T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI TEKNİKLER KULLANILARAK ŞEFTALİNİN KURUTMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

Ece BIÇAKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Ocak, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI TEKNİKLER KULLANILARAK ŞEFTALİNİN KURUTMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

Ece BIÇAKLI tarafından hazırlanan tez çalışması 23.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Nil ACARLI
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. İsmail İNCİ
İstanbul Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Farklı Teknikler Kullanılarak Şeftalinin Kurutma Davranışlarının 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.

Ece BIÇAKLI

Anne ve Babama

TEŞEKKÜR

Sayın tez danışmanım Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ eşliğinde hazırlanan yüksek lisans tezimde, her daim büyük bir azim ve ilgiyle kıymetli vaktini ve bilgisini paylaştığı için kendisine teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda değerli anne ve babama bu süreçte ve hayatımın her alanında yanımda olup beni destekledikleri için de sonsuz minnettarlığımı bildirmek isterim.

Ece BIÇAKLI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvi
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 2
1.3 Hipotez ... 2
2 KURUTMA 3
2.1 Kurutma Yöntemleri ... 4
2.1.1 Güneşte Kurutma ... 4
2.1.2 Dondurarak Kurutma ... 6
2.1.3 Mikrodalga Kurutma ... 6
2.1.4 Ozmotik Kurutma ... 7
2.2 Kurutucu Çeşitleri ... 8
2.2.1 Akışkan Yatakta Kurutma ... 8
2.2.2 Kabin Kurutma ... 8
2.2.3 Püskürterek Kurutma ... 9
2.2.4 Tünel veya Konveyör Kurutma ... 10
2.2.5 Döner Kurutma ... 11
2.2.6 Valsli Kurutma ... 11
2.3 Kurutmayı Etkileyen Faktörler ... 12
2.3.1 Havanın Sıcaklığı ... 12
2.3.2 Havanın Hızı ... 12
2.3.3 Havanın Nemi ... 13
2.3.4 Yüzey Alanı ... 13
2.4 Kuruma Hızı Eğrileri ... 13
2.5 Rehidrasyon ... 15
2.6 Renk ... 16

2.7 Ön İşlemler 17
2.7.1 Alkali Çözeltisine Daldırma 17
2.7.2 Kükürtleme 18
3 ŞEFTALİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER 19
4 YAPILAN ÇALIŞMALAR 23
5 MATERYAL VE YÖNTEM 27
5.1 Materyal 27
5.2 Kullanılan Ekipmanlar 27
5.3 Yöntem 31
5.3.1 Ön İşlem için Çözelti Hazırlanması 31
5.3.2 Kabin Kurutucu ile Şeftali Dilimlerinin Kurutulması İşlemi 32
5.3.3 Infrared Kurutma Yöntemi ile Şeftalilerin Kurutulması 32
5.3.4 Kombine Kurutma (IR+Kabin Kurutucu) ile Şeftali Dilimlerinin Kurutulması 32
5.3.5 Matematiksel Modelleme 33
5.3.6 Regresyon Analizi 34
5.3.7 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 34
6 DENEYSEL SONUÇ VE ARAŞTIRMA 36
6.1 Konvektif Kurutma 36
6.1.1 Sıcaklık ve Ön İşlemin Kuruma Zamanına Etkisi 36
6.1.2 Kurutma Hızının Kurutma Zamanı ile İlişkisi 39
6.1.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi 42
6.1.4 D_{eff} Değerleri 48
6.1.5 E_a Değerleri 50
6.1.6 Rehidrasyon Eğrilerinin İncelenmesi 51
6.1.7 Renk Parametrelerinin Değerlendirilmesi 54
6.8 İnfrared Kurutma 57
6.8.1 İnfrared Kurutucuda Gücün ve Ön İşlemin Kurutma İşlemine Etkisi 57
6.8.2 Kurutma Hız Eğrileri 60
6.8.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenme ve Değerlendirilmesi 62
6.8.4 D_{eff} Değerleri 67
6.8.5 E_a Değerleri 69
6.8.6 Rehidrasyon Kapasitesi 70

6.8.7 Renk Değerlerinin Değerlendirilmesi..... 73
6.9 Kombine Kurutma 75
7 SONUÇ VE ÖNERİLER **77**
KAYNAKÇA **79**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **84**

SİMGE LİSTESİ

E_a	Aktivasyon enerjisi
C	Chroma
dak	Dakika
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı
g	Gram
IR	İnfrared
χ^2	Khi-kare
kJ	Kilojoule
kCal	Kilokalori
MHz	Megahertz
m	Metre
R^2	Regresyon katsayısı
a*	Rengin Kırmızılığı veya Yeşilliği
b*	Rengin Maviliği ya da Sarılığı
L*	Rengin Parlaklığı ya da Koyuluğu
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
s	Saniye
ΔE	Toplam renk farkı
W	Watt

KISALTMA LİSTESİ

CIE	Commission Internationale de l' Eclairage
FAO	Food and Agriculture Organization
KH	Kurutma hızı
M	Nem miktarı
MR	Nem oranı
RMSE	Tahmini standart hatası

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Açık havada kurutma şematik gösterimi.....5
Şekil 2.2 Dağıtılmış tip aktif güneş kurutucu 5
Şekil 2.3 Dondurarak kurutmanın laboratuvar ölçekli şematize edilişi 6
Şekil 2.4 Mikrodalga ile kurutmanın şematik gösterimi 7
Şekil 2.5 Osmotik kurutma çalışma prensibi 7
Şekil 2.6 Akışkan yatakta kurutmanın şematik diyagramı.....8
Şekil 2.7 Kabin kurutucunun şematik diyagramı.....8
Şekil 2.8 Püskürterek kurutmanın şematik gösterimi 9
Şekil 2.9 Tünel kurutmanın şematik diyagramı 10
Şekil 2.10 Konveyör kurutmanın şematik diyagramı.....10
Şekil 2.11 Döner kurutucu şematik gösterimi 11
Şekil 2.12 Valsli kurutmanın şematik gösterimi 11
Şekil 2.13 Nem içeriği-kuruma hızı arasındaki ilişki 13
Şekil 2.14 Kuruma hızı ve zaman arasındaki ilişki 14
Şekil 2.15 Nem içeriği ve zaman arasındaki ilişki 14
Şekil 2.16 L*a*b* renk uzayı için elipsoid şekil.....17
Şekil 3.1 Şeftali görünümü 19
Şekil 3.2 Kuru şeftalinin görünümü 19
Şekil 3.3 Şeftali ve nektarinin kıtalara göre üretim dağılımı (2010-2020) 20
Şekil 3.4 Dünyada şeftali ve nektarin üretim miktarı 21
Şekil 3.5 2010-2020 yılları arası dünyada şeftali ve nektarinin hasat edildiği alanlar 21
Şekil 3.6 2010-2020 yılları arası Türkiye'deki şeftali ve nektarin üretimi.....22
Şekil 3.7 2010-2020 yılları arası Türkiye'deki şeftali ve nektarin hasat edildiği alanlar 22
Şekil 5.1 Kurutma kabini 27
Şekil 5.2 Infrared ısıtıcı.....28
Şekil 5.3 Terazi.....29
Şekil 5.4 Hassas terazi 29
Şekil 5.5 Etüv 30
Şekil 5.6 Desikatör.....30
Şekil 5.7 Renk tayin cihazı.....31
Şekil 5.8 Paketleme cihazı 31
Şekil 6.1 Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (40°C) ……...37
Şekil 6.2 Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (50°C) ….. 38
Şekil 6.3 Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (60°C) ….. 38
Şekil 6.4 Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (70°C) ……..39
Şekil 6.5 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (40°C) ……40
Şekil 6.6 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (50°C) ……40

Şekil 6.7 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (60°C) …. 41
Şekil 6.8 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (70°C)….. 41
Şekil 6.9 Potas kodlu şeftali dilimlerinin deneysel nem oranının tahmini nem oranı ile karşılaştırılması.....47
Şekil 6.10 Sitrik kodlu şeftali dilimlerinin deneysel nem oranının tahmini nem oranı ile karşılaştırılması.....47
Şekil 6.11 Kontrol kodlu şeftali dilimlerinin deneysel nem oranının tahmini nem oranı ile karşılaştırılması.....48
Şekil 6.12 Şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki efektif difüzyon katsayıları .49
Şekil 6.13 Sıcaklığın E_a üzerindeki etkisi.....50
Şekil 6.14 Şeftali dilimlerinin 40°C'de rehidrasyon kapasiteleri 52
Şekil 6.15 Şeftali dilimlerinin 50°C'de rehidrasyon kapasiteleri 53
Şekil 6.16 Şeftali dilimlerinin 60°C'de rehidrasyon kapasiteleri 53
Şekil 6.17 Şeftali dilimlerinin 70°C'de rehidrasyon kapasiteleri 54
Şekil 6.18 Potas ön işleme tabi tutulan şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki renk değerleri 56
Şekil 6.19 Sitrik asitle ön işleme tabi tutulan şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki renk değerleri.....56
Şekil 6.20 Ön işleme tabi tutulmayan şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki renk değerleri 56
Şekil 6.21 Nem miktarının kurutma zamanı ile ilişkisi, (38 W).....58
Şekil 6.22 Nem miktarının kurutma zamanı ile ilişkisi, (62 W).....59
Şekil 6.23 Nem miktarının kurutma zamanı ile ilişkisi, (88 W).....59
Şekil 6.24 Şeftali dilimlerinin 38 W gücünde kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi 60
Şekil 6.25 Şeftali dilimlerinin 62 W gücünde kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi 61
Şekil 6.26 Şeftali dilimlerinin 88 W gücünde kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi 61
Şekil 6.27 Farklı infrared güçlerinde kurutulan Potas kodlu şeftali numunelerinin tahmini nem oranlarının mukayesesi 66
Şekil 6.28 Farklı infrared güçlerinde kurutulan Sitrik kodlu şeftali numunelerinin tahmini nem oranlarının mukayesesi 66
Şekil 6.29 Farklı infrared güçlerinde kurutulan Kontrol kodlu şeftali numunelerinin tahmini nem oranlarının mukayesesi 67
Şekil 6.30 Şeftali dilimlerinin farklı güçlerdeki efektif difüzyon katsayıları.....68
Şekil 6.31 İnfarared güç seviyesinin efektif difüzyon katsayısına etkisi.....70
Şekil 6.32 Şeftali dilimlerinin 38 W güçteki rehidrasyon kapasiteleri 71
Şekil 6.33 Şeftali dilimlerinin 62 W güçteki rehidrasyon kapasiteleri 72
Şekil 6.34 Şeftali dilimlerinin 88 W güçteki rehidrasyon kapasiteleri 72
Şekil 6.35 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan Potas kodlu şeftali dilimlerinin renk değerleri 74
Şekil 6.36 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan Sitrik asit kodlu şeftali dilimlerinin renk değerleri 74
Şekil 6.37 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan Kontrol kodlu şeftali dilimlerinin renk değerleri 74

Şekil 6.38 Şeftali numunelerinin kombine kurutmadaki nem miktarının kurutma süresi ile ilişkisi.....75

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Şeftalinin 100 gram yenilebilir kısmı için besin değer tablosu.....19
Tablo 3.2 2010-2020 yılları arasında en çok şeftali ve nektarin üreten 10 ülke ve ürettikleri ortalama miktarlar 20
Tablo 5.1 Modellemede yararlanılan matematiksel modeller…. 34
Tablo 6.1 Şeftali numunelerinin farklı sıcaklıklardaki kuruma süreleri 36
Tablo 6.2 40 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler 43
Tablo 6.3 50 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler 44
Tablo 6.4 60 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler 45
Tablo 6.5 70 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler 46
Tablo 6.6 Farklı sıcaklıklarda kurutulan şeftali örneklerine ait efektif difüzyon katsayıları 48
Tablo 6.7 Literatürdeki bazı şeftali dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları.....50
Tablo 6.8 Literatürdeki bazı şeftali dilimlerinin aktivasyon enerjileri.....51
Tablo 6.9 Taze ve kurutulmuş şeftali numunelerinin farklı sıcaklıklarda ve ön işlemlerdeki renk parametreleri 55
Tablo 6.10 Şeftali numunelerinin farklı güçlerdeki kuruma zamanlarının karşılaştırılması.....57
Tablo 6.11 38 W güçte kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler……..……..63
Tablo 6.12 62 W güçte kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler…….....64
Tablo 6.13 88 W güçte kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler…….....65
Tablo 6.14 Farklı güçlerdeki şeftali dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri 67
Tablo 6.15 Literatürde yer alan infrared kurutma yöntemi ile kurutulan şeftali ve diğer bazı gıdaların efektif difüzyon katsayıları 69
Tablo 6.16 Taze ve kurutulmuş şeftali numunelerinin farklı güçlerdeki ve ön işlemlerdeki renk parametreleri 73

ÖZET

Farklı Teknikler Kullanılarak Şeftalinin Kurutma Davranışlarının Belirlenmesi

Ece BIÇAKLI

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Kurutma, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve içindeki suyu uzaklaştırmak amacıyla çok uzun yıllardır yapılan bir yöntemdir. Temel amaç, meyve ve sebzede bulunan suyu mikrobiyal ve kimyasal reaksiyonları önlemek için uzaklaştırmaktır. Kurutmanın sunduğu kolaylıklar arasında sadece raf ömrünü uzatmak değil aynı zamanda hacimde olan azalmadan dolayı depolama ve paketlemede sağlanan avantaj da verilebilir. Bu çalışmada, şeftali dilimleri kabin kurutucuda 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda ve 38, 62 ve 88 W infrared gücündeki bir infrared kurutucuda kurutulmuştur. Ayrıca, şeftali dilimleri bir kombine sisteminde (infrared kurutucu + kabin kurutucu) kurutulmuştur. Buna ek olarak şeftali dilimleri kurutma öncesinde potasyum karbonat ve sitrik asit çözeltileri ile muamele edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak nem içeriği-kuruma zamanı ve kuruma hızı – kuruma zamanı eğrileri modellenmiştir. Deneysel verilere değişik kurutma modelleri uygulanmış ve bu çalışmanın sonucunda şeftali dilimlerinin kurutma davranışlarını en iyi tanımlayan model Midilli & Küçük modeli olarak tespit edildi. Bunun yanında uygulanan ön işlemlerin kurutma süresi ve hızına etkisi de gözlemlenmiştir.

Bunun sonucunda potasyum karbonat çözeltisi ile muamele edilen şeftali dilimlerinin, sitrik asit çözeltisi ile muamele edilen ve ön işlem uygulanmayan şeftali dilimlerinden daha kısa sürede kuruduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca infrared kurutucuda elde edilen kurutma süreleri sıcak hava kurutucuda elde edilen kurutma sürelerine göre daha az olduğu tespit edildi. Sıcak hava kurutucuda sıcaklığın, infrared kurutucuda güç seviyesinin artışı ile kuruma süresinin düştüğü görülmüştür.

Difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri deneysel verilerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Sıcaklığın ve infrared gücün artışıyla ve ön işlemlerin uygulanmasıyla difüzyon katsayısında bir artışa neden olmuştur. Renk parametreleri açısından bakılırsa en düşük sıcaklık ve güçte sitrik asitle kurutulan numunelerin en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Rehidrasyon açısından incelendiğinde ise sıcaklığın ve infrared gücünün artışıyla rehidrasyon kapasitesinde düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca, potasyum karbonat çözeltisi ile muamele edilip kurutulan numunelerin rehidrasyon kapasitesi değerleri diğer numunelere göre daha yüksektir.

Anahtar Kelimeler: Şeftali, kurutma, ön işlem, kabin kurutucu, infrared kurutucu

ABSTRACT

Determination of Drying Behaviours of Peach Using Different Techniques

Ece BIÇAKLI

Department of Chemical Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Drying is a technique that has been done for many years in order to extend the shelf life of foods and to remove the water in them. The main goal is to remove the juice contained in fruits and vegetables to prevent microbial and chemical reactions. Among the conveniences offered by drying can be given not only the advantage of extending the shelf life, but also the advantage in storage and packaging due to the reduction in volume. This study is about peach slices were aiming to dried in a cabinet dryer and the temperatures were 40, 50, 60 and 70°C and in an infrared dryer with infrared power of 38, 62 and 88 W. Also, the peach slices were dried in a combined system (infrared dryer + cabinet dryer). In addition, the peach slices were treated with solutions of potassium carbonate and citric acid before drying. Using the information from the experimentation's data, moisture content-drying time and drying rate – drying time curves have drawn. The experimental data has been applied to a variety of drying models and resulting from this research, the model that best describes the drying behavior of peach

slices was determined as Midilli & Kücük model. In addition, impacts of the pre-treatments applied on the drying time and drying rate was observed. As a result, it was observed that peach slices treated with potassium carbonate solution dried out in a shorter time than peach slices treated with citric acid solution and not pretreated. In addition, it was found that the drying times obtained in the infrared dryer were less than the drying times obtained in the hot air dryer. It has been observed that the temperature increases in the hot air dryer and power increases in infrared dryer decreases the drying time. Calculations of diffusion coefficients and activation energies were done using experimental data. With the increase in temperature and infrared power, as well as the implementation of pre-treatments, it led to an increase in the diffusion coefficient. In terms of color parameters, it was seen that the samples dried with citric acid at the lowest temperature and power gave the best results. When examined in terms of rehydration, with an increase in temperature and strength, it was seen that the capacity to rehydrate decreased. In addition, the rehydration capacity values of the samples treated and dried with potassium carbonate solution are higher than other samples.

Keywords: Peach, drying, pretreatment, cabinet dryer, infrared

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Bitkilerin yetiştirilmesi insanlar tarafından yüzyıllar boyunca yapılmaktadır. Bu süreçte bitkiler insanların istemli ya da istemsiz faaliyetleri sonucunda farklı şekillerde evrimsel değişimler geçirmiştir. Bu evrime destek olan yapay seçilim de şu an gıda maddesi olarak kullanılan bitkilerin yüzyıllar önceki atalarından yapısal olarak biçiminin dolayısıyla genetiğinin farklı olmasına katkıda bulunmuştur.

İçerdiği besin öğeleri açısından oldukça yararlı olan şeftali, bünyesinde sağlığa yararlı birçok vitamin bulundurmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de üretimi oldukça yaygın ve popüler olan meyvelerden biri de şeftalidir. Dünyada en çok üretimi son verilere göre Çin, İspanya ve İtalya'da; Türkiye'de ise üretimi Mersin, Bursa ve Çanakkale'de yapılmaktadır. Taze olarak tüketildiği gibi aynı zamanda reçel, marmelat, meyve suyunda hammadde olarak da kullanılabilir. Bunların yanı sıra insanoğlunun çok uzun yıllardır kullandığı bir gıda saklama yöntemi olarak, kurutma yapılarak da kullanımı oldukça yaygındır. Nem oranının oldukça yüksek olması nedeniyle, muhafazası oldukça zordur. Bu nedenle nem içeriğinin azaltılması ve belli bir seviyeye getirilmesi sayesinde muhafazası daha uzun süre sağlanabilir. Nem içeriğinin belli bir seviyeye getirilmesi ile oluşabilecek muhtemel enzimatik, enzimatik olmayan ya da mikrobiyal reaksiyonların belli bir derece önüne geçilmeye çalışılır. Bu şekilde kurutmayla hem muhafaza için uygun ve nispeten uzun süreçli bir ortam sağlanırken hem de ağırlık ve hacminde yaşanan ciddi azalma sonucu ambalajlama, depolama ve nakil işlemlerindeki maliyetlerde bir azalmaya gidilmiş olur.

En yaygın kurutma yöntemi olarak güneşte kurutma kullanılırken, kurutma sırasında ortaya çıkabilecek kontaminasyon ya da hava koşullarında oluşabilecek herhangi beklenmedik bir olay son ürünün kalitesini ve verimi etkileyebilmesinden ötürü riskleri olan bir yöntem olarak sayılabilir. Alternatif

birçok kurutma yöntemi olmakla birlikte bu çalışmada sıcak hava ve infrared ile kurutma yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada amaç, şeftalinin çeşitli yöntemler (kabin kurutucu, infrared ve kombine), farklı ön işlemler (potasyum karbonat ve sitrik asitle muamele) ile kurutulması sırasında meydana gelen değişimlerin ve davranışların belirlenmesi olup, kurutmanın ne derece başarılı olduğunu rehidrasyon oranı ve renk parametreleri gibi indikatörlerle tespit etmektir. Buradan yola çıkılarak elde edilen verilerle şeftalinin farklı kurutma yöntemleri ve ön işlemler karşısındaki durumu değerlendirilip, en uygun olanının hangisi olduğu tespit edilecektir. Bu çalışmada yapılan ön işlemlerin kurutma hızına, süresine ve ürünün kalitesine renk açısından etkisi değerlendirilecektir. Bunlara ek olarak deneyler sırasında alınan ölçümler ile kuruma eğrileri çizilip, matematiksel modelleme yapılacaktır. Bu çalışmada, Lewis, Henderson & Pabis, Page, Midilli & Küçük, Jena & Das, Vega-Galvez I modelleri kullanılacaktır. Kurutmanın hangi modele daha uygun olup olmadı hesaplanan R^2,X^2 ve RMSE değerleri ile belirlenecektir. Ayrıca, aktivasyon enerjisi ve difüzyon katsayıları hesaplanacaktır. Son olarak, uygulanan rehidrasyonla hangi yöntemdeki kurutmanın ve ön işlemin bu kurutma için daha uygun olduğu da değerlendirilecektir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, çekirdeklerinden ayrılan ve kabukları soyulup 0,5 cm kalınlığında kesilen şeftali dilimleri, potasyum karbonat (K_2CO_3) ve sitrik asit çözeltisi ile muameleden sonra ve ön işlemsiz (Kontrol) şeftaliler 40, 50, 60 ve 70°C'de kabin kurutucuda ve 38, 62 ve 88 W altında infrared kurutucuda kurutulmuştur. Aynı zamanda kabin kurutucu (60°C) ve infrared kurutucu kombinlenerek kurutma yapılmıştır. Nem içeriği yaş bazda %15'e düşünceye kadar numuneler kurutulmuştur. Kuruma eğrileri deneylerden elde edilen verilere göre çizilmiştir. Uygulanan ön işlemlerin kurutma süresi ve kalitesine etkisi gözlemlenmiştir. Matematiksel modelleme çalışmalarında literatürde yer alan bazı modeller kullanılarak en uygun olanı seçilmiş, ayrıca aktivasyon enerjisi ve difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Renk analizlerinde ise kurutulmuş örneklerden alınan

veriler ve taze şeftaliden alınan verileriyle kıyaslanıp, kaliteleri orijinale en uygun olana göre uygun ön işlem ve kurutma sıcaklık değeri belirlenmiştir.

2
KURUTMA

İnsanoğlu kaydedilebilen verilerin başlangıcından beri gıda maddelerini kurutarak saklamışlardır. Bunun için çoğunlukla havayı yani güneş ve rüzgârı kullanmışlardır. Kurutulmuş gıdaların saklanması, depolanması ve nakliyesi böylelikle daha ucuz hale gelmiştir. Ancak rüzgâr ve güneşle yapılan kurutmanın sonucunda oluşan ürünlerin uniform olması oldukça zordur ve rüzgâr ve güneşle yapılan doğal kurutma yöntemleri uzun süren işlemlerdir. 20. yüzyıl ile birlikte mekanik yollarla kurutma bu doğal yöntemlerin yerini almaya başlamıştır. Mekanik yöntemlerle yapılan kurutmalarda verim 1950'lerden sonra artmıştır. Tat ve dokularına zarar vermeden yapılan bu yöntemler sayesinde kurutmanın etkinliği arttırılmıştır (Hayashi, 2007).

Kurutma işlemi bir gıda maddesindeki suyu uzaklaştırma işlemidir. Bu uzaklaştırma işlemi farklı farklı yöntemlerle yapılabilir. Amaç su gıda maddesindeki suyun miktarını maksimum seviyede uzaklaştırıp gıdayı mikrobiyal ve kimyasal olarak stabil hale getirmektir. Mikrobiyal aktivitenin yavaşlamasıyla kurutulan gıda maddesinin depolanması ve raf ömrü orijinal ürüne göre çok daha uzun süre sağlanabilir. Kurutma işlemi sırasında gıda maddesinde hem kütlesel hem de ısısal bir transfer söz konusudur (Çınar, 2006).

2.1 Kurutma Yöntemleri

Kurutma, temelde üç farklı şekilde yapılır. Doğal kurutma, normal atmosfer koşullarında kesikli veya sürekli kurutma ve vakum altında kurutma olmak üzere sınıflandırılırsa bunlarında her biri için geliştirilmiş faklı yöntemler mevcuttur (Demiray, 2015).

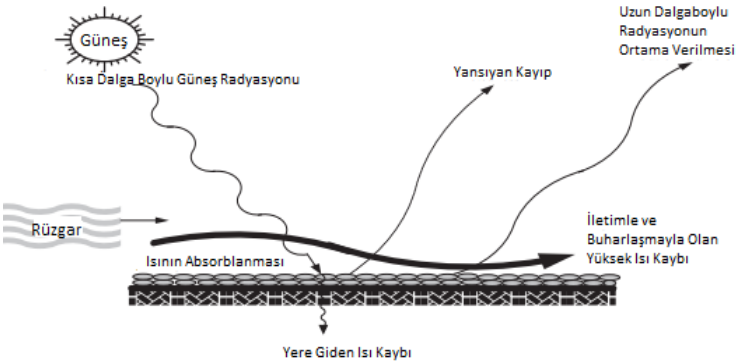
2.1.1 Güneşte Kurutma

Doğal kurutma çok eski zamanlardan beri kullanılan bir saklama yöntemidir. Direkt bir şekilde gölgeden ve/veya güneşten yararlanılarak yapılan kurutmadır.

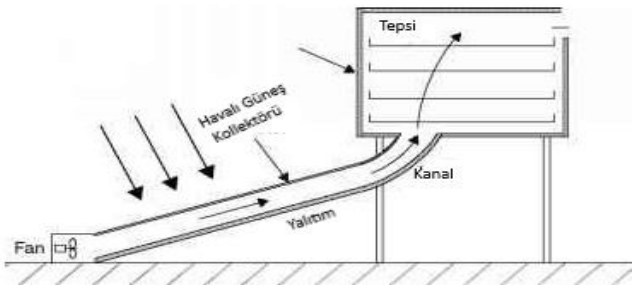
Ancak doğal kurutma bazı avantaj ve dezavantajları vardır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

Güneşte kurutma en yaygın ve genel olan kurutma yöntemidir. Bunun yanı sıra ilk kullanılan gıda saklama yöntemidir. Bu metotta kurutulacak olan meyve/sebze ya yere serilir ya da havaya asılarak güneşle muamele edilip suyunu kaybetmesi sağlanır. Şekil 2.1'de açık havada kurutmanın şematik gösterimi verilmiştir. Bu nedenle güneşte kurutma her yerde daima kurutma yapacağımız bir yöntem değildir. Güneşte kurutmanın bazı ana dezavantajları vardır. Dışarda kurutulan gıdanın kontamine olma riski mevcuttur (çevre ya da kuş-böcek gibi faktörlerden), ürün kaybı yaşanabilir, kontrol edilebilir bir sürece sahip değildir, kötü kokabilir ve kurutulması için belli bir alana ihtiyaç vardır. Bu dezavantajlara rağmen güneşte kurutma en ucuz yöntemdir (Rahman, 2007).

Bütün bunlarla birlikte güneşte kurutmada hafif de olsa bir fermantasyon riski mevcuttur. Bütün bu dezavantajlar kullanılarak farklı ve güneş enerjisi destekli sistemler geliştirilmiştir (Top vd., 2019). Şekil 2.2 'de de güneş enerjisi kullanılarak yapılan dağınık tip aktif güneş kurutucunun şematik gösterimi verilmiştir.



