T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİRAZIN FARKLI KURUTUCULARDA KURUTULMASI VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

NAME SARIKULAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. İBRAHİM DOYMAZ

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİRAZIN FARKLI KURUTUCULARDA KURUTULMASI VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Name SARIKULAK tarafından hazırlanan tez çalışması 14.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Murat ÖZDEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Osman İSMAİL

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının deneysel çalışma kısmı ve yazım kısmı da dahil olmak üzere her aşamasında hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, her zaman ulaşılabilir ve iletişim kurulabilir olan, çalışma sırasındaki bütün sorunların kolaylık aşılması için büyük çaba sarf eden değerli hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca her koşulda yanımda olan ve bana varlıklarıyla güç veren annem Özlem ORMANOĞLU, babam Dindar ORMANOĞLU, kardeşlerim Hüsna ORMANOĞLU ve Osman ORMANOĞLU'na ve hayatın her aşamasında olduğu gibi bu çalışma süresince de maddi, manevi tüm desteğiyle yanımda olan eşim Özgün SARIKULAK'a sevgilerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Mayıs, 2017

Name SARIKULAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 9
1.3 Hipotez 9

BÖLÜM 2

GIDA KURUTMA VE KURUTUCULAR 11

2.1 Gıda Muhafaza Yöntemleri 11
2.2 Kurutma 13
2.3 Matematiksel Modelleme 18
2.4 Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemler 19
2.5 Kurutucu Türleri 21
2.5.1 Solar Kurutucular 21
2.5.2 Hava Üflemeli Kurutucular 22
2.5.3 Döner Kurutucular 25
2.5.4 Vakum Kurutucular 26
2.5.5 Mikrodalga Kurutucular 27

2.5.6 Dondurarak Kurutma Yapan Kurutucular 27
2.5.7 Kızılötesi Kurutucular 28

BÖLÜM 3

KİRAZ VE KİRAZIN KURUTULMASI 30

3.1 Kiraz Meyvesi 30
3.2 Kiraz Üretimi ve Türleri 31
3.3 Kirazın Kurutulması 34

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM 36

4.1 Materyal 36
4.1.1 Hammadde 36
4.1.2 Araç ve Gereçler 37
4.2 Yöntemler 40
4.2.1 Kuru Madde Tayini 40
4.2.2 Kurutma Çalışmaları 40
4.2.3 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi ve Veri Analizi 42
4.2.4 Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 44
4.2.5 Renk Analizi 45

BÖLÜM 5

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 46

5.1 Sıcak Havalı Kabin Kurutucudan Elde Edilen Bulgular 46
5.1.1 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Süresine Etkisi 46
5.1.2 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Hızına Etkisi 49
5.1.3 Ön İşlem Süresinin Kurutma Hızına ve Kurutma Süresine Etkisi 52
5.1.4 Ön İşlem Çözeltisinin Derişiminin Kurutma Hızına ve Kurutma Süresine Etkisi 54
5.1.5 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi 56
5.1.6 Difüzyon Katsayısının Hesaplanması 63
5.1.7 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 64
5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucudan Elde Edilen Bulgular 66
5.2.1 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Süresine Etkisi 66
5.2.2 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Hızına Etkisi 69
5.3 Kombine Kurutmanın (Kızılötesi + Sıcak Hava) Kurutma Süresine Etkisi 71
5.4 Farklı Kurutucularda Kurutulan Kirazın Renk Analizi 72

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 78

KAYNAKLAR 80

ÖZGEÇMİŞ 85

SİMGE LİSTESİ

a_w	Su aktivitesi
D_{eff}	Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s)
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
M	Nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde)
M_0	t=0 anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_t	t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
MR	Ayrılabilir nem oranı
MR_{exp}	Deneysel nem oranı
MR_{pre}	Tahmini nem oranı
N	Deneysel gözlem sayısı
n	Kullanılan kurutma modelindeki sabitlerin sayısı
p	Ürün içerisindeki suyun buhar basıncı
p_0	Saf suyun buhar basıncı
r	Çap (m)
R	Gaz sabiti (kJ/(mol. K))
R^2	Determinasyon katsayısı
RMSE	Hataların ortalama karekökü
T	Kurutma sıcaklığı (°C)
t	Zaman (dak)
χ^2	Ki-kare değeri

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AEEO	Alkaline Emulsion Of Ethyl Oleate (Etil oleat alkali çözeltisi)
ANN	Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağı)
CIE	International Commission Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
FDA	US Food and Drug Administration (Amerika Gıda ve İlaç Dairesi)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kuruma eğrilerinin temel özellikleri 14
Şekil 2.2 Solar kurutucu 22
Şekil 2.3 Kabin kurutucu 23
Şekil 2.4 Tünel kurutucu 24
Şekil 2.5 Sürekli bant kurutucu 24
Şekil 2.6 Püskürtmeli kurutucu 25
Şekil 2.7 Akışkan yataklı kurutucu 25
Şekil 2.8 Döner kurutucu 26
Şekil 2.9 Vakumlu kurutucu 26
Şekil 2.10 Mikrodalga kurutucu 27
Şekil 2.11 Dondurarak kurutma yapan kurutucu 28
Şekil 3.1 Kiraz ağacı 32
Şekil 4.1 Kurutma işleminde kullanılan kiraz meyvesi 36
Şekil 4.2 Kızılötesi kurutucu (solda) ve kabin kurutucu (sağda) 37
Şekil 4.3 Tartım Cihazları 38
Şekil 4.4 Etüv Cihazı 38
Şekil 4.5 Anemometre 39
Şekil 4.6 Kromametre (Renkölçer) 39
Şekil 4.7 Kurutulup paketlenmiş kiraz örnekleri 42
Şekil 4.8 "L*", "a*" ve "b*" değerlerini gösterir renk skalası 45
Şekil 5.1 60°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği 47
Şekil 5.2 65°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği 48
Şekil 5.3 70°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği 48
Şekil 5.4 75°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği 49
Şekil 5.5 60°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği 50
Şekil 5.6 65°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği 51
Şekil 5.7 70°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği 51
Şekil 5.8 75°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği 52
Şekil 5.9 Farklı ön işlem süreleri uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği 53
Şekil 5.10 Farklı ön işlem süreleri uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait kurutma hızı-nem içeriği grafiği 54

Şekil 5.11 Farklı derişimlerde ön işlem uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği 55
Şekil 5.12 Farklı derişimlerde ön işlem uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait kurutma hızı-nem içeriği grafiği 56
Şekil 5.13 60°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması 61
Şekil 5.14 65°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması 61
Şekil 5.15 70°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması 62
Şekil 5.16 75°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması 62
Şekil 5.17 Deneysel olarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazların etkin difüzyon katsayıları 63
Şekil 5.18 Aktivasyon enerjisinin tahmini için etkin difüzivite ile mutlak sıcaklık arasındaki Arrhenius tipi ilişki 65
Şekil 5.19 75 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği 67
Şekil 5.20 88 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği 68
Şekil 5.21 104 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği 68
Şekil 5.22 75 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği 69
Şekil 5.23 88 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği 70
Şekil 5.24 104 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği 70
Şekil 5.25 Önce 88 W güç seviyesinde kızılötesi kurutucuda farklı sürelerde (1, 2 ve 3 saat) kurutulan kirazların daha sonra 60°C kabin kurutucuda kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği 71
Şekil 5.26 Potas çözeltisine daldırılarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazlarının renk analizi grafiği 73
Şekil 5.27 NaOH çözeltisine daldırılarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazların renk analizi grafiği 75
Şekil 5.28 Ön işlem uygulanmadan sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazlarının renk analizi grafiği 74
Şekil 5.29 Potas çözeltisine daldırılarak kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan kirazların renk analizi grafiği 75
Şekil 5.30 NaOH çözeltisine daldırılarak kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan kirazların renk analizi grafiği 75

Şekil 5.31 Ön işlem uygulanmadan kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan kirazların renk analizi grafiği 76

,

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Bir adet kirazın besin değerleri (8,2 gram) 31
Çizelge 3.2 Dünyada kiraz ve vişne üretimi (2010-2016 yılları arasında) 32
Çizelge 4.1 Kiraz örneklerinin kurutma kinetiklerinin matematiksel modellemesi için kullanılan kurutma modelleri 43
Çizelge 5.1 Farklı sıcaklıkta ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazların toplam kurutma süreleri 46
Çizelge 5.2 60°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları 57
Çizelge 5.3 65°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları 58
Çizelge 5.4 70°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları 59
Çizelge 5.5 75°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları 60
Çizelge 5.6 Literatürde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş farklı meyvelerin difüzyon katsayıları 64
Çizelge 5.7 Literatürde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş farklı meyvelerin aktivasyon enerjileri 66
Çizelge 5.8 Farklı güç seviyelerinde ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazların toplam kurutma süreleri 66

