaklık (°C)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
60	21.92±0.18	5.09±0.09	2.6±0.02	38.28±0.24
70	22.68±0.15	3.59±0.10	4.12±0.04	37.64±0.27
80	27.15±0.11	1.65±0.11	4.91±0.06	33.42±0.31
Mikrodalga				
Güç (W)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
140	24.86±0.20	2.17±0.05	4.04±0.04	35.56±0.22
210	29.67±0.18	1.65±0.04	7.93±0.07	31.42±0.25
350	32.42±0.14	1.08±0.02	8.94±0.09	29.08±0.30
US-IR				
Sıcaklık (°C)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
60	23.13±0.17	3.33±0.07	2.83±0.03	37.13±0.25
70	24.07±0.14	1.69±0.05	3.73±0.06	36.37±0.29
80	28.66±0.10	1.36±0.04	5.7±0.08	32.06±0.33

Renk analizine ait benzer sonuçlar farklı ürünlerin kurutulması prosesleri için de elde edilmiştir [137, 138].

5.4 Ağır Metal Analizi Sonuçları

Karideslerde incelenen ağır metaller arasında arsenik, kurşun, kadmiyum, cıva, bakır, çinko ve demir bulunmaktadır. Bu metaller toksik (As, Pb, Cd, Hg) ve temel elementler (Cu, Zn, Fe) olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir [138, 139]. Etüv, vakum etüvü, infrared ve mikrodalga yöntemleriyle kurutulmuş karideslerin ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Gıdaların içerisinde bulunabilen izin verilebilir ağır metal içeriği miktarları ulusal ve uluslarası standartlara göre değişmektedir [140-146]. İzin verilebilir değerler Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9 Ulusal ve uluslararası standartlara göre izin verilen maksimum ağır metal sınırları (mg / kg)

Standartlar	**As**	**Pb**	**Cd**	**Cu**	**Zn**	**Fe**	**Hg**
FAO (1983)	-	0,5	0,5	30	40	-	-
WHO (1989)	-	2	1	30	100	-	-
MAFF (1995)	-	2	0,2	20	50	-	0,5
EC (2008,2014)	-	0,3	0,5	-	30	-	1
Türk Gida Kodeksi (2002)	1	0,5	0,5	20	50	-	0,5

Dört farklı metot için gerçekleştirilen ağır metal analiz sonuçları Tablo 5.10 ve 5.11'de verilmiştir.

Kurutulmuş karideslerin ağır metal seviyelerinin eşik değerlerin altında olduğu belirlenmiştir. Standartlarda karides numunelerinde maksimum demir seviyesi hakkında bilgi bulunamamıştır.

Tablo 5.10 Ağır metal analizi değerleri

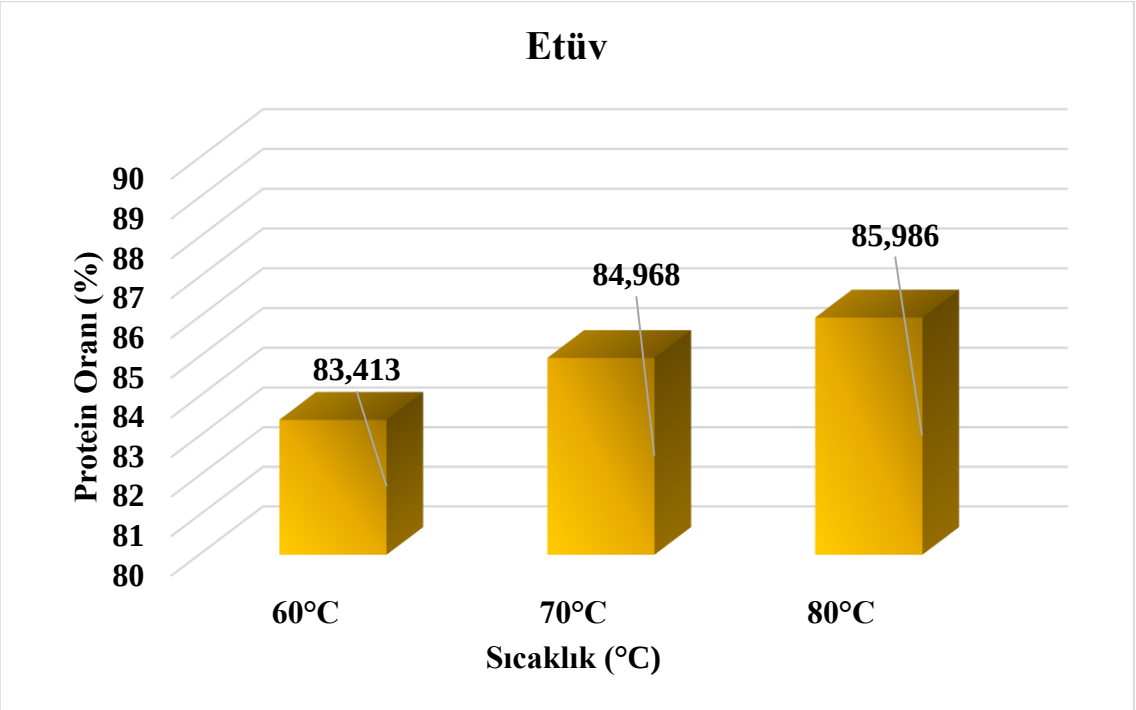
Numune Adı	As (µg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)
Etüv 60°C	133,8±5,5	0,065±0,011	0,0288±0,014
Etüv 70°C	116,0±4,7	0,0427±0,006	0,0192±0,0006
Etüv 80°C	99,9±4,1	<0,011	0,0174±0,0005
Vakum Etüvü 60°C	135,5±5,5	0,228±0,0033	0,19±0,0059
Vakum Etüvü 70°C	128,7±5,3	0,380±0,055	0,0379±0,0011
Vakum Etüvü 80°C	102,7±4,2	0,116	0,03411±0,001
Numune Adı	**As (µg/g)**	**Pb (µg/g)**	**Cd (µg/g)**
IR 60°C	111,9±4,6	48,54±0,41	20,56±0,61
IR 70°C	140±5,7	65,16±0,94	37,93±1,12
IR 80°C	119,6±4,6	44,24±0,64	17,51±0,52
MW 140 W	108,8±4,5	81,1±1,5	45,15±1,34
MW 210 W	106,8±4,4	56,73±0,82	43,52±1,29
MW 350 W	100±4,1	71,3±2,5	37,15±1,09