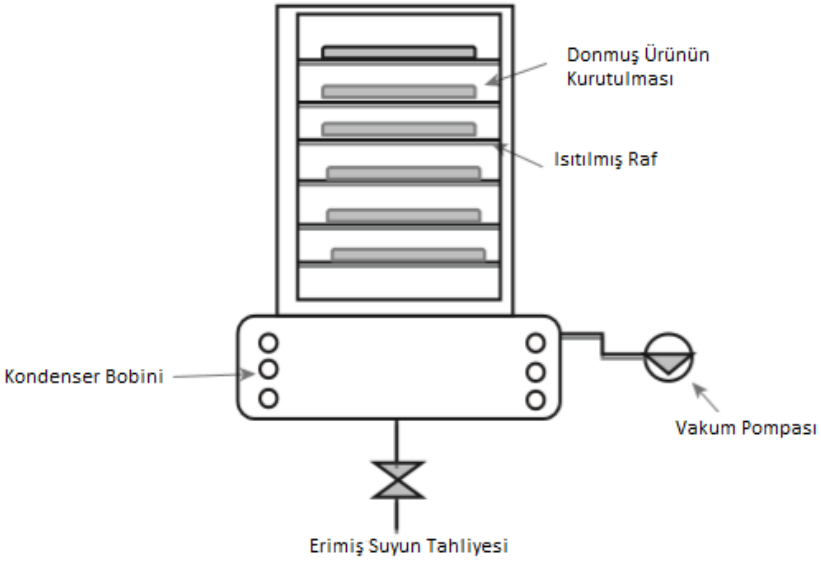
Şekil 2.1 Açık havada kurutma şematik gösterimi (Tomar vd., 2017)



Şekil 2.2 Dağıtılmış tip aktif güneş kurutucu (Tomar vd., 2017)

2.1.2 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma, vitamin, antibiyotik, mikrobiyal kültür gibi önemli ve ısısal işlem sırasında ve oksidasyona yatkın; zarar görebilecek bileşenleri içeren ürünlerin raf ömrünü uzatmak için uygulanan bir çeşit kurutma yöntemidir. Şekil 2.3'te dondurarak kurutmanın laboratuvar ölçekli şematize edilişi verilmiştir. Düşük sıcaklıkta ve yüksek basınç altında gerçekleşir. Maliyeti ve uygulama süresi yüksek olduğundan yüksek kaliteli ürünler kullanılır. Dondurarak kurutma yönteminde suyun buz hale geldikten sonra buzun süblimleşerek uzaklaşmasından yararlanılır (Bhatta vd., 2020).



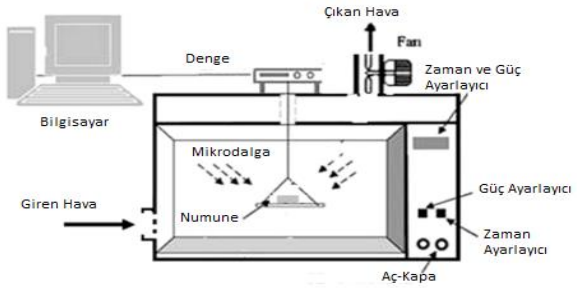
Şekil 2.3 Dondurarak kurutmanın laboratuvar ölçekli şematize edilişi (Fang ve Bhandari, 2012)

2.1.3 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga ile kurutma işlemi, diğer alışılagelmiş kurutma yöntemlerine göre işlem süresinin kısa sürmesi, kurutma sonunda tekdüze bir ürün elde edilmesi ve yüksek randıman gibi avantajlarından dolayı dikkat çekmeye başlayan bir yöntemdir. Mikrodalga ile kurutma yalıtkan olan gıda maddelerine uygulanır. Şekil 2.4'te mikrodalga ile kurutmanın şematik gösterimi verilmiştir. Çalışma mekanizması ise şu şekildedir; mikrodalga yüksek (900 ile 5000 MHz) frekanslarda dalgalar ile çalışır. Bu dalgalar gıda maddesindeki polar moleküllerle

etkileşime girerek elektromanyetik enerji termal enerjiye dönüştürülür. Verim oldukça yüksektir (Punathil ve Basak, 2016; Top vd., 2019).

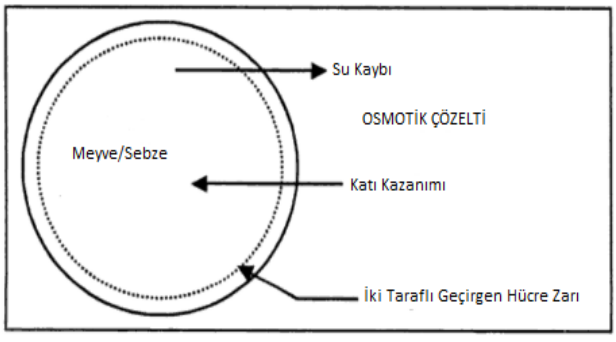
Oluşan elektrik alan materyali bir bütün olarak ele alır ve etki eder. Geleneksel kurutma yöntemlerinin aksine bu yöntemde ısı direkt olarak materyalin içine etki eder ve kuruma içten başlar. Böylece zaman geçtikçe olması gereken kütle aktarımı materyalin yüzeyinden iç kısmına doğru gerçekleşir. Bu avantajlara rağmen fiziksel kalitesinde ve aroma kayıpları yaşanabilir (Karaaslan, 2012).



Şekil 2.4 Mikrodalga ile kurutmanın şematik gösterimi (Zarein vd., 2015)

2.1.4 Ozmotik Kurutma

Osmotik kurutma genellikle meyve-sebzelerde uygulanır ancak bunlara ek olarak peynir ve ette de kullanılır. Bu yöntemde tuz ya da şeker gibi konsantre bir çözeltiye gıda materyalinin daldırılması işlemini içerir. Nispeten yavaş bir işlemdir. Şekil 2.5'te osmotik kurutma çalışma prensibi verilmiştir. Ürünün içindeki su yüksek konsantrasyona sahip olan çözeltiye; çözeltide çözünmüş olan madde ise gıda maddesine doğru hareket eder. Ucuz bir yöntemdir ancak bu difüzyon sonucunda gıda materyalinde bazı değişimler meydana gelebilir. Tekstürü, şeker asit dengesini ve renk kararlılığını arttırmak için genelde dondurma ya da kurutmadan önce yapılan bir önişlemdir (Rahman, 2007).

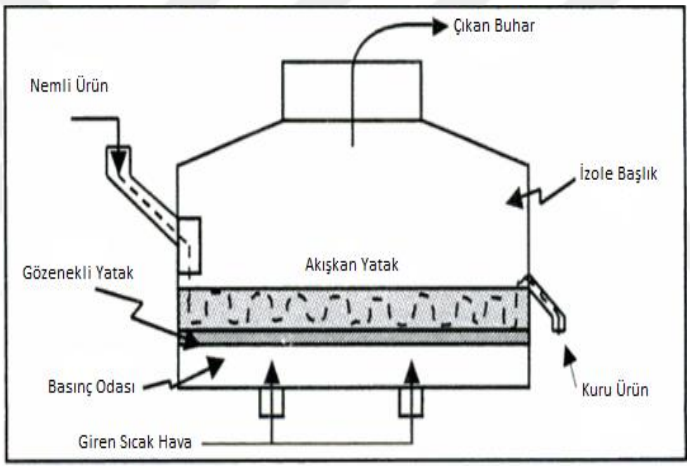


Şekil 2.5 Osmotik kurutma çalışma prensibi (Sudheer ve Indira, 2007)

2.2 Kurutucu Çeşitleri

2.2.1 Akışkan Yatakta Kurutma

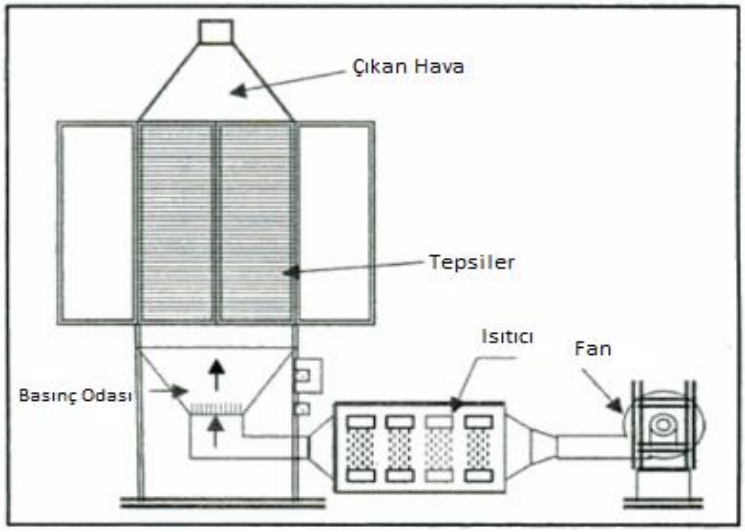
Akışkan yatakta kurutma, madde partiküllerinin bir gaz buharı içindeki bu buhar genelde sıcaktır, yukarı doğru hareketinden yararlanılarak yapılır. Şekil 2.6'da akışkan yatakta kurutmanın şematik diyagramı verilmiştir. Akışkanlaşma katı parçaları harekete geçirir ki bu durumda katı yüzeylerde türbülans meydana getirir. Bu durumda beraberinde kuruma oranında artışı getirir (Rahman, 2007). Geçirilen gazın/havanın hızı oldukça iyi ayarlanmalıdır ve küçük parça boyutunda olan gıda maddelerine uygulanmalıdır. Gaz ve tanecikler arasındaki temas iyi olduğundan ısı transferi güçlü bir şekilde gerçekleşir buna ek bir avantajı ise kısa süren bir işlem ve tekdüze bir kuruma olmasıdır (Güngör ve Özbalta, 1997).



Şekil 2.6 Akışkan yatakta kurutmanın şematik diyagramı (Sudheer ve Indira, 2007)

2.2.2 Kabin Kurutma

Kabin kurutucularda ürün bütün de kurutulabileceği gibi yüzey alanını arttırmak amacıyla parçalara bölünüp de kurutulabilir. Bir kabin içinde birçok raf bulunur ve kurutulacak gıda maddesi bu raflara/tepsilere dizilir ve kabinin içine sıcak hava verilerek kurutulma sağlanır. Şekil 2.7'de kabin kurutucunun şematik diyagramı verilmiştir. Ancak kabin kurutucu kesikli bir sistemdir ve buna ek olarak eğer kabinin içine gönderilen sıcak hava rafların arasını homojen bir şekilde sağlanmazsa kuruma tekdüze sağlanamaz (Top vd., 2019).

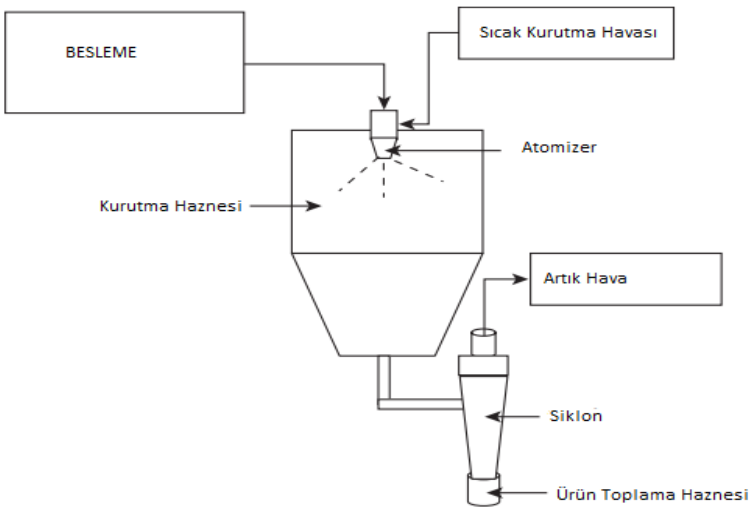


Şekil 2.7 Kabin kurutucunun şematik diyagramı (Sudheer ve Indira, 2007)

Ayrıca kabin kurutucu gibi sistemlerde enerjiden tasarruf etmek için kabinden çıkan sıcak havanın bir kısmı tekrardan kullanılmak üzere taze havayla karıştırılıp sisteme tekrardan yollanır (Top vd., 2019).

2.2.3 Püskürterek Kurutma

Püskürtmeli kurutucular, kendiliğinden akan sıvı formdaki karışımlardaki suyu uzaklaştırmak için kullanılır. Şekil 2.8'de püskürterek kurutmanın şematik gösterimi verilmiştir. Böylece sıvı formdan toz forma geçiş yapılır. Dezavantaj olarak ise ekipman büyüklüğü ve yağlı olan maddelerin atomizer işleminden önce fazla yağının alınması için ekstra işleme gerek duyulması söylenebilir (Rahman, 2007).



Şekil 2.8 Püskürterek kurutmanın şematik gösterimi (Fang ve Bhandari, 2012)

Kahve, süt tozu, deterjan ve sabun üretiminde kullanımı tercih edilen bir yöntemdir. Çok yüksek sıcaklıklar çok kısa süre prensibi söz konusudur. Bu nedenle ısıya duyarlı gıda maddeleri besin değerlerini koruyabilir. Endüstriyel boyutlarda giriş sıcaklığı 73°C -760°C arasındadır. Kuruma süreleri ise 5-15 saniye arasında değişir (Güngör ve Özbalta, 1997).

Püskürterek kurutma birbirini izleyen üç adımda uygulanır. Bu üç adım, atomizasyon, damlacık ile sıcak hava teması kurutması ve kuru ürünün nemli havadan ayrılmasıdır (Top vd., 2019).

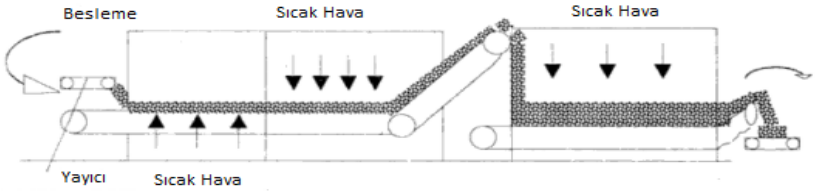
2.2.4 Tünel veya Konveyör Kurutma

Tünel ve konveyör kurutma sıcak hava akımı kullanılarak kurutma gerçekleşir. Kesikli, sürekli ve yarı sürekli olarak kullanılabilen bir sistemdir. Kurutma için kullanılacak olan hava bir fan kullanılarak sistemde dolaştırılır. Şekil 2.9'da tünel kurutmanın şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.9 Tünel kurutmanın şematik diyagramı (Sudheer ve Indira, 2007)

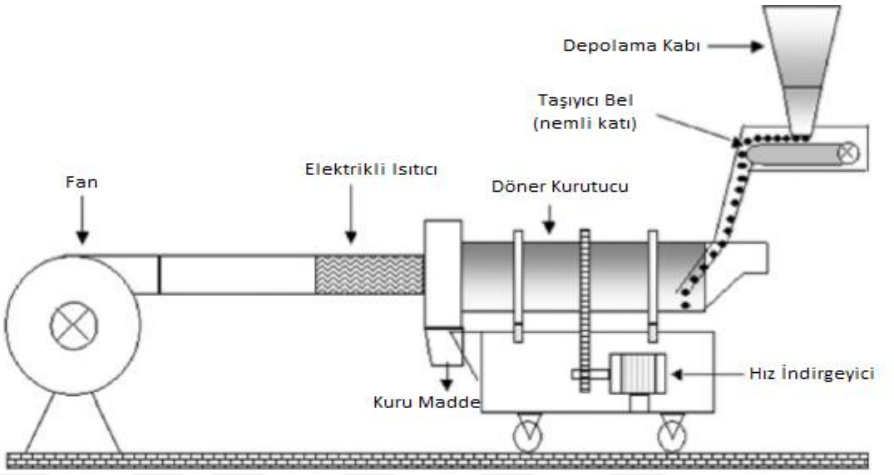
Tünel kurutucuda kurutulacak olan gıda maddesi raf ya da bantların üzerine konur. Fan yardımıyla çekilip ısıtılan hava da malzemeyle zıt olarak, paralel olarak ya da hem zıt hem paralel olarak sistemde dolaştırılır. Ayrıca ekonomik açıdan bu ısınmış hava ya birçok kez ısıtılır ya da birçok kez sistemde dolaştırılır. Şekil 2.10'da konveyör kurutmanın şematik diyagramı verilmiştir. Konveyör kurutmada ise gıda maddesi önce bir önişleme tabi tutulur (Top vd., 2019; Güngör ve Özbalta, 1997).



Şekil 2.10 Konveyör kurutmanın şematik diyagramı (Sudheer ve Indira, 2007)

2.2.5 Döner Kurutma

Döner kurutucular da akışkan gıdaların kurutulmasında tercih edilir. Eğer bu kurutma bantlı veya kabin tipi kurutucuda kurutulamayacaksa tercih edilir. Şekil 2.11'de Döner kurutucunun şematik gösterimi verilmiştir.

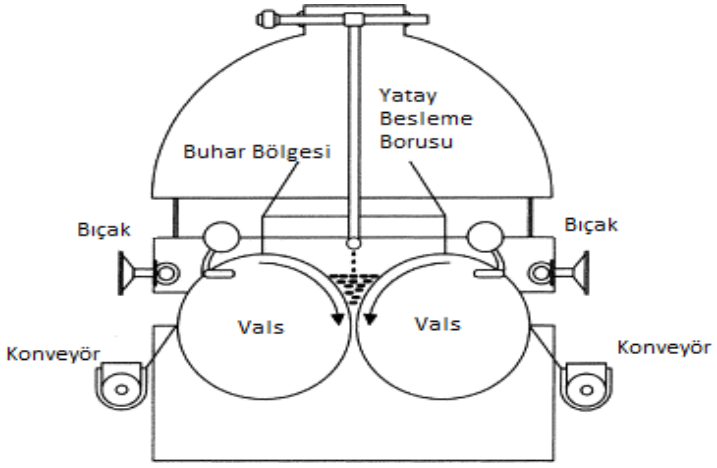


Şekil 2.11 Döner kurutucu şematik gösterimi (Arruda vd., 2009)

Kurutucu tüp içinde bulunan kanatçıklar, yaş gıdayı besleme noktasından çıkış bölgesinde doğru ilerlerken gıda ile kurutucu hava paralel ya da ters yönde temas ettirilir (Top vd., 2019).

2.2.6 Valsli Kurutma

Bu teknikte yüzeyi ısınmış vals/valslerde bulunan çamur, bulamaç ya da akışkandan (viskozitesi yüksek akışkanlar) suyu uzaklaştırılır. Tek ya da çift vals bulunabilir. Şekil 2.12' de valsli kurutmanın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.12 Valsli kurutmanın şematik gösterimi (Gavrielidou vd., 2002)

Genellikle sürekli bir işlemdir. İşlem sırasında ürünün kurutucu yüzeye iyice yapıştığından emin olunmalıdır. Bu nedenle yüzey gerilimi ve viskozite önemli iki parametredir. İşlem sırasında bazen yüzey gerilimini ve viskoziteyi değiştirmek için katkı maddeleri eklenebilir. Daha çok küçük ölçüde üretim için kullanılır ancak yüksek enerji verimliliğine sahip bir yöntemdir (Heldman, 2003; Rahman, 2007).

2.3 Kurutmayı Etkileyen Faktörler

Kurutma, ısı ve kütle transferinin eş zamanlı olarak gerçekleşip; gıda maddesindeki suyun maddeden uzaklaşmasıdır. Bu ısı transferinin gerçekleşebilmesi için ya da etkinliğinin artması/azalması bazı parametrelere bağlıdır. Bu parametreler hava hızı, havanın nemi, havanın sıcaklığı, gıda maddesinin alanı ve basınçtır. Ayrıca bu parametreler son ürünün kalitesini de etkiler. Gıdanın doğası gereği içeriği, sıcaklığı ve belli nem miktarı da nem transferini yönetir. Kurutma sırasında gıdayı etkileyen bazı faktörler ve yarattığı durumlar mevcuttur. Kimyasal faktörlerde; kararma reaksiyonları, lipid oksidasyonu ve renk kaybıdır. Fiziksel faktörlerde; rehidrasyon, çözünürlük, tektür ve aroma kayıplarıdır. Besinsel faktörlerde; vitamin ve protein kaybı ve mikrobiyal kalıntıdır (Heldman ve Lund, 2007).

2.3.1 Havanın Sıcaklığı

Havanın sıcaklığı, kurutma oranında en önemli faktördür. Sıcaklığın artışı buharlaşma oranın artmasına yol açar. Yüksek sıcaklıktaki havanın suyu buharlaştırma kapasitesi daha yüksektir. Ancak sıcaklığın etkisi yüksek sıcaklıkta çok da kayda değer değildir (Putra ve Ajiwiguna, 2016). Hava sıcaklığının, kurutma zamanına önemli ölçüde etkisi vardır. Sıcaklığın artışı kurutma zamanında kısalmasına yol açar. Bunun yanında renkte kahverengileşme ve bazı besin değerlerinde değişimleri de beraberinde getirir (Doymaz ve Karasu, 2018).

2.3.2 Havanın Hızı

Havanın hızındaki artış, buharlaşma oranının yükselmesine neden olur. Bu artış ancak hava hızının belli bir noktaya gelmesine kadar gözlenir (Moropoulou vd.,

2005). Hava hızını arttırmak kurutma süresinin azalmasına yardımcı olur. Ancak havanın hızı çok hızlı ya da çok yavaş olmamalıdır. Belli bir seviyenin üstüne çıkmak kabuk ya da yüzey kısımlarının birbirine olan benzerliğini bozabilir veya kalınlaşmalara sebebiyet verebilir.

2.3.3 Havanın Nemi

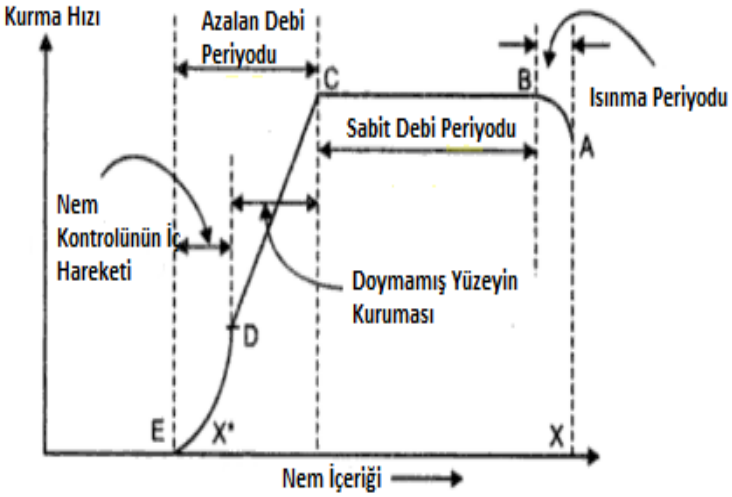
Havanın nemi kuruma süresinin belirlenmesinde önemli bir faktördür ancak hava sıcaklığı kadar etkili bir parametre değildir. Efektif difüzite ve nem içeriği arasında bir ilişki söz konusudur. Havadaki nemin fazla olması; kurutma süresinin uzamasına, kurutma oranın düşmesine sebep olur (Krokida vd., 2003; Moropoulou vd., 2005).

2.3.4 Yüzey Alanı

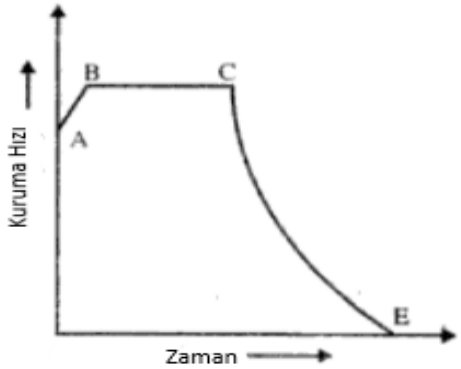
Gıdanın yüzey alanı kurutma zamanı ve verimliliği açısından önemlidir. Yüzey alanın artması kurutma zamanını azaltır. Yani kurutulacak gıda maddesini ince dilimlere ayırmak bütün olarak kurutmaktan daha az zaman alır.

2.4 Kuruma Hızı Eğrileri

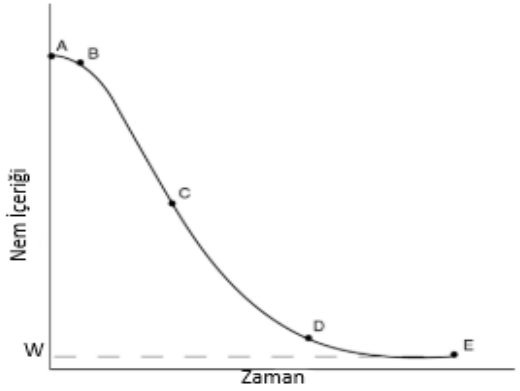
Kurutulacak olan gıda maddesinin nem içeriğinin, zaman ve kuruma hızı arasında bir ilişki vardır. Ayrıca kuruma hızı ve kuruma zamanı arasında da bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkiler şekil 2.13, 2.14 ve 2.15'te bulunan eğriler ile izah edilebilir.



Şekil 2.13 Nem içeriği-kuruma hızı arasındaki ilişki (Gavhane, 2008)



Şekil 2.14 Kuruma hızı ve zaman arasındaki ilişki (Gavhane, 2008)



Şekil 2.15 Nem içeriği ve zaman arasındaki ilişki (Hiu, 2006)

A-B aralığı: Bu bölge, ısınma periyodu boyunca kurutucu havanın sıcaklığı ile kurutulacak katının sıcaklığının eşitlendiği aralıktır.

B-C aralığı: B noktasından C noktasına x apsisine paralel ve düz bir şekilde uzanan çizgi, kuruma hızının sabit olduğunu gösterir. Yüzey suya doygundur. Böylece bu aralığa sabit debi periyodu denir. Katının yüzeyinden buharlaşan su sabittir. Ayrıca, B noktasından C noktasına kuruma hızı sabittir ve yüzey suya doymuş haldedir. Bu aralık boyunca içteki nemin hareketi yüzeye doğrudur. Yüzey alanı, sıcaklık ve yüzeyle ortam havası arasındaki nem içeriği bu aralığı etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle ısı ve kütle transferi de etkilenir.

C noktası: Bu noktadan sonra suyun içten dışarı yer değiştirmesi, buharlaşmasından daha yavaştır. Böylece katının yüzeyinde bazı bölgelerde kuruma meydana gelmeye başlar ve yüzeyin sıcaklığı yükselmeye başlar. Kurumanın hızı doymamış bölgelerde olduğu için düşer. Kritik nem miktarının olduğu nokta olarak bilinir. Bu noktayla sabit debi periyodu sonlanır ve bu noktadan sonra azalan debi periyodu başlar.

C-E aralığı: C noktasından E noktasına kadar olan aralık azalan debi periyodu olarak anılır. Bu aralık iki bölgenin birleşmesiyle oluşmuştur. Bunlar; C-D aralığı, ilk azalan debi periyodu ve D-E aralığı, ikinci azalan debi periyodundan oluşur.

C-D aralığı: Bu aralıkta doymamış yüzeyde meydana gelen kuruma temsil edilir.

D noktası: Bu noktadan sonra katının yüzeyi tamamen kurur ve nemin iç momenti yüzeye gelmeye başlar ve E noktasına kadar devam eder; yani denge sağlanıncaya kadar.

D-E aralığı: Kuruma hızının son bölgesidir ve içteki nemin hareketi sonucu yönetilir. İkinci azalan hız periyodudur ve bu bölge katının içindeki nemin hareketi sonucu kontrol edilir. Artık ısı ve kütle transferi çok daha karmaşık ve uzun hale gelmiştir. Gıdanın sahip olduğu sınırlayıcı nem içeriği, kurutan havanın kısmı basıncına eşit olur; böylece kuruma işlemi sonlandırılır. Bu nem seviyesi de denge nem içeriği olarak bilinir ve şekil 2.14'te belirtilen W seviyesidir (Gavhane, 2008; Hiu, 2006).

2.5 Rehidrasyon

İdeal bir kurutma işleminde, kurutulmuş ürün, rehidrasyon işleminde kurumadan önceki nem miktarını, hacmini, kalitesini ve şeklini geri kazanabilmelidir. Ancak bu ideal bir durumdur ve nadiren gerçekleşir. Rehidrasyonu karakterize etmek için bazı belli başlı ifadeler kullanılır. Bunlardan bir tanesi rehidrasyon oranıdır. Rehidrasyon oranı, sıvı fazda olan kuru ürünün rehidrasyonun sonundaki kütlesinin, kurumuş durumdaki orijinal ürünün kütlesine oranlanmasının ifadesidir. Rehidrasyon hızı ve rehidrasyon oranı rehidrasyon kinetiğini refere etmektedir. Kurutulmuş ürünün rehidre olabilme yeteneği daha çok kurutma koşullarına bağlıdır. Ayrıca yüksek porozite de hızlı ve tam bir rehidrasyonun gereklilikleri arasındadır. Kuru gıdaların rehidrasyonu silsile halinde gerçekleşen birkaç olaydan oluşur. Suyun porlarla penetrasyonu, yüzeyin suyu adsorplaması ve difüzyonun katı matriksler eşitleninceye kadar devam etmesi şeklindedir (Berk, 2009).