ÖZET

KİRAZIN FARKLI KURUTUCULARDA KURUTULMASI VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Name SARIKULAK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Son yıllarda dünyadaki toplam kiraz ve vişne üretim verileri dikkate alındığında; Türkiye'nin kiraz ve vişne üretiminde lider üreticilerden biri konumunda olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, üretim miktarı açısından ülkemiz için önemli olan bu meyvenin hasat edilip tüketilinceye kadar muhafaza edilmesi için en yaygın metotlardan biri olan kurutma yönteminin kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiş ve kiraz meyvesinin farklı kurutucularda kuruma davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Kirazların kurutulması için biri sıcak havalı kabin kurutucu diğeri kızılötesi kurutucu olmak üzere iki farklı kurutucu kullanılmıştır. Kirazlar sabit hızda (2 m/s) ve dört farklı sıcaklıkta (60, 65, 70 ve 75°C) bir kabin kurutucuda ve üç farklı güç seviyesinde (75, 88 ve 104 W) bir kızılötesi kurutucuda ön işlem uygulanmadan ve ön işlem uygulanarak (NaOH veya potas çözeltisi) kurutulmuştur. Uygulanan ön işlemlerin kurutma hızına ve süresine etkileri araştırılmıştır. Kurutma sıcaklığı ve kurutma güç seviyesi arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Potas çözeltisi ve NaOH çözeltisinin ön işlem olarak uygulandığı kurutma işlemleri incelendiğinde potas çözeltisi ile ön işlem yapılan örneklerin kurutma sürelerinin diğer örneklere göre daha kısa sürede kurudukları; en uzun kurutma süresinin de ön işlem uygulanmamış olan natürel kirazlarda olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, ön işlem süresi (1-4 dakika arasında) ve ön işlem derişimi (%2-5 arasında) değiştirilerek sıcak havalı kabin kurutucuda kurutma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre ön işlem süresi ve derişimi arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kombine kurutmanın etkisini incelemek için ön işlem uygulanmayan kirazların kızılötesi kurutucuda 1, 2 ve 3 saat kurutulduktan sonra kurutma işlemine sıcak hava ile kabin kurutucuda devam edilmiştir. Neticede, kızılötesi ile kurutma süresi arttıkça, toplam kurutma süresinin %20-30 arasında azaldığı görülmüştür.

İki farklı kurutucuda kurutulan kirazların renk analizi yapıldığında; "L*" parametresinin, kurutma sıcaklığı ve kızılötesi kurutucunun güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile rengin koyulaştığı gözlenmektedir. "a*" parametresinin de aynı şekilde kurutma sıcaklığı ve güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile kırmızılığının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca taze kiraz ile kurutulan kirazların renk parametreleri kıyaslandığında kurutulan kirazların renk parametrelerinin azaldığı yani rengin koyulaştığı gözlenmiştir. Aynı sıcaklıklarda farklı ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların renk parametreleri arasında çok ciddi farklar olmadığı özellikle düşük sıcaklıklar ve güç seviyelerinde belirgindir. Yine de ön işlem açısından değerlendirildiğinde, potas ile ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların en çok karardığı; en az kararanların ise ön işlem uygulanmayan kirazlar olduğu tespit edilmiştir.

Sıcak havalı kabin kurutucuda yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen kurutma eğrileri, Lewis, Page, Henderson&Pabis, Midilli vd., logaritmik ve Aghbashlo vd. kurutma modellerine uyarlanmıştır. Kurutulan kirazların kurutma eğrilerinin kurutma modeli olarak Midilli vd. modeli seçilmiştir. Kirazların etkin nem difüziviteleri $5{,}496\times10^{-10}$ m^2/s ile $1{,}649\times10^{-9}$ m^2/s arasında; aktivasyon enerji değerleri 26,05-45,86 kJ/mol arasında hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aktivasyon enerjisi, difüzyon katsayısı, kabin kurutucu, kızılötesi, kiraz, kombine kurutma, kurutma, matematiksel modelleme, ön işlem, potasyum karbonat, renk analizi, sodyum hidroksit, zeytinyağı

ABSTRACT

DRYING OF SWEET CHERRY IN DIFFERENT DRYERS AND DETERMINATION OF QUALITY PARAMETERS

Name SARIKULAK

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

In recent years, Turkey is one of the leader countries around the world when the total production of sweet cherry and sour cherry is considered. In this research; drying, which is the most common preservation method, is used for protection of fresh sweet cherries. Dehydration characteristics of sweet cherries are observed for different dryers.

A hot air cabinet dryer and an infrared dryer are used for drying of sweet cherries. Sweet cherries with pretreatment of alkali solutions (NaOH or potas solution) or without pretreatment are dehydrated at constant hot air velocity (2 m/s) and four different drying temperature level (60, 65, 70 and 75°C) in the cabinet dryer. In addition, sweet cherries with pretreatment of alkali solutions or without pretreatment are dehydrated at three different infrared power level (75, 88 and 104 W) in the infrared dryer. The effect of pretreatments on drying time and drying rate is studied. According to experiments, when the level of air temperature or the infrared power increases, drying time decreases. The sweet cherries pretreated with potas solution dried more quickly than the sweet cherries pretreated with NaOH solution. The unpretreated sweet cherries have the longest drying time.

The effect of pretreatment time (1-4 minute) and pretreatment concentration (2-5%) on the drying time is studied with potas solution. It is concluded that while the

pretreatment time and pretreatment concentration increases, the drying time decreases.

The infrared dryer is combined with hot air dryer for examine the effect of infrared drying on hot air drying. Therefore, the sweet cherries had dried with 1, 2 or 3 hour in infrared dryer, after that these cherries dried in hot air cabinet dryer till the moisture content in the cherry would meet the requirement of experiment. According to this experiment, it is investigated that drying with infrared dryer reduces total drying time by 20-30%.

To carry out the colorimetric analysis, “L*”, “a*” and “b*” color space is used. When the drying temperature of cabinet dryer or power level of infrared dryer increases; the parameter "L*" decreases so it means that the darkness of fruit increases, also the parameter "a*" decreases so it means that the red color of fruit decreases. Therefore, dried cherries have darker color than fresh cherries. Pretreatment doesn’t affect the color of sweet cherries at lower temperature and power levels, on the other hand pretreated cherries with potas solution have the darkest color and unpretreated samples have the lightest color.

The drying curves, which are obtained by the drying experiments in the hot air cabinet dryer, were fitted Lewis, Page, Henderson&Pabis, Midilli et al, logarithmic and Aghbashlo et al models. The drying model is chosen as Midilli et al for sweet cherries according to calculations. The effective diffusion coefficient of sweet cherries is calculated between $5{,}496\times10^{-10}$ m^2/s and $1{,}649\times10^{-9}$ m^2/s, and also the activation energy of sweet cherries is calculated between 26,05 and 45,86 kJ/mol.

Keywords: Activation energy, cabinet dryer, color analysis, combined drying, diffusion coefficient, drying, infrared, mathematical modeling, olive oil, potassium carbonate, pretreatment, sodium hydroxide, sweet cherry

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kurutma, gıda endüstrisinde en çok kullanılan en eski fiziksel muhafaza yöntemlerinden biridir. Kurutma, gıdaların su içeriğini azaltarak, su aktivitesini düşürmek ve böylece biyokimyasal, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmaları önlemek amacıyla endüstriyel ölçekte uygulanan bir muhafaza yöntemidir [1].