Tablo 5.11 Ağır metal analizi değerleri

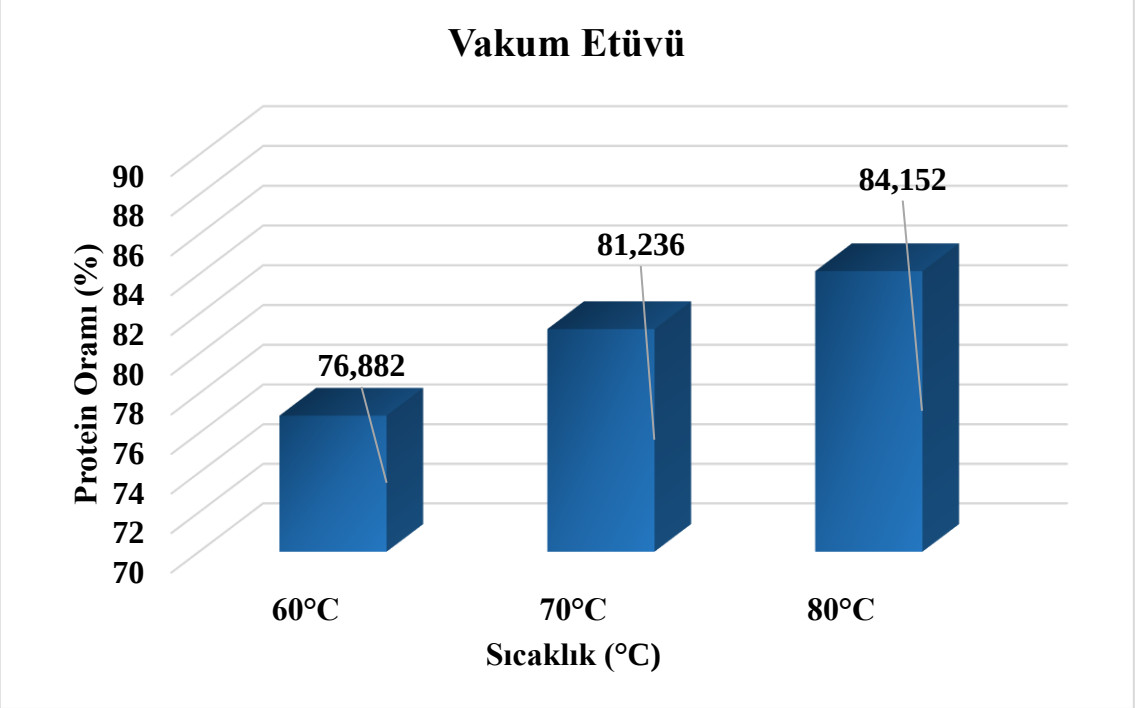
Numune Adı	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Fe (µg/g)	Hg (µg/g)
Etüv 60°C	11,42±0,32	46,48±1,32	38,78±5,9	1,42±0,02
Etüv 70°C	5,480±0,16	36,16±1,03	13,28±0,2	1,16±0,02
Etüv 80°C	4,08±0,12	34,32±0,97	13,07±0,2	0,7±0,01
Vakum Etüvü 60°C	3,63±0,1	35,9±1,02	132,2±2	0,63±0,01
Vakum Etüvü 70°C	8,74±0,25	43,25±1,23	16,71±0,25	0,68±0,01
Vakum Etüvü 80°C	5,83±0,17	39,08±1,11	3,49±0,05	1,2±0,02
IR 60°C	6,23±0,18	38,45±1,09	18,71±0,44	1,42±0,02
IR 70°C	8,03±0,23	36,21±1,03	7,19±0,11	0,75±0,01
IR 80°C	5,04±0,22	39,95±1,13	13,43±0,2	0,57±0,01
MW 140 W	6,6±0,19	47,87±1,36	11,72±0,18	1,86±0,03
MW 210 W	10,34±0,3	53,47±1,52	14,21±0,22	1,92±0,03
MW 350 W	13,53±0,38	48,49±1,82	19,9±0,76	2,24±0,03

5.5 Protein Analiz Sonuçları

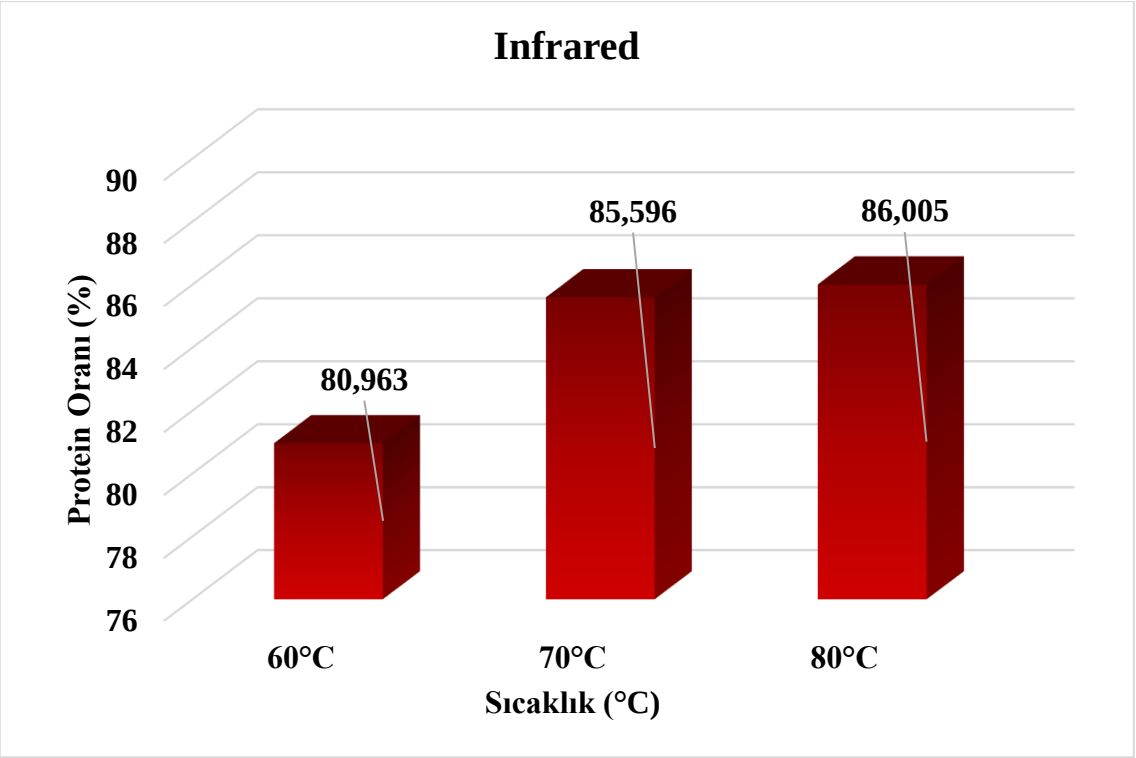
Karidesler diğer suda yaşayan canlılar gibi yüksek protein içeriğine sahip yapılardır. Protein oranı genellikle % 15-20 aralığında değişkenlik göstermektedir. Karidesin kurutulmadan önceki protein oranı % 19,57'dir [55]. Kurutma işleminden sonra her yöntem için de kurutma sıcaklığı ve kurutma gücü arttıkça protein oranı artmaktadır. Dört kurutma prosedürü için de kurutulmuş karides için protein oranı, kurutulmamış karidese göre daha yüksektir. Her metot için elde edilen protein oranları Şekil 5.36'dan 5.39'a kadar gösterilmektedir.