Rehidrasyon karakteristikleri, kurutulmuş bir ürünün kalite göstergesi olarak da kullanılabilir. Çünkü kurutma sırasında ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal olayların

bir yansıması olarak ya da numunenin içerdiği herhangi bir önişlem ile ya da rehidrasyon sırasında ortam sıcaklığı ile de rehidrasyon oranı değişebilir. Ayrıca bazı önişlemler kurutulmuş gıdalarda rehidrasyonun verimliliği arttırılabilir. Rehidrasyonun bir dezavantajı ise bu işlem sırasında aminoasitlerin, vitaminlerin, şekerin ve minerallerin kaybolması söylenebilir (Maldonado vd., 2010).

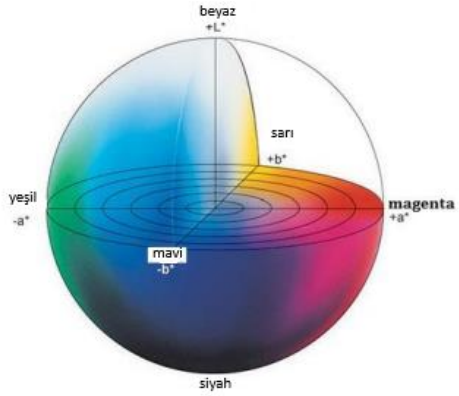
2.6 Renk

Renk, gıda ve biyoproses endüstrilerinde, tüketicinin seçimlerini ve tercihlerini etkilemede büyük rol oynar. Gıda renginin değişiminde, kimyasal, mikrobiyal, biyokimyasal ve fiziksel değişimler rol oynar. Meyve ya da sebzenin büyümesi, olgunlaşması, hasat edilmesi ve işlenmesi sırasında bu değişimlerden herhangi biri gerçekleşebilir.

Taze ve işlenmiş gıdaların duyusal kalitesini belirlemede ve pazarlanmasında en önemli parametrelerden biri görünüştür. Şekli, boyutu, parlaklığı, rengi, kütlesi ve bu şekilde diğer duyusal kalitesini etkileyen faktörler de etkilidir. Ancak bir tüketici için yüzeyin görünüşü, rengi ilk algılanan kalite parametresidir. Ayrıca gıdanın rengi, besinsel ya da görsel kalite gibi diğer kalite özellikleri ile de ilgili bağlantılıdır ve fikir verebilir (Pathare vd., 2013)

Gıdanın rengi, kabul edilebilirliğini belirlemede en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle birçok gıda için de önemli bir belirleyicidir. Kullanımı kolay renk ölçerlerin gelişimi de kantitatif renk ölçümüyle beraber, ürün geliştiriciliği ve kalite güvence alanında bir rutin haline gelmesinde rol oynamıştır.

Renk ölçümü için birkaç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı Munsell'dır. Commission Internationale de l' Eclairage (CIE) ve CIE L*a*b* son zamanlarda en çok kullanılan yöntemdir ve renk uzayı2.16' da verilmiştir) de diğer yöntemlerdir. Bu sistemdeki L* nin temsil ettiği parametre parlaklık, a* ise kırmızı-yeşil ekseni, b* ise sarı-mavi eksenini temsil eder. a* parametresinde pozitif tarafa gidildikçe kırmızılık, negatif tarafa gidildikçe yeşillik artar. b* parametresi için pozitif tarafa gidildikçe sarılık artar, negatif tarafa doğru gidildikçe mavilik artar. L* parametresi için pozitif tarafa gidildikçe parlaklık artar, negatife gidildikçe karanlıklaşır (Nielsen, 2015).



Şekil 2.16 L*a*b* renk uzayı için elipsoid şekil (Liu ve Yang, 2018)

2.7 Ön İşlemler

Sebze ve meyveler yaşam için gerekli olan birçok besini, mikro elementi, vitamini içerirler. Buna rağmen mevsimsel olarak yetiştikleri için uzun süreli muhafazasını sağlamak, su aktivitesini azaltmak adına kurutma işlemi yapılır. Anca yine meyve ve sebzelerin dışında bulunan koruyucu katmanlar, kurutma işlemi boyunca suyun azalmasına bir engeldir ve bu nedenle kuruma süresini de uzatan bir etkendir. Ayrıca bu durum da nihai ürünün kalitesinde bozulmalara neden olur. Kurutmadan önce yapılan ön işlemler, yapılan çalışmalar sonucunda, permeabilite artışının ve kuruma hızının artışının bu olumsuz sonucuna, enzimleri inaktive ederek ve oksidasyonu engelleyerek karşı koyduğu ortaya çıkmıştır. Geleneksel ön işlemler genelde, sıcak suya daldırma, buhara daldırma, alkali çözeltiye daldırma, hiperosmotik çözeltiye daldırma, sülfatlama ve asit banyosudur. Bunun yanında yeni çeşit ön işlem olarak ısısal ve ısısal olmayan ön işlem çeşitleri ortaya çıkmıştır. Soğuk plazma, ultrasonikleme, darbeli elektrik alanı, kızılötesi ağartma, mikrodalga ağartma bunlardan bazılarıdır (Bassey vd., 2021).

2.7.1 Alkali Çözeltisine Daldırma

Kurutma zamanının azalması için yapılan ön işlemlerden biri alkali banyosu ya da zeytinyağlı alkali çözeltisi yapılır. Eski zamanlardan beri yapılan bu işlemde, önceleri odun külü ve zeytinyağı ile yapılan çözeltiler kullanılırdı. Ancak zamanla odun külünün yerini tutabilecek güçte bir alkali olarak K_2CO_3 ya da NaOH kullanılmaya başlandı. Ülkemizde bandırma işlemi olarak bilinen bu proses,

kurutmayı hızlandırmak, orijinal rengi korumak ve meyvenin sahip olduğu mumsu tabakayı gidermek için yapılır.

2.7.2 Kükürtleme

Kükürtleme amacıyla kullanılan kükürt dioksit (SO_2) gerek kurutma işlemlerinde ön işlem olarak gerekse antioksidan olarak kullanımı çok yaygın olan bir kimyasaldır. Kurutma sırasında sıcaklık belli bir dereceye kadar çıkabildiği için, meyve içerisindeki enzimleri inaktif etmeye yetmez. Kükürt dioksit yardımıyla meyvede oluşabilecek enzimatik ve enzimatik olmayan tepkimelerin önüne geçmek için kükürt dioksit çözeltisi kurutmanın çeşitli zamanlarında (kurutma öncesinde, sırasında ya da sonrasında) uygulanabilir.

3
ŞEFTALİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Şeftali (*Prunus persica* L.) yıllar boyunca çeşitli faaliyetlerle evrilen meyvelerden biridir. Kökeni yapılan arkeolojik kazılar ve incelemeler sonucunda yaklaşık olarak İ.Ö 3000 yılına kadar önce Çin'e dayandığı bilinmektedir. Evrimleştiği yabani akrabaları ise şeftaliye göre gıda kalitesi açısından çok daha zayıftır. Bu akrabaları *Prunus davidiana* var*. Potanini* Rehd., *Prunus ferganensis* Kost. & Riab., *Prunus mira* Koehne, *Prunus davidiana* Franch, *Prunus kansuensis* Rehd (Cao vd., 2014). Şeftali, elmadan sonra bilinen en ünlü ağaç meyvesidir (Şekil 3.1). Bu yüzden kullanım alanları da bir hayli geniştir. Hasat edildikten sonra direkt tüketilebileceği gibi çeşitli işlemlerden geçtikten sonra da tüketilebilir. Püre haline getirilebilir, kurutulabilir (Şekil 3.2), meyve suyu haline getirilebilir ya da derin dondurucularda uzun süreli muhafazası sağlanabilir (Vural ve Çakan, 2021). Taze, şekerle işlem görmüş ya da kremayla birlikte tüketimi görülür. Dondurmalarda, kek-turta gibi pastacılık sektöründe kullanılır. Bunlara ek olarak reçel, jöle gibi konserve sanayiinde kullanımı görülür (Engindeniz vd., 2008).

Şeftalinin içeriğinde birçok önemli besleyici gıda maddesi bulunur. 100 gram yenilebilir şeftali meyvesinin besin değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Şeftali görünümü



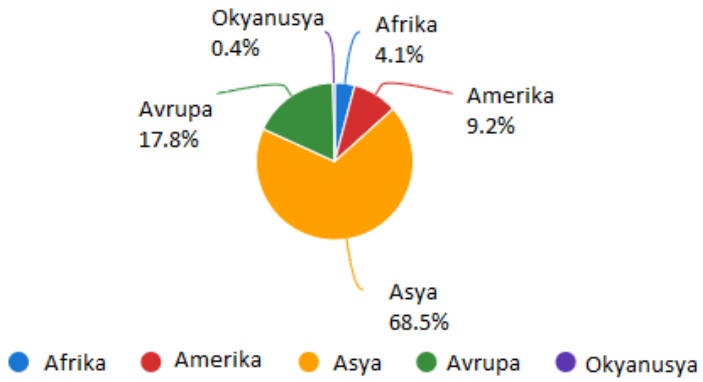
Şekil 3.2 Kuru şeftalinin görünümü

Tablo 3.1 Şeftalinin 100 gram yenilebilir kısmı için besin değer tablosu (Türkomp, 2022)

Bileşen	**Birim**	**Ortalama**	**Bileşen**	**Birim**	**Ortalama**
Enerji	kCal	46	Fosfor, P	mg	24
Enerji	kJ	193	Kalsiyum, Ca	mg	7
Su	g	87,49	Magnezyum, Mg	mg	9
Kül	g	0,44	Potasyum, K	mg	183
Protein	g	0,96	Sodyum, Na	mg	3
Azot	g	0,15	Çinko, Zn	mg	0,12
Yağ, toplam	g	0,3	C vitamini	mg	6,4
Karbonhidrat	g	8,99	L-askorbik asit	mg	3,9
Lif, toplam diyet	g	1,82	Tiamin	mg	0,03
Lif, toplam suda çözünür	g	0,54	Riboflavin	mg	0,023
Lif, toplam suda çözünmeyen	g	1,28	Niasin	mg	0,65
Sakaroz	g	3,38	B-6 Vitamini, toplam	mg	0,026
Gluktoz	g	1,45	Folat, gıda	µg	7
Fruktoz	g	1,43	A vitamini	RE	21
Tuz	mg	7	Beta Karoten	µg	249
Demir, Fe	mg	0,33	Lutein	µg	23

Şeftali ve nektarinin 2020 yılı içindeki yıllık üretimi ise 24,5 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bu üretimin yüzde 68,5'ini Asya kıtası tek başına karşılamaktadır. Avrupa ve Amerika'nın ise onu takip eden başlıca kıtalar olduğu görülmüştür.

Şekil 3.3'te 2010-2020 yılları arasındaki şeftali ve nektarinin kıtalara göre üretim dağılımı verilmiştir.



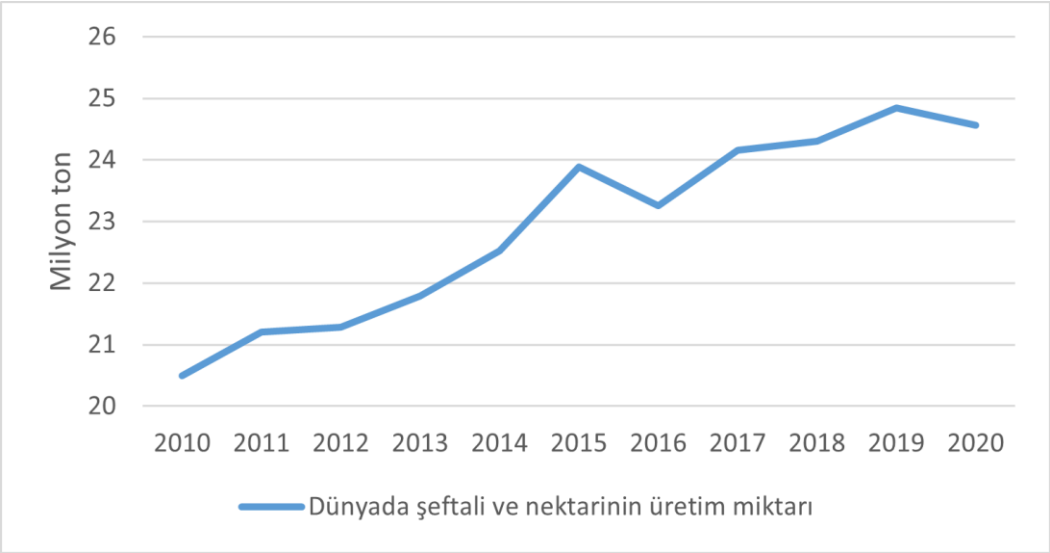
Şekil 3.3 Şeftali ve nektarinin kıtalara göre üretim dağılımı (2010-2020) (FAO, 2022)

Dünyadaki şeftali ve nektarin üretiminin yarısından fazlasını, 12,9 milyon ton ile Çin yapmaktadır. Çin'den sonra 1,4 milyon ton üretim yapan İspanya ve 1,3 milyon ton üretimle İtalya takip etmektedir. Tablo 3.2'de 2010-2020 yılları arasında en çok şeftali ve nektarin üreten 10 ülke ve ürettikleri ortalama miktarları verilmiştir (FAO, 2022).

Tablo 3.2 2010-2020 yılları arasında en çok şeftali ve nektarin üreten 10 ülke ve ürettikleri ortalama miktarlar (FAO, 2022)

Ülke	Üretim (ton)	Ülke	Üretim (ton)
Çin	12.964.714,64	Türkiye	685.720,91
İspanya	1.436.686,27	İran	645.768
İtalya	1.342.943,27	Şili	344.950,55
Amerika	894.061,64	Mısır	322.544,36
Yunanistan	743.179,01	Hindistan	258.475,09

2010-2020 arasında dünya genelinde şeftali ve nektarin üretimine bakıldığında genel olarak bir artış olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.4'te 2010-2020 yılları arası dünya çapındaki şeftali ve nektarin üretim miktarı verilmiştir. Bu 10 yıllık süreçte kabaca yaklaşık olarak 4 milyon ton artış gözlenmiştir.



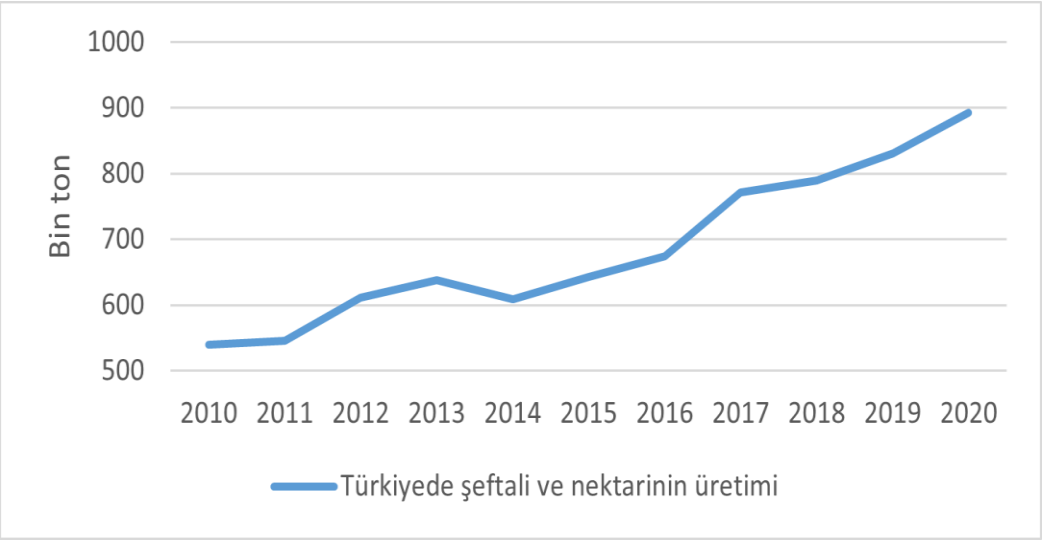
Şekil 3.4 Dünyada şeftali ve nektarin üretim miktarı (FAO, 2022)

Üretim/verim açısından incelenecek olursa Şekil 3.5'te verilen dünyada 2010-2020 arasında şeftali ve nektarin hasat edilen alandan çıkan miktar ile karşılaştırılacak olursa ve Şekil 3.4 karşılaştırılacak olursa 10 yıl içinde verimin %22,8 arttığı görülür.



Şekil 3.5 2010-2020 yılları arası dünyada şeftali ve nektarinin hasat edildiği alanlar (FAO, 2022)

Türkiye'de 2020 yılında şeftali üretimi ise yaklaşık olarak 0,89 milyon tondur. Şekil 3.6'da 2010-2020 yılları arası Türkiye'deki şeftali ve nektarin üretimi verilmiştir. 2010 ile 2020 yılları arasında Türkiye üretilen şeftali ve nektarin üretimi 0,35 milyon ton artış göstermiştir. Verim artışı incelenecek olursa Şekil 3.7 ile karşılaştırılırsa 10 yıllık süre zarfında verim yaklaşık %50 artmıştır.



Şekil 3.6 2010-2020 yılları arası Türkiye'deki şeftali ve nektarin üretimi (FAO, 2022)

Ayrıca Türkiye'nin birçok ilinde şeftali üretimi mevcuttur. 2018 yılı üretimine bakıldığında Mersin, Bursa ve Çanakkale'nin üretilen şeftali miktarının ülkenin ileri gelen illerinden olduğu görülür (Vural ve Çakan, 2021).



Şekil 3.7 2010-2020 yılları arası Türkiye'deki şeftali ve nektarin hasat edildiği alanlar (FAO, 2022)

4
YAPILAN ÇALIŞMALAR

Salehi ve Satorabi (2021) yılında yaptıkları çalışmada, ksantan gam ve fesleğen tohumuna dayalı yeni çeşit yenilebilir kaplamaların infrared ile yapılan şeftali dilimlerinin kurutulmasındaki etkinliğini araştırmışlardır. Bu çalışmanın bir sonucu olarak yapılan kaplamaların son ürünün kalitesini arttırdığı; su kaybına ve kontrollü su tutmaya yarımcı olduğu görülmüştür. Oksijen, karbondioksit ve su buharı için bir bariyer gibi davranıp kurutmanın etkinliğini arttırdığı da verilere geçmiştir. Ayrıca kullanılan infrared gücünün ve kaplama çeşidinin de kurutma zamanını ve difüzyon katsayısını etkilediği görülmüştür. Bunlara ek olarak, infrared gününün artmasıyla ortalama difüzyon katsayısının kaplı ve kapsız şeftali dilimlerinde arttığı da görülmüştür.

Polat vd. (2021) yaptıkları çalışmada şeftali püresinin, konveyör kurutucu, mikrodalga kurutucu ve konveyör-mikrodalga kurutucu kombinlenerek oluşturulan yöntemle, kuruma zamanına, pH' a, renge, Brix ve mikrograflara etkisi ölçülmüştür. Bu çalışmanın sonucunda görülmüştür ki, 200 W ile mikrodalga kurutucuda kurutma süresi en kısa süre olup pH değişiminin en az olduğu yöntem olmuştur. Renk değerleri karşılaştırıldığında ise yapılan bütün yöntemlerin renk parametrelerine a değeri dışında olumsuz etkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak toplam renk değişimlerinin ise en az 200 W ve 2 oranında atımlı mikrodalgada yapılan kurutmada olduğu görülmüştür. Kuruma zamanı ve oranı değerlendirildiğinde, mikrodalganın pürenin kurumasında iyi bir etkisi olduğu da değerlendirilmiştir. Dahası, konveyör ve 200 W'ta 2 oranında atımlı mikrodalga kombinlediğinde diğer yöntemlere göre a, b ve c renk parametrelerinde, pH değerinde ve Brix'te daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Yamchi vd. (2019) yaptıkları çalışmada son zamanlarda kurutma işlemlerinde kullanılmaya başlayan ultrasonik dalgaların etkisini görmek için ön işlem olarak şeftali dilimlerine uygulanmıştır ve yapılan değerlendirmelere göre uygulanan bu yöntem kurutma zamanını %40'a kadar düşürmüştür. Buna rağmen renk

değişimine bir katkısı olmamıştır. Ayrıca numunelerin deformasyonu önemli düzeydedir ve elastikiyetleri %46 azalmıştır. Bu yöntem ayrıca gelecek vaat eder.

Lalas vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada, şeftali püresi, düşük maliyetli ve kolay performans alınabilecek bir yöntem olan fırında kurutma yöntemiyle kurutmaya çalışmışlardır. 70°C maksimum sıcaklıkta, yaklaşık %24 seviyesine kadar efektif nem giderme, 496 dakika sonunda gerçekleşmiştir.

Roknul Azam vd. (2019) dört farklı kurutma metodunun şeftalinin kabuğu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bunlar; sıcak havayla kurutma, infrared kurutma, sıcak hava destekli radyo frekansı kurutma ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutmadır. Sıcaklık 70°C olarak ayarlanmış, hava hızı ise 1 m/s olup; güç seviyesi 4 W/g olarak sabitlenmiştir. Nem dağılımı, doku, kuruma oranı, renk ve derinin mikro yapısı incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki en hızlı kuruma 180 dakika ile mikrodalga destekli kurutucuda gerçekleşmiştir. Onu takiben infrared ve hava destekli radyo frekanslı kurutma gelmektedir. Tat ve mikro yapıda en iyi sonucu infrared kurutma vermiştir. Duyusal testlerde tat ve koku kalitesi için ise elektronik ağız ve burun kullanılmıştır. Endüstride hasat sonrası kayıpları minimize etmek ve kalitesini bu dört yöntem arasında en fazla koruyacak olan yöntemin infrared kurutma olduğunu saptamışlardır.

Zhou vd. (2019) yaptıkları çalışmada, şeftali püresi orta dalga boylu infrared radyasyonu ve sıcak hava ile 60, 70 ve 80°C. Orta dalga boylu infrared radyasyonuyla kurutmada, sıcak havayla kurutmayla kıyaslandığında daha az zamanda; hızlı ve daha etkin nem difüzivitesine sahip kurutma ortaya çıktığı görülmüştür. Sonuçlar, şeftali püresini kurutmanın etkili yolunun orta dalga boylu infrared radyasyonuyla kurutmanın olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ısı transferi sıcak havayla kurutmaya göre daha tekdüze gerçekleşmiştir.

Ashtiani vd. (2018) yaptıkları çalışmada, sıcak hava ve hibrit mikrodalganın, kurutma kinetiği ve nektarin dilimlerinin dokusu üzerindeki etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sıcaklık 50°C'ye ve havanın hızı 0.5m/s olarak sabitlenmiştir. Mikrodalganın güç seviyesi, sıcak havayla kombinlenmiş mikrodalga için 80, 160, 240, ve 320 W olarak belirlenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, mikrodalga destekli kurutma; kurutma zamanı, kurutma oranı,

efektif nem difüzivitesi, dokusal sertlik, büzülme, yüzey rengi, topografik ve mikroyapı özelliklerini ve rehidrasyon oranında önemli ölçüde avantaj sağlamıştır. Sıcak hava ve mikrodalganın birlikte kullanılması ile böylece kuruma zamanında sadece sıcak hava kullanılarak yapılan çalışmaya göre %95,44 oranında sağlanmıştır. Ayrıca mikrodalga sayesinde nem difüzivitesinde artış görülmüştür. Ancak mikrodalganın yoğunluğunu artmasıyla, kalite kıstaslarında bazı olumsuz etkilere sebep olmuştur. En düşük güçte (80 W) kuruyan nektarin dilimlerinde, pürüzlülük ve renk değerlerine bakıldığı zaman, taze olan meyveye çok yakın olduğu görülmüştür. Yüksek mikrodalga güçlerinde ise büzülmelerin arttığı, rehidrasyon oranının ise azaldığı gözlemlenmiştir.

Liu vd. (2017) dondurarak kurutulup toz haline getirilen 17 çeşit şeftaliyi, üç farklı olgunluk zamanında farklı değerlendirme yöntemleriyle değerlendirmişlerdir. Aralarından 2 şeftali türünün diğerlerine göre, dondurularak kurutma yönteminde harika sonuç verdiğini görmüşlerdir. Ve eğer bu yöntem gıda endüstrisinde uygulansaydı, kalitenin etkinliğinin değerlendirilmesi büyük şekilde artacağını söylemişlerdir.

Soysal ve İsmail (2017), sıcaklığın ve önişlemlerin nektarin dilimlerinin kuruma kapasitesi üzerindeki etkisi üzerine çalışıyorlar. 50°C'de kabin kurutucuda doğal olarak kurutulan ve önişlem yapılan nektarin dilimlerinin kuruma kinetiği üç farklı sıcaklıkta (25, 50 ve 75°C) incelendiği zaman kuruma sıcaklığının artmasıyla kuruma kapasitesinin de arttığı gözlemleniyor. İkinci olarak da potasyum karbonatla ön işlenen nektarinin kuruma sıcaklığı daha yüksek ve kuruma kapasitesi de çok daha yüksek olduğu anlaşılıyor.

Alaei ve Chayjan (2015) yaptıkları çalışmada, infrared vakum altında nektarin parçalarının kurumasını incelemişlerdir. Nektarin uzun süreli kurutmalar için çok uygun bir meyve değildir. Çünkü narin bir yapısı vardır. Çalışma sırasında, vakum basıncının ve sıcaklığın artması nem difüzivitesini etkili şekilde arttırdığı görülmüştür. Ancak sıcaklığın artması ile nektarin parçalarından uzaklaşan nem miktarının vakum basıncının artmasıyla meydana gelenden daha etkili olduğu görülmüştür. Mutlak basıncın düşmesiyle aktivasyon enerjisi de düşmüştür.

Nektarin parçalarının toplamında meydana gelen renk değişimi ve büzüşmenin, vakum basıncının ve sıcaklığın düşmesiyle azaldığı görülmüştür.

Doymaz ve Bilici (2014), kurutmadan önce sitrik asit ile muamele etmenin, sıcak havayla kurutulan şeftali parçalarının üzerindeki etkisi üzerine çalışmışlardır. Kontrol amaçlı da ön işleme tabi tutulmayan örneklerle mukayese edilmiştir. Ön işleme tabi tutulmuş olan şeftali parçacıklarında kuruma oranı kontrol örneklerine göre daha yüksektir. Kuruma işlemi, azalan debi periyodunda meydana geldiği gözlemleniyor. Sitrik asit ile muamele edilmiş şeftali parçalarının 65°C'de daha yüksek kurumanın olduğu fark ediliyor.

Doymaz (2014) ise yaptığı çalışmada, şeftali dilimlerinin infrared kurutucuda ve farklı infrared güçlerinde kuruma karakteri araştırıldı. Şeftali parçalarının kuruması, her infrared gücünde de azalan debi periyodunda gözlemlendi. Kuruma oranı, infraredin gücünden önemli ölçüde etkilendi. İnfraredin gücünün yükselmesiyle kuruma zamanı azaldı. Ayrıca gücün yükselmesi, etkili nem difüzyonunu yükseltti.

Golisz vd. (2013) çalışmalarında, sıcaklığın ve hızın tünel kurutucuda kuruyan şeftali dilimleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kurutma havasının sıcaklığını yükseltmek, kuruma zamanında azaltmıştır. Hızın, sıcaklıktan daha az etkisi olduğu görülmüştür. Kuruma işlemi azalan debi periyodunda meydana gelmiştir.

Kingsly vd. (2007), üzerinde yaptığı çalışmalar ile, sıcaklığın ve uygulanan ön işlemlerin, şeftali parçalarının tünel kurutucuda kurutulmasındaki etkileri araştırılmıştır ve sıcaklığın yükselmesiyle kurutma zamanının azaldığı görülmüştür. Ön işlem uygulanmış örneklerin de işlem görmemiş örneklerle kıyaslandığında daha kısa sürede kuruduğu görülmüştür. Bütün kuruma işlemleri, azalan debi periyodunda gerçekleşmiştir. Ön işlem gören örneklerde, nem difüzivitesi, ön işlem görmeyen örneklere daha yüksek olduğu saptanmıştır.