Bitkiler âleminin tohumlu bitkiler bölümü kapalı tohumlular alt bölümü Rosales takımı, Rosaceae familyası, Prunoideae alt familyası ve Prunus cinsi olan [2] kiraz meyvesinin bu çalışmada farklı kurutucularda farklı ön işlemler uygulanarak kurutulması ve kurutulan kirazın kalite parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Ön işlem yapılarak kurutma, sıcak hava ile kurutma, kızılötesi kurutma ile kirazın ve kiraza benzer meyvelerin kurutulmasına ilişkin literatürde yapılmış farklı çalışmalar aşağıda derlenmiştir:

Elrashid ve Iqbal [3] çalışmalarında, Türkiye'de yetişen Allahdiyen (Salihli) kirazının (*Prunus avium* L.) kurutma koşullarını incelemişlerdir. Kurutma koşullarının etkisi kirazlar kurutulmadan önce; %2'lik $Na_2S_2O_5$ çözeltisine yedi dakika daldırılarak veya 90°C'de %0,5'lik K_2CO_3 çözeltisine bir dakika daldırılarak incelenmiştir. Ön işlem yapılmış örnekler, işlem uygulanmamış örneklerle karşılaştırılmıştır. Tüm örneklerin ilk nem içerikleri 5,4528 g H_2O/g kuru madde olarak ayarlanmıştır. Son nem içerikleri kontrol örneği için 0,5254 g H_2O/g kuru madde, $Na_2S_2O_5$ çözeltisi ile muamele edilmiş örnek için 0,7796 g H_2O/g kuru madde ve K_2CO_3 çözeltisi ile muamele edilmiş örnek için 0,6102 g H_2O/g kuru maddedir. Kurutulmuş örneklerin toplam çözülmüş katı madde

miktarı; kontrol örneği için %66,9, $Na_2S_2O_5$ çözeltisi ile muamele edilmiş örnek için %63,3 ve K_2CO_3 çözeltisi ile muamele edilmiş örnek için %60,3'tür. Askorbik asit konsantrasyonunda azalma gözlenmiştir. $Na_2S_2O_5$ çözeltisi ile muamele edilmiş örnekten alınan antosiyanin ekstraktının optik yoğunluk değerlerinde kontrol örnekleri ve K_2CO_3 çözeltisi ile muamele edilmiş örneklere göre bir artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar fiziksel ve kimyasal olarak işlem görmüş ve işlem görmemiş örnekler arasında çok ciddi bir fark olmadığını göstermiştir.

Nowak ve Lewicki [4] çalışmalarında, laboratuvar ölçekli kurutucuyu kızılötesi enerjiyle veya konveksiyon yoluyla kurutma yapılması için tasarlamışlardır. 1200 nm dalga boyunda yakın kızılötesi radyatörleri kullanılmıştır. Kızılötesi kurutucunun enerji verimi %35-45 arasındadır. Elma dilimleri kızılötesi enerji ve konveksiyon yoluyla eşit şartlar altında kurutulmuştur. Kızılötesi kurutma kinetiğinin kızılötesi kaynağı ile elma yüzeyi arasındaki mesafeye ve havanın hızına bağlı olduğu gözlenmiştir. Kurutma kinetiğinin mesafe ve hava hızı ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Suyun buharlaşmasının elmanın iki yüzeyinden de gerçekleştiği gözlenmiştir. Ancak, kızılötesi kaynağının oluşturduğu ısının temas ettiği yüzeyden buharlaşan su, ısıyla temas etmeyen yüzeye göre daha fazladır. Kurumanın son aşamasında elmanın alt ve üst yüzeyinden buharlaşan suyun akısı arasında bir fark gözlenmemiştir. Eşit koşullarda gerçekleştirilen kızılötesi kurutma ve konveksiyon ile kurutma karşılaştırıldığında, kızılötesi enerji ile kurutma süresinin %50 azaldığı söylenebilir.

Hebbar vd. [5] çalışmalarında, elektromanyetik radyasyon ve sıcak havanın birlikte kullanılmasının gıdanın işlenmesi sürecine bir hız kazandırdığını gözlemlemişlerdir. Sebzelerin kurutulması için kızılötesi enerji ve sıcak hava birlikte kullanılmıştır. Konveyör kurutucu sisteminde orta ışınımlı kızılötesi ısıtıcılar kullanılmıştır. Bu kurutucuda konvektif ısıtma modunda sıcak hava sirkülâsyonu sağlanmıştır. Bu sistem kızılötesi ile sıcak hava ile ya da bu ikisinin kombinasyonu şeklinde de çalışabilir şekilde tasarlanmıştır. Performans değerlendirme çalışmaları sonucu, havuç ve patatesin kombinasyonla 80°C'de ve 1 m/s hava hızında kurutulması sonucu, kurutma süresinin %48 azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kombinasyonla kurutmanın sıcak hava ile kurutmaya göre %63 daha az enerji harcadığı saptanmıştır. Kombinasyon ile kurutmanın kızılötesi ile kurutmadan daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Havuç

ve patates kurutulurken kurutucunun enerji kullanma veriminin yaklaşık %38 olduğu hesaplanmıştır.

Erentürk vd. [6] çalışmalarında, hava sıcaklığının, hızının ve neminin kuşburnunun ince tabaka olarak kurutulmasına etkisini incelemişlerdir. Laboratuvar ölçekli hava kurutucu kurutma deneyleri için kullanılmıştır. Hava sıcaklığı 50–80°C, hava hızı 1,67–3,10 m/s ve hava nemi 0,005–0,08 kg su buhar/kg kuru hava olarak belirlenmiştir. Altı farklı matematiksel model deneysel veriye uygulanmıştır. Altı farklı modelin değerlendirilmesi sonucu logaritmik modelin diğer modellerden daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Toğrul [7] çalışmasında, elma dilimlerinin kurutma hızına, kurutma sıcaklığının etkisini farklı sıcaklıklar kullanarak incelemiştir. Kurutma sıcaklığı 50°C'den 80°C'ye çıkarıldığında kurutma hızının ikiye katlandığı gözlenmiştir. Deneysel veri farklı kurutma modellerine uygulanmıştır (Newton, Page, modifiye Page, Wang&Singh, Henderson&Pabis, logaritmik, difüzyon yaklaşımı, basitleştirilmiş Fick's difüzyon SFFD denklemi, modifiye Page denklemi-II ve Midilli vd. denklemi). Tüm sıcaklıklarda kurutma karakteristiğini göstermesi açısından en uygun modelin Midilli vd. modeli olduğu bulunmuştur. Elmanın kızılötesi ile kurutulmasının sıcaklık-zaman bağlantısını tanımlamak için altmışaltı farklı model denklemi türetilmiştir. Kurutmanın sıcaklık-zaman bağlantısını tanımlayan teorik modeller deneysel verilere uygulanmıştır. Denklemlerdeki model parametreler 50–80°C sıcaklıklarında çoklu regresyon analiziyle belirlenmiştir.

Abdelhaq ve Labuza [8] çalışmalarında, kayısı kurutulmasının optimizasyonu için 4 farklı ön işlem uygulamışlardır. (1) ağartma; (2) kükürtleme-ağartma; (3) ağartma-kükürtleme; (4) %50 neme kadar kükürtleme sonrasında kuruyana kadar ağartma yapılmıştır. Kurutma işlemi; 0-2000 ppm SO_2 kükürtleme seviyeleri arasında ve 50 ile 80°C sıcaklıkları arasında gerçekleştirilmiştir. Kurutulmuş kayısının kalitesi kayısıdaki koyulaşmanın genişlemesine ve sertliğine göre değerlendirilmiştir. 80-1000 ppm SO_2 ile yapılan kükürtleme sonucu yapılan kurutma deneylerinde tüm sıcaklıklar için en iyi sonuçları vermiştir. 80°C'de kurutulan kayısılar 50°C'de kurutulanlarla kıyaslandığında kurutma süresinin %50 azaldığı görülmüştür. Ağartmanın da %10-20 arasında kurutma

süresini azalttığı saptanmıştır. SO_2'nin kaybolması tüm deneyler için %50'den fazla olarak bulunmuştur.

Saçılık ve Eliçin [9] çalışmalarında, kalınlığı 5 ve 9 mm olan organik elma dilimlerini kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklığı 40-60°C arasında olan sıcak havalı konvektif bir kurutucu kullanılmıştır. Sıcak hava sıcaklığının ve dilim kalınlığının kurutma karakteristiğine ve kurutulmuş elmanın kalitesine etkisi araştırılmıştır. Bu kurutma koşullarında 240-260 dakika sonunda elma dilimlerinin çok iyi kuruduğu gözlenmiştir. Suyun dehidrasyonla uzaklaşması Fick'in difüzyon modeliyle açıklanmış ve etkin difüzyon katsayısı değerleri $2{,}27 \times 10^{-10}$ ve $4{,}97 \times 10^{-10}$ m^2/s arasında bulunmuştur. 10 farklı ince tabaka kurutma modeli deneysel verilere uygulanmıştır. Logaritmik model deneysel veriyle en iyi uyumu göstermiştir.