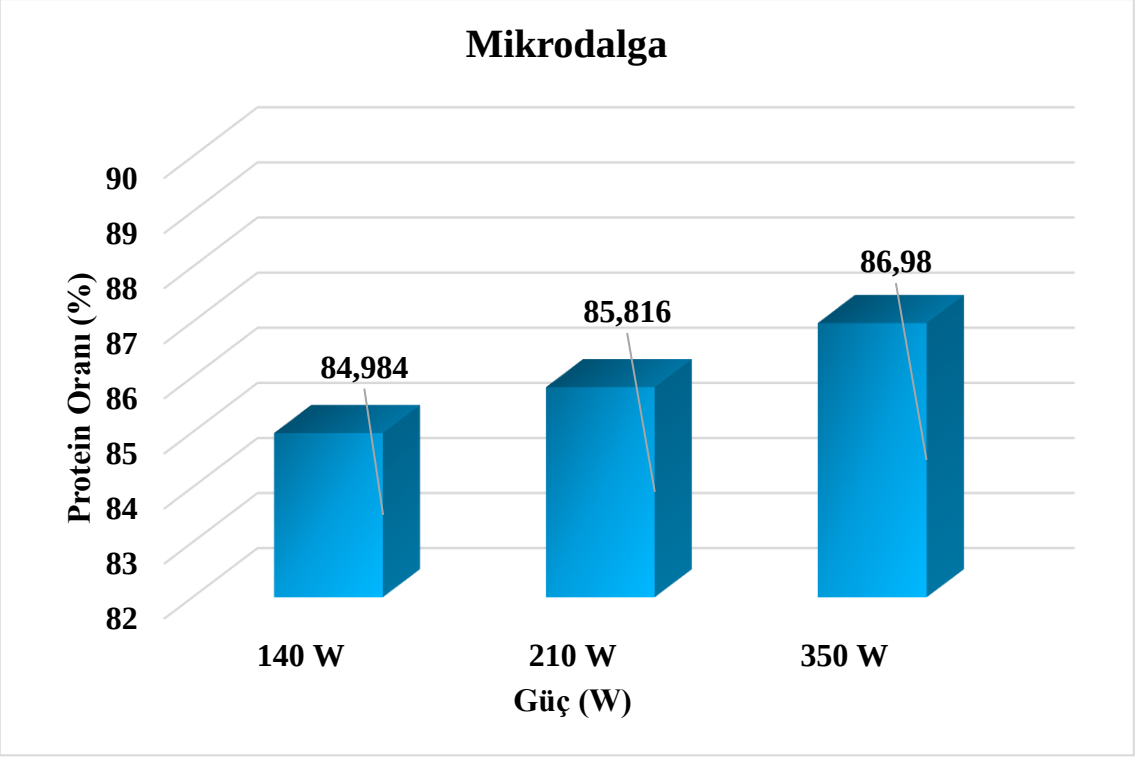
Şekil 5.36 Etüv ile kurutulmuş karideslerin protein oranı (%)



Şekil 5.37 Vakum etüvü ile kurutulmuş karideslerin protein oranı (%)



Şekil 5.38 IR metodu için protein oranı (%)



Şekil 5.39 Mikrodalga metodu için protein oranı (%)

6
SONUÇ ve ÖNERİLER

İnsanların temel ihtiyaçlarının başında beslenme gelmektedir. Geçmişten bugüne gıdaların işlenmesi ve muhafaza edilmesi için birçok kurutma yöntemine başvurulmuştur. Bu çalışmada deniz ürünlerinden biri olan karidesin farklı yöntemlerle kurutulması konusunda yapılan çalışmalar incelenmiş olup kurutma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda etüv, vakum etüvü, mikrodalga, infrared ve ultrasonik ön işlemli infrared kurutucu yöntemleriyle çeşitli güç ve sıcaklıklarda kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, mikrodalga ile yapılan çalışmalarda kurutma işleminin diğer yöntemlere göre daha kısa sürede gerçekleştirildiği, daha yüksek verim elde edildiği, zamandan ve enerjiden tasarruf edildiği tespit edilmiştir. Mikrodalga yöntemiyle kurutma deneyleri sırasıyla 140 W, 210 W ve 350 W güçlerinde gerçekleştirilmiş olup kurutma süreleri sırasıyla 40, 26 ve 6 dakika olarak belirlenmiştir. En uzun sürede kurutmanın yapıldığı etüv ile kurutma ise 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleşmiştir. Kurutma süreleri ise sırasıyla 330, 240 ve 210 dakika olarak tespit edilmiştir. Vakum etüvü ile kurutma deneyleri 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleştirilmiş olup 190, 120 ve 110 dakika sürelerinde tamamlanmıştır. Infrared yani kızılötesi ışın ile gerçekleştirilen kurutma deneyleri 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleştirilmiş olup kurutma süreleri sırasıyla 285, 180 ve 135 dakika olarak belirlenmiştir. Ultrasonik ön işlemli infrared ışın ile gerçekleştirilen kurutma deneyleri 60, 70 ve 80 °C' de gerçekleştirilmiş olup kurutma süreleri sırasıyla 300, 180 ve 150 dakika olarak belirlenmiştir. Ultrasonik ön işlem uygulanarak gerçekleştirilen infrared kurutma yönteminin ön işlemsiz infrared kurutma yöntemine göre kurutma süresinin bir miktar daha fazla olmasının sebebi ultrasonik su banyosu içerisinden kurutulduktan sonra bir miktar su almasıdır. Uygulanan bütün kurutma yöntemlerinde kurutma sıcaklıkları arttıkça kurutma sürelerinin kısaldığı görülmüştür.