5
MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Materyal

Kullanılmış olan şeftaliler günlük olarak temin edilmiştir. Deneyler için alınan şeftalilerin üniform olması açısından yaklaşık olarak aynı boyut, şekil, yumuşaklık ve renkteki, hasarsız şeftaliler seçilmiştir. Deneylerden önce buzdolabında +4°C'de muhafaza edilen şeftaliler, deneyden hemen önce oda sıcaklığına ulaşması amacıyla 23°C'de bekletilmiştir.

Deneylerde ön işlem olarak kullanılan kimyasallar, potasyum karbonat (K_2CO_3) ve sitrik asit ($C_6H_8O_7$) Merck firmasından temin edilmiş ve çözeltileri saf su ile hazırlanmıştır.

5.2 Kullanılan Ekipmanlar

Kabin kurutucu olarak APV & PASILAC (Cumbria, UK) markalı kurutucu kullanılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Kurutma kabini

Çalışılması istenen sıcaklık cihaz üzerinden ayarlanabilirken, mevcut sıcaklık yine cihaz üzerinde bulunan gösterge panelinden okunabilir. Kabin kurutucunun boyutları 1,2 m × 1,4 m × 0,54 m olarak ölçülmüştür ve izolasyon için ise yarı rijit yassı malzeme ile 5 cm kaplanmıştır. Kurutucunun çıkabileceği maksimum sıcaklık

200 °C'dir. Ayrıca kurutucunun içinde hava hızını ölçmek amacıyla bir anemometre kullanılarak ölçülmüştür.

Havayı, arzu edilen sıcaklığa çıkarmak için ise kurutucu içinde bulunan 37.10^3 W gücünde bir elektrikli motor bulunur ve kurutucu içinde bulunan şerit halindeki 14 ısıtıcı sayesinde hava istenilen sıcaklığa ulaşır.

Şeftali dilimlerini kurutmak için kullanılan bir diğer yöntem infrared (kızılötesi) kurutucudur. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi bu işlem için kullanılan infrared (IR) kurutucu markası ise Sneijders (Tillburg, Hollanda)'dır. Sistemin çalışma gücü cihazın ön panelinde yer alan ayar düğmesinden yapılmaktadır.



Şekil 5.2 Infrared ısıtıcı

Şeftali dilimlerinin yaş ve kuru tartımlarını ya da deney esnasında istenilen herhangi bir tartımı almak için iki çeşit terazi kullanılmıştır. Hassasiyeti ±0,1 gram olan Mettler (İsviçre) marka terazi 3 kg'a kadar ölçüm alınabilmesine olanak sağlamaktadır (Şekil 5.3). Daha hassas ölçümleri almak ve nem analizi tayininde kullanılmak üzere kullanılan Precisa (İsviçre) markalı hassas terazi ±0,0001 hassaslığında ölçüm alınmasına imkan sağlamaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Terazi



Şekil 5.4 Hassas terazi

Şeftalinin ortalama nem içeriğinin belirlenmesinde Şekil 5.5'te gösterilen Selecta (Barcelona, İspanya) markalı etüv kullanılmıştır. Öncelikle darası ve kütlesi hassas teraziyle ölçülen şeftali numuneleri 105°C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.



Şekil 5.5 Etüv

Çıkarılan numuneler, soğuması amacıyla Şekil 5.6'daki desikatöre konup, soğuduktan sonra tartımları alınmıştır. Nem içeriğinin belirlenmesinde AOAC 920.151 yöntemi kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak olan numunenin nem içeriği ortalama yaş bazda %84,47 olarak ölçülmüştür. Kuru madde oranı %15,53'tür.



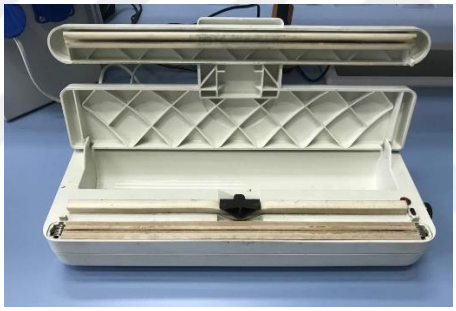
Şekil 5.6 Desikatör

Şeftali dilimlerinin renk değerlerini ölçmek için Şekil 5.7'de gösterilen Konika Minolta (Japonya) markalı cihaz kullanılmıştır. Yaş ve kuru numuneler için ölçüm 4 sefer tekrarlanmış, bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Çıkan sonuçlar Hunter Lab skalasına göre a, b ve L ölçümleri ile değerlendirilmiştir.



Şekil 5.7 Renk tayin cihazı

Kurutma işleminden sonra şeftali numuneleri düşük yoğunluklu polietilen torbalara konulmuş ve bu torbaların ağızları Şekil 5.8'de görülen paketleme cihazı ile ısısal bir şekilde kapatılmıştır.



Şekil 5.8 Paketleme cihazı

5.3 Yöntem

5.3.1 Ön İşlem İçin Çözelti Hazırlanması

Şeftali dilimlerinin kuruma hızını arttırmak amacıyla 2 dakika süre ile farklı çözeltilere daldırılmışlardır. Ayrıca bir grup şeftali dilimine ön işlem uygulamadan kurutulmuştur.

%3 Potasyum karbonat çözeltisi (Potas): 15 g K_2CO_3 tartılarak 485 g saf su ile çözülmüştür.

%2'lik Sitrik asit çözeltisi (Sitrik asit): 10 g sitrik asit üzerine 490 g saf su katılarak çözülmüştür.

5.3.2 Kabin Kurutucu ile Şeftali Dilimlerinin Kurutulması İşlemi

Kabin kurutucuda kurutma işlemi farklı sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Öncelikle şeftalilerin kabukları bir bıçak yardımıyla soyulup, çekirdekleri çıkarılmıştır. Her bir dilim 0,5 cm olacak şekilde kesilip yaklaşık 50 gram olacak şekilde 3 gruba ayrılmıştır. İlk grupta 2 dakika boyunca potasyum karbonat çözeltisi ile muamele edilen şeftali dilimleri, ikincisinde ise yine 2 dakika boyunca sitrik asitle muamele edilen şeftali dilimleri ve kontrol amaçlı oluşturulan ve ön işlem uygulanmayan şeftali dilimleri kabin kurutucu ile kurutulmuştur. Kurutma işlemi sona erinceye dek 15 dk arayla numunelerin ağırlıkları tartılıp, not edilmiştir. Numunelerin nem seviyesi %15 (yaş baz)'e düşünceye kadar kurutma devam etmiştir. Kuruyan şeftali dilimleri soğuduktan sonra muhafazası için düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) torbalara konup, ısıyla torbaların ağzı kapatılmıştır.

5.3.3 İnfrared Kurutma Yöntemi ile Şeftalilerin Kurutulması

İnfrared kurutucuda yapılan deneylerde ise soyulup çekirdekleri çıkarılan şeftali dilimleri 0,5 cm olarak kesildikten sonra 3 gruba ayrılmıştır. 1. Gruptaki örnekler potasyum karbonat çözeltisi ile 2. Gruptaki örnekler sitrik asit çözeltileri ile 2 dakika sürede muamele edilmiştir. 3. Gruptaki örnekler herhangi bir çözelti ile muamele edilmeden kurutulmuştur. Her üç gruptaki örnekler infrared kurutucuda 38, 62 ve 68 W güç seviyelerinde kurutulmuştur. Kurutma işlemi örneklerdeki nem seviyesi %15'e düşünceye dek devam edilmiştir. Her 15 dakikada numunelerin ağrılıkları tartılmış ve kaydedilmiştir. Dilimlerdeki nem miktarı %15'e düşünce kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Kurutulan numuneler soğuduktan sonra LDPE torbalara alınıp, muhafaza için torbaların ağzı ısısal olarak kapatılmıştır.

5.3.4 Kombine Kurutma (IR+Kabin Kurutucu) ile Şeftali Dilimlerinin Kurutulması

Kombine kurutmada ilk olarak 62 Watt gücünde 30 dakika kuruyan 0,5 cm kalınlıktaki kabuksuz, ön işlem uygulanmayan şeftali dilimleri, akabinde 60°C'de olan kabin kurutucuya konarak kurutma işlemine devam edilmiştir. Her 15 dakikada bir numunelerin ağırlık ölçümü yapılmıştır.

İkinci olarak 62 Watt gücünde 1 saat kuruyan 0,5 cm kalınlıktaki kabuksuz ve ön işlemsiz şeftali dilimleri, 60°C'de olan kabin kurutucuya alınarak kurumaya devam edilmiştir. Bu işlemde de her 15 dakikada bir ağırlık ölçümü alınıp kaydedilmiştir. Bu kurutma deneylerde de örneklerdeki nem içeriği %15'e düşünce kurutma işlemi sonlandırılmış ve örnekler LPDE torbalara konulduktan sonra torbaların ağzı ısısal olarak kapatılmıştır.

5.3.5 Matematiksel Modelleme

Deneylerde kullanılmış olan şeftali numunelerindeki nem seviyesi Eşitlik (5.1) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$M = \frac{m_w}{m_d} \tag{5.1}$$

Burada,

M (kg su/kg kuru madde), nem miktarını, m_w (kg), su miktarını ve m_d(kg) ise kuru madde miktarını işaret eder.

Formül (5.2), kurutma hızı hesaplarken kullanılmıştır:

$$KH = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \tag{5.2}$$

Verilen eşitlikte;

KH [kg su/kg kuru madde×dakika], kurutma hızını; t anındaki nem içeriğini; M_t [kg su/kg kuru madde], $M_{t+\Delta t}$ [kg su/kg kuru madde], t+Δt anındaki nem içeriğini; t, Δt [dakika], zaman olarak temsil etmektedir.

Nem oranı (Moisture Rate, MR), Eşitlik (5.3) uygulanarak hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \tag{5.3}$$

M_0 (kg su/kg kuru madde), kurutmadan önceki numunenin su miktarı ve M_e (kg su/kg kuru madde), kurutma sırasındaki havanın denge su miktarıdır. M_e değeri ile M ve M_0 kıyaslandığı zaman, diğer ikisine göre küçük bir değer olmasından dolayı göz ardı edilir.

Çalışma sonucundaki veriler yardımıyla nem içeriği ile kuruma zamanı arasında bir alaka elde etmek mümkün olduğundan, Tablo 5.1'deki matematiksel modeller tek tek denenmiş ve ortaya çıkan veriler istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.1 Modellemede yararlanılan matematiksel modeller

Model Adı	Model
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Midilli & Küçük	$MR = a\exp(-kt^n) + bt$
Jena & Das	$MR = a\,e^{(-kt)} + bt^{0.5} + c$
Vega-Galvez-I	$MR = n + k\sqrt{t}$
Henderson & Pabis	$MR = \mathrm{a}\exp(-kt)$

5.3.6 Regresyon Analizi

Regresyon analizi için Statistica programı kullanıldı. Ürünlerin kuruma eğrilerini açıklayan denklemin seçiminde regresyon katsayısı (R^2) en önemli parametre olarak alınmıştır. Ayrıca kullanılan denklemin uygulanabilirliği khi-kare (x^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri ile belirlenmiştir (Lee ve Kim, 2009; Dasore vd., 2019).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{\infty}\left(MR_{pre} - MR_{exp,i}\right)^2} \quad (5.4)$$

$$x^2 = \frac{\sum\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2}{N-n} \quad (5.5)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

Denklemlerde deneysel ve tahmini nem miktarını sırası ile MR_{exp} ve MR_{pre} terimleri, N deneysel data sayısı ve n katsayı sayısını ifade etmektedir. Ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösteren tahmini standart hatasıdır ve sıfıra yakınlığı istenilen koşuldur. Bunun yanında, uyumun doğruluk derecesini gösteren khi-karenin düşmesi ile birlikte uyumun arttığı görülmektedir (Akpınar ve Biçer, 2003).

5.3.7 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Fick'in İkinci Yasasının çözümü, teorik ve birçok kapsamlı gıda kurutma işlemi çalışmasında kullanılır.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla . \left(D_{eff.} \nabla M\right) \quad (5.7)$$

(5.8) de bulunan eşitliği elde etmek için, (5.7) difüzyon katsayısı sabit tutularak, kartezyen koordinatlar için uygulanıp, gerekli basitleştirilme yapılırsa elde edilir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(-\frac{(2n+1)^2\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right) \quad (5.8)$$

Bu denklemde belirtilen;

D_{eff} (m^2/s), efektif difüzyon katsayısını; L(m), dilim yarı kalınlığını; t(s), kurutma zamanını gösterir. Kurutma süresi uzun olduğunda ise, (5.8) denkleminin ilk terimi çözüm için kullanılır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right) \quad (5.9)$$

Kurutma zamanına ve ln (MR) grafiği çizilerek, elde edilen doğrunun eğiminden (K) yararlanarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanır.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (5.10)$$

Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanan efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi ise aşağıdaki denklemde verilmiştir (Sanjuán vd., 2003):

$$D_{eff} = D_0\exp\left[-\frac{E_a}{R\,(T+273{,}15)}\right] \quad (5.11)$$

Kızılötesi kurutucuda yapılan kurutma işlemleri sırasında, kurutucu içindeki sıcaklık ölçülemediğinden, aktivasyon enerjisini hesaplamak için Denklem (5.11)'in değiştirilmiş Arrhenius denklemi uygulanmıştır. Verilen denklemde difüzyon katsayısı(D_{eff}) ve aktivasyon enerjisi(E_a) sıcaklıkla değil, numune miktarının infrared güç seviyesine oranıyla alakalıdır.

$$D_{eff} = D_0\exp\left(\frac{-E_a\times m}{p}\right) \quad (5.12)$$

Eşitlik (5.11) ve (5.12)'de D_{eff} (m^2/s), efektif difüzyon katsayısını; D_0 (m^2/s) sonsuz sıcaklıkta difüziviteyi; E_a (kJ/kg), aktivasyon enerjisini; R{8,314 kJ/(mol×K)}, üniversal gaz sabiti son olarak da T (°C), kurutma sıcaklığıdır. Bunun yanında m(kg) ise kuruyacak ürünün kütlesini ve p(W) infrared kurutucunun gücünü belirtir.

6
DENEYSEL SONUÇ VE ARAŞTIRMA

6.1 Konvektif Kurutma

6.1.1 Sıcaklık ve Ön İşlemin Kuruma Zamanına Etkisi

Şeftali dilimlerinin (5 mm) kurutma karakteristiklerini incelemek amacıyla 40°C, 50°C, 60°C ve 70°C; aynı zamanda havanın hızı yaklaşık olarak 2±0,1 m/s uygulandığında, bir kabin kurutucuda kuruma işlemi gerçekleşmiştir. Numunelerin kuru madde ve nem içeriği sırasıyla %15,53 ve %84,47 (yaş bazda) oranlarında belirlenmiştir. Kurutulan ürünlerde nem içeriği %15 (yaş baza göre)'e düşünceye dek devam edilmiştir. Ayrıca şeftali dilimleri kontrol amaçlı dilimlerin yanı sıra önişleme de tabii tutulmuştur. Potasyum karbonat (Potas) ve sitrik asit çözeltileri ile muamele edilen dilimler bu sıcaklıklarda kurutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda şeftali numunelerinin kurutma süreleri Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Deneylerden elde edilen verilerden yararlanarak hazırlanan grafiklerde, şeftali dilimlerine ait nem içeriğinin kurutma zamanı değişimi Şekil 6.1–6.4'te verilmiştir. Bu şekillerdeki eğrilerden yararlanarak kuruma süresi arttıkça nem içeriğinin giderek azaldığı görülmüştür.

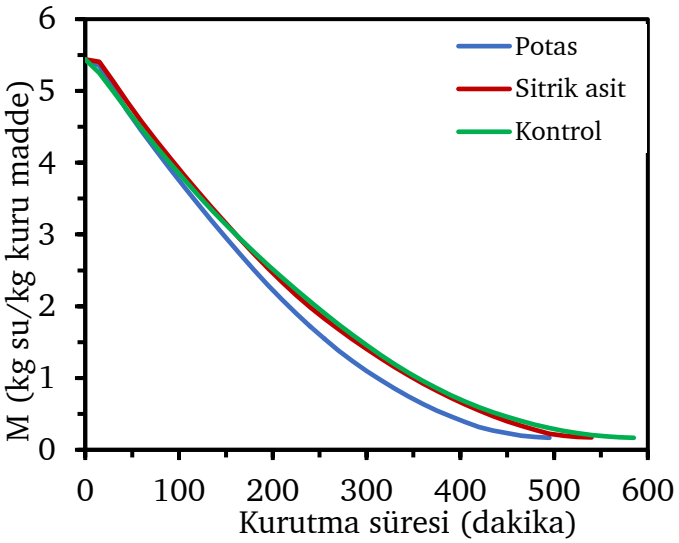
Tablo 6.1 Şeftali numunelerinin farklı sıcaklıklardaki kuruma süreleri

T (°C)	Kurutma süresi (dakika)		
	Potas	Sitrik asit	Kontrol
40°C	495	540	585
50°C	435	495	540
60°C	315	375	480
70°C	225	240	300

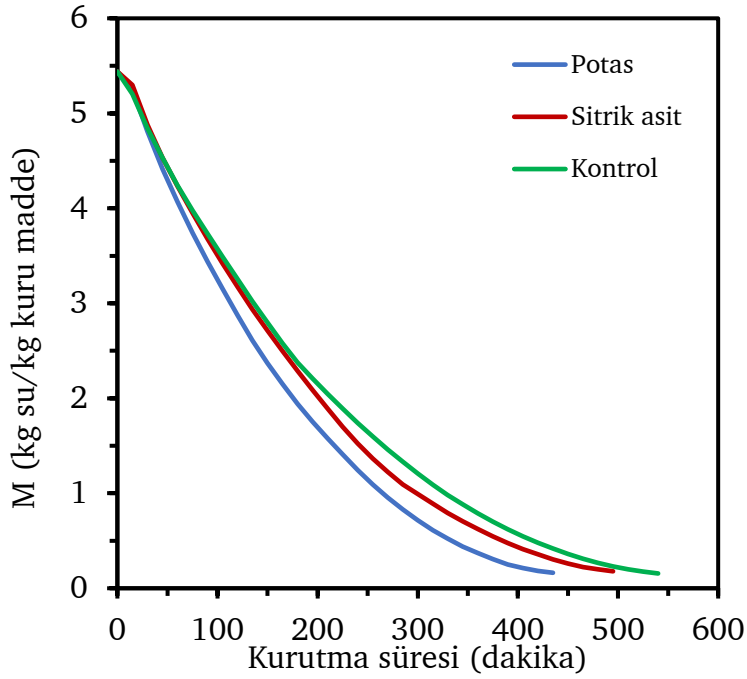
En hızlı şekilde kuruyan şeftali dilimlerinin potasyum karbonat çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan şeftali numunelerinin olduğu Tablo 6.1'den görülebilir. Kontrol kodlu numunelerin kurutma süreleri kurutma sıcaklığına bağlı olarak 40°C için 585, 50°C için 540, 60°C için 480 ve 70°C için ise 300 dakika olduğu tespit edildi.

Bu verilerden hareket ederek sıcaklık arttıkça kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Potas, Sitrik asit ve Kontrol kodlu numuneler karşılaştırıldığında, 40°C sıcaklıkta en kısa sürede kuruyan grubun yani Potas kodlu numuneler, sitrik asitle muamele edilmiş numunelerden 45 dakika önce kuruduğu ve ön işlem uygulanmayan grubun ise Sitrik asit kodlu gruptan 45 dakika daha sonra kuruduğu görülmüştür. 50°C'de ise Potas kodlu numuneler, Sitrik asit kodlu numunelerden 60 dakika daha önce kuruduğu ve kontrol grubunun kurumasının tamamlanması için Sitrik asit kodlu numunelerden 45 dakika daha fazla zamana ihtiyacı olduğu görülmüştür. 60°C'de Potas ve Sitrik asit kodlu dilimler arasındaki kuruma zamanı farkı kendi aralarında maksimuma çıkmış olup 60 dakikadır, benzer şekilde Sitrik asit ve Kontrol kodlu numuneler arasındaki zaman farkı da bu değerler arasında en yüksek farka ulaşarak 105 dakikaya ulaşmıştır. Diğer bir sıcaklık denemesi olan 70°C'da ise Potas ve Sitrik asit kodlu numuneler arasındaki zaman farkı 15 dakika olmuştur ve sitrik asitle muamele edilen numuneler, Kontrol kodlu numunelerden 60 dakika önce kuruduğu görülmüştür.

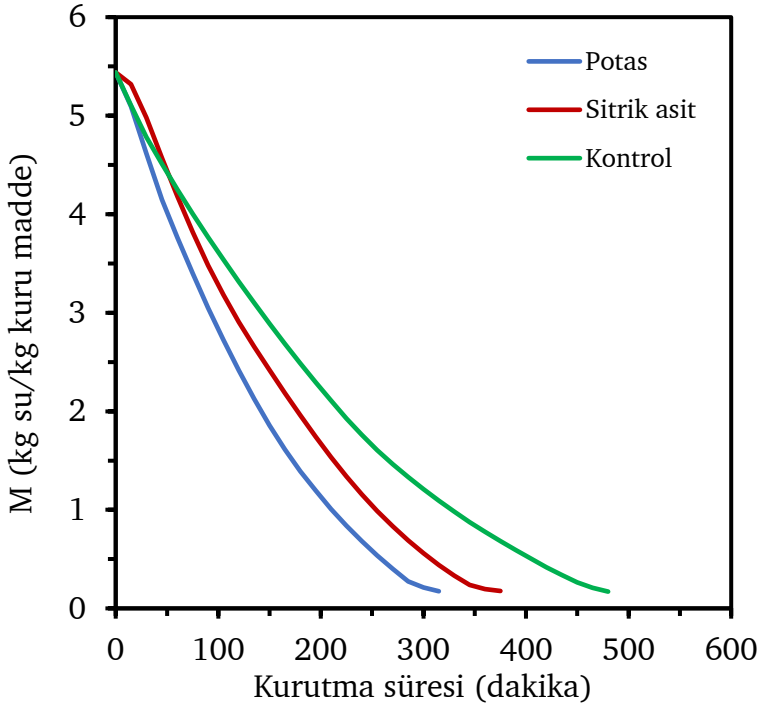
Kuruma süresinin Şekil 6.1-6.4'te görüldüğü üzere kurutma sıcaklığı ile bir ilişkisi vardır ve kuruma süresi, kuruma sıcaklığından etkilenmektedir. Kurutma sıcaklığının artması ile nem kaybının artması kuruma süresini kısaltmaktadır. Bu etkiyi açıklamak için ise kurutma havasının sıcaklığının arttığında bağıl neminin düşmesi, bir başka deyişle kurutma potansiyelinin artması için bağıl neminin düşürülmesi olarak açıklanabilir.



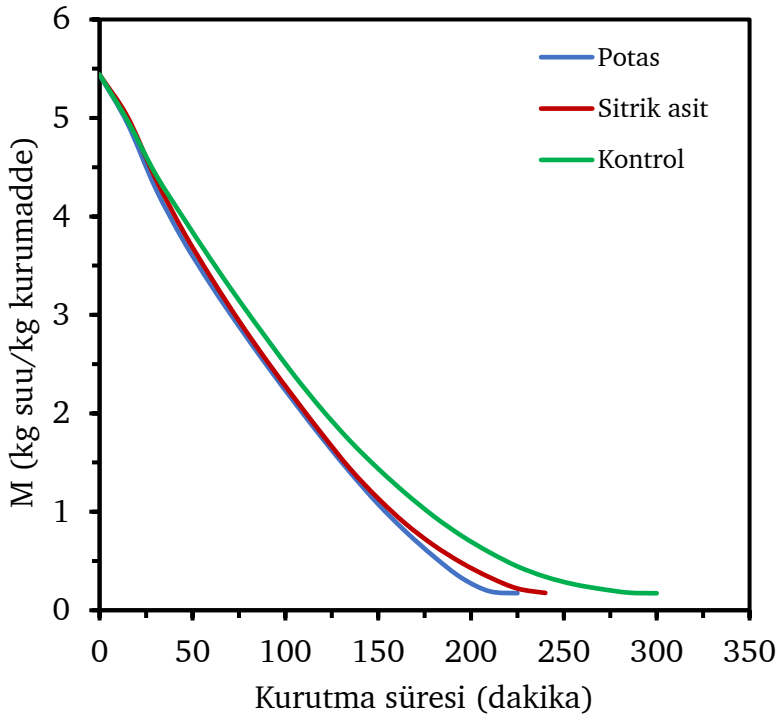
Şekil 6.1 Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (40°C)



Şekil 6.2 Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (50°C)



Şekil 6.3 Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (60°C)



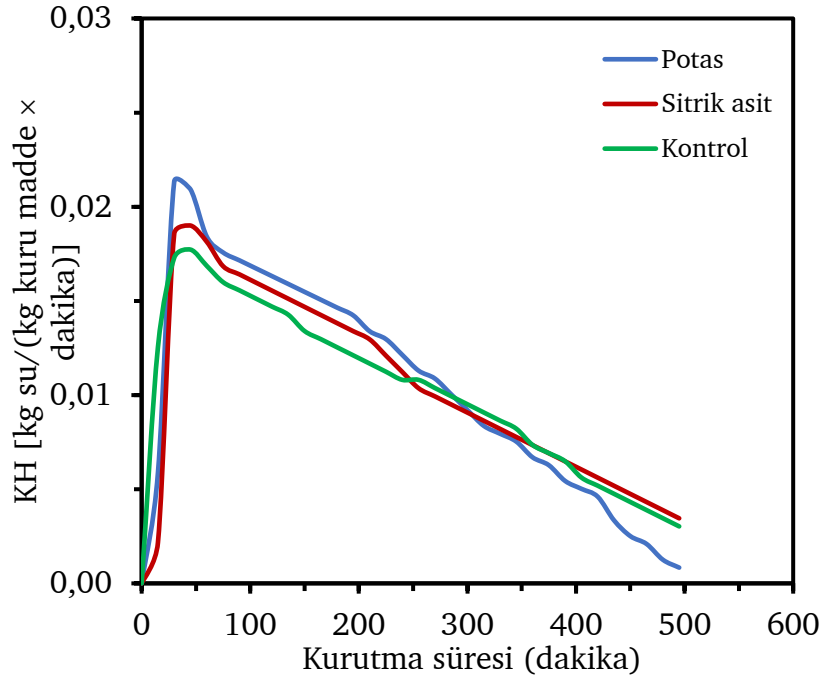
Şekil 6.4. Nem miktarı ve kurutma zamanı arasındaki ilişki, (70°C)

Gerekli analizler sonucunda Tablo 6.1'de verilen Potas, Sitrik asit ve Kontrol kodlu numunelerin 40°C'deki kurutma süreleri sırasıyla 495, 540 ve 585 dakika olmasına rağmen Tablo 6.1'de aynı numunelerin 70°C'deki kurutma süreleri sırasıyla 225, 240 ve 300 dakikadır. Kurutma havasının sıcaklığının 30°C arttırılmasıyla kurutma süresinde sırasıyla 270, 300 ve 285 dakika azalma olduğu görülmüştür. Bu sonuç enerji maliyetlerinde de bir azalmaya neden olur.