Ochoa vd. [10] çalışmalarında, bütün kiraz tanelerini 55-80°C sıcaklık aralığında, 0,1-5 m/s hava hızında ve %5 ile %50 bağıl nemdeki ısıtılmış hava ile kurutmuşlardır. Piknometrik teknikler ile hacim değişimleri ve geometrik ölçümler ile yüzey alanın ölçümleri yapılmış olup, yapılan geometrik ölçümler mikrometre ile yapılmıştır. Hacim ve yüzey alanı değişiklerinin kurutma işlemini etkileyen değişkenlere bağlı olmadığı gözlenmiştir. Kurutulmuş meyvelerde hacim değişimi ve nem içeriği arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir.

Koyuncu vd. [11] çalışmalarında, kızılcığın kurutma kinetiğini ve enerji ihtiyacını incelemişlerdir. Kızılcık paralel akışlı tünel kurutucuda kurutulmuştur. Taze hasat edilmiş kızılcıklar 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda ve 0,3-0,6-0,9 m/s hava hızlarında kurutulmuştur. Kızılcıklar %233 (kuru baz) ilk nem içeriğinden %8 son nem içeriğine gelene kadar kurutulmuştur. Deneyler sonucunda, kurutma sıcaklığının kurutma süresini önemli ölçüde değiştirdiği ve ayrıca hava hızının toplam enerji ihtiyacını etkilediği gözlenmiştir. Diğer taraftan, hava hızının toplam enerji ihtiyacına etkisinin daha az olduğu gözlenmiştir. Kızılcığın kurutulması için gerekli toplam enerji ihtiyacı sırasıyla 70°C ve 0,3 m/s için 11,57 kWh/kg, 50°C ve 0,9 m/s için 39,55 kWh/kg olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, enerji tüketimini azaltmak için hava hızının tüm sıcaklıklarda 0,3 m/s'den daha fazla olmaması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, bu çalışma için ideal çalışma sıcaklığının 70°C olduğu bulunmuştur.

Mabellini vd. [12] çalışmalarında, kurutma eğrilerini taze kiraz meyvesi için deneysel olarak çizmişlerdir. Havanın sıcaklığı 50, 60, 70 ve 80°C, havanın nemi %5 ve %50 olarak, havanın hızı da 1, 2, 3 ve 5 m/s olarak ayarlanmıştır. Katı parçacıklar içerisinden suyun difüzyonu için kısa süreli analitik ve tahmin edilebilir yeni bir model önerilmiştir. Bu model kullanılarak kirazların içerisindeki suyun difüzyon katsayısı $6,814\times10^{-11}$ (50°C) ve $3,474\times10^{-10}$ (80°C) m^2/s arasında hesaplanmıştır. Difüzyon katsayısı ile sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tipi bir eşitlik kullanılarak bulunmuştur.

Aghbashlo vd. [13] çalışmalarında, hava sıcaklığı ve hava hızının vişnenin kurutma kinetiklerine etkisini laboratuvar ölçekli bir kurutucu kullanarak 60, 70 ve 80°C hava sıcaklığı ve 0,3-0,6-0,9 m/s hava hızlarında incelemişlerdir. MATLAB bilgisayar programı kullanılarak deneysel veriler Weibull dağılım modeline uyarlanmıştır ve bu modelin nem oranını tahmin etmek için uygun olduğu görülmüştür. Vişnenin etkin nem difüzivite değerlerinin $3,46\times10^{-9}$ -$13,08\times10^{-9}$ m^2/s ve aktivasyon enerjisinin ise 64,39–66,05 kJ/mol arasında değiştiği bulunmuştur. 70°C ve 0,3 m/s'de kurutulmuş örneklerin rehidrasyon kapasitesinin diğer örneklere göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Doymaz ve İsmail [14] çalışmalarında, etil oleat alkali emülsiyon çözeltisinin ve hava sıcaklığının (60, 70 ve 75°C) kirazın kurutma karakteristiği üzerine etkisini incelemişlerdir. Hem etil oleat alkali emülsiyon çözeltisinin hem de hava sıcaklığının kurutma süresini etkilediği gözlenmiştir. Ön işlem görmüş örneklerin kurutma süreleri kontrol örneklerinin kurutma süresine göre %19,5–22,6 kadar daha kısadır. Beş adet yarı-teorik ince tabaka modelinden Lewis, Henderson&Pabis, logaritmik, Page, Wang&Singh modeli kurutma kinetiğini modellemek için kullanılmıştır. Deneysel olarak bulunan değerler ile hesaplanarak bulunan değerler karşılaştırıldığında, Page modelinin diğer modellerden daha üstün olduğu görülmüştür. Etkin nem difüzivitesi Fick'in ikinci yasası kullanılarak hesaplanmış olup, ön işlem görmüş örnekler ve kontrol örnekleri için $5,683\times10^{-10}$ ve $1,544\times10^{-9}$ m^2/s değerleri arasında gözlenmiştir. Rehidrasyon oranı ön işlemden ve hava sıcaklığından önemli ölçüde etkilenmiştir. Hava sıcaklığı arttıkça rehidrasyon oranının da doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Doymaz [15] tarafından yapılan başka bir çalışmada, tatlı patates dilimlerinin kızılötesi kurutucu ile kurutulması sırasında farklı kızılötesi güç seviyelerinin (104, 125, 146 ve 167 W) kurutma kinetiğine ve rehidrasyon oranına etkisini incelemiştir. Kızılötesi güç

seviyesi arttıkça kurutma süresinin azaldığı gözlenmiştir. Tatlı patatesin deneysel kurutma verileri Newton, Henderson&Pabis ve logaritmik modelleri kullanılarak kurutma kinetiği modellenmiştir. Bu üç kurutma modeli arasında, logaritmik modelin diğer modellere göre deneysel verilerle daha iyi uyum sağladığı görülmüştür. Etkin difüzivite $1{,}31\times10^{-10}$ ile $3{,}66\times10^{-10}$ m^2/s değerleri arasında seyretmektedir ve önemli ölçüde kızılötesi güç seviyesinden etkilenmektedir.

Arısoy ve Toğrul [16] çalışmalarında, Afyonkarahisar'ın Çay ve Sultandağı ilçelerinden toplanan vişne ve kirazları laboratuvar tipi kurutucuda, 4 farklı sıcaklıkta ön işlemsiz ve üç ayrı ön işlem uygulayarak kurutmuşlardır. Kurutulan meyveler oda sıcaklığında distile su ile rehidre edilerek, rehidrasyon yeteneğine farklı sıcaklıkta ve farklı ön işlem uygulayarak kurutmanın etkisini incelenmiştir. Ön işlemler 1) %2 Etil Oleat + %2 K_2CO_3 + %1 Sitrik asit, 2) %2 Etil Oleat + %5 K_2CO_3, 3) %2 Etil Oleat + %5 NaOH çözeltilerinde 5 dakika bekletilerek uygulanmıştır. Yüksek sıcaklıkta kurutulan vişne ve kirazların daha hızlı su aldığı ancak dengeye ulaşma süresinde bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Zamanla rehidrasyon hızının değişiminden, suyun meyveye transferinde katı içi difüzyon mekanizmasının etkin olduğu gözlenmiş ve her bir durum için çap değişimini dikkate alarak ve almayarak difüzyon katsayıları hesaplanmıştır.

Pirone vd. [17] çalışmalarında, farklı ön işlemlerin etkisiyle olgunlaşmış ve olgunlaşmamış Napolyon kirazların kurutma davranışının ve renginin değişimini incelemişlerdir. Kurutma işlemi 70°C'de 4 m/s hava hızı ve %8 bağıl nemde gerçekleştirilmiştir ve kirazlar B (Ağartma), F (Dondurma), P (Delme), B+Dip1 (ağartma ve asit çözeltisine daldırma) ve B+Dip1+Dip2 (ağartma ve tuzlu asitli çözeltiye daldırma) ön işlemlerine maruz bırakılmıştır. Bu ön işlemler kirazın kurutma davranışını ve renginin korunmasını dolayısıyla olgunluğunu etkilemektedir. Değerlendirilmeler sonucunda, B+Dip1 ve B+Dip1+Dip2 ön işlemleri özellikle olgunlaşmış kirazlar için en iyi kaliteli kurutulmuş ürünlerin elde edildiği tespit edilmiştir. Ayrıca, kombine ön işlemlere ağartma işleminin eklenmesiyle kurutma süresinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Ön işlem yapılmış kirazların ince tabaka kurutma karakteristiğini basit bir yolla göstermek ve kirazların nem içerikleri yaklaşık 0,3–0,4 kg su/kg kuru madde ($a_w \leq 0{,}6$) olana kadar azaltmak için gerekli olan işlem süresini hesaplamak için Lewis,

Page ve logaritmik modelleri tercih edilmiştir. Her bir kurutma eğrisi için deneysel verileri ile en iyi uyuşan model logaritmik model olmuştur.