Karideslerin farklı metotlar ile kurutulmasından sonra her birinin kurutma kinetiğini belirlemek için nem oranı-kurutma zamanı eğrileri çizilmiş ve on dört farklı matematiksel modele (Aghbashlo vd., Alibas, Hendersen&Pabis, Jena&Das, Lewis, Logaritmic, Midilli&Kucuk, Page, Parabolic, Peleg, Two-Term Exponential, Verma, Wang&Singh,

Weibull) uyarlanmıştır. Uygulanan her model için katsayılar, khi-kare (χ^2), regresyon katsayısı (R^2) ve hata kareleri ortalama karekökü (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen matematiksel modelleme işlemleri sonucunda etüv, IR ve US-IR yöntemleri için en uygun modelin Alibas, vakum etüvü için Midilli&Kucuk,mikrodalga ile kurutma yöntemi için ise Verma modeli olduğu belirlenmiştir. Etüv için R^2 değerleri; 0,999953 – 0,999997, RMSE değerleri; 0,000537-0,002809, χ^2 değerleri ise 0,000001-0,000014 aralığında bulunmuştur. Vakum etüvü için R^2 değerleri; 0,999577 – 0,999956, RMSE değerleri; 0,002006-0,006728, χ^2 değerleri ise 0,000008- 0,000226 aralığında bulunmuştur. IR için R^2 değerleri; 0,999975-0,999993, RMSE değerleri; 0,000709-0,002003, χ^2 değerleri ise 0,000001-0,000005 aralığında bulunmuştur. MW için R^2 değerleri; 0,999357-0,999996, RMSE değerleri; 0,000561-0,005240, χ^2 değerleri ise 0,000001-0,000031 aralığında bulunmuştur. US-IR için R^2 değerleri; 0,999892-0,999987, RMSE değerleri; 0,001188-0,003192, χ^2 değerleri ise 0,000008-0,000019 aralığında bulunmuştur. Her bir metot için elde edilen bu sonuçlar tahmin edilen verilerin deneysel verilerle iyi bir uyum içinde olduğunu ve tüm modellerin nem oranı ve kurutma süresi arasındaki ilişkiyi başarıyla tanımladığını göstermektedir.

Karidesin farklı metodlar ile kurutma işlemine tabi tutulması sonucunda gerçekleştirilen regresyon analizine göre etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda etüv ile kurutma metodu için etkin difüzyon katsayıları $1,46 \times 10^{-8} – 2,8 \times 10^{-8}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 31,65 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Vakum etüvü ile kurutma metodu için etkin difüzyon katsayıları $3,68 \times 10^{-8} – 5,49 \times 10^{-8}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 19,72 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Mikrodalga ile kurutma metodu için etkin difüzyon katsayıları $1,21 \times 10^{-7} – 1,66 \times 10^{-6}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 289,99 kW/kg olarak belirlenmiştir. Kızılötesi ile kurutma metodu için etkin difüzyon katsayıları $1,81 \times 10^{-8} – 3,83 \times 10^{-8}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi 69,16 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Ultrasonik ön işlemli kızılötesi ile kurutma metodu için ise etkin difüzyon katsayıları ise $2,80 \times 10^{-8} – 4,51 \times 10^{-8}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 23,33 kJ/mol olarak belirlenmiştir.

Karideslerin kurutma işlemlerinden sonra meydana gelen renk değişimleri ölçülmüştür. Gerçekleştirilen kurutma işlemleri sonucunda yapılan renk analizlerinde ‘’L’’ parametresi olarak ifade edilen parlaklığın-beyazlığın, kurutma sıcaklığı ve güç seviyesi

arttıkça arttığı, dolayısı renklerinin beyazlaştığı, "a" parametresinin kurutma sıcaklığı ve güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile kırmızılığının azaldığı gözlenmiştir. "b" parametresinin de aynı şekilde kurutma sıcaklığı ve güç seviyesi arttıkça arttığı, dolayısı ile sarılığının arttığı gözlenmiştir. ΔE renk değişiminin de kurutma sıcaklığı ve güç seviyesi arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek ‘’L*’’ değeri vakum etüvü 80 °C’de gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 43,06±0,10 olarak belirlenmiştir. En düşük ‘’L*’’ değeri ise US-IR ile 60 °C’de gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 20,13±0,17 olarak belirlenmiştir. En yüksek ‘’a*’’ değeri IR ile 60 °C’de gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 5,09±0,09 olarak belirlenmiştir. En düşük ‘’a*’’ değeri vakum etüvü ile 80 °C’de gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 0,44±0,04 olarak belirlenmiştir. En yüksek ‘’b*’’ değeri mikrodalga ile 350 W’da gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 8,94±0,09 olarak belirlenmiştir. En düşük ‘’b*’’ değeri vakum etüvü ile 60 °C’de gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 1,58±0,03 olarak belirlenmiştir. En yüksek ‘’ ΔE’’ değeri US-IR ile 60 °C’de gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 40,13±0,25 olarak belirlenmiştir. En düşük‘’ ΔE’’ değeri vakum etüvü ile 80 °C’de gerçekleştirilen kurutma deneyindeki karideste 18,12±0,33 olarak belirlenmiştir.

Her bir karidesin kurutma işleminden sonra protein oranı analizleri gerçekleştirilmiştir. Protein oranları her bir metot için kurutma sıcaklıkları ve güç seviyesi arttıkça artış göstermektedir. Etüv ile 60, 70 ve 80 °C’de kurutulan karideslerin protein oranları sırasıyla % 83,413, 84,668 ve 85,986’dır. Vakum etüvü ile 60, 70 ve 80 °C’de kurutulan karideslerin protein oranları sırasıyla % 76,882 81,236 ve 84,152’dır. IR ile 60, 70 ve 80 °C’de kurutulan karideslerin protein oranları sırasıyla % 80,963 85,596 ve 86,005’dır. Mikrodalga ile 140, 210 ve 350 W güçlerinde kurutulan karideslerin protein oranları sırasıyla % 84,984 85,816 ve 86,980’dır. Kurutulmuş karideslerin protein açısından taze ürünlere göre daha zengin olduğu sonucuna varılmaktadır.

Farklı kurutma işlemleri sonucunda gerçekleştirilen ağır metal analizleri sonucunda karideslerde As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Fe ve Hg metallerine rastlanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarında; arsenik miktarı 99,9 ile 140 µg/g, kurşun 0,011 ile 81,1 µg/g, kadmiyum 0,0174 ile 45,15 µg/g, bakır 3,63 ile 13,53 µg/g, çinko 34,32 ile 53,47 µg/g, demir3,49 ile 38,78 µg/g, civa ise 0,57 ile 2,24 µg/g aralığındadır. Kurutulmuş karideslerin ağır metal seviyelerinin eşik değerlerin altında olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, zengin protein içeriğine sahip olan karideslerin uzun ömürlü depolanması için en uygun kurutma yönteminin mikrodalga yöntemi olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga yönteminin en büyük avantajı kurutmanın daha kısa sürede gerçekleşmesidir. Gıdaların kurutmadan sonraki protein içeriği, bünyelerindeki su kaybından dolayı, kurutmadan öncekinden daha yüksektir. Karideslerin kurutma işlemleri sonrasında içerdiği ağır metal miktarları, ulusal ve uluslararası kuruluşlarca belirlenmiş olan limit değerlerin altındadır. Mikrodalga yöntemiyle kurutulmuş olan karideslerin raf ömrünün arttığı tespit edilmiştir. Mikrodalga yöntemi ile karides kurutmanın ekonomik bir muhafaza yöntemi olarak tercih edilip farklı deniz ürünlerine de uygulanabiliceği öngörülmüştür.