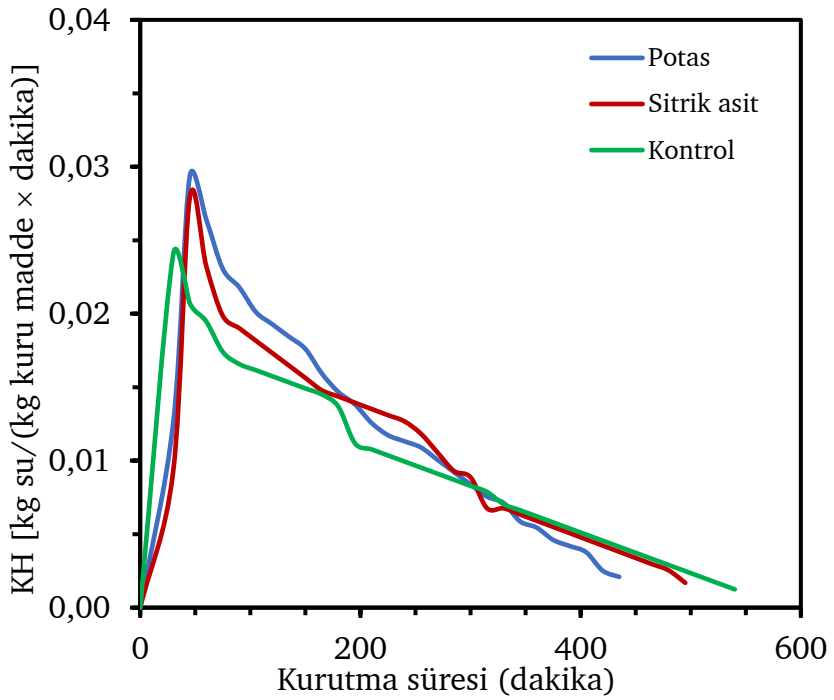
6.1.2 Kurutma Hızının Kurutma Zamanı ile İlişkisi

Şekil 6.5-6.8'de kurutma hızlarının, kurutma süresi ile değişimi eğrileri verilmiştir. Eğrilerin analizi sonucu, kurutma işlemi kısa bir ısınma periyodunun akabinde azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Şekillerdeki eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemektedir. Elde edilen sonuç, önceki meyve ve sebze kurutma çalışmaları ile tutarlıdır (Lee ve Kim, 2009; Dasore vd., 2019). Buna ek olarak, ön işlemle muamele edilen numunelerin kurutma hızları, Kontrol kodlu numunelere göre daha yüksek olduğu da görülmüştür. Ancak en yüksek kurutma hızı sırasıyla Potas, Sitrik asit Ve Kontrol kodlu şeftali dilimlerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca kuruma sıcaklığının artmasıyla her üç numune için kuruma hızının da arttığı şekillerdeki eğrilerden açıkça görülebilir. Kurutma hızının en yüksek olduğu numunenin

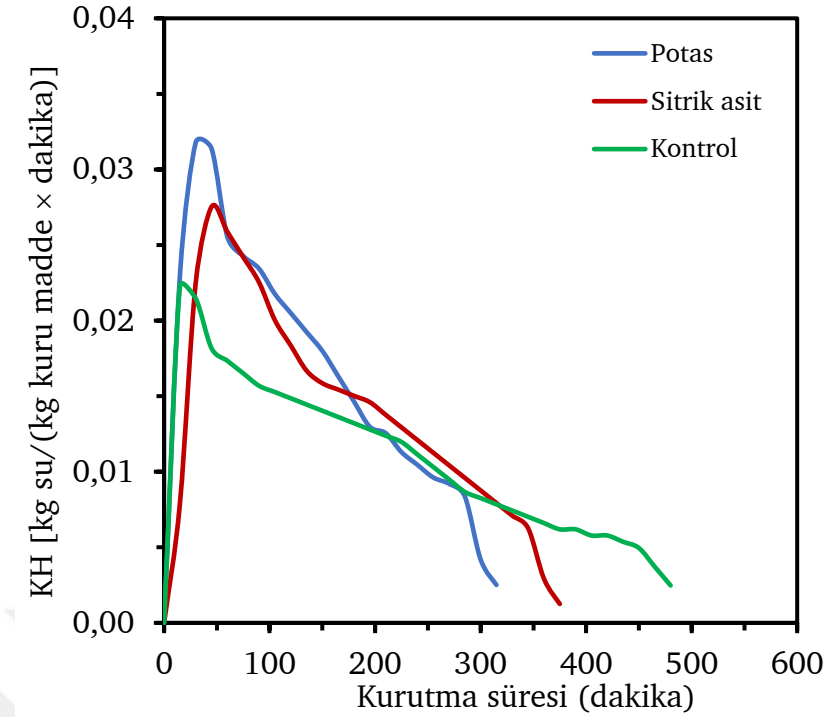
70°C'de Potas kodlu numunenin olduğu, buna karşılık en yavaş olanın 40°C'de kontrol kodlu numunenin olduğu görülmüştür.



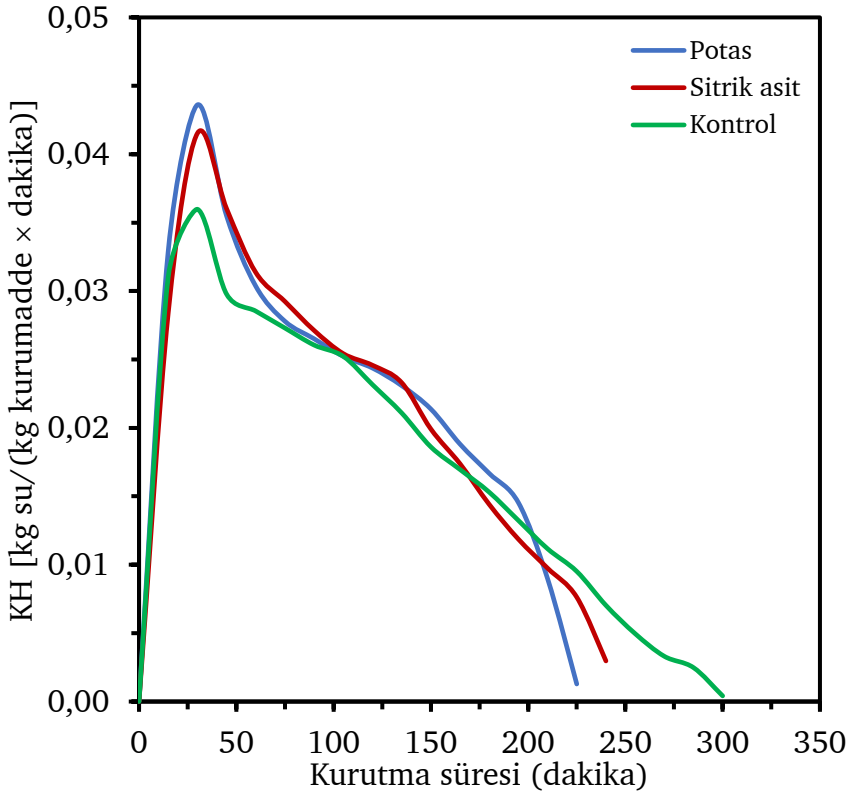
Şekil 6.5 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (40°C)



Şekil 6.6 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (50°C)



Şekil 6.7 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (60°C)



Şekil 6.8 Şeftali numunelerinin kurutma hızının kurutma zamanı ile ilişkisi, (70°C)

6.1.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkan veriler kullanılarak, nem içeriği değişimine karşı kuruma süresi eğrisinin matematiksel modellemesi, doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 6.2-6.5'te verilen R^2, χ^2 ve *RMSE* değerleri, Tablo 5.1'deki modellerin uygulanması ile elde edilmiştir. Model uyumu belirlenirken yüksek R^2, düşük χ^2 ve RMSE değerleri dikkate alınır (Lee ve Kim, 2009). Numunelerin kuruma eğrisini en iyi tanımlayan modelin seçiminde en önemli parametre olarak regresyon katsayılarıdır. RMSE, modelden ortaya çıkan tahmini değer ile deneysel değer arasındaki sapmayı verir. Ayrıca, χ^2 değerinin küçük olması, modelle uyumun göstergesidir (Mengeş ve Ertekin, 2007).

Tablo 6.2-6.5'te görüldüğü gibi test edilen modellerin R^2, χ^2 ve *RMSE* değerleri sırasıyla 0,9680-0,9997, 0,0000112-0,003147 ve 0,014007-0,292879 arasında değişmektedir. Tablo 6.2-6.5'teki verilerden yararlanarak Midilli & Küçük modelinin R^2 değerleri diğer modellere göre daha yüksek, χ^2 ve *RMSE* değerleri ise daha düşük bulunmuş olup bu nedenle şeftali dilimlerinin kurutma davranışlarını daha iyi açıkladığı saptanmıştır. Bu modelin R^2, χ^2 ve *RMSE* değerleri sırasıyla 0,9989-0,9998, 0,00019-0,000139 ve 0,014007- 0,053111 arasında değişmektedir.

Farklı sıcaklıklarda kabin kurutucuda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen deneysel nem oranları ile en uygun model olduğu tespit edilen Midilli & Küçük modelinden hesaplanan nem oranlarının karşılaştırılması Şekil 6.9–6.11'de görülmektedir. Bu şekillerdeki veriler diyagonal olarak çizilen bir çizginin üzerinde olduğu için, deneysel dataların, tahmin edilen verilerle uyum içinde olduğu söylenebilir.

Tablo 6.2 40 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler

T (°C)	Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
40	Potas	Lewis	0,9680	0,003126	0,292879
		Henderson & Pabis	0,9809	0,001925	0,217503
		Page	0,9985	0,000151	0,061466
		Midilli & Küçük	**0,9995**	**0,000052**	**0,032406**
		Jena & Das	0,9931	0,000709	0,133549
		Vega-Galvez I	0,9809	0,001926	0,217502
	Sitrik asit	Lewis	0,9694	0,002952	0,291943
		Henderson & Pabis	0,9880	0,0016779	0,206507
		Page	0,9986	0,000132	0,058837
		Midilli & Küçük	**0,9997**	**0,000028**	**0,022557**
		Jena & Das	0,9944	0,000564	0,122513
		Vega-Galvez I	0,9830	0,001677	0,206507
	Kontrol	Lewis	0,9764	0,002180	0,268869
		Henderson & Pabis	0,9846	0,001458	0,212368
		Page	0,9979	0,000196	0,077389
		Midilli & Küçük	**0,9993**	**0,000066**	**0,043006**
		Jena & Das	0,9935	0,000628	0,138255
		Vega-Galvez I	0,9846	0,001458	0,212367

Tablo 6.3 50 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler

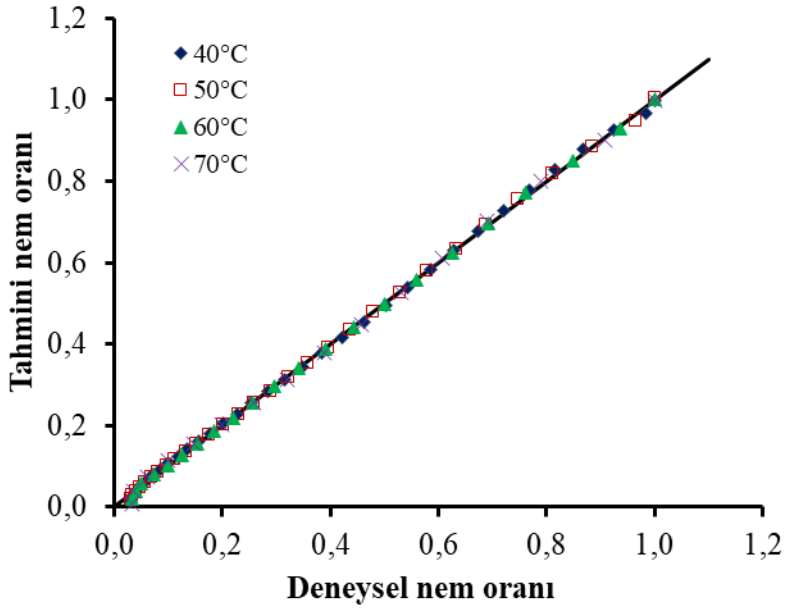
T (°C)	Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
50	Potas	Lewis	0,9837	0,001501	0,188124
		Henderson & Pabis	0,9902	0,000927	0,138422
		Page	0,9987	0,0000112	0,050510
		Midilli & Küçük	**0,9996**	**0,0000324**	**0,022885**
		Jena & Das	0,9965	0,000342	0,087660
		Vega-Galvez I	0,9902	0,000927	0,138422
	Sitrik asit	Lewis	0,9833	0,0015116	0,206569
		Henderson & Pabis	0,9902	0,000915	0,150077
		Page	0,9990	0,000093	0,044618
		Midilli & Küçük	**0,9996**	**0,000044**	**0,028705**
		Jena & Das	0,9965	0,000331	0,089653
		Vega-Galvez I	0,9902	0,000915	0,150076
	Kontrol	Lewis	0,9877	0,007066	0,176726
		Henderson & Pabis	0,9918	0,000729	0,140929
		Page	0,9984	0,000136	0,059085
		Midilli & Küçük	**0,9997**	**0,000019**	**0,021172**
		Jena & Das	0,9963	0,000336	0,095622
		Vega-Galvez I	0,9918	0,000729	0,140929

Tablo 6.4 60 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler

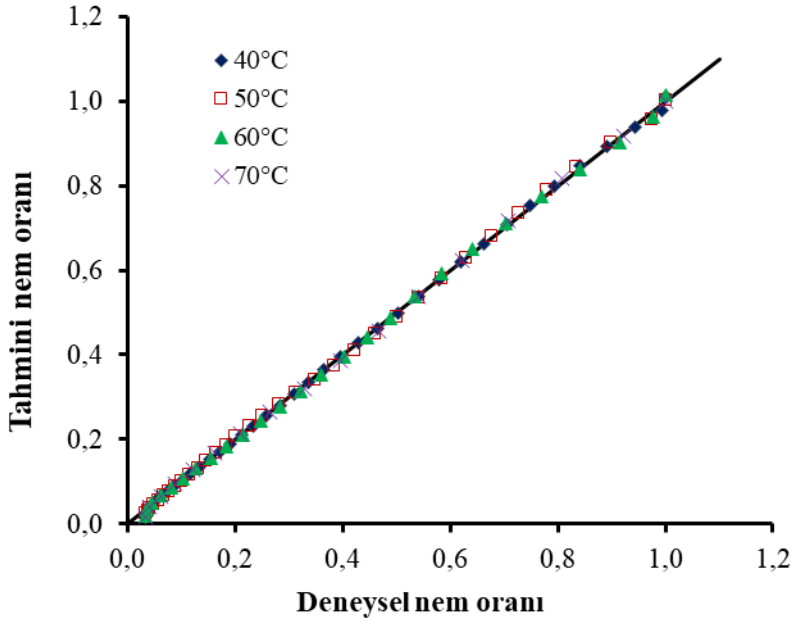
T (°C)	Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
60	Potas	Lewis	0,9790	0,001982	0,17931
		Henderson & Pabis	0,9855	0,001437	0,144260
		Page	0,9974	0,000251	0,060098
		Midilli & Küçük	**0,9998**	**0,000022**	**0,014007**
		Jena & Das	0,9937	0,000656	0,098003
		Vega-Galvez I	0,9855	0,001437	0,144260
	Sitrik asit	Lewis	0,9680	0,003147	0,249309
		Henderson & Pabis	0,9810	0,001945	0,185618
		Page	0,9973	0,000269	0,070700
		Midilli & Küçük	**0,9993**	**0,000072**	**0,033897**
		Jena & Das	0,9931	0,000728	0,112521
		Vega-Galvez I	0,9808	0,001963	0,180894
	Kontrol	Lewis	0,9821	0,001523	0,190211
		Henderson & Pabis	0,9861	0,001222	0,168271
		Page	0,9960	0,000351	0,086787
		Midilli & Küçük	**0,9997**	**0,000024**	**0,020882**
		Jena & Das	0,9923	0,000695	0,122950
		Vega-Galvez I	0,9861	0,001184	0,168271

Tablo 6.5 70 ℃ sıcaklıkta kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler

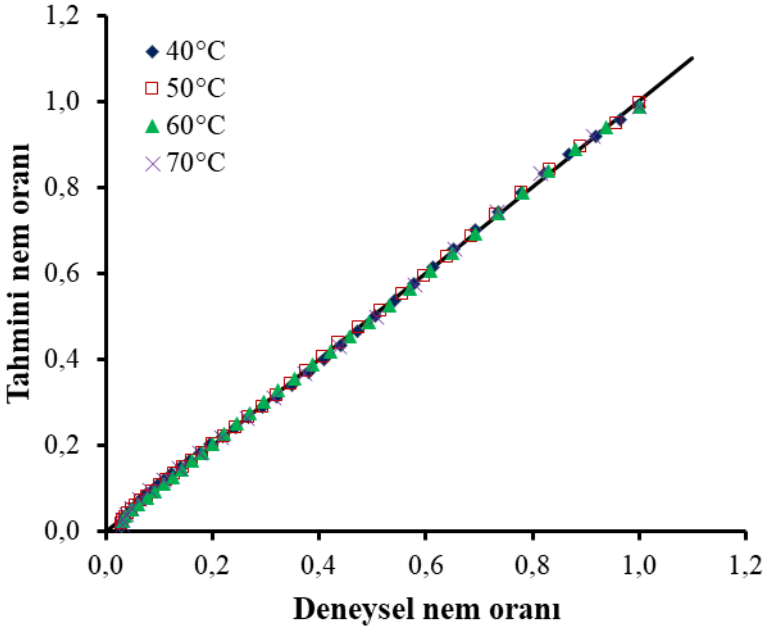
T (°C)	Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
70	Potas	Lewis	0,9701	0,003026	0,188620
		Henderson & Pabis	0,9760	0,002524	0,162389
		Page	0,9940	0,000623	0,083941
		Midilli & Küçük	**0,9989**	**0,000139**	**0,034443**
		Jena & Das	0,9878	0,001425	0,121779
		Vega-Galvez I	0,9768	0,002524	0,162388
	Sitrik asit	Lewis	0,9726	0,002803	0,191748
		Henderson & Pabis	0,9804	0,002129	0,156932
		Page	0,9973	0,000288	0,057548
		Midilli & Küçük	**0,9994**	**0,000075**	**0,026837**
		Jena & Das	0,9922	0,000907	0,102414
		Vega-Galvez I	0,9804	0,002129	0,156935
	Kontrol	Lewis	0,9784	0,002133	0,187153
		Henderson & Pabis	0,9845	0,001612	0,157003
		Page	0,9980	0,000201	0,157003
		Midilli & Küçük	**0,9991**	**0,000104**	**0,053111**
		Jena & Das	0,9936	0,000698	0,03615
		Vega-Galvez I	0,9845	0,001612	0,157003



Şekil 6.9 Potas kodlu şeftali dilimlerinin deneysel nem oranının tahmini nem oranı ile karşılaştırılması



Şekil 6.10 Sitrik asit kodlu şeftali dilimlerinin deneysel nem oranının tahmini nem oranı ile karşılaştırılması



Şekil 6.11 Kontrol kodlu şeftali dilimlerinin deneysel nem oranının tahmini nem oranı ile karşılaştırılması

6.1.4 D_{eff} Değerleri

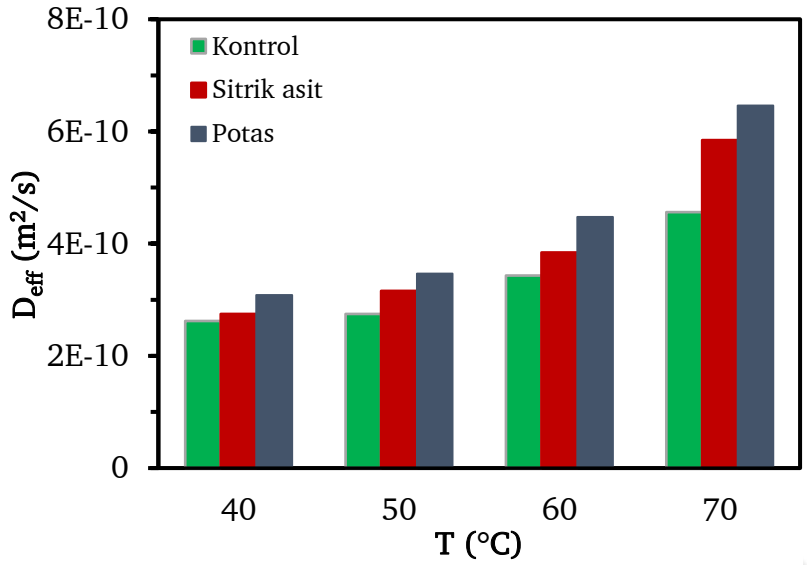
Eşitlik (5.9) kullanılarak 5 mm kalınlığında kesilen şeftali dilimleri farklı ön işlemli ve natürel olarak farklı kurutma sıcaklıkları için efektif difüzyon katsayısı değerleri (5.11) denklemi yardımıyla bulunup ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.6'da verilmiştir. Ayrıca, bu değerler grafiksel olarak Şekil 6.12'de gösterilmiştir.

Tablo 6.6 Farklı sıcaklıklarda kurutulan şeftali örneklerine ait efektif difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)		
	Potas	Sitrik asit	Kontrol
40	$3{,}085\times10^{-10}$	$2{,}746\times10^{-10}$	$2{,}620\times10^{-10}$
50	$3{,}465\times10^{-10}$	$3{,}158\times10^{-10}$	$2{,}746\times10^{-10}$
60	$4{,}479\times10^{-10}$	$3{,}845\times10^{-10}$	$3{,}431\times10^{-10}$
70	$6{,}464\times10^{-10}$	$5{,}843\times10^{-10}$	$4{,}560\times10^{-10}$

Tablo 6.6'daki verilerden yararlanarak söylenebilir ki, D_{eff} değerleri $2{,}620\times10^{-10}$ ile $6{,}464\times10^{-10}$ m^2/s aralığındadır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte ön işlem uygulanan ya da uygulanmayan şeftali dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı

değerlerinde bir artış göstermiştir. Buradan çıkarılacak bir diğer sonuç ise efektif difüzyon katsayısı değeri ön işlem uygulandığında artmaktadır. Sonuçlar gösteriyor ki en yüksek değere potasyum karbonat çözeltisi ile muamele edilen şeftali dilimlerinde ulaşılmıştır. Ayrıca sitrik asit çözeltisi ile ön işlenen şeftali örneklerinde de efektif difüzyon katsayısının ön işlem görmeyenden daha çok, ancak potasyum karbonat çözeltisi ile ön işlem gören numunelerden daha az değerlerde olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.12 Şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki efektif difüzyon katsayıları

Bu çalışmada elde edilen D_{eff} değerlerinin, literatürde yer alan tarımsal ürünlerin kurutulması sonucunda hesaplanmış ve 10^{-12}-10^{-8} m^2/s arasında rapor edilen değerler aralığında bulunmuştur (Zogzas vd., 1996). Şeftali dilimlerinin kurutulması üzerinde literatürde yer alan bazı çalışmalara ait efektif difüzyon katsayıları Tablo 6.7'de gösterilmiştir.

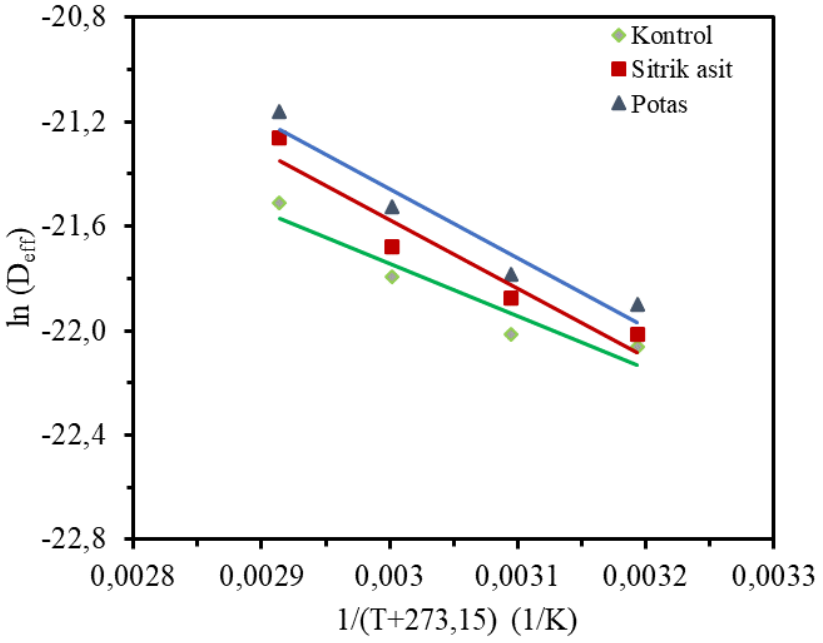
Tablo 6.7 Literatürdeki bazı şeftali dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

Kaynak	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
Kingsly vd. (2007)	$3{,}04\times10^{-12}$-$4{,}41\times10^{-12}$
Zhu ve Shen (2014)	$4{,}154\times10^{-10}$-$1{,}338\times10^{-9}$
Doymaz ve Bilici (2014)	$1{,}94\times10^{-10}$ -$8{,}49\times10^{-10}$
Johnson ve Mulchaini (2016)	$3{,}99\times10^{-10}$-7×10^{-10}
Zhou vd. (2019)	$0{,}578\times10^{-10}$-$3{,}486\times10^{-10}$
Tan vd. (2022)	$1{,}6210^{-10}$-$2{,}84\times10^{-10}$
Yamchi vd. (2022)	$1{,}345\times10^{-9}$-$5{,}370\times10^{-10}$

Buradan yola çıkılarak şeftali dilimleri için hesaplanan efektif difüzyon katsayılar literatürdeki değerlere yakın olarak bulunmuştur; farklılıklar farklı kurutma sıcaklıkları, uygulanan değişik ön işlemler veya kurutucu seçimlerinden dolayı meydana gelebilmektedir.

6.1.5 E_a Değerleri

ln (D_{eff}) ve sıcaklık [1/(T+273,15)] arasında çizilen aktivasyon enerji değerleri, Şekil 6.13'te gösterilen grafiğin eğimleri kullanılarak bulunmuştur.



Şekil 6.13 Sıcaklığın E_a üzerindeki etkisi

6.1-6.3 denklemlerinde sırasıyla Potas, Sitrik asit ve Kontrol kodlu numuneler için sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi gösterilmiştir:

Potas:

$$D_{eff} = 1{,}331 \times 10^{-6} exp\left(-\frac{2642{,}7}{(T+273{,}15)}\right) \ (R^2 = 0{,}9387) \qquad (6.1)$$

Sitrik asit:

$$D_{eff} = 1{,}126 \times 10^{-6} exp\left(-\frac{2626{,}1}{(T+273{,}15)}\right) \ (R^2 = 0{,}9224) \qquad (6.2)$$

Kontrol:

$$D_{eff} = 1{,}494 \times 10^{-7} exp\left(-\frac{2008{,}9}{(T+273{,}15)}\right) \ (R^2 = 0{,}9084) \qquad (6.3)$$

Yukarıdaki gösterilen (6.1), (6.2) ve (6.3) denklemlerden yararlanarak Potas, Sitrik asit ve Kontrol adlı şeftali numunelerinin aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve sırasıyla 21,97, 21,83 ve 16,70 kJ/mol-dür. Hesaplanan E_a değerleri literatürdeki aralık olan 12,7-110 kJ/mol değerleri arasında çıkmıştır (Zogzas vd., 1996). Literatürde şeftali dilimlerinin kurutulması ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda yapılmış olup, bu çalışmalardan elde edilen aktivasyon enerjisi(E_a) değerleri Tablo 6.8'de verilmiştir.