Chayjan vd. [18] bu çalışmalarında, laboratuvar ölçekli kızılötesi kurutucu kullanarak, hava sıcaklığının, hava hızının ve kızılötesi radyasyonun vişnenin kurutma kinetikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Hava sıcaklığı olarak 35, 50 ve 65°C, hava hızı olarak 0,5 ve 1,1 ve 1,7 m/s ve kızılötesi radyasyonunun güç seviyesi olarak 500, 1000 ve 1500 W kullanılarak deneyler tamamlanmıştır. Nem oranının zamana bağlı değişimini tanımlamak için beş ampirik kurutma modeli deneysel veriye uyarlanmıştır. ANN (Artificial Neural Network) metodu etkin nem difüzivitesi ve özgül enerji tüketimini bulmak için kullanılmıştır. Uygulanan modeller arasında Midilli vd. modeli vişnenin ince tabaka kuruma davranışını en iyi açıklayan model olmuştur. Vişnenin etkin nem difüzivitesi değerleri $1{,}17\times10^{-10}$ ve $8{,}13\times10^{-10}$ m^2/s arasında, aktivasyon enerjisi değerleri 30,31-41,68 kJ/mol arasında ve özgül enerji tüketimi değerleri 56,12-891,16 MJ/kg arasında bulunmuştur.

Eshtiagh ve Zare [19] çalışmalarında ise, yeşil bezelyelerin sıcak hava-kızılötesi kombinasyonuyla kurutulması sonucu oluşturulan kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu deneyler dört farklı kızılötesi güç seviyesi (0-0,2-0,4-0,6 W/cm^2) ve 3 farklı kurutucu hava hızı (0,5-1-1,5 m/s) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel verinin kullanıldığı farklı modeller arasında uygulanan üç terim modeli, nem oranını; hava hızının, hava sıcaklığının ve kızılötesi güç seviyesinin bir fonksiyonu olarak tanımlamak için en uygun model olarak bulunmuştur. Kızılötesi radyasyonunun sıcak hava kurutma ile birlikte kullanılması, konvansiyonel sıcak hava kurutma ile karşılaştırıldığında yüksek kurutma hızlarına ulaşıldığı saptanmıştır. Farklı kurutma koşulları için etkin nem difüzivitesi değerleri $1{,}39\times10^{-10}$ m^2/s ve $5{,}72\times10^{-10}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır.

Doymaz ve Pala [20] çalışmalarında, Türkiye ihracat kalemleri arasında ekonomik açıdan önemli bir yer tutan üzümün kurutma süreçlerinde yaşanan problemlere ilişkin olarak daldırma sonrasında sıcak hava uygulanarak kurutulan üzümler üzerinde farklı çözeltilerin etkisini araştırmışlardır. Çekirdeksiz üzüm üzerinde AEEO çözeltisi ile yapılan deneylerin sonuçlarının diğer çözeltiler ile yapılan deney sonuçlarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. AEEO çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan üzümlerin, ön

işlem uygulanmayan ya da potasyum karbonat çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan üzümlere oranla kurutma süreleri daha kısa olmuştur. Kurutulan üzümlere ilişkin yapılan renk analizlerinde 60°C sıcaklıkta AEEO çözeltisi kullanılarak kurutulan örneklerden en iyi sonucun alındığı tespit edilmiştir.

Pangavhane vd. [21] farklı içeriklerdeki daldırma çözeltilerinin üzüm kurutma süreçlerine etkisini araştırmışlardır. Kurutma işlemi, 60°C kurutma sıcaklığı ve 0,5 m/s kurutma hava hızı altında gerçekleştirilmiştir. Kurutma öncesinde farklı daldırma çözeltileri uygulanmış olup bunlar arasında ticari daldırma yağı, etil oleat, zeytinyağı ve sıcak sodyum hidroksit bulunmaktadır. Bütün örnekler için kurutma kinetiği modeli çalışmaları yapılmıştır. Ön işlem uygulanan üzümlerin kurutma süreçlerinin Page modeli ile uyumlu olduğu görülmüş olup, her çözelti için Page modeli katsayılarının farklı olduğu gözlenmiştir.

Mengeş ve Ertekin [22] bir laboratuvar kurutucuda vişnenin kurutma karakteristiğini belirlemek için on üç adet matematiksel model kullanmışlardır. Kurutmayı en iyi açıklayan model çoklu regresyon metoduyla bulunmuştur. Hataların ortalama karekökü (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerleri kullanılarak en uygun model seçilmiştir. Netice itibarıyla Midilli vd. modelinin vişnenin kurutma karakteristiğini diğer modellerden daha iyi açıkladığı görülmüştür. Ayrıca, her kurutma sıcaklığı için difüzyon katsayısı $1,216\times10^{-10}$ ile $1,429\times10^{-9}$ m^2/s arasında ve aktivasyon enerjisi 100,78 ile 103,4 kJ/mol arasında hesaplanmıştır. Artan sıcaklık ile difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin arttığı gözlenmiştir.

Doymaz [23] laboratuvar tipi kurutucuda siyah üzümlerin ince tabaka kuruma davranışlarını incelemiştir. 1,1 m/s kurutucu hızı ve 60°C kurutucu sıcaklığında farklı ön işlemler uygulanarak üzümler kurutulmuştur. Etil oleat ve potasyum karbonattan oluşan çözeltiye daldırılan üzümlerin en kısa kurutma süresine sahip olduğu tespit edilmiştir. Lewis, Page, Henderson&Pabis, ve iki terimli üssel modeller üzümlerin nem varyasyonlarını analiz etmek için kullanılmıştır. Tüm modeller determinasyon katsayısı (R^2) ve ki-kare (χ^2) olmak üzere iki istatistik parametresine göre karşılaştırılmıştır. Page modeli üzümlerin kurutma eğrilerini en iyi tanımlayan model olarak bulunmuştur. Etkin nem difüzivitesi değerleri $3,82\times10^{-10}$ m^2/s ve $1,28\times10^{-9}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, kiraz meyvesi farklı kurutucu tiplerinde ve farklı kurutma koşullarında kurutulmuştur. Yaz mevsiminde kısa süreli hasat mevsimi olan kiraz meyvesinin deneysel çalışmada kullanılması mevsimsel açıdan uygun görülmüştür. Bu çalışmanın ilk aşamasında kiraz meyvesinin kızılötesi kurutucuda, farklı güç seviyelerinde, ön işlem uygulanmadan ve ön işlem uygulanarak kurutulması sağlanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında kiraz meyvesinin sıcak havalı bir kabin kurutucuda, aynı şekilde farklı sıcaklıklarda, ön işlem uygulanmadan ve ön işlem uygulanarak kurutulması sağlanmıştır. Kurutma çalışmaları sonucunda elde edilen veriler ile kurutma eğrileri (nem içeriği-kuruma süresi; kurutma hızı-nem içeriği) çizilmiş ve farklı kurutma modelleri kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmıştır. Uygulanan ön işlemlerin kurutma hızına, süresine ve kurutulmuş kirazın rengine olan etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen verilerden yararlanılarak difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

1.3 Hipotez

Son yıllarda yapılan çalışmalar ışığında, kirazın kurutulmasının farklı çalışmalara konu olduğu gözlemlenmiştir. Ancak çoğunlukla kirazın kurutulması için sıcak hava kullanılarak konvansiyonel kurutma yöntemleri kullanılmış ve ön işlem olarak farklı çözeltilere daldırma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda sodyum metabisülfit, potasyum karbonat, sodyum hidroksit, etil oleat, sitrik asit ve kalsiyum laktat gibi farklı çözeltiler veya bunların farklı kombinasyonları şeklinde hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. Kurutma yapılırken ön işlem olarak iki farklı çözelti uygulanmıştır. Bunlardan birincisi sodyum hidroksit ve ikincisi ise potasyum karbonat ve zeytinyağının seyreltik çözeltileridir. Bu ön işlemler neticesinde kirazın üzerindeki mumsu tabakanın giderilmesi amaçlanmıştır. Farklı çözeltiler kullanılarak ön işlem uygulanan kirazların kurutma karakteristikleri kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır.