KAYNAKÇA

1] Jangsawang, W. (2017). Meat Products Drying with a Compact Solar Cabinet Dryer. Energy Procedia, 138, 1048-1054.

[2] Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Noshad, F., Rokhbin, A. (2018), Application of artificial neural network method for prediction of osmotic pretreatment based on the energy and exergy analyses in microwave drying of orange slices. Energy, 165, 836-845.

[3] Da Silva, A. D., Sarturi, H. S., Dall'Oglio, E. L., Soares, M. A., De Sousa, P. T., De Vasconcelos, L. G., Kuhnen, C. A.i (2016), Microwave drying and disinfestation of Brazil nut seeds, Food Control, 70, 119-129.

[4] Ando, Y., Hagiwara, S., Nabetani, H., Sotome, I., Okunishi, T., (2018), Effects of prefreezing on the drying characteristics, structural formation and mechanical properties of microwave-vacuum dried apple, Journal of Food Engineering, 244, 170-177.

[5] Dinçer, E., Erbaş, M., (2018), Drying kinetics, adsorption isotherms and quality characteristics of vacuum-dried beef slices with different salt contents, Meat Science, 145, 114-120.

[6] Başlar, M., Kılıçlı, M., Toker, O. S., Sağdıç, O., Arici, M., (2014) Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 26, 182-190.

[7] Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E., Martinez-Monzo, J., Pasten, A. & Lemus-Mondaca, R. (2019). Bioactive compounds and physicochemical characterization of dried apricot (Prunus armeniaca L) as affected by different drying temperatures CyTA. Journal of Food, 17, 297-306.

[8] Cantalejo, M. J., Zouaghi, F., Perez-Arnedo, I. (2016). Combined effects of ozone and freeze-drying on the shelf-life of Broiler chicken meat. Food Science and Technology. 68, 400-407.

[9] Chahbani, A. Fakhfakh, N., Balti, M. A., Mabrouk, M., Elhatmi, H., Zouarib, N., Kechaou, N., (2018), Microwave drying effects on drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity of green peas (Pisum sativum L.), Food Bioscience, 25, 32-38.

[10] Cuccurullo, G., Giordano, L., Metallo, A., Cinquanta, L., (2017), Influence of mode stirrer and air renewal on controlled microwave drying of sliced zucchini, Biosystem Engineering, 158, 95-101.

[11] Akhtar, J., More, P.K. (2018). Influence of temperatures and pretreatments on chicken meat during convective drying. International Journal of Chemical Studies, 6, 1590-1597.

[12] Kaleta, A., Górnicki, K., Winiczenko, W., Chojnacka, A., (2013), Evaluation of drying models of apple (var. Ligol) dried in a fluidized bed dryer, 67, 179-185.

[13] Kıpçak, A. S. (2016) Microwave drying kinetics of mussels (Mytilus edulis). Research on Chemical Intermediates, 43, 1429-1445.

[14] Kıpçak, A. S., İsmail, O. (2018), Comparison of the microwave drying kinetics of culture and natural asparagus, Acta Scientiarum Technology, 40(1), e39922.

[15] Kıpçak, A. S., Doymaz, I., Derun, E. M. (2019). Infrared drying kinetics of blue mussels and physical properties. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 25, 1-10.

[16] Kıpçak, A. S.,Tugrul N. Doymaz, I., Derun, E. M. (2020a) Drying Characteristics of Blue Mussels by Traditional Methods Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly.

[17] Kıpçak, A. S., İsmail, O. (2020b), Microwave drying of fish, chicken and beef samples, Journal of Food Science and Technology.

[18] Kıpçak, A. S., Doymaz, I., (2020) Mathematical Modeling and Drying Characteristics Investigation of Black Mulberry Dried by Microwave Method International, Journal of Fruit Science.

[19] Kipcak, A. S., Doymaz, I., (2020) Microwave and Infrared Drying Kinetics And Energy Consumption Of Cherry Tomatoes Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly.

[20] Doymaz, I., Kipcak, A. S., & Piskin, S. (2015a). Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean. Czech Journal of Food Science, 33(1), 83–90.

[21] Doymaz, İ., Kipcak, A. S., & Piskin, S. (2015b). Microwave drying of green bean (Phaseolus vulgaris) slices: drying kinetics and physical quality. Czech Journal of Food Science, 33(4), 367-376.

[22] Doymaz, İ. (2016) Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices, Heat and Mass Transfer.

[23] Doymaz, İ. (2020) Impact of citric acid on the drying characteristics of kiwifruit slices, Acta Scientiarum.

[24] Zhang, M. Chen, H., Mujumdar, A. S., Tang, T., Miao, S., Wang, Y., (2017), Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits and aquatic products, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57, 1239-1255.

[25] Monteiro, R. L. Linka, J. V., Tribuzib, G., Carciofia, B. A. M., Laurindoa, J. B., (2018), Effect of multi-flash drying and microwave vacuum drying on the microstructure and texture of pumpkin slices, LWT - Food Science and Technology, 96, 612-619.

[26] Zlatanovic, I., Komatina, M., Antonijevic, D., (2013), Low-temperature convective drying of apple cubes, Applied Thermal Engineering 53, 114- 123.

[27] Darvishi, H. Asl, A. R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., Khodaei, J., (2013), Study of the drying kinetics of pepper, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13, 130-138.

[28] Da Silva, P., Cleide, W., Silva, M. D. P. S., Fernando J. A. G., Gomes, J. P., (2014), Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13, 67–74.

[29] Onwude, D.I. Hashim, N., Abdan, K., Janius, R., Chen, G., (2018), Experimental studies and mathematical simulation of intermittent infrared and convective drying of sweet potato (Ipomoea batatas L.), Food and Bioproducts Processing, 114, 163,174.

[30] Zarein, M., Samadi, S. H., Ghobadian, B., (2013), Kinetic Drying and Mathematical Modeling of Apple Slices on Dehydration Process, Journal of Food Processing and Technology, 4:7.