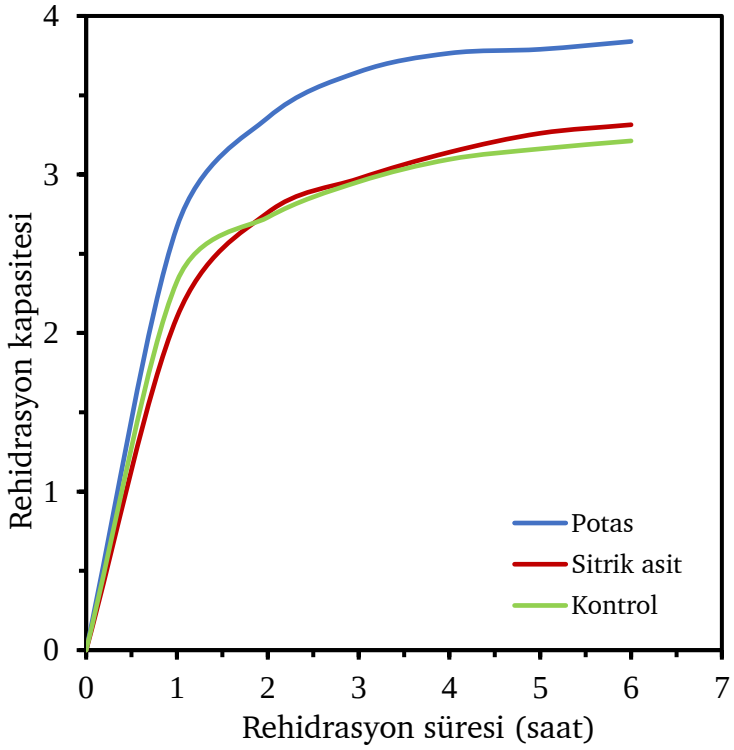
Tablo 6.8 Literatürdeki bazı şeftali dilimlerinin aktivasyon enerjileri

Kaynak	**Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)**
Zhu ve Shen (2014)	42,53
Doymaz ve Bilici (2014)	36,82-37,12
Johnson ve Al Mulchaini (2016)	25,92
Dermesonlouoglou ve Giannakourou (2019)	37-66
Tan vd. (2022)	25,90

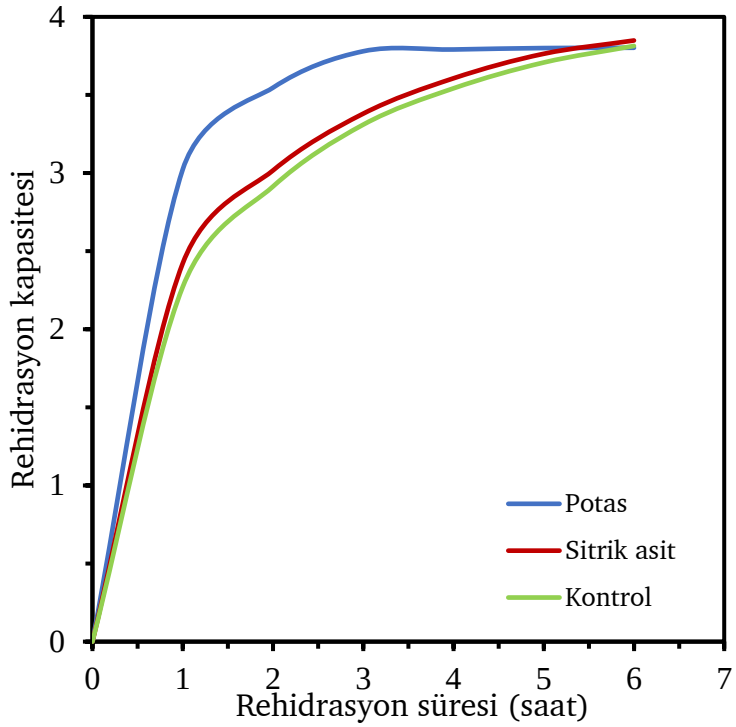
6.1.6 Rehidrasyon Eğrilerinin İncelenmesi

Kurutulmuş 5 mm dilim kalınlığındaki şeftali dilimleri, 20°C sıcaklığındaki saf suda 6 saat süre içinde bırakılmıştır. Numuneler her 1 saatte sudan çıkarılıp ıslaklığı alındıktan sonra ağırlıkları kaydedilmiştir. Bu verilerden yararlanarak

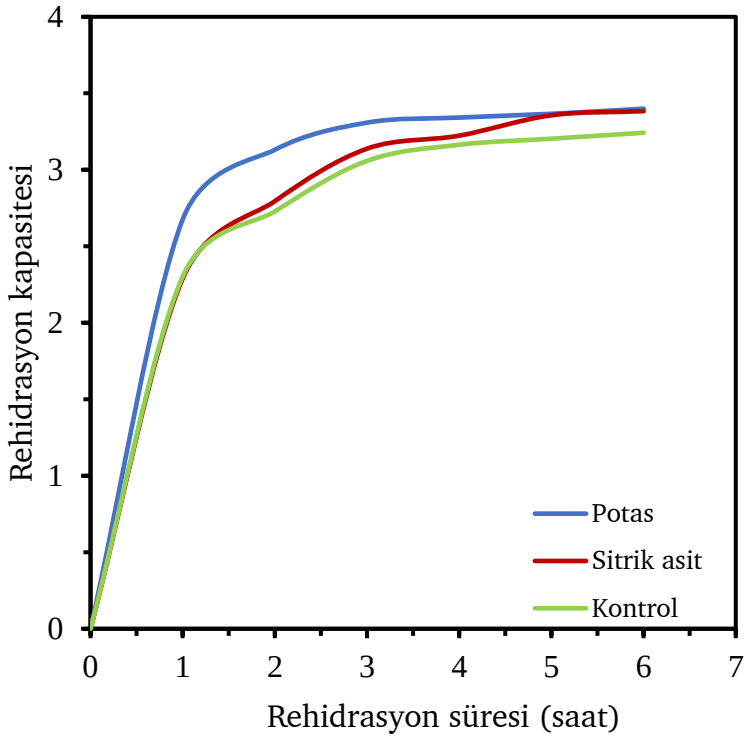
rehidrasyon kapasitesi değerleri (5.1) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Şekil 6.14-6.17 arasında verilmiştir. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde, kurutma sıcaklığı arttıkça numunelerin rehidrasyon kapasitesi değerleri düşmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere en yüksek rehidrasyon kapasitesine potasyum karbonatla ön işlenmiş 40°C'de kurutulmuş şeftali dilimlerinde ulaşılmıştır. Potas kodlu şeftali dilimlerine ait rehidrasyon kapasite değerleri, Sitrik asit ve Kontrol kodlu örneklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sitrik asit çözeltisinin rehidrasyon kapasitesi üzerinde potasyum karbonat çözeltisi kadar olmasa da az bir etkisi olduğu görülebilir. Ayrıca sıcaklığın yükselmesi ile meyvenin yapısında değişiklik meydana gelmektedir. Bu etkiyi açıklamak için kurutma sıcaklığının artması ile kurutulan gıdanın yapısında meydana gelen değişikliklerden dolayı olduğu söylenebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzer etkiler görülmüştür. Doymaz ve Aktaş (2018), yaptıkları çalışmada farklı sıcaklıklarda kuruttukları patlıcanların rehidrasyon kapasitesinin sıcaklığın 70°C'ye çıktığında azaldığını görmüşlerdir. Ullah vd. (2021) yaptıkları bir çalışmada, elma dilimlerini farklı sıcaklıklarda kurutmuşlardır ve sonuç olarak rehidrasyon kapasitesinin sıcaklığın yükselmesiyle düştüğünü görmüşlerdir.



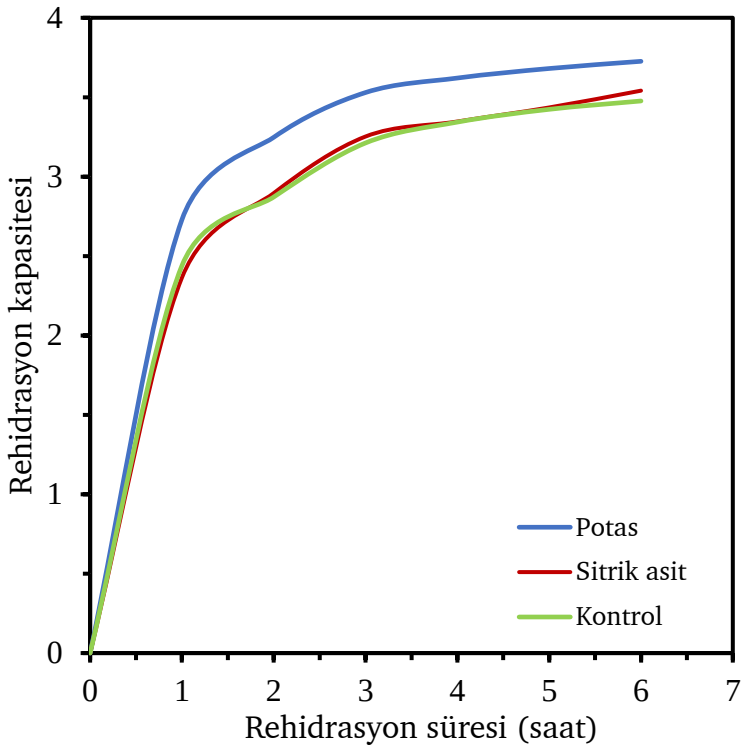
Şekil 6.14 Şeftali dilimlerinin 40°C'de rehidrasyon kapasiteleri



Şekil 6.15 Şeftali dilimlerinin 50°C'de rehidrasyon kapasiteleri



Şekil 6.16 Şeftali dilimlerinin 60°C'de rehidrasyon kapasiteleri



Şekil 6.17 Şeftali dilimlerinin 70°C'de rehidrasyon kapasiteleri

6.1.7 Renk Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Taze ve kurutulmuş şeftali dilim yüzeyinin renkleri bir Kromametre (CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japonya) ile her numune için numune yüzeyinde dört farklı noktasında ölçüm alınmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Renk değerleri L, a ve b sırasıyla; beyazlık/koyuluk, kırmızılık/yeşillik, sarılık/mavilik olarak gösterilir. Aşağıda belirtilen denklemler kullanılarak toplam renk farkı (ΔE) ve Chroma (C) değerleri hesaplanır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (6.4)$$

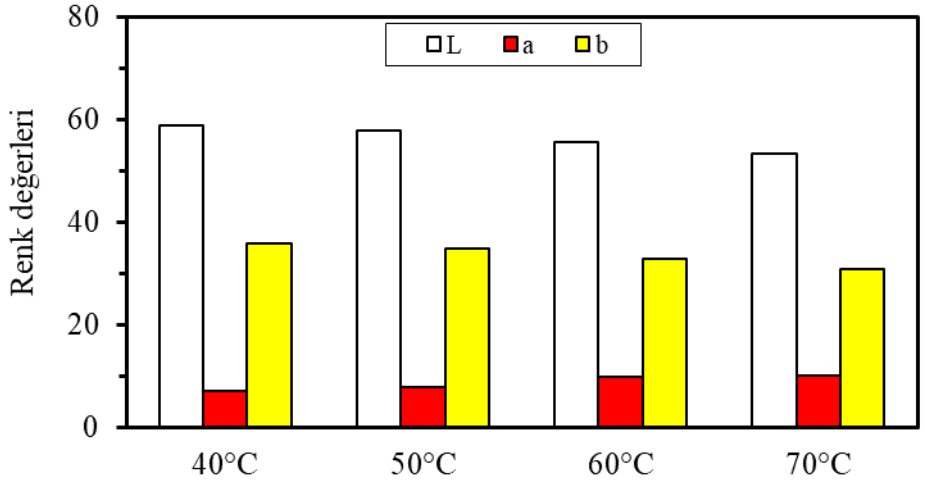
$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6.5)$$

Burada L_0, a_0 ve b_0, taze numunelerinin kurutmadan önceki renk parametrelerini gösterir. Taze şeftali dilimleri ve sıcak hava kurutucuda kurutulan şeftali dilimleri için bu parametreler ölçülmüş ve sonuçlar not edilmiştir. Bu değerler kullanılarak C (renk kroması) ve ΔE (toplam renk değişikliği) değerleri hesaplanmıştır. Tablo 6.9'da taze ve farklı sıcaklıklarda kurutulmuş şeftali numunelerinin renk parametreleri verilmiştir.

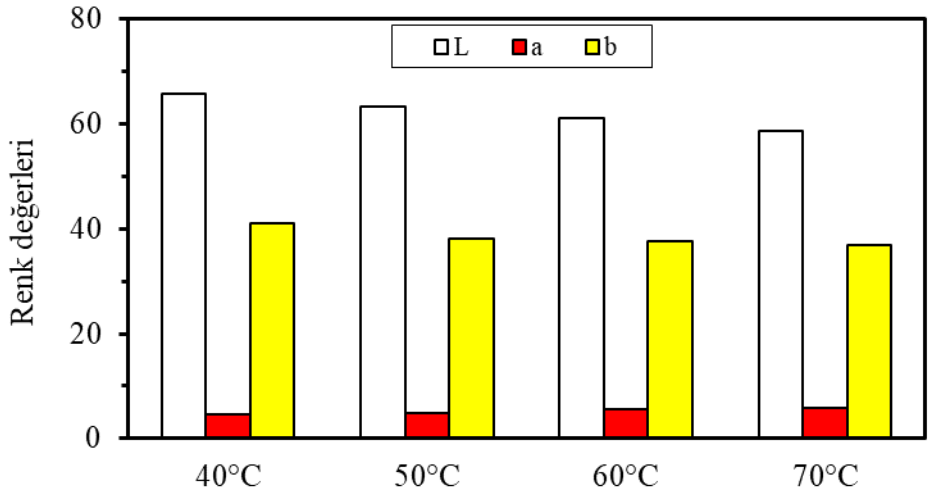
Tablo 6.9 Taze ve kurutulmuş şeftali numunelerinin farklı sıcaklıklarda ve ön işlemlerdeki renk parametreleri

Grup	Sıcaklık	L	a	b	C	ΔE
Taze	-	74,61	-6,12	43,4	43,829	-
Potas	40°C	58,76	6,96	35,76	36,431	21,924
	50°C	57,86	7,89	34,82	35,702	23,461
	60°C	55,51	9,87	32,77	34,224	27,082
	70°C	53,31	10,08	30,78	32,388	29,587
Sitrik	40°C	65,86	4,53	40,96	41,209	13,997
	50°C	63,38	4,86	38,2	38,507	16,544
	60°C	61,06	5,58	37,62	38,031	18,812
	70°C	58,75	5,89	36,87	37,337	20,938
Kontrol	40°C	55,34	7,86	33,91	34,809	25,628
	50°C	54,75	8,32	32,87	33,906	26,717
	60°C	54,07	10,57	31,17	32,913	29,155
	70°C	51,08	11,18	30,66	32,634	31,863

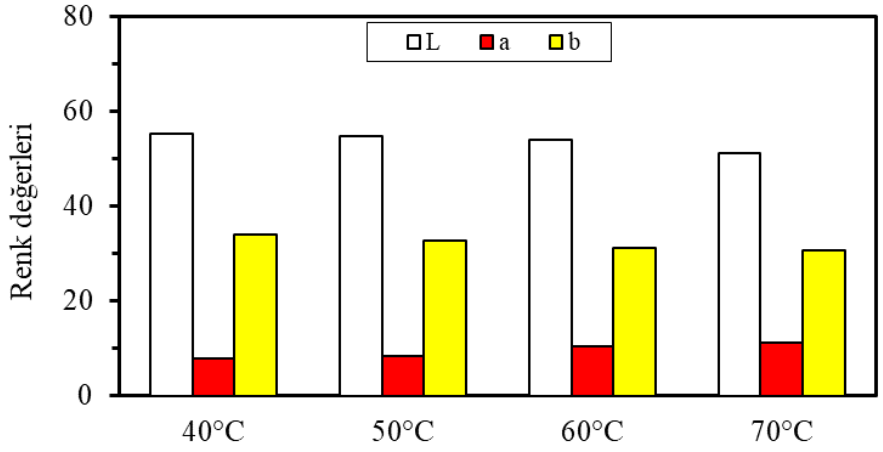
Kabin kurutucuda kurutulan örneklerin ΔE değerlerinin 13,99-31,86 arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 6.9'a göre, en düşük değerin 40°C'de Potas kodlu şeftali dilimlerinde, en yüksek değerin ise Kontrol kodlu ve 70°C'de kurutulan şeftali dilimlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışının ΔE değerini arttırdığı ve en iyi sonucun 40°C'de Sitrik asit çözeltisi ile ön işlenerek kurutulan şeftali numunelerinde olduğu ortaya çıkmıştır. Canlılığı gösteren C değeri kabin kurutucu için incelendiğinde değerlerin 32,38 ve 41,20 arasında değiştiği görülmektedir. Bu sonuca göre, kurutma sıcaklığı arttıkça numunelerin canlılığında azalma meydana gelmiştir. En iyi sonucu veren numune ise 40°C'de Sitrik asit çözeltisi ile kurutulan şeftali olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20'de farklı sıcaklıklarda kurutulan şeftali dilimlerinin sırasıyla Potas, Sitrik ve Kontrol koşullardaki renk parametreleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 6.18 Potas ön işleme tabi tutulan şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki renk değerleri



Şekil 6.19 Sitrik asitle ön işleme tabi tutulan şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki renk değerleri



Şekil 6.20 Ön işleme tabi tutulmayan şeftali dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki renk değerleri

6.8 İnfrared Kurutma

6.8.1 İnfrared Kurutucuda Gücün ve Ön İşlemin Kurutma İşlemine Etkisi

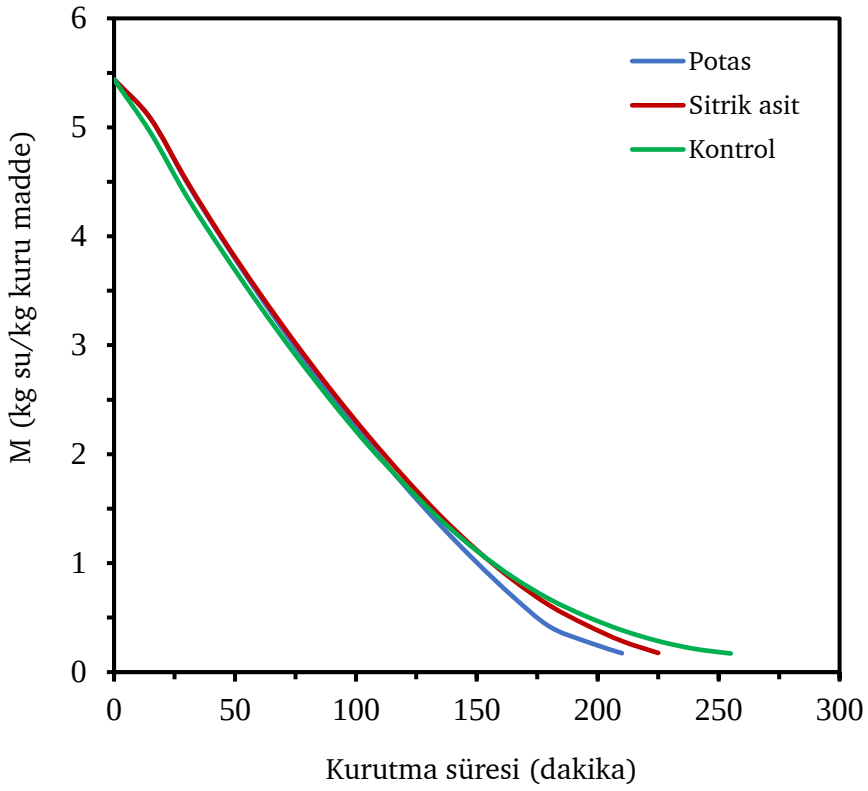
5 mm kalınlığında kesilen şeftali dilimleri 38, 62 ve 88 W gücündeki bir infrared kurutucuda kurutulmuştur. Ön işlemin etkisini ölçmek için Kontrol kodlu grup oluşturulmuştur. Şeftali dilimleri potasyum karbonat ve sitrik asitli çözeltilere ayrı ayrı muamele edilmiştir. Kurutma işlemine yaş bazda nem oranı %15'e düşünceye kadar devam edilmiştir. Kurutma süreleri Tablo 6.10'da verilmiştir. Şeftali numunelerinin nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi ise Şekil 6.21–6.23'te verilmektedir. Bu şekillerdeki eğrilerden yararlanarak kuruma süresi ve infrared gücü arttıkça nem içeriğinin azaldığı görülmüştür.

Tablo 6.10 Şeftali numunelerinin farklı güçlerdeki kuruma zamanlarının karşılaştırılması

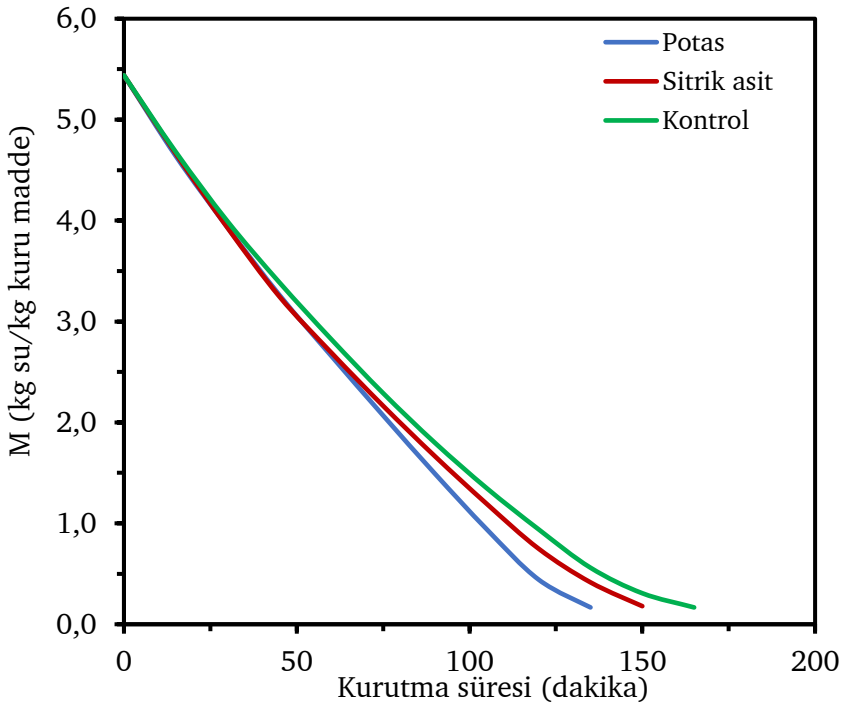
Güç (W)	Kurutma süresi (dakika)		
	Potas	Sitrik asit	Kontrol
38	210	225	255
62	135	150	165
88	105	120	135

Elde edilen veriler ışığında görülmüştür ki en hızlı kuruyan grup Potas kodlu şeftali örneklerdir. 38 W, 62 W ve 88 W'ta yapılan kurutmalarda kurutma süreleri sırası ile ön işleme tabi tutulmayan numunelerde 255, 165 ve 135 dakika olduğu görülmektedir. Potas, Sitrik asit ve Kontrol kodlu numunelerin kurutma süreleri karşılaştırıldığında, 38 W gücünde en kısa sürede kuruyan grubun yani Potas kodlu numunelerin, Sitrik asit kodlu şeftali dilimlerinden 15 dakika önce kuruduğu ve Kontrol grubun ise Sitrik asit kodlu gruptan 30 dakika daha sonra kuruduğu görülmüştür. 62 W altında ise Potas kodlu grubun Sitrik asit grubundan 15 dakika daha önce kuruduğu ve Kontrol grubunun kurumasının tamamlanması için Sitrik asitten 15 dakika daha fazla zamana ihtiyacı olduğu görülmüştür. Son olarak 88 W gücünde kurutulan örneklerde Potas ve Sitrik asit kodlu şeftali örnekleri arasındaki kuruma zamanı farkı, Sitrik asit kodlu grup ve Kontrol kodlu grupla aynı olup 15 dakikadır.

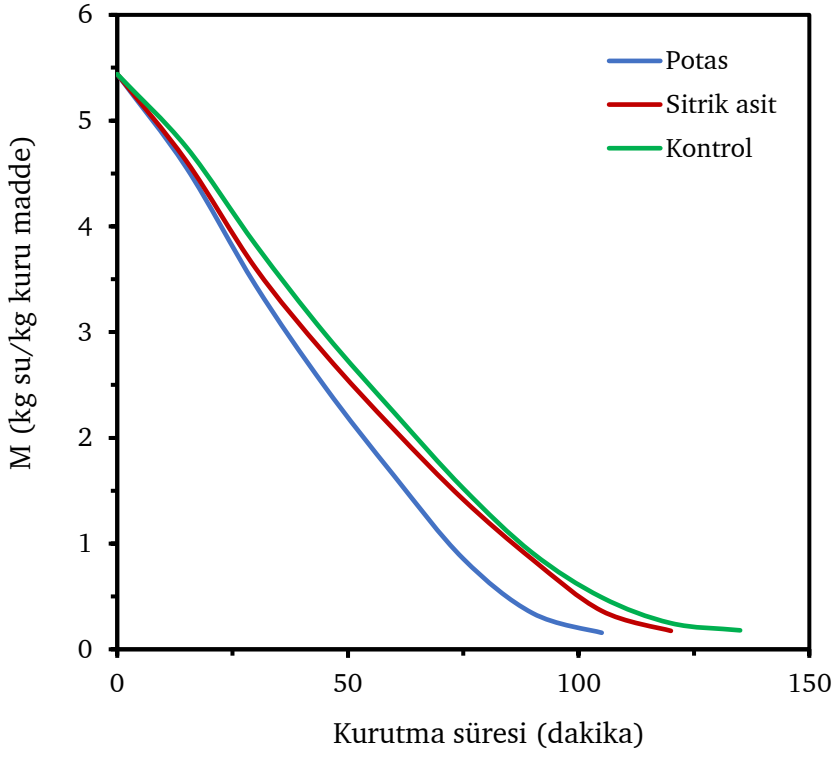
Kuruma süresinin Şekil 6.21-6.23'te görüldüğü üzere infrared gücü ile bir ilişkisi vardır ve kuruma süresi, gücün yüksek ya da düşük olmasından açıkça etkilenir. İnfrared gücünün artması ile nem kaybının artması kuruma süresini kısaltmaktadır. Gerekli analizler sonucunda Tablo 6.10'da görüldüğü gibi 38 W gücünde kurutulan Potas, Sitrik asit ve Kontrol kodlu numunelerin kurutma süreleri sırasıyla 210, 225 ve 255 dakika olmasına rağmen Tablo 6.10'da aynı numunelerin 88 W altındaki kurutma süreleri sırasıyla 105, 120 ve 135 dakikadır. Gücün 50 W artış göstermesiyle, kurutma süresinde sırasıyla 105, 105 ve 120 dakika azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu sonuç enerji maliyetlerinde de bir azalmaya neden olur.



Şekil 6.21 Nem miktarının kurutma zamanı ile ilişkisi, (38 W)



Şekil 6.22 Nem miktarının kurutma zamanı ile ilişkisi, (62 W)

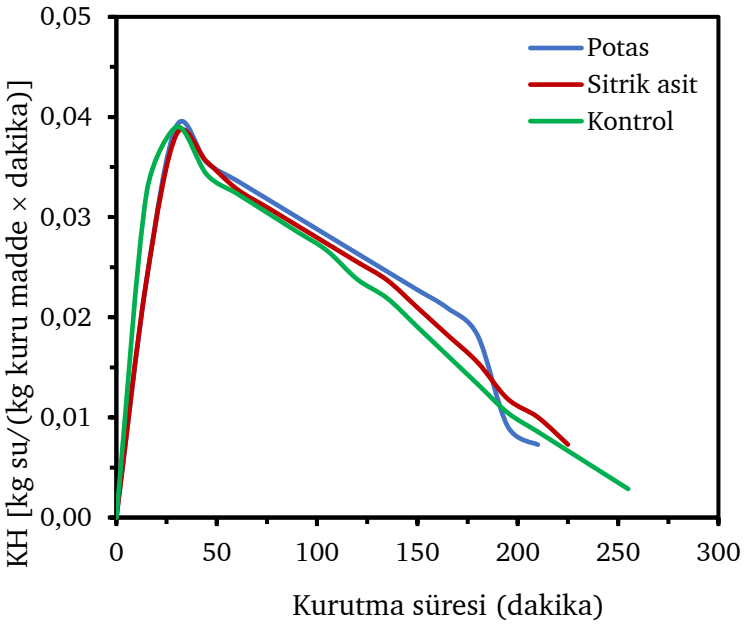


Şekil 6.23 Nem miktarının kurutma zamanı ile ilişkisi, (88 W)

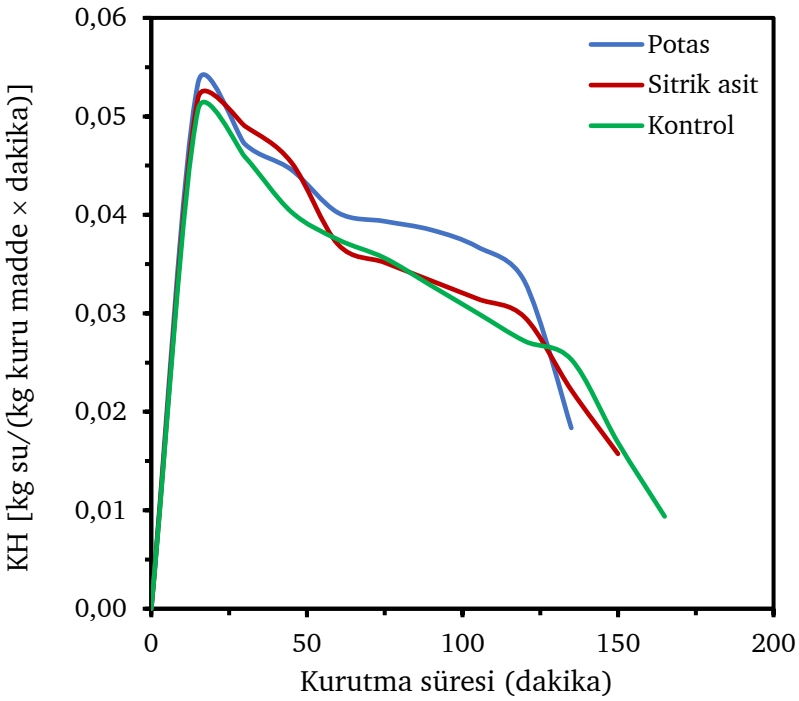
6.8.2 Kurutma Hız Eğrileri

Kurutma hızlarının kurutma süresi ile değişimi Şekil 6.24-6.26'da verilmiştir. Eğrileri dikkatlice analiz edilirse, kurutma işlemi kısa bir ısınma periyodunun sonrasında azalan hız periyodunda olduğu görülür. Şekillerdeki eğrilerde sabit hız periyoduna rastlanmamıştır. Bu gözlem, önceki meyve ve sebze kurutma çalışmalarıyla uyum göstermiştir (Lee ve Kim, 2009; Doymaz, 2014; Dasore vd., 2019). Ayrıca, ön işleme tabii tutulan şeftali dilimi örneklerinin kurutma hızlarının, Kontrol kodlu örneklere göre daha yüksek olduğu da görülmüştür.