Potasyum karbonat ve zeytinyağı ile birlikte hazırlanan ön işlem çözeltisinin uygulandığı kirazların kurutulması sonucu kurutma sürelerinde önemli bir azalma kaydedilince; kullanılan bu çözeltinin uygulanma süreleri değiştirilmiş ve uygulanma süresinin kurutma süresi üzerine etkisi incelenmiştir. Yine aynı çözelti farklı derişimlerde

hazırlanmış ve çözeltinin derişiminin kurutma süresi ve kurutma karakteristiği üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjileri hesaplanarak deneysel çalışmaların literatürde yapılan çalışmalar ile uyumu karşılaştırılmıştır.

Literatürde kızılötesi kurutma yönetmi ile farklı sebze ve meyveler kurutulmuştur. Ancak, bu çalışmada daha önce denenmemiş olan kirazın kızılötesi kurutucuda kurutulma karakteristiğinin incelenmesi yapılmıştır. Farklı kızılötesi güç seviyelerinde kirazın nem içeriğinin azaltılması sağlanmış ve sıcak hava ile kurutulan kirazlara göre avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Ayrıca sıcak hava ile kurutmada kullanılan aynı ön işlem çözeltileri kullanılarak uygulanan ön işlemlerin kızılötesi ile kurutmaya etkisi araştırılmıştır.

Daha önce yapılan literatür çalışmalarında kızılötesi ve sıcak havanın kurutma yapılırken birlikte kullanılması sonucu yüksek oranda enerji verimliliğinin sağlandığı bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [4], [5], [19]. Bu nedenle, çalışmamızda kızılötesi ve sıcak hava kombinasyonu ile kirazın kurutulması sağlanmış ve kızılötesi kurutmanın kurutma karakteristiğine etkisi gözlemlenmiştir.

Yapılan tüm kurutma deneyleri sonucu elde edilen kurutulmuş ürünlerin renk analizleri yapılarak uygulanan farklı işlemlerin kurutma karakteristiği üzerine etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM 2

GIDA KURUTMA VE KURUTUCULAR

2.1 Gıda Muhafaza Yöntemleri

Gıda maddeleri fiziksel, biyolojik veya kimyasal etmenlerin ayrı ayrı ya da birlikte meydana gelmesinden dolayı bozulabilmektedir. Mikroorganizmalar (bakteri, küf, maya), enzim faaliyetleri, lipid oksidasyonu (oksidatif ransidite), enzimatik olmayan esmerleşme (maillard) olayları ve fiziksel (çarpma, ısı vs.) etkiler bu bozulmalara sebebiyet verebilir.

Bozulmaya sebep olan fiziksel, biyolojik veya kimyasal etmenleri engellemek için çeşitli gıda muhafaza yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar kurutma, ısıl işlem (pastorizasyon/sterilizasyon), fermantasyon, koruyucu katkı maddeleri ekleme (tuzlama ve şekerleme), dumanlama (tütsüleme), konserveleme, dondurma, soğukta muhafaza ve ışınlama gibi yöntemlerden oluşmaktadır. Gıdaların muhafazası için kullanılan farklı yöntemler aşağıda kısaca derlenmiştir:

Gıdaların kurutma yöntemiyle muhafazası; geçmişten itibaren kullanılan, en çok tercih edilen ve en etkili yöntemlerdendir. Kurutma ile gıdanın nem içeriğinin düşürülmesiyle muhafaza süresinin artırılarak enzimlerin ve mikroorganizmaların çalışmasına engel olacak bir ortam sağlanması amaçlanmaktadır. Doğal kurutma güneş altında yapay kurutma ise endüstriyel tesislerde yapay kurutma yöntemleri ile yapılır [24].

Gıdaların ısıl yolla muhafazasında; asitli gıdalar, 100°C'nin altındaki sıcaklık derecelerinde "pastörize" edilerek; düşük asitli gıdalar ise 100°C'nin üzerinde "sterilize" edilerek dayanıklı hale getirilirler [24].

Gıdaların fermantasyon ile muhafazası; kurutma yöntemi gibi geçmişten itibaren uygulanmakta olan bir gıda koruma yöntemidir. Fermantasyon, bitkisel ve hayvansal ürünlerden doğal yolla ya da başlatıcı kültürlerin (bakteri, maya ve mantarlar gibi mikroorganizmalar ve enzimler) eklenmesiyle ürün üretilmesidir. Fermente ürünler faydalı mikroorganizmaları barındırmaları bakımından bozulabilir besinleri korumaktadır [25].

Gıdaların koruyucu madde ile muhafazasında, gıdaların dayanma süresini arttırmak için gıdalara ulusal ve uluslararası standartlarda belirlenen miktarlarda kimyasal koruyucu maddeler eklenebilir. Bu kimyasallar mikroorganizmaların çoğalma ve çalışmalarını durdurucu etkiye sahip antimikrobiyal kimyasallar ile oksijenin etkisiyle gıdalarda meydana gelen acılaşma ve değişmelere engel olan antioksidanlar olabilir. Mikrobiyolojik bozulmaları önlemek için gıdalara ilave edilen tuz, şeker ve sirke gibi maddelerde koruyucu maddeler grubuna girmektedir [26].

Gıdaların tütsüleme ile muhafazasında; eskiden ürünün muhafaza edilmesi amaçlanırken, günümüzde daha çok tütsü aroması ve renginden faydalanılarak gıdanın çekici hale getirilmesi amaçlanır. Geleneksel tütsüleme yönteminde tuzlanmış gıda direkt dumana temasıyla tütsülenir. Tütsüleme yönteminde tuzlama ve kurutma ile ürünün su aktivitesi azalır ve tütsünün yapısında yer alan maddeler mikroorganizma faaliyetini azaltıcı etki yapar [27].

Gıdaların konserveleme ile muhafazasında; gıdaların içerisinde bulunan mikroorganizmaların yok olmasını sağlayacak sıcaklıkta işlendikten sonra steril biçimde havasız ortamda kapatılması amaçlanmaktadır [28].

Gıdaların dondurma ile muhafazasında; gıdaların -18°C veya daha düşük sıcaklıklarda dondurularak muhafaza edilmesidir. Dondurma işlemi esnasında genellikle mikroorganizmalar yok olmazlar fakat üremeleri durur, ayrıca bu sırada parazitler parçalanabilirler. Bu nedenle, parazitlere sıkça rastlanan gıdalar (domuz eti, balık vs.) dondurularak parazitlerin parçalanması sağlanabilir [29].

Gıdaların soğuk uygulaması ile muhafazasında; patojen mikroorganizmalar 5°C'nin üzerinde gelişebildikleri için, gıdaların 5°C'nin altındaki sıcaklıklarda muhafaza edilmesidir. 5°C'nin altında patojen mikroorganizmalar üreyebilse dahi, bu son derece

yavaş olur. Soğutma işlemi sırasında nemin az olması gıdaların neminin azalmasına sebebiyet verirken, nemin artması bakteri üremesine yol açabilir [29].

Gıdaların ışınlama yöntemiyle muhafazasında, mikroorganizmaların DNA'sına zarar verilerek mikrobiyal faaliyetlerin azaltılması amaçlanır. Işınlama uygulaması yapılan gıdanın ısısı önemli oranda yükselmediğinden dolayı bu muhafaza işlemi soğuk bir işlem olarak kabul görmektedir. Bu işlemin avantajları; ambalajlanmış son ürün için de uygulanabilir olması ve kimyasal kalıntı bırakmaması ve işletme maliyetinin göreceli olarak düşük olmasıdır [30].

2.2 Kurutma

Kurutma işlemi doğada kendiliğinden gerçekleşen bir işlemdir. İnsanoğlunun doğayı gözlemleyerek bu işlemi gıdaların muhafazası için kullanabileceğini düşünmesi neticesinde insanlar elde ettikleri tarım ürünlerini doğal yollarla güneş altında kurutmaya başlamıştır. Günümüzde ise kurutma makineleşmenin artmasıyla endüstriyel olarak ve daha hızlı ve sağlıklı şekilde yapılmaktadır [31].

Kurutma; ortamdaki su aktivitesini (a_w) gıda için tercih edilen bir değerin altına indirerek, ürünü mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik bozulmalara karşı dayanıklı hale getirmektir [32].

Gıda maddelerinin kurutulmasında amaç; ürünün bozulmasının önlenmesi, besin değerinin ve kalite özelliklerinin korunması, taşıma ve depolama için ürün hacminin azaltılması, gıda içerisinde bulunan en fazla suyu, en az enerji kullanımı ile uzaklaştırılmasıdır. Enerji tüketimi ve ekonomiklik bakımından en uygun kurutma yöntemini seçmek çok önemlidir [31].