[31] Kroehnke, J., Szadzińska, J., Stasiak, M., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Musielak, G., (2018), Ultrasound- and Microwave-Assisted Convective Drying of Carrots – Process Kinetics and Product's Quality Analysis, Ultrasonic Sonochemistry, 48, 249-258.

[32] Li, D., Xie, H., Liu, Z., Li, A., Li, J., Liu, B., Liu, X., Zhou, D., (2019), Shelf life prediction and changes in lipid profiles of dried shrimp (Penaeusvannamei) during accelerated storage, Food Chemistry.

[33] Darvishi H., Farhang, A., Hazbavi, E., (2012), Mathematical Modeling of Thin-Layer Drying of Shrimp, Global Journal of Science Frontier Research, 12, 3, 1.

[34] Da Silva, F. L. F., Oliveira, J. P. S., Campos, V. M., Gouveia, S. T., Ribeiro, L. P. D., Lopes, G. S., Matos, W. O. (2019). Infrared Radiation As A Heat Source In Sample Preparation Of Shrimp For Trace Element Analysis, Journal of Food Composition Analysis, 79, 107-113.

[35] Akonor, P. T., Ofori, H. Dziedzoave, N. T., Kortei, N. K., (2016), Drying Characteristics and Physical and Nutritional Properties of Shrimp Meat as Affected by Different Traditional Drying Techniques, International Journal of Food Science, 2016, 5.

[36] Komolafe, C. A. Oluwaleye, I. O., Akinfoye, O. Adejumo, D., Waheed, M. A., Kuye, S. I., (2018), Determination of moisture diffusivity and activation energy in the convective drying of fish, International Journal of Heat and Technology, 36, 1262-1267.

[37] Nguyen, M. P., Ngo, T. T., Le, T. D., (2019), Experimental and numerical investigation of transport phenomena and kinetics for convective shrimp drying, Case Studies in Thermal Engineering, 14, 100465.

[38] Aytekin, T., Kargın, D., Çoğun, H. Y., Temiz, O., Varkal, H. S., Kargın, F., (2019), Accumulation and health risk assessment of heavy metals in tissues of the

shrimp and fish species from the Yumurtalik coast of Iskenderun Gulf, Turkey, Heliyon, 5 e02131.

[39] Si, X., Chen Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z., (2016). Comparison of Different Drying Methods on the Physical Properties, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Raspberry Powders. Journal of the Science of Food Agriculture, 96 (6): 2055–62.

[40] Deniz ürünleri, https://www.merieuxnutrisciences.com/tr/tr/article/baliik-deniz-urunleri

[41] Özkan, K. A., Özcan, S. G., Suna, S., (2015), Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29:125-135.

[42] Deniz kabukluları ve yumuşakçalar, http://www.hypefoodie.com/allergens/seafood-allergy-fish-crustaceans-shellfish/

[43] Seymen, T., Polat, M., (2015), Bazı Amasya Elma Tiplerinin Fenolojik, Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Morfolojik Karakterizasyonu, Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 19:122-129.

[44] Omega-3 hapları, https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/should-you-be-taking-an-omega-3-supplement.

[45] Yılmaz, E., Tekinay, A. A., Çevik, N., (2006), Deniz Ürünleri Kaynaklı Fonksiyonel Gıda Maddeleri, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23(1/1): 523-527.

[46] Karideslerin sınıflandırılması, https://tr.wikipedia.org/wiki/Karides

[47] Karides, https://scienceillustrated.com.au/blog/nature/why-do-shellfish-change-colour-when-cooked/

[48] Hacıoğlu, A. (2010), Gama Işınlarının Karides ve Midyelerin Raf Ömrü Üzerine Etkileri, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

[49] Karideslerin üretim miktarları, https://www.tuik.gov.tr

[50] 2017 yılı karides ithalat-ihracat verileri, https://www.immib.org.tr/files/kio/temp/Yeni%20Vizyon%20Yeni%20Yol%20Haritas%C4%B1%20%C4%B0hracat%202019%20Raporu.pdf

[51] FAO, (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

[52] Elshopakey, G. E., Risha, E. F., Abdalla, O. A., Okamura, Y., Hanh, V. D., Ibuki, M., Sudhakaran, R., Itami, T., (2018). Enhancement of immune response and resistance against Vibrio parahaemolyticus in kuruma shrimp (Marsupenaeus japonicus) by dietary supplementation of β-1,4-mannobiose, Fish and Shellfish Immunology 74: 26–34.

[53] Bingöl, E. B., Uran, H., Bostan, K., Varlık, C., Sivri, N., Alakavuk, D., (2013), Kitosanla Muamelenin Dondurulmuş Karideslerin Duyusal ve Kimyasal Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi, Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 19 (3): 399-405.

[54] Donmuş karides, https://www.gulfseafood.ae/content.php?content=freeze-dried-shrimp

[55] Volker S., (2011), "Euphausiidae Dana, 1852". World Euphausiacea database. World Register of Marine Species. 67: 370–372.

[56] Han, A. T., (2019), Farkli Dondurma ve Çözdürme Yöntemlerinin Kırmızı Karides (Aristaeomorpha Foliacea)'in Kalitesi Üzerinde Etkileri, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[57] Karaçıl, M. Ş., Acar, Tek. N., (2013), Dünyada Üretilen Fermente Ürünler: Tarihsel Süreç ve Sağlık ile İlişkileri, Journal of Agricultural Faculty of Uludağ University, 27(2):163-173.

[58] Bingöl, G., Devres, Y. O., (2009). Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

[59] Aydemir, A. M., Atasever, M., (2007). Işınlamanın Gıda Teknolojisinde Kullanımı, Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 2(3):107-116.

[60] Şahin, Y. N., Güven, M., (2016), Characterization and Modelling of Pumpkin Chips Production with Microwave Assisted Drying Method, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[61] Kurutulmuş gıdalar, www.istockphoto.com

[62] Çelen S. (2010), Mikrodalga ve Vakum Kurutucuda Bazı Gıda Ürünlerinin Kurutulması ve Modellenmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.

[63] Dadalı, G. (2007), Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniği Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı,Yüksek Lisans Tezi.

[64] Antal, T., (2015), Comparative Study of Three Drying Methods: Freeze, Hot air-assisted Freeze and Infrared-assisted Freeze Modes, Agronomy Research 13 (4), 863–878.

[65] Erbaş, M., Candal, C., Kılıç, Ö., Mutlu, C., (2016), Gıdaların Nem Sorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi ve Eşitliklerinin Çözümü**,** Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü GIDA (3):171-178.