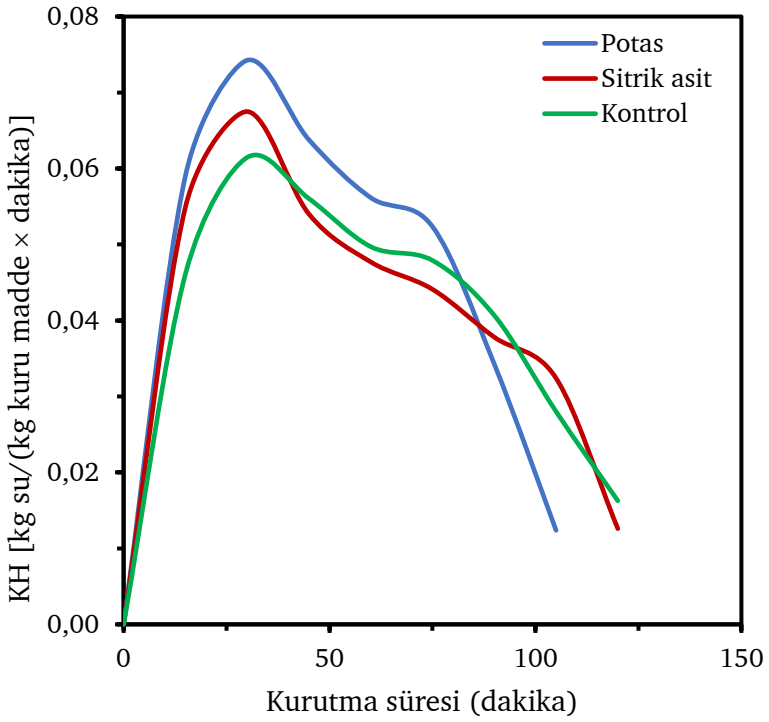
En hızlı kurutma hızı potasyum çözeltisi ile ön işleme tabii tutulan şeftali dilimlerinde görülmüştür. Daha sonra onu sitrik asit çözeltisi ön işlenen şeftali dilimleri takip etmektedir. Potas ve Sitrik asit kodlu örneklerin kurutma hızlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca infrared gücünün artmasıyla da kuruma hızının arttığı şekillerdeki eğrilerde görülebilir. Kurutma hızının en yüksek olduğu numunenin 88 W gücünde kurutulan Potas kodlu numunede olduğu, buna karşılık en yavaş olanın ise 38 W gücünde kurutulan Kontrol kodlu numunede gerçekleşmiştir. Bu durum aşağıda verilen şekillerde açıkça görülmektedir.



Şekil 6.24 Şeftali dilimlerinin 38 W gücünde kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi



Şekil 6.25 Şeftali dilimlerinin 62 W gücünde kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi



Şekil 6.26 Şeftali dilimlerinin 88 W gücünde kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi

6.8.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenme ve Değerlendirilmesi

Deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak, nem oranı değişimine karşı kuruma süresi eğrisinin matematiksel modellemesi, doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 6.11'de verilen regresyon katsayıları, khi-kare ve tahmini standart hatası verileri, Tablo 5.1'deki modellerin uygulanması ile elde edilmiştir.

Tablo 6.11-6.13'te görüldüğü gibi test edilen modellerin R^2, χ^2 ve *RMSE* değerleri sırasıyla 0,9621-0,9997; 0,000069-0,005799 ve 0,017435-0,231395 aralığında olduğu görülmüştür. Bu tablolardaki verilerden yararlanarak Midilli & Küçük modelinin R^2 değerleri diğer modellerle karşılaştırılırsa daha yüksek, χ^2 ve *RMSE* değerlerinin ise daha küçük bulunmuş olup şeftali dilimlerinin kurutma davranışlarını daha iyi açıkladığı saptanmıştır. Bu modelin R^2, χ^2 ve *RMSE* değerleri 0,9983-0,9997, 0,000033-0,000243 ve 0,017435-0,038706 aralığındadır.

Tablo 6.11 38 W güçte kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler

p (W)	Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
38	Potas	Lewis	0,9544	0,004916	0,231395
		Henderson & Pabis	0,9674	0,003779	0,193038
		Page	0,9962	0,000433	0,065729
		Midilli & Küçük	**0,9994**	**0,000073**	**0,022789**
		Jena & Das	0,9872	0,001600	0,122790
		Vega-Galvez I	0,9674	0,003779	0,193040
	Sitrik asit	Lewis	0,9626	0,003936	0,216830
		Henderson & Pabis	0,9742	0,002908	0,176443
		Page	0,9977	0,000250	0,051420
		Midilli & Küçük	**0,9997**	**0,000033**	**0,017435**
		Jena & Das	0,9909	0,001094	0,106741
		Vega-Galvez I	0,9742	0,002908	0,176445
	Kontrol	Lewis	0,9772	0,002312	0,180059
		Henderson & Pabis	0,9840	0,001725	0,148957
		Page	0,9986	0,000147	0,04244
		Midilli & Küçük	**0,9995**	**0,000056**	**0,024878**
		Jena & Das	0,9943	0,000649	0,089839
		Vega-Galvez I	0,9840	0,001725	0,148957

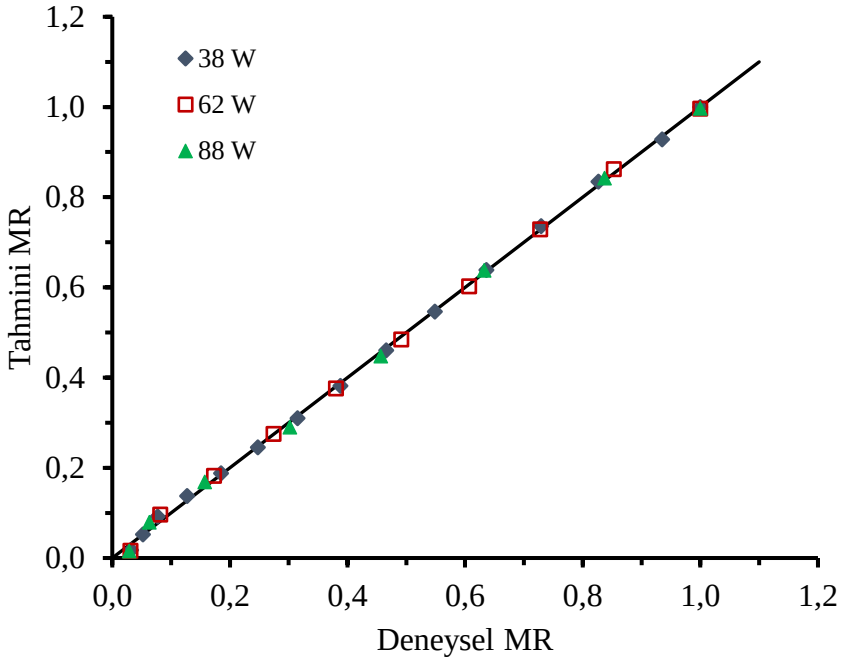
Tablo 6.12 62 W güçte kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler

p (W)	Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
62	Potas	Lewis	0,9540	0,005063	0,180271
		Henderson & Pabis	0,9610	0,004829	0,167239
		Page	0,9897	0,001265	0,083452
		Midilli & Küçük	**0,9993**	**0,000116**	**0,021839**
		Jena & Das	0,9787	0,003002	0,124258
		Vega-Galvez I	0,9610	0,004829	0,167239
	Sitrik asit	Lewis	0,9706	0,003046	0,149196
		Henderson & Pabis	0,9749	0,002896	0,139028
		Page	0,9916	0,000965	0,079685
		Midilli & Küçük	**0,9995**	**0,000069**	**0,017860**
		Jena & Das	0,9853	0,001902	0,107487
		Vega-Galvez I	0,9749	0,002896	0,139027
	Kontrol	Lewis	0,9728	0,002871	0,156860
		Henderson & Pabis	0,9767	0,002709	0,147470
		Page	0,9926	0,000853	0,079998
		Midilli & Küçük	**0,9983**	**0,000243**	**0,038706**
		Jena & Das	0,9864	0,001751	0,113256
		Vega-Galvez I	0,9767	0,002709	0,147468

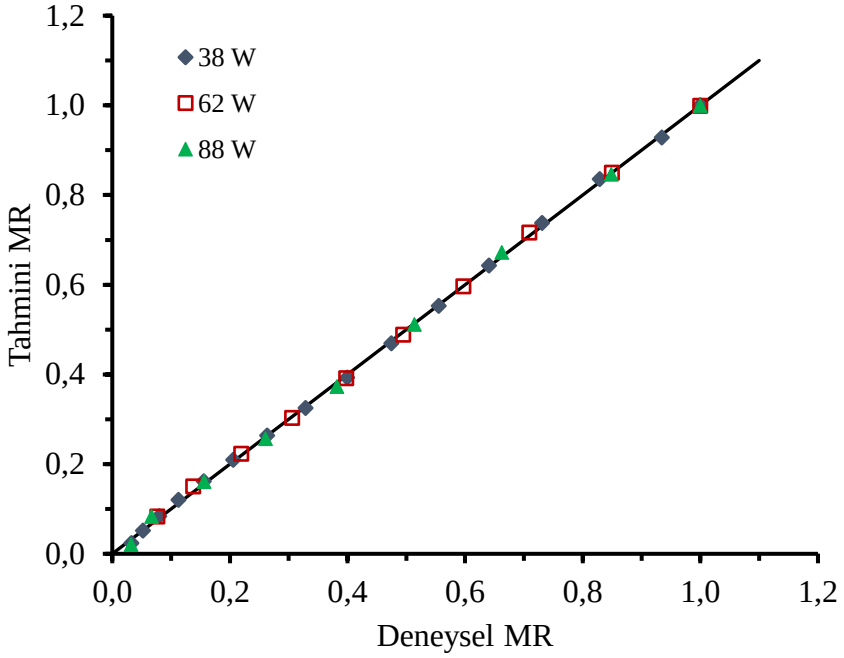
Tablo 6.13 88 W güçte kurutulan şeftali dilimleri için hesaplanan istatiksel veriler

p (W)	Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
88	Potas	Lewis	0,9539	0,006041	0,175785
		Henderson & Pabis	0,9621	0,005799	0,174511
		Page	0,9970	0,000453	0,045222
		Midilli & Küçük	**0,9990**	**0,000217**	**0,026826**
		Jena & Das	0,9892	0,001968	0,090604
		Vega-Galvez I	0,9621	0,005799	0,174512
	Sitrik asit	Lewis	0,9632	0,004396	0,161133
		Henderson & Pabis	0,9702	0,004066	0,153150
		Page	0,9959	0,000549	0,052357
		Midilli & Küçük	**0,9993**	**0,000126**	**0,020186**
		Jena & Das	0,9896	0,001656	0,085042
		Vega-Galvez I	0,9702	0,004066	0,153150
	Kontrol	Lewis	0,9558	0,005493	0,196212
		Henderson & Pabis	0,9656	0,004805	0,182100
		Page	0,9979	0,000281	0,040726
		Midilli & Küçük	**0,9989**	**0,000195**	**0,031357**
		Jena & Das	0,9902	0,001556	0,094327
		Vega-Galvez I	0,9656	0,004805	0,182100

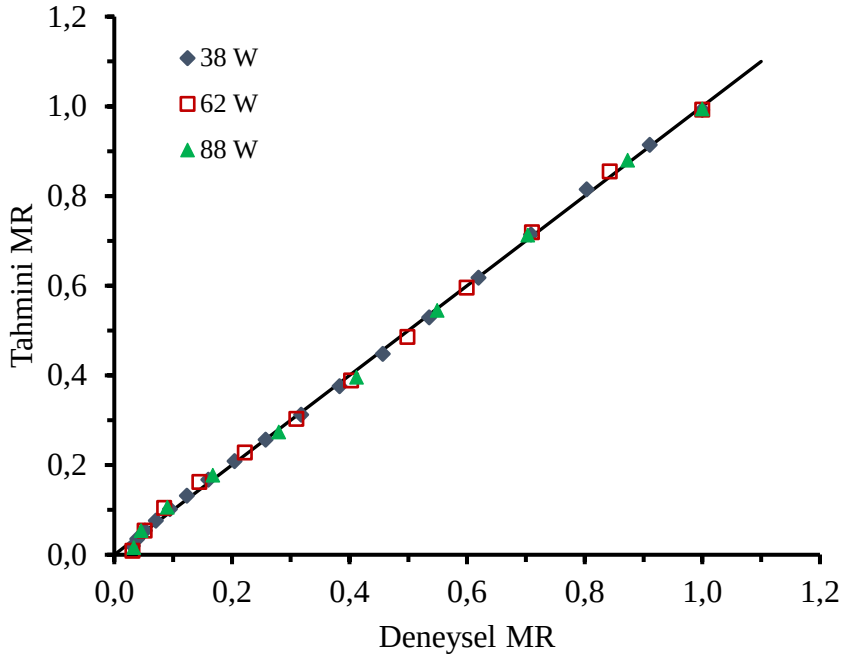
İlgili modellerden elde edilen nem oranlarının mukayesesi Şekil 6.27, 6.28 ve 6.29'da verilmiştir.



Şekil 6.27 Farklı infrared güçlerinde kurutulan Potas kodlu şeftali numunelerinin tahmini nem oranlarının mukayesesi



Şekil 6.28 Farklı infrared güçlerinde kurutulan Sitrik kodlu şeftali numunelerinin tahmini nem oranlarının mukayesesi



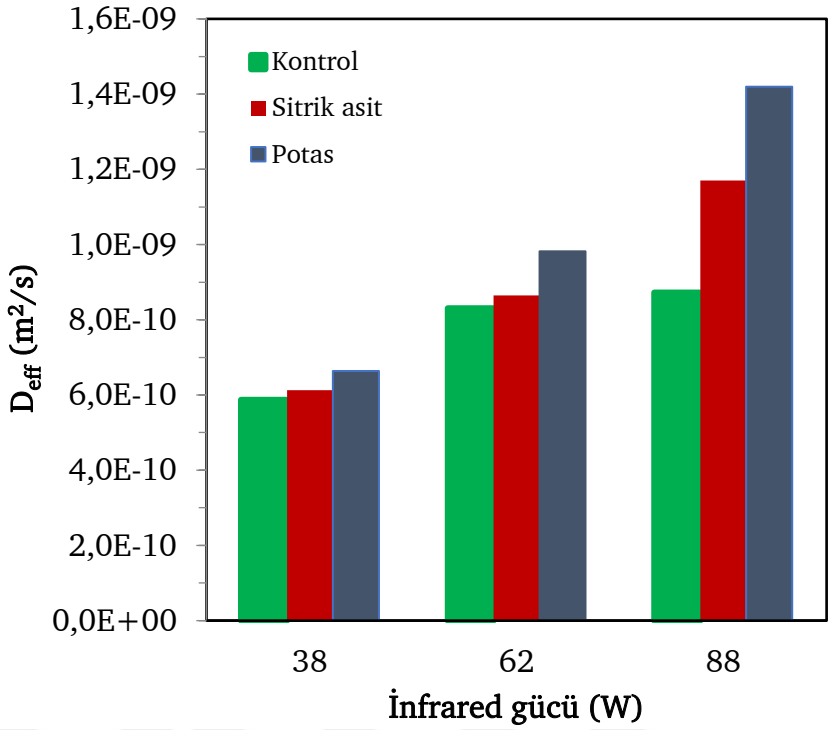
Şekil 6.29 Farklı infrared güçlerinde kurutulan Kontrol kodlu şeftali numunelerinin tahmini nem oranlarının mukayesesi

6.8.4 D_{eff} Değerleri

Eşitlik (5.9) kullanılarak 5 mm kalınlığında kesilen şeftali numuneleri farklı ön işlemli ve natürel olarak farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan numuneler için efektif difüzyon katsayısı değerleri (5.11) denklemi yardımıyla bulunup ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.14'te verilmiştir. Ayrıca, bu değerler grafiksel olarak Şekil 6.30'da gösterilmiştir.

Tablo 6.14 Farklı güçlerdeki şeftali dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri

Güç (W)	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)		
	Potas	Sitrik asit	Kontrol
38	$6{,}634\times10^{-10}$	$6{,}127\times10^{-10}$	$5{,}874\times10^{-10}$
62	$9{,}819\times10^{-10}$	$8{,}647\times10^{-10}$	$8{,}305\times10^{-10}$
88	$1{,}419\times10^{-9}$	$1{,}170\times10^{-9}$	$8{,}726\times10^{-10}$



Şekil 6.30 Şeftali dilimlerinin farklı güçlerdeki efektif difüzyon katsayıları

Bu çalışmada hesaplanan D_{eff} değerlerinin $5{,}874\times10^{-10}$ ve $1{,}419\times10^{-9}$ m^2/s aralığında olduğu görülmektedir. İnfrared gücünün artmasıyla birlikte şeftali dilimlerinde görülmüştür ki efektif difüzyon katsayısı değeri artış göstermiştir. Çıkarılacak bir diğer sonuç ise efektif difüzyon katsayısı değeri ön işlem uygulandığında artmaktadır. En yüksek efektif difüzyon katsayısı değerine potasyum karbonat çözeltisi ile muamele edilip kurutulan şeftali dilimlerinde ulaşılmıştır. Ayrıca sitrik asit çözeltisi ile ön işlenen şeftali numunelerinde de efektif difüzyon katsayısının ön işlem görmeyenden daha çok, ancak potasyum karbonat çözeltisi ile ön işlem gören numunelerden daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada elde edilen D_{eff} değerlerinin, literatürde gıda ürünlerinin kurutulması sonucunda hesaplanmış ve 10^{-12}-10^{-8} m^2/s arasında belirtilen değerler aralığında bulunmuştur (Zogzas vd., 1996). Ayrıca literatürde infrared kurutucuyla kurutulan şeftali ve diğer gıdalara yönelik çalışmalar ve değerleri Tablo 6.15'te verilmiştir.

Tablo 6.15 Literatürde yer alan infrared kurutma yöntemi ile kurutulan şeftali ve diğer bazı gıdaların efektif difüzyon katsayıları

Kaynak	Efektif difüzyon katsayısı m^2/s
Amini vd. (2021)	$8{,}6\times10^{-10} - 2{,}28\times10^{-8}$
Zhou vd. (2019)	$1{,}754\times10^{-10}$-$6{,}441\times10^{-10}$
Ashtiani vd. (2018)	$1{,}096\times10^{-11}$-$5{,}928\times10^{-11}$
Doymaz (2014)	$3{,}25\times10^{-10}$-$1{,}68\times10^{-9}$

Bu verilerden yola çıkılarak şeftali dilimleri için hesaplanan efektif difüzyon katsayıları literatürdeki değerlere yakın olarak bulunmuştur; farklılıklar farklı infarared güçleri, uygulanan ön işlemler dolayısıyla oluşabilmektedir.

6.8.5 E_a Değerleri

Şeftali numunelerinin kurutulması için gereken aktivasyon enerjisi hesaplamasında (5.12) denklemi kullanılır. Şekil 6.31'de verilen $\ln(D_{eff})$ ile m/p arasında çizilen eğri, infrared kurutucuda her deneysel çalışma için E_a hesaplanmasında kullanılmıştır. Kurutma işlemi için gerekli olan aktivasyon enerjisi, eğrinin eğiminden yararlanılarak bulunmuştur.

Aşağıdaki denklemlerde Potas, Sitrik asit ve Kontrol kodlu numuneler için infrared güç seviyesinin efektif difüzyon katsayısına etkisi gösterilmiştir:

Potas:

$$D_{eff} = 2{,}489 \times 10^{-9} exp\left(-1087{,}30\frac{m}{p}\right) \quad (R^2 = 0{,}9648) \qquad (6.6)$$

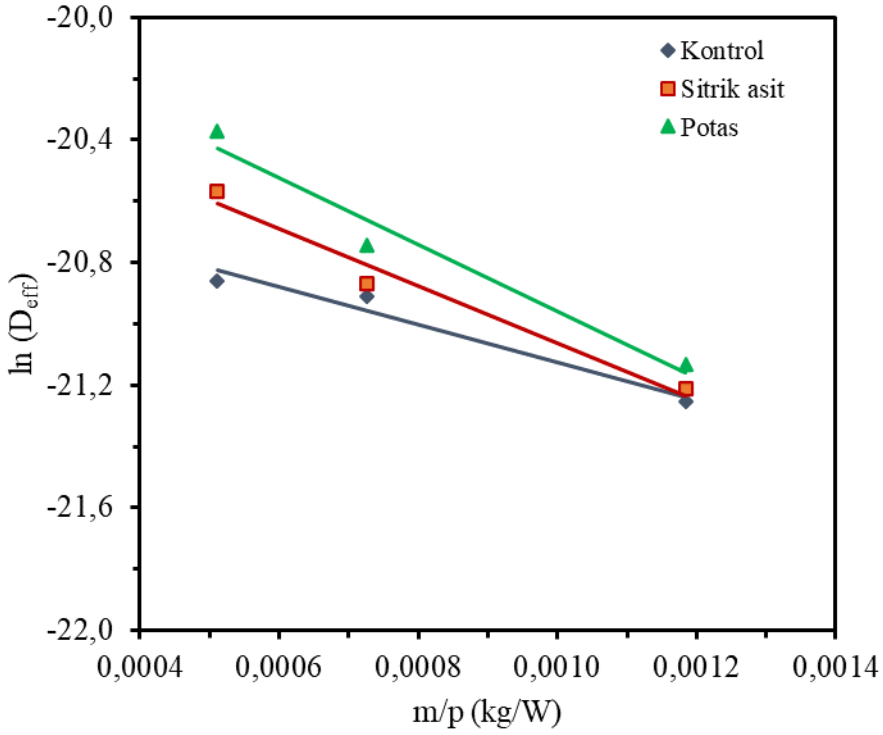
Sitrik asit:

$$D_{eff} = 1{,}918 \times 10^{-9} exp\left(-928{,}79\frac{m}{p}\right) \quad (R^2 = 0{,}9716) \qquad (6.7)$$

Kontrol:

$$D_{eff} = 1{,}315 \times 10^{-9} exp\left(-614{,}69\frac{m}{p}\right) \quad (R^2 = 0{,}9596) \qquad (6.8)$$

Yukarıdaki gösterilen (6.6), (6.7) ve (6.8) denklemlerden yararlanarak Potas, Sitrik asit ve Kontrol kodlu şeftali numunelerinin aktivasyon enerjisi hesaplanmış ve 1,087, 0,928 ve 0,614 kW/kg olarak bulunmuştur.

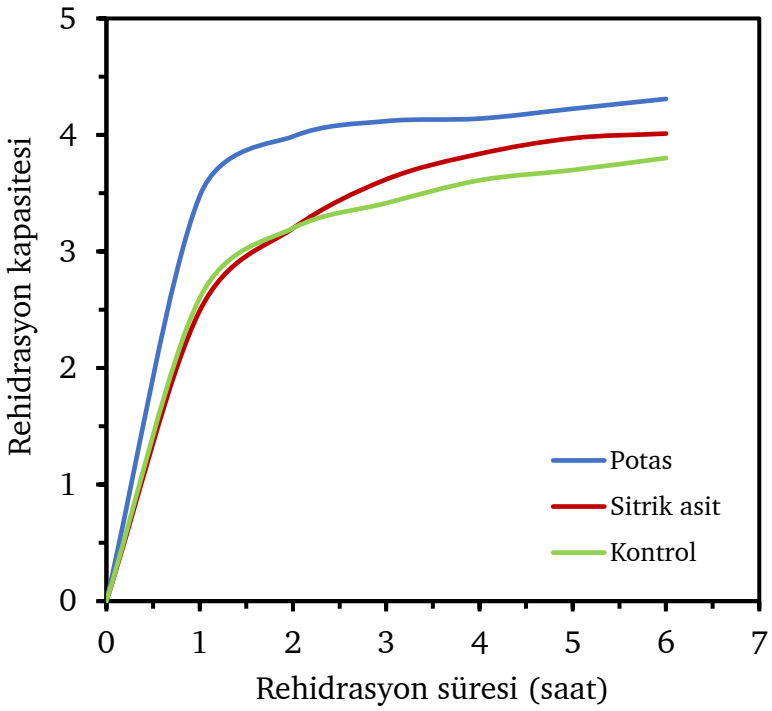


Şekil 6.31 İnfrared güç seviyesinin efektif difüzyon katsayısına etkisi

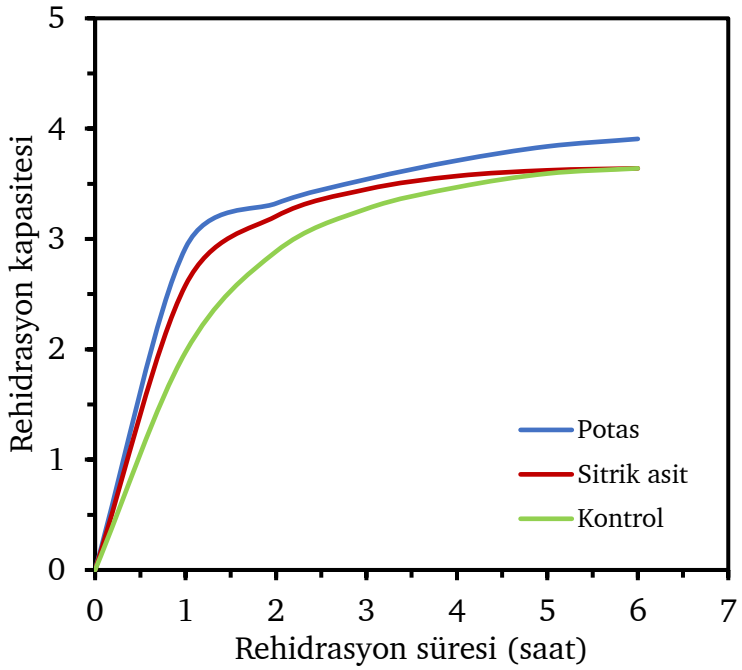
6.8.6 Rehidrasyon Kapasitesi

Kabin kurutucuda yapılmış çalışmalar gibi infrared kurutucuda kurutulmuş şeftali dilimleri, saf suda, 20°C sıcaklıktaki suda toplam 6 saat bekletilmiştir. Bu zaman süresinde her 1 saatte numuneler sudan çıkarılıp ıslaklığı alındıktan sonra şeftali dilimlerinin ağırlıkları Şekil 4.4'de gösterilen terazide ölçülüp kaydedilmiştir. Rehidrasyon kapasitesi değerleri (5.1) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Şekil 6.32-6.34 arasında verilmiştir. Şekiller analiz edildiğinde, infrared kurutucunun güç seviyesi arttıkça rehidrasyon kapasitesi düşmektedir. Potas kodlu şeftali dilimlerine ait rehidrasyon kapasite değerleri, Sitrik asit ve Kontrol kodlu numunelerle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmüştür. Sitrik asit kodlu numunelerin rehidrasyon kapasite değerleri Kontrol kodlu numunelere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca infrared gücün artışı sonucunda kurutma sıcaklığının artışına neden olur ve bunun sonucu olarak

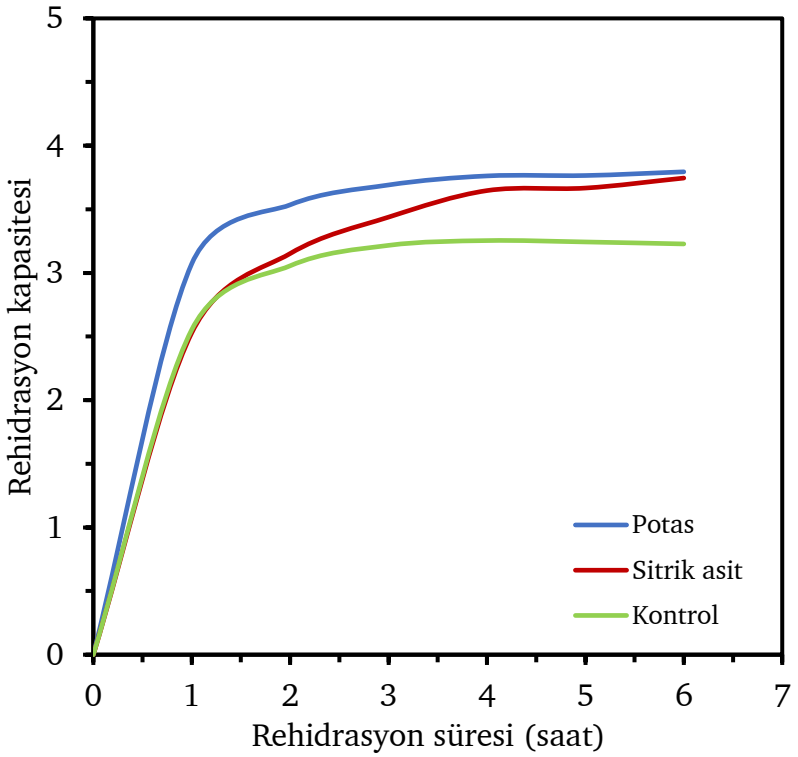
gıdaların yapısında birtakım değişimler meydana geldiği literatürde yer alan bazı çalışmalarda beyan edilmiştir. Rojas vd. (2019) yaptıkları çalışmada, infrared kurutucuda kurutulan patates dilimlerinde ön işlemin etkisinin rehidrasyon kapasitesini arttırdığını görmüşlerdir. Darvishi vd. (2020) yaptıkları bir çalışmada ise görmüşlerdir ki, rehidrasyon kapasitesi infrared gücünün yükselmesiyle azalmıştır. Bu etkinin nedeni infrared gücün yükselmesiyle gıdanın yapısında meydana gelmiş bazı yapısal bozunmalardan ileri geldiği belirtmişlerdir.