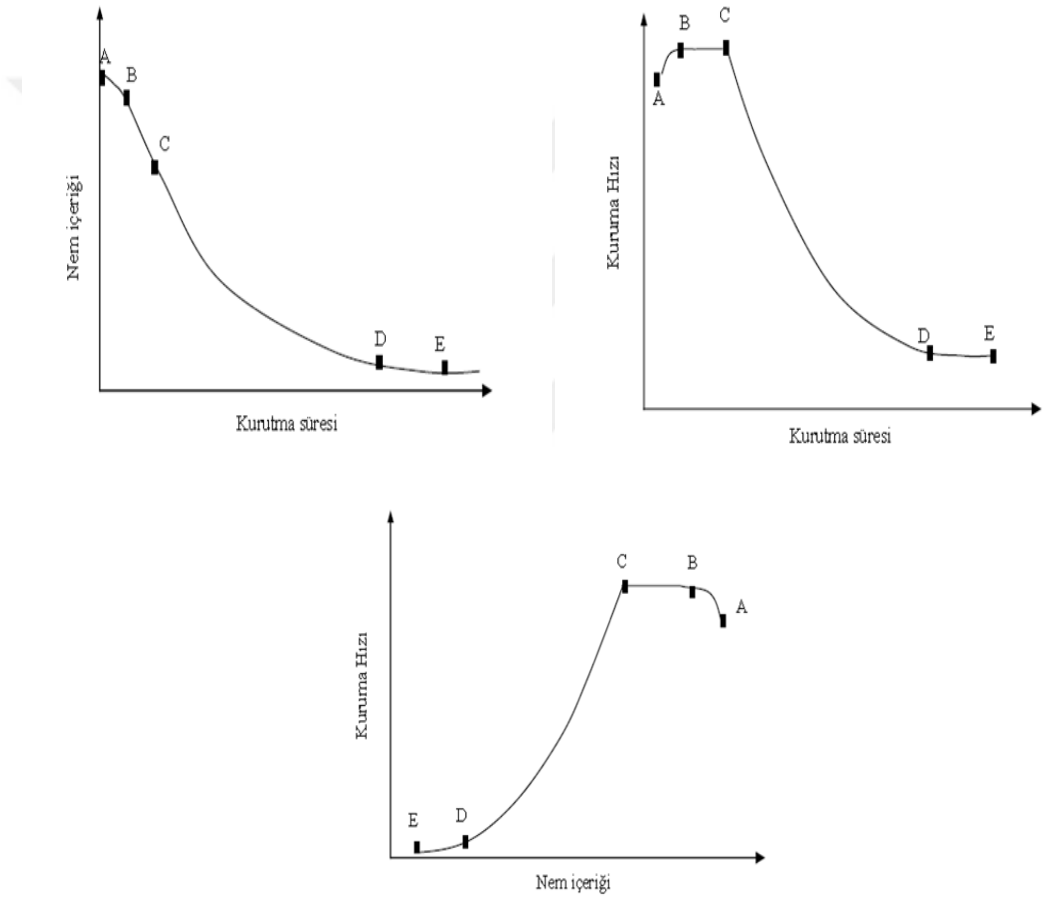
Gıdaların kurutulmasında su aktivitesi önemli bir değerlendirme kriteridir ve Raoult yasasından türetilen (2.1) eşitliğinde görüleceği üzere gıda içerisinde bulunan suyun buhar basıncının (p), aynı sıcaklıkta bulunan saf suyun buhar basıncına (p_0) oranına su aktivitesi denir ve a_w sembolüyle gösterilir [33].

$$a_w = {}^{p}/_{p_o} \qquad (2.1)$$

Su aktivitesi 0-1 değerleri arasında değişmektedir. Gıdalar su aktivitesine göre yüksek nemli (0,9-1,0 arasında), orta nemli (0,6-0,9 arasında) ve düşük nemli (0,6'nın altında)

olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Çoğunlukla kurutulmuş gıdalar orta nemli gıda grubuna girerler. Gıdalarda bulunan su miktarı mikroorganizmaların gelişmeleri ve faaliyetleri için önemli bir ortam oluşturduğundan su aktivitesi de gıda içerisinde bulunan suyun mikroorganizmalar tarafından ne kadar kullanıldığını göstermektedir. Bu sebeple, su aktivitesi azaldıkça mikroorganizma gelişiminin ve faaliyetlerinin azaldığı söylenebilir [34].

Kurutmanın aşamaları Şekil 2.1'de görüleceği üzere 4 farklı periyotta gerçekleşir. Kurutma işleminin periyotlarına aşağıda kısaca değinilmiştir [35].



Şekil 2.1 Kuruma eğrilerinin temel özellikleri [35]

a) Ayarlama periyodu (A-B): Kurutulacak olan gıdanın üzerinden sıcaklığı ve nem içeriği belirli olan hava akımı geçirildiğinde ısıtıcı havanın gıdaya verdiği ısı enerjisinin bir kısmı gıda yüzeyinin sıcaklığını yükseltirken, diğer kısmı buharlaşma ısısı olarak kullanılır. B noktasına kadar olan bu süreç AB periyodunu kapsar, bu bölgede kuruma hızı düşüktür.

b) Sabit kuruma periyodu (B-C): B noktasından sonra başlayan (B-C) periyoduna sabit kuruma periyodu denir. Bu periyotta, kurutucu havadan gıdaya ısı enerjisinin aktarılma hızı, buharlaşma hızına eşit olur. Kuruma hızını, gıdanın yüzeyindeki su içeriği ile kurutucu havanın su içeriği arasındaki fark belirler. Aynı zamanda; kuruma hızını, gıdanın üzerindeki havanın buhar basıncı ile kurutucu havanın içindeki kısmi buhar basıncı arasındaki fark belirler de denebilir.

Gıdanın yüzeyindeki suyun buharlaşması esnasında harcanan buharlaşma ısısı nedeniyle, gıdanın yüzey sıcaklığı, kurutucu havanın sıcaklığından düşük olur. Gıdanın yüzeyi ile kurutucu havanın sıcaklığı arasında fark oluşunca, havadan gıdanın yüzeyine enerji aktarımı olur. Bu enerji aktarımı, yüzeydeki buharlaşmayı artırır. Havadan aktarılan bu ısı enerjisinin tamamı buharlaşma enerjisi olarak kullanılınca, kuruma yüzeyi üzerindeki buhar basıncı sabitleşir, kurumakta olan gıdanın yüzey sıcaklığı da sabitleşir. Sabitleşen bu yüzey sıcaklığına ıslak termometre sıcaklığı denir. Bu durumda, buharlaşma için harcanan ısı enerjisinin aktarılma hızı, buharlaşma hızına eşit olur.

Kuruma, ıslak termometre sıcaklığındaki gıdanın nem içeriği ile kurutucu havanın nem içeriği farkının belirleyeceği sabit hızla devam eder, kuruma hızının en yüksek olduğu periyot bu periyottur. Bu periyotta buharlaşma hızına eşit bir difüzyon hızı ile gıdanın içindeki sıvı yüzeye difüzlenerek madde yüzeyinin sıvı filmi devamlı yenilenir.

Bu süreçte, kurutucu havadan gıdaya aktarılan ısı enerjisinin tamamı, gıdanın içerdiği nemin buharlaşma ısısı olarak kullanıldığı için gıdanın yüzey sıcaklığı sabit kalır. Kuruma, kurutucu havanın sıcaklığı ile ıslak termometre sıcaklığı arasındaki farkın belirleyeceği sabit hızla, birinci kritik nem içeriği noktasına (C noktası) kadar devam eder.

c) Birinci azalan kuruma periyodu (C-D): Kuruma devam ederken gıdanın nem içeriği azaldığından iç kısımdaki nem dış yüzeye difüzlenerek devamlı bir sıvı filmi oluşturamaz. Kuruyan dış yüzeyde yer yer kuru noktalar oluşmaya başlar. Kritik nem içeriği olarak adlandırılan C noktasından itibaren kuruma hızı düşmeye, gıdanın yüzey sıcaklığı artmaya başlar. (C-D) boyunca kuruma hızının devamlı azaldığı bu periyoda birinci azalan kuruma periyodu denir.