[66] Özbay, D, S., (2016), Dana Nuarina (M. semitendinosus) Uygulanan Ön İşlemlerin Mikrodalga Kurutmaya Etkisinin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

[67] Aykın, E., Arslan, S., Durak, A. N. ve Erbas M., (2015), Gıdalarda Bulunan Suyun Fizikokimyasal Durumu ve Sorpsiyon İzotermleri, GIDA, 40 (2): 109- 116.

[68] Aktaş, C., (2015), Patlıcanın Kurutma ve Rehidrasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[69] Fellows, P., J., (2000) Food Processing Technology. 2nd ed.; Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC: North America,; p 336.

[70] Mujumdar, A. S., (1995). Handbook of Industrial Drying, 1, Marcel Dekker, Inc., New York.

[71] Arranz, F. J., Jiménez-Arizab, T., Diezma, B., Corread, E. C., (2017),Determination of Diffusion and Convective Transfer Coefficients in Food Drying Revisited: A new Methodological Approach , Biosystems Engineering, 162:30-39.

[72] Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering, 48: 177-182.

[73] Sun, Q., Zhang, M., Muijumdar, A. S., (2018), Recent Developments of Artificial Intelligence in Drying of Fresh Food, Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 36 (1): 1863–10.

[74] Cemeroğlu, B., (2004). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. Cilt 2. Baskı, Bizim Büro Basımevi, Ankara.

[75] Ayrosa, A. M. I. B., (2003). Nogueira-de-Moraes-Pitombo, R. Influence of platetemperature and mode of rehydration on textural parameters of precooked freeze-dried beef. Journal Food Processing and Preservation. 27: 173–180.

[76] Yadav, S., Chandramohan, V. D., (2018), Numerical Analysis on Thermal Energy Storage Device With Finned Copper Tube for an Indirect Type Solar Drying System, Journal of Solar Energy Engineering, 140(3), 031009: 17-1275.

[77] Özen, E., (2016), Farklı Kurutma Teknikleri İle Domatesin Kurutulması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

[78] Kocayiğit, F., (2010) Bazi Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

[79] Alkaç, S. P. (2019) Isı Pompalı İnfrared Kurutucuda Dilimlenmiş Limonun Kurutulmasının Performans Analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

[80] Yüzgeç, U., (2005), Kurutma Sürecinin Modellenmesi ve Akıllı Öngörülü Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

[81] Majdi, H., Esfahani, J. A., (2018),Energy And Drying Time Optimization of Convective Drying for Performance Improvement: RSM And LBM Methods, An American Society of Mechanical Engineers, 10.1115/1.4040259.

[82] Erbay, B. ve Küçüköner, E. (2008). Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum,1045-1047.

[83] Dündar, H., (2010). Bir Vakumlu Gıda Kurutma Sisteminin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[84] Kartal, A. S. K., (2011), Mikrodalga ve Kuru Hava Yardımıyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[85] Olgun, H., Rzayev, P., (2000). Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 24: 1-14.

[86] Özel, F. Ö., (2010). Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi

[87] Güngör, A., (2013). Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

[88] Günerban, H., (2005), Endüstriyel Kurutma Sistemleri, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Temel Bilgiler Tasarım ve Uygulama Eki, 13.

[89] Bayhan, H. A., (2011). Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[90] Bantlı kurutucu, https://www.ultrateknik.com

[91] Tüfekçi, S., (2014). Ultrases Ön İşleminin Bamya ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[92] Hui, Y. H., (2006). Handbook of Food Science, Engineering and Technology, Volume 1, Taylor & Francis Group, New York.

[93] Taştekinoğlu, D., (2019), Sıcak Hava ve İnfrared Kurutma Yöntemleri ile Önişlemlerin Üzümün Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi

[94] Flaş kurutucu, https://www.kurutma.net

[95] Mikrodalga fırın, https://ekilavuz.com/ariete-961-mikro-dalga-firin--13724b73eabbcf37-1

[96] Özkoç, S. Ö., (2010), Kızılötesi ve Kızılötesi-Kombinasyon Isıtma Teknolojilerinin Gıda İşleme Uygulamalarında Kullanımı, The Journal of Food, 35(3): 211-218.

[97] Verhoeven, G. J. J., Schmitt, K. D., (2013), An Attempt to Push Back Frontiers-Digital Near-Ultraviolet Aerial Archaeolog, Journal of Archaeological Science, 37(4):833-845.

[98] Feyzioğlu, G. T., (2011). Havalı Güneş Kolektörleri ile Kurutucu Tasarımı, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

[99] Beaudry, C., 2001 Evaluation of Drying Methods on Osmotically Dehydrated Cranberries, McGill Üniversitesi, Montreal, Yüksek Lisans Tezi.

[100] Adedeji, A. A., Gachovska, T. K., Ngadi, M. O. ve Raghavan, G. S. V., (2008), Effect of Pretreatments on Drying Characteristics of Okra, Drying Technology, 26:1251-1256.

[101] Jadhav, T. R., Moon, R., S., (2015), Review on Lyophilization Technique. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 4, (05), 1906-1928.

[102] Yağcıoğlu, A. (1999). Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No 536, 348, İzmir.

[103] İspir, A., (2006). Kayısının Osmotik Dehidrasyonu ve Kurutmaya Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[104] Chou, S., K., Chua, K., J. (2001), New Hybrid Drying Technologies for Heat Sensitive Foodstuff, Trends in Food Science & Technology, 12: 359–369.

[105] Chua, K., J., Chou, S., K., (2015), Recent Advances in Hybrid Drying Technologies, Emerging Technologies for Food Processing, 2. Baskı, Academic Press, Ireland.

[106] Guiné, R., P., F., (2018), The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties, International Journal of Food Engineering, 4 (2): 93–100.

[107] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., (2002), Metallerin çevresel etkileri- 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 1-10s, İstanbul.

[108] Aydın, E., M., Yıldız, S., (2004) Konya Ana Tahliye Kanalında Ağır Metal Kirliliğinin ICP- AES Tekniği ile İncelenmesi, I. Ulusal Çevre Kongresi, 259-265.

[109] EC, 2014. Commission Regulation. No 488/2014 of 12 May 2014, Amending Regulation (EC) No 1881/2006 As Regards Maximum Levels of Cadmium in Foodstuffs.

[110] Mrad, N., D., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., Bonazzi, C., (2012), Influence ff Air Drying Temperature on Kinetics, Physicochemical Properties, Total Phenolic Content and Ascorbic Acid of Pears. Food and Bioproducts Processing. 90 (3). Ss. 433–441.

[111] Nowacka, M., Wictor, A., Sledz, M., Jurek, N. ve Witrowa-Rajchert, D., (2012), Drying of Ultrasound Pretreated Apple and Its Selected Physical Properties. Journal of Food Engineering. 113 (3). Ss. 427–433.