Şekil 6.32 Şeftali dilimlerinin 38 W güçteki rehidrasyon kapasiteleri



Şekil 6.33 Şeftali dilimlerinin 62 W güçteki rehidrasyon kapasiteleri



Şekil 6.34 Şeftali dilimlerinin 88 W güçteki rehidrasyon kapasiteleri

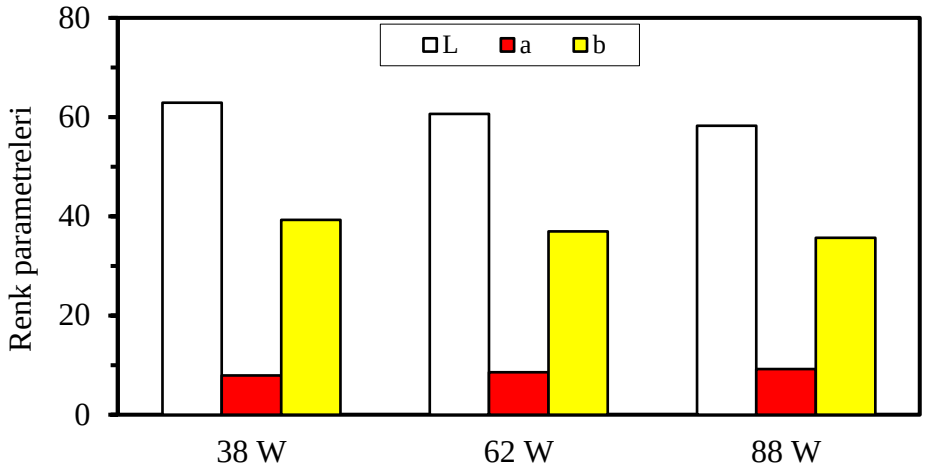
6.8.7 Renk Değerlerinin Değerlendirilmesi

Taze ve infrared kurutucu ile kurutulmuş şeftali dilimleri için renk parametreleri L, a, b, C ve ΔE ölçülmüş akabinde sonuçlar not edilmiştir. Tablo 6.16'de görüldüğü gibi ΔE değerleri 12,73 ile 26,85 arasında değişmektedir. En düşük değerin (en iyi değerin) ise 38 W güçte kurutulan Sitrik asit kodlu şeftali numunelerinde, en yüksek değerin 88 W gücünde Kontrol grubunda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca güç arttıkça ΔE değerinin de arttığı Tablo 6.16 incelendiğinde görülebilir. Canlılığı gösteren C değerinin infrared kurutucuda kurutulan şeftali örneklerinde 35,01 ve 43,43 değerleri arasında olduğu görülür. Buna göre infrared gücünün artmasıyla C değerinin yani canlılığın azaldığı sonucuna ulaşılabilir. En iyi sonuç ise 38 W gücünde kurutulan sitrik asit çözeltisi ile muamele edilip kurutulan şeftali dilimlerinde olduğu saptanmıştır.

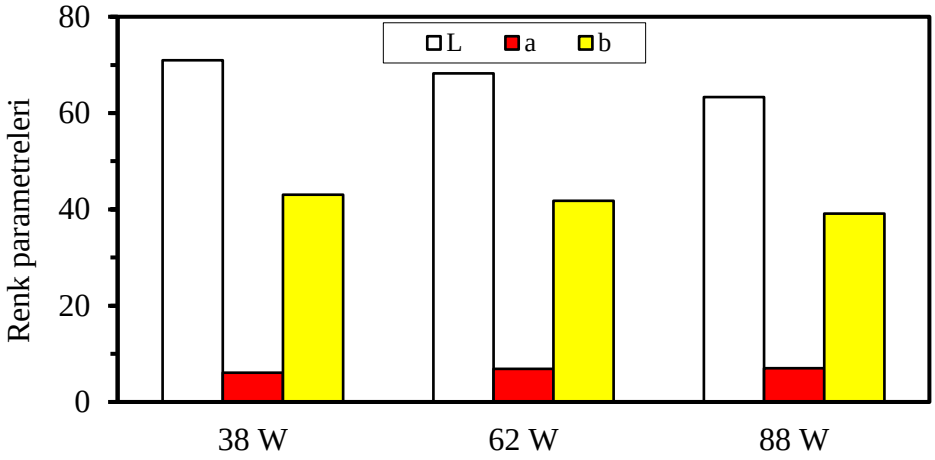
Tablo 6.16 Taze ve kurutulmuş şeftali numunelerinin farklı güçlerdeki ve ön işlemlerdeki renk parametreleri

Kod	Güç	L	a	b	C	ΔE
Taze	-	74,61	-6,12	43,4	43,82	-
Potas	38	62,9	7,94	39,26	40,05	18,76
	62	60,61	8,54	36,93	37,90	21,27
	88	58,26	9,23	35,66	36,83	23,72
Sitrik asit	38	70,97	6,08	43,01	43,43	12,73
	62	68,21	6,87	41,8	42,36	14,56
	88	63,29	7,03	39,13	39,75	17,86
Kontrol	38	61,11	8,84	36,22	37,28	21,39
	62	59,62	9,19	35,76	36,92	22,74
	88	56,17	10,63	33,36	35,01	26,85

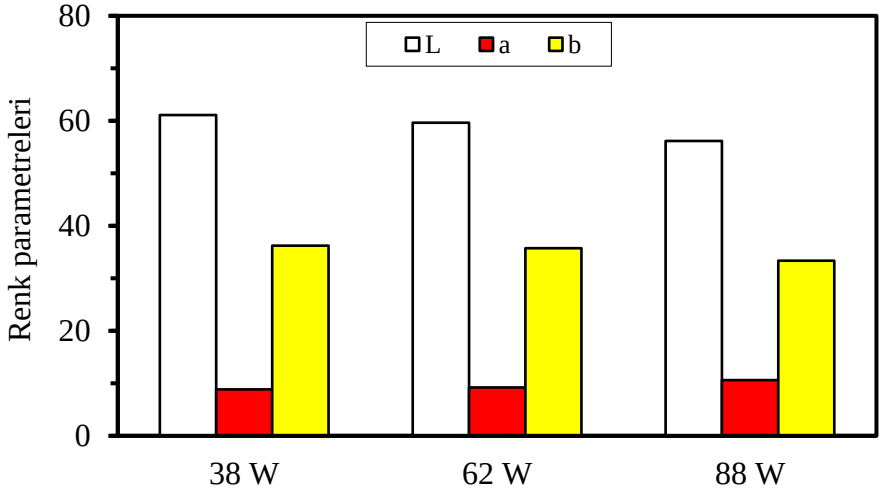
Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20'de farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan şeftali dilimlerinin sırasıyla Potas, Sitrik asit ve Kontrol koşullardaki renk parametreleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 6.35 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan Potas kodlu şeftali dilimlerinin renk değerleri



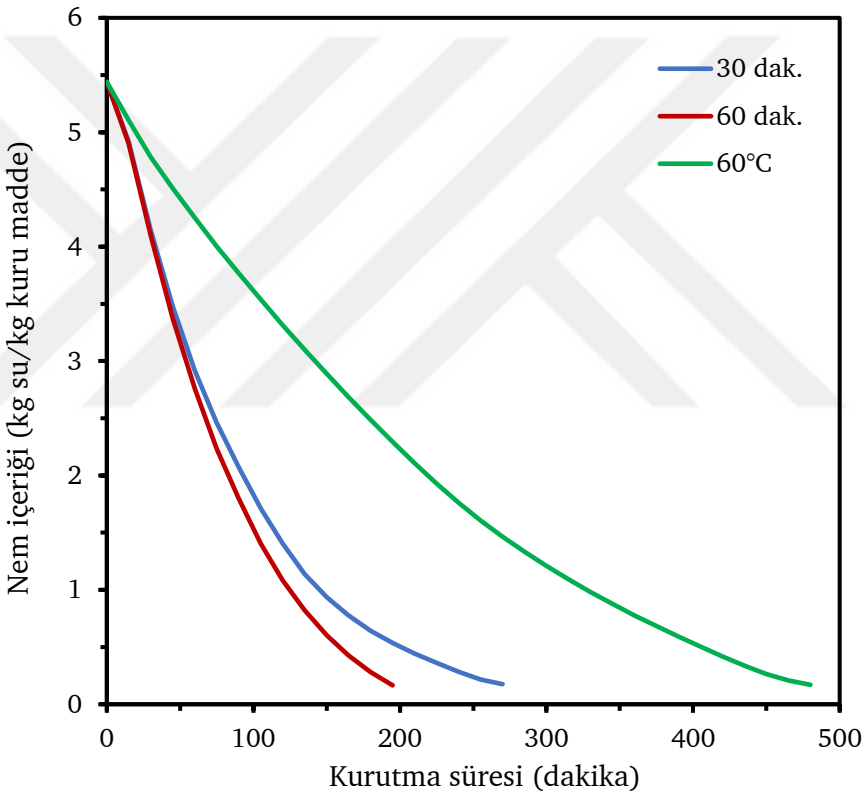
Şekil 6.36 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan Sitrik asit kodlu şeftali dilimlerinin renk değerleri



Şekil 6.37 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan Kontrol kodlu şeftali dilimlerinin renk değerleri

6.9 Kombine Kurutma

İnfrared ile sıcak hava kurutucularının birlikte kullanımının etkisini gözlemlemek için iki deney gerçekleştirilmiştir. İlk deneyde numuneler infrared kurutucuda 62 W gücünde 30 dakika kurutulup akabinde kurutma işlemine kabin kurutucuda 60°C sıcaklıkta devam etmiştir. Numunelerdeki nem seviyesi %15'e düşünce kurutma işlemine son verilmiştir. İkinci çalışmada ise infrared kurutucuda 62 W gücünde numuneler 60 dakika kurutulmuştur ve daha sonra 60°C'de kabin kurutucuda işleme devam edilmiştir. Şekil 6.38'de nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi elde edilen veriler ışığında verilmiştir.



Şekil 6.38 Şeftali numunelerinin kombine kurutmadaki nem miktarının kurutma süresi ile ilişkisi

Şekil 6.38 detaylı bir şekilde incelendiği zaman, kombine sisteminin (IR + Kabin kurutucu) etkinliğini irdelemek için 60°C'de kabin kurutucuda kurutulan şeftali dilimlerinin kurutma eğrisi de ilave edilmiştir. Şekil 6.38 incelenirse, infrared kurutucuda 62 W gücünde 30 ve 60 dakika kurutulup bir sonraki adıma 60°C'de kabin kurutucu kullanılarak kurutulan numunelerin kuruma zamanı sırasıyla 270 ve 195 dakikadır. Buna karşılık kabin kurutucuda ve 60°C'de kurutulan

numunelerin kurutma süresi 480 dakikadır. Bu verilerden hareket ederek şeftali dilimlerinin kombine kurutma sisteminde kurutulması sonucunda numunelerin kurutma sürelerinde büyük bir düşüş meydana gelmiştir. Kurutucu kapasitesinin arttırılması ile kurutuma hızının yükselmesine, bunun sonucu olarak kurutma sürelerinin düşmesine ve de ayrıca enerji tasarrufuna neden olur. Literatürde yapılan çalışmalar da benzer sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Abbaspour-Gilandeh vd. (2021) yaptıkları çalışmada, sıcak hava kurutucu ve infrared kurutucuyu kombine olarak kullanarak alıç meyvesini kurutmuşlar ve elde edilen sonuçlara göre kurutma süresinde önemli derecede bir düşüş gözlemlemişlerdir. Hebbar vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada kombine sistemi (sıcak hava kurutucu ve infrared kurutucuda) kullanarak patates ve havuç dilimleri kurutmuşlardır. Elde edilen verilerden kurutulan ürünlerin kurutma zamanında %48 azalma ve %63 daha enerji tüketimi sağladığı görülmüştür. Benzer şekilde Onwude vd. (2019) tarafında yapılan çalışmalarında ise patates dilimlerinin kurutma işlemi bir kombine sisteminde (infrared ve sıcak hava kurutucu) gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda patatesin kurutulması için en iyi yöntemin bu olduğunu sonucuna varmışlardır.

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üç değişik kurutma sisteminde yapılan kurutma işleminin şeftali dilimlerinin karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi yapılmıştır. Kurutma hızı, ön işlemlerin kurutmaya etkileri, total kurutma zamanı, efektif difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisindeki değişim bunların yanında elde edilen deneysel datalardan yararlanılarak modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak da, renk ve rehidrasyon kapasitesinin, kurutulan örneklerin kurutma koşullarının etkisiyle nasıl değiştiği incelenmiştir.

Yapılan bütün çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Kurutma sıcaklığı ve infrared güç seviyesinin artışıyla kurutma hızının arttığı ve kurutma zamanının azaldığı saptanmıştır.
- Farklı ön işlem çözeltileri uygulanarak (K_2CO_3 ve sitrik asit çözeltisi) kurutulan şeftali dilimlerinin diğer örneklere göre daha kısa sürede kuruduğu belirlenmiştir. Potasyum karbonat çözeltisi, sitrik asit çözeltisine göre şeftali kurutma sırasında daha etkili olduğu saptanmıştır.
- Midilli & Küçük kurutma modelinin şeftali dilimlerinin kuruma davranışını diğer modellerle kıyaslandığında daha iyi açıkladığı görülmüştür.
- Potasyum ve sitrik asit çözeltileri ile muamele edilip kurutulan 5 mm kalınlığındaki şeftali örneklerinin efektif difüzyon katsayıları, Kontrol kodlu numunelerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanında kurutma sıcaklığı ve infraredin güç seviyesinin artışıyla üç numunede de efektif difüzyon katsayısı değerleri artmıştır.
- Rehidrasyon kapasitesi verilerine göre potasyum karbonat çözeltisi ile ön işlem görerek kurutulan numunelerin diğer numunelerle kıyaslandığında rehidrasyon kapasitelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Hem kabin kurutucuda ve hem de infrared kurutucuda yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre kurutma sıcaklığı ve infrared gücünün artışıyla L ve b değerlerinde düşme, diğer taraftan a değerlerinde artma olmuştur. Taze şeftali dilimlerinin renk değerlerine en yakın renk

değerleri sitrik asit çözeltisi ile işlem görüp kurutulan örneklerde elde edilmiştir.

- Kuruma işlemi kombine kurutma sisteminde gerçekleşen numunelerin kuruma zamanı, yalnız kabin kurutucudakilerle karşılaştırıldığında daha küçük seviyelerde olduğu saptanmıştır.

KAYNAKÇA

Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., ve Aziz, M. (2021). Combined hot air, microwave, and infrared drying of hawthorn fruit: Effects of ultrasonic pretreatment on drying time, energy, qualitative, and bioactive compounds' properties. *Foods, 10*(5), 1006.

Akpınar, K.E. ve Biçer, Y. (2003). Siklon tipi konvektif bir kurutucuda patlıcan dilimlerinin kuruma kinetiğinin ampirik bağıntılarla açıklanması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, *2*, 28-36.

Alaei, B., ve Chayjan, R. A. (2015). Modelling of nectarine drying under near infrared vacuum conditions. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, *14*(1), 15-27.

Amini, G., Salehi, F., ve Rasouli, M. (2021). Color changes and drying kinetics modeling of basil seed mucilage during infrared drying process. *Information Processing in Agriculture*, *9*(3), 397-405.

Ashtiani, S. H. M., Salarikia, A., ve Golzarian, M. R. (2017). Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments. *Information Processing in Agriculture*, *4*(2), 128-139.

Ashtiani, S. H. M., Sturm, B., ve Nasirahmadi, A. (2018). Effects of hot-air and hybrid hot air-microwave drying on drying kinetics and textural quality of nectarine slices. *Heat and Mass Transfer*, *54*(4), 915-927.

Arruda, E. B., Façanha, J. M. F., Pires, L. N., Assis, A. J., ve Barrozo, M. A. S. (2009). Conventional and modified rotary dryer: Comparison of performance in fertilizer drying. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *48*(9), 1414-1418.

Bassey, E. J., Cheng, J. H., ve Sun, D. W. (2021). Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, *112*, 137-148.

Berk, Z. (2009). Food Process Engineering and Technology. Academic Press, New York, NY

Bhatta, S., Stevanovic Janezic, T., ve Ratti, C. (2020). Freeze-drying of plant-based foods. *Foods*, *9*(1), 87.

Cao, K., Zheng, Z., Wang, L., Liu, X., Zhu, G., Fang, W., ve Wang, J. (2014). Comparative population genomics reveals the domestication history of the peach, Prunus persica, and human influences on perennial fruit crops. *Genome Biology*, *15*(7), 1-15.

Çınar, İ. (2006). Gıda kurutma teknolojisinde matematik modellerin kullanımı. Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs 2006, Bolu.

Darvishi, H., Farhudi, Z., ve Behroozi-Khazaei, N. (2020). Multi-objective optimization of savory leaves drying in continuous infrared-hot air dryer by

response surface methodology and desirability function. *Computers and Electronics in Agriculture*, *168*, 105112.

Dasore, A., Konijeti, R., ve Puppala, N. (2019). Experimental investigation and mathematical modeling of convective drying kinetics of white radish. *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, *13*.21. DOI: 10.5098/hmt.13.21

Demiray, E. (2015). Havuç ve kırmızıbiberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması, kuruma karakteristiklerinin ve bazı kalite özelliklerindeki değişimin modellenmesi: Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Dermesonlouoglou, E. K., ve Giannakourou, M. C. (2019). Evaluation and modelling of osmotic pre-treatment of peach using alternative agents in a multiple-component solution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(3), 1240-1249.

Doymaz, I. (2014). Suitability of thin layer drying models for infrared drying of peach slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(6), 2232-2239.

Doymaz, İ., ve Aktaş, C. (2018). Determination of drying and rehydration characteristics of eggplant slices. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, *33*(3), 833-841.

Doymaz, İ., ve Bilici, B. (2014). Influence of citric acid pretreatment on drying of peach slices. *International Journal of Food Engineering*, *10*(4), 829-837.

Doymaz, İ., ve Karasu, S. (2018). Effect of air temperature on drying kinetics, colour changes and total phenolic content of sage leaves (*Salvia officinalis*). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *10*(3), 269-276.

Engindeniz, S., Cukur, F., ve Engindeniz, D. Y. (2008). Alternative opportunities for small farms: A case study on technical and economic analysis of peach growing in Turkey. *Journal of Agricultural & Food Information*, *5*(4), 47-58.

Erbay, B., ve Küçüköner, E. (2008). Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum, Türkiye, s. 1045-1048.

Fang, Z., ve Bhandari, B. (2012). Spray drying, freeze drying and related processes for food ingredient and nutraceutical encapsulation. In *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals* (pp. 73-109). Woodhead Publishing.

FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). (2022, Mayıs, 26). FAO İstatistikleri. https://www.fao.org/faostat/en/?#data/QCL

Gavhane, K. A. (2008). Mass transfer–ii. *Nirali Prakashan, Pune*.

Gavrielidou, M. A., Valous, N. A., Karapantsios, T. D., ve Raphaelides, S. N. (2002). Heat transport to a starch slurry gelatinizing between the drums of a double drum dryer. *Journal of Food Engineering*, *54*(1), 45-58.

Golisz, E., Jaros, M., ve Kalicka, M. (2013). Analysis of convectional drying process of peach. *Technical Sciences*, *16*(4), 333-343.

Güngör, A. ve Özbalta, N. (1997). *Endüstriyel kurutma sistemleri,* III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 737-747, İzmir.

Hayashi, H. (1989). Drying technologies of foods-their history and future. *Drying Technology*, *7*(2), 315-369.

Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. H., ve Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of food Engineering*, *65*(4), 557-563.

Heldman, D.R. (2003). *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*, New Jersey.

Heldman, D.R. ve Lund, D.B. (2007). *Handbook of Food Engineering*, pp. 601-663. CRC Press.

Hiu, Y. H. (Ed.). (2006). *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering,* CRC press.

Johnson, A. C., ve Al Mukhaini, E. M. (2016). Drying studies on peach and strawberry slices. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1), 1141654.

Karaaslan, S. (2012). Meyve ve sebzelerin mikrodalga destekli kurutma sistemleri ile kurutulması. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, *7*(2), 123-129.

Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantan, M. R., ve Ilyas, S. M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International journal of food science & technology*, *42*(1), 65-69.

Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B., ve Marinos-Kouris, D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, *59*(4), 391-403.

Lalas, S., Alibade, A., Bozinou, E., ve Makris, D. P. (2019). Drying optimisation to obtain carotenoid-enriched extracts from industrial peach processing waste (pomace). *Beverages*, *5*(3): 43.

Lee, J. H., ve Kim, H. J. (2009). Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(1), 180–186.

Liu, G. H., ve Yang, J. Y. (2018). Exploiting color volume and color difference for salient region detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, *28*(1), 6-16.

Maldonado, S., Arnau, E., ve Bertuzzi, M. A. (2010). Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. *Journal of Food Engineering*, *96*(3), 333-341.

Mengeş, H.O. ve Ertekin, C. (2007). Vişne kurutmada kurumanın çeşitli modellerle açıklanması, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *21*(42), 4-10.

Moropoulou, A., Karoglou, M., Giakoumaki, A., Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., ve Saravacos, G. D. (2005). Drying kinetics of some building materials. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *22*, 203-208.

Nielsen, S. S. (Ed.). 2015. *Food Analysis Laboratory Manual. New York*: Springer

Onwude, D. I., Hashim, N., Abdan, K., Janius, R., ve Chen, G. (2019). The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato. *Journal of Food Engineering*, *241*, 75-87.

Pathare, P. B., Opara, U. L., ve Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess technology*, *6*(1), 36-60.

Polat, A., Taşkın, O., ve Izli, N. (2021). Application of different drying techniques on peach puree. *Journal of Agricultural Sciences*, *27*(2), 211-218.

Punathil, L., ve Basak, T. (2016). Microwave processing of frozen and packaged food materials: Experimental. Reference Module in Food Science, Elsevier. ISBN 9780081005965. doi:10. 1016/B978-0-08-100596-5.21009-3.

Putra, R. N., ve Ajiwiguna, T. A. (2017). Influence of air temperature and velocity for drying process. *Procedia Engineering*, *170*, 516-519.

Rahman M.S. (Ed.). 2007. *Handbook of Food Preservation*. New York, pp.180-724.

Rojas, M. L., Silveira, I., ve Augusto, P. E. (2019). Improving the infrared drying and rehydration of potato slices using simple approaches: Perforations and ethanol. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(5), e13089.

Roknul Azam, S. M., Zhang, M., Law, C. L., ve Mujumdar, A. S. (2019). Effects of drying methods on quality attributes of peach (*Prunus persica*) leather. *Drying Technology*, *37*(3), 341-351.

Salehi, F., ve Satorabi, M. (2021). Infrared drying kinetics of coated peach slices with basil seed and xanthan gums. *Latin American Applied Research*, *51*(3), 173-178.

Sanjuán, N., Lozano, M., García-Pascual, P., ve Mulet, A. (2003). Dehydration kinetics of red pepper (*Capsicum annuum* L var Jaranda). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *83*, 697-701.

Soysal, F., ve İsmail, O. (2017). Investigation of the effect of temperature and pretreatment on the rehydration capacities of dried nectarine slices. *Acta Scientiarum. Technology*, *39*(05), 551-558.

Sudheer, K. P., ve Indira, V. (2007). *Post Harvest Technology of Horticultural Crops*. New India Publishing.

Tan, S., Miao, Y., Zhou, C., Luo, Y., Lin, Z., Xie, R., ve Li, W. (2022). Effects of hot air drying on drying kinetics and anthocyanin degradation of blood-flesh peach. *Foods*, *11*(11), 1596.

Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü. (2022, Mayıs, 26) Tarım Ürünleri Piyasa Raporu. http://www.turkomp.gov.tr/food-seftali-j-hale-cesidi-505

T.C Milli Eğitim Bakanlığı. (2022, Nisan, 23). Meyveleri Kurutma. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Meyveleri%20Kurutma.pdf

Tomar, V., Tiwari, G., ve Norton, B. (2017). Solar dryers for tropical food preservation: Thermophysics of crops, systems and components. *Solar Energy*, *154*, 2-13.

Top, V., Tontul, İ., ve Türker, S. (2019). Use of solar energy assisted drying methods in the food industry. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(8), 1100-1112.

Ullah, F., Hasrat, K., Iqbal, S., Hussain, I., Hussain, A., ve Mumtaz, Y. (2021). An approach to evaluate dehydration of apples (*Malus domestica* L) with the effect of temperature and time interval under the response surface method. *International Journal of Fruit Science*, *21*(1), 657-669.

Vural, H., ve ÇakanN, V. A. (2021). Türkiye şeftali piyasasının ekonomik analizi ve pazarlama marjları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, *24*(2), 379-387.

Yamchi, A. A., Yeganeh, R., ve Kouchakzadeh, A. (2022). Effect of ultrasonic pretreatment on drying kinetics and physio-mechanical characteristics of peach slices. *Journal of Food Process Engineering, 45*(8): e14053.

Zarein, M., Samadi, S. H., ve Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47.

Zhou, M., Li, C., Bi, J., Jin, X., Lyu, J., ve Li, X. (2019). Towards understanding the enhancement of moisture diffusion during intermediate-infrared drying of peach pomace based on the glass transition theory. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 54, 143-151.

Zhu, A., ve Shen, X. (2014). The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *72*, 345-351.

Zogzas, N. P., ve Maroulis, Z. B. (1996). Effective moisture diffusivity estimation from drying data. A comparison between various methods of analysis. *Drying Technology*, *14*(7-8), 1543-1573.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirisi

1. Bicakli, E. ve Doymaz, İ. (2022). “Experimental Investigation of Drying and Modelling of Peach Slices”, 2nd Global Conference on Engineering Research (GLOBCER’22), September 7-11, Online.