[112] Blanco, F., S., Sarabia, R., F., Acosta-Aparicio, V., M., Blanco, B., A., Gallego-Jua´rez, J., A., (2006). Food Drying Process by Power Ultrasound, Ultrasonics, 44. 523-527

[113] Ercan, S., Soysal, Ç., (2013). Use of Ultrasound in Food Preservation, Natural Science, 5-13.

[114] Mulet, A., Cárcel, J., Sanjuán, N., Bon, J., (2003). New Food Drying Technologies - Use of Ultrasound, Food Science and Technology International, 215-221.

[115] Yüksel, F., (2013). Gıda Teknolojisinde Ultrases Uygulamaları. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(2), 29-38.

[116] Tavman, G., Kumcuoğlu, S., Akkaya, Z. (2009), Bitkisel Ürünlerin Atıklarından Antioksidan Maddelerin Ultrason Destekli Ekstraksiyonu. GIDA, 34(3), 175-182.

[117] Aghbashlo, M., Kianmehr, M., H., Khani, S., Ghasemi, M., (2009), Mathematical Modeling of Carrot Thin-Layer Drying Using New Model. International Agrophysics, 23(4), 313-317.

[118] Alibas, I., (2012), Microwave Drying of Grapevine (Vitis Vinifera L.) Leaves and Determination of Some Quality Parameters. Journal of Agricultural Sciences, 18(1), 43-53.

[119] Jena, S., Das, H., (2007), Modelling for Vacuum Drying Characteristics of Coconut Presscake, Journal of Food Engineering, 79, 92–99.

[120] Henderson, S., M., Pabis, S., (1961), Grain Drying Theory I: Temperature Effect on Drying Coefficient. Journal of Agricultural Engineering Research, 6, 169–174.

[121] Lewis, W., K., (1921), The Rate of Drying of Solid Materials. Industrial & Engineering Chemistry Research, 13 (5),427–432.

[122] Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2002). A New Model for Single-Layer Drying. Drying Technology, 20(7), 1503-1513.

[123] Verma L., R., Bucklin R., A., Endan J., B., Wratten F., T. (1985), Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models, Transaction of the ASAE, 28: 296–301.

[124] Wang, C., Y.,Singh, R., P., (1978). Use of Variable Equilibrium Moisture Content in Modelling Rice Drying, Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 11: 668–672.

[125] Page, G.,E., (1949), Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers. Purdue University. MSc. Thesis,

[126] Peleg, M., (1988). An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. Journal of Food Science, 53, 1216–1217

[127] Tunde-Akintunde, T., Y., Ajala, A., (2010), Air Drying Characteristics of Chili Pepper, International Journal of Food Engineering, 6(1): 7.

[128] Kutlu, N., İşci, A. ve Demirkol, Ö. Ş., (2014). Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri, Gıda Dergisi, 40(1):39-46.

[129] Doymaz, İ., İsmail, O., (2011). Drying Characteristics of Sweet Cherry, Food and Bioproducts Processing, 89(1): 31-38.

[130] Doymaz, İ. (2015). Infrared Drying Kinetics and Quality Characteristics of Carrot Slices, Journal of Food Processing and Preservation, 39(6):2738-2745.

[131] Agudo, J., E., Pardo, P., J., Sánchez, H., Pérez, A., L., Suero, M., I., (2014), A Low-Cost Real Color Picker Based on Arduino, Sensors, 14(7):11943-11956.

[132] Ağır metal analizi, www.agilent.com

[133] Nasıroğlu, S., Kocabıyık, H., (2009). Thin-layer infrared radiation drying of red pepper slices, Journal of Food Process Engineering, 32(1): 1-16.

[134] Zhou L., Rowat A., C., Nyberg, K., (2015), Understanding Diffusion Theory And Fick's Law Through Food and Cooking, AJP Advances in Physiology Education 39(3):192-7.

[135] Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B., Marinos-Kouris, D., (1996), Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs, Drying Technology, 14, 2225-2253.

[136] Sarpong, F., Zho, C., Bai1, J., Amenorfe, L. P., Golly, M. K., Ma, H., (2019), Modeling of Drying and Ameliorative Effects of Relative Humidity (RH) against B-carotene Degradation and Color of Carrot (Daucus carota var) Slices, Food Science and Biotechnology, 28: 75-85,

[137] Isik, A,, Ozdemir, M., Doymaz, I., (2019), Effect of Hot Air Drying on Quality Characteristics and Physicochemical Properties of Bee Pollen. Food Science and Technology 39, 224-231.

[138] Aksoy, A., Karasu, S., Akcicek, A., Kayacan, S. (2019), Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Microstructure, Color, and The Rehydration Ratio of Minced Meat. Foods. 8(6), E216.

[138] Gu, Y. G., Lin Q., Wang, X. H., Du, F.Y. Yu, Z.L., Huang, H. H., (2015), Heavy Metal Concentrations in Wild Fishes Captured From The South China Sea and Associated Health Risks, Marine Pollution Bulletin, 96, 508-512.

[139] Tuzen, M., (2009), Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea Turkey, Food Chemistry and Toxicology, 47, 1785–1790.

[140] Candra, Y., A., Syaifullah, M., Irawan, B., Putranto, T., W., C., Hidayati, D., Soegianto A., (2019), Concentrations of Metals in Mantis Shrimp Harpiosquilla Harpax (De Haan, 1844) Collected From The Eastern Region of Java Sea Indonesia, and Potential Risks to Human Health, Regional Studies in Marine Science, 26, 100507.

[141] Anandkumar, A., Nagarajan, R., Prabakaran, K., Rajaram, R., (2017), Trace Metal Dynamics and Risk Assessment in The Commercially Important Marine Shrimp Species Collected From The Miri Coast, Sarawak. East Malaysia, Regional Studies in Marine Science, 16: 79–88,

[142] FAO, 1983. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substance in Fish and Fishery Products. Food and Agricultural Organization. Fishery circular No. 764

[143] WHO, 1989. Heavy Metals Environmental Aspects. Environmental Health Criteria. World Health Organization, Geneva, Switzerland

[144] MAFF, 1995. Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea, 1993. Aquatic Environment Monitoring Report No. 44. Direcorate of Fisheries Research, Lowestoft

[145] EC, 2008. Commission Regulation. No 629/2008 of July 2008 amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.

[146] Turkish Food Codex, 2002. Regulation of Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs. Official Gazette, 23 September 2002, Issue 24885

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: alicanersan@hotmail.com

Makaleler

[1] Ersan A., Tugrul N., The Drying Kinetics and Characteristics of Shrimp Drıed by Conventional Methods, Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly.

Projeler

[1] Deniz Ürünlerinin Farklı Yöntemlerle Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje Tuğrul N. (Yürütücü) , Erşan A. C.