ç) İkinci azalan kuruma periyodu (D-E): D noktasından itibaren gıda yüzeyindeki kuru noktalar genişlemeye başlar ve en dışta kuru bir tabaka oluşur. Isı geçirgenliği az olan kuru tabakanın oluşması ve yüzeye taşınacak sıvı tabakanın difüzyon hızının azalması ile kuruma hızı D noktasından itibaren devamlı azalır. Bu D noktasına ikinci kritik nem içeriği noktası denir. (D-E) boyunca, buharlaşma hızı, iç tabakalardan yüzeye difüzlenen nemin difüzyon hızına bağlıdır. Buharlaşma (kuruma) hızı azaldıkça kurutucu havadan alınan ısı enerjisinin az bir miktarı buharlaşma ısısı olarak kullanıldığından gıdanın yüzey sıcaklığı daha da artar. E noktasına ulaşıldığında buharlaşma durur. Çünkü kurutucu havanın içindeki nemin buhar basıncı ile gıdanın içindeki nemin buhar basıncı eşit olunca kuruma sona erer. Bu durumda, buharlaşma olmadığından verilen ısı buharlaşma ısısı olarak kullanılmaz; bu ısı, ürün sıcaklığını artırır ve kuruyan gıdanın sıcaklığı kurutucu havanın sıcaklığına (kuru termometre sıcaklığına) yaklaşır. Gıdanın nem içeriğini daha da düşürmek için kurutucu havanın sıcaklığını arttırmak ya da nemini azaltmak gerekir.

Kurutma hızına etki eden etmenler altı farklı başlık altında incelenebilir [36]:

a) Ürünün Kimyasal Bileşimi: Gıdanın kimyasal bileşimi kuruma boyunca değişir. İçerisinde tuz, şeker gibi çözünmüş maddeler bulunduran ürünler, nişasta ve pektin içeren maddeler, glikoz ve yağ içeren ürünler daha uzun sürede kurur. Gıdanın homojenliğini bozan çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmektedir. Bu durum gıda içerisinde bulunan suyun buharlaşmasını güçleştirir.

b) Ürünün Boyutları: Kuruma hızı, gıdanın yüzey alanıyla doğru, kalınlıklarıyla ters orantılıdır. Bu nedenle kurutulan gıdaların yüzey alanı fazla, kalınlığı az olmalıdır. Böylece kuruma hızı olumlu yönde etkilenir.

c) Sıcaklık: Kurutma ortamının sıcaklığı ve gıdanın kurutulmadan önceki sıcaklığı önemlidir. Düşük kurutma sıcaklığı son ürünün kalitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmasına karşın kurutma süresini uzatmaktadır. Diğer taraftan yüksek kurutma sıcaklığı kurutma süresini azaltmasına rağmen, çok yüksek seçildiğinde yüzeyin hızla nem kaybederek kabuk bağlaması sonucu ürünün kuruma süresinin uzamasına da neden olabilmektedir.

ç) Havanın Hızı: Havadaki moleküllerin hareketi ve bu hareketin hızındaki artış kurutmayı olumlu yönde etkiler. Ancak yine de optimum değerlerin üzerine çıkılması durumunda istenmeyen sonuçlar gözlemlenebilir.

d) Havanın Nemi: Havanın bağıl nemi, kurutmanın bitirileceği nem seviyesini belirler. Kurutulmakta olan gıdayla hava nemi arasında bir denge oluşuncaya kadar kurutma işlemi devam eder.

e) Atmosfer Basıncı: Çevre atmosferdeki havanın basıncı azaldıkça, buharlaşma artacağından kurutma süresi kısalır.

Kurutma işlemi sırasında karşılaşılan kalite değişiklikleri dört başlık altında aşağıda değerlendirilmiştir [26]:

a) Kararma Tepkimeleri: Kurutma esnasında gıda ürünlerine uygulanan sıcaklığa bağlı olarak Maillard tepkimesi veya enzimatik tepkimeler esmerleşmeye sebep olabilir. Enzimatik tepkimeler, fenolik bileşiklerin esmer ve siyah polimerlere dönüşmesidir. Enzimatik olmayan tepkimeler ya da Maillard tepkimeleri kompleks tepkimeler olup, indirgen şekerlerle amino asitlerin amin grupları arasında oluşurlar. Az nemli gıdalarda esmerleşme tepkimelerine katılacak girdilerin çok azı suda çözünmüş durumdadır. Ayrıca düşük su aktivitesine sahip gıdalarda difüzyon direncinin yüksek olması bu tepkimelerin hızlarını azaltmaktadır. Ancak ortamdaki suyun artmasıyla suda çözünen tepkime girdileri artmakta ve dolayısıyla difüzyon direnci de azalmaktadır. Böylece gıdada bulunan nem arttıkça enzimatik olmayan esmerleşme tepkimelerinin hızları artmaktadır. Gıdalarda kurutma esnasında oluşan esmerleşme tepkimeleri kaliteyi olumsuz olarak etkilemektedir [33].

Kararma tepkimelerinin engellenmesi için kurutulan gıdalar çok yüksek sıcaklıklara maruz kalmamalıdır [26].

b) Lipid Oksidasyonu: Lipid oksidasyonu oksijen bulunan ortamda değişik bileşenlerin otooksidasyonudur. Gıdalardaki lipid oksidasyonu neticesinde, istenmeyen tatlar oluşabilir ya da yağlar veya yağ içeren gıdalarda yağ asitlerinin parçalanmasıyla ransit (acılaşma) aroma meydana gelebilir [33].

Gıdalarda bulunan nem içeriği oksidasyon reaksiyon hızı üzerinde etkili olmakta ve su aktivitesinin 0,3 seviyelerine inmesi lipid oksidasyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır. Oksijen varlığının azalması da lipid oksidasyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır [26].

Yağda çözünen vitaminlerin parçalanması lipid oksidasyonuyla ilgilidir ve gıdalarda bulunan nem içeriğinin azalmasıyla bu vitaminlerin parçalanması azalmaktadır [33].

c) Büzülme: Kurutma süresince gıdada oluşan en önemli fiziksel değişme gıdanın dış hacminde gerçekleşir. Nem kaybı ve kurutma sıcaklığının artması, gıdanın boyutunda küçülmeye ve şeklinde değişikliğe neden olduğundan, gıdaların hücresel yapısında bir değişime sebep olur. Kurutulan gıdanın su aktivitesi azalıp, gıdadan uzaklaştırılan su miktarı arttıkça gıdanın büzülmesi de artar. Gıdadaki büzülme kurutulmuş ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkiler. Kurutulmuş üründe şekil değişikliği, hacmin küçülmesi ve sertleşme olması tüketici üzerinde olumsuz algıya neden olur [37].

ç) Besin Kayıpları: Besin kaybı yaşanmaması, kurutulmuş gıdaların kalite parametrelerindendir. Gıdalarda kurutma esnasında besin içeriği açısından ana besin öğelerinde (karbonhidrat, protein ve yağ) kayıplar gözlenmektedir. Gıdaların içeriğinde bulunan proteinler ısıya karşı oldukça duyarlı olduğu için, kurutma sıcaklığının artmasına bağlı olarak denatürasyonlar gözlenebilir. Kurutmanın gıdaların beslenme değerleri üzerine etkilerinin araştırılmasında C vitamini (askorbik asit) de bir değerlendirme parametresi olarak kullanılabilmektedir. Gıdaların C vitamini içeriğini uzun süre korumak için düşük su aktivitesinde ve düşük sıcaklıkta saklamak gereklidir. Besinsel kayıplar uygun ön işlemlerin uygulanması, uygun kurutma yöntemlerinin kullanılması ve kurutma koşullarının optimize edilmesiyle elimine edilebilir [38].

2.3 Matematiksel Modelleme

İnce tabaka kurutma, genellikle örneklerin bir tabaka halinde kurutulması anlamını taşımaktadır. İnce tabaka eşitliklerinin kurutma çalışmalarında tercih edilmesinin nedeni kullanım kolaylığı ve az veriye ihtiyaç duyulmasıdır.

İnce tabaka eşitlikleri teorik, yarı-teorik ve ampirik modeller olarak üç başlıkta incelenebilir [39].

Teorik modeller, tüm proses koşulları için kullanılabilir. Teorik modeller Fick'in ikinci yasasından türetilmiştir. Teorik modeller ile nem transferinde sadece iç kuvvetler hesaba katılır.

Yarı-teorik modeller, Fick yasasının yanı sıra Newton'un soğuma kanunundan da türetilebilmektedir. Yarı-teorik modellerin uygulanışları kolaydır ve deneysel verileri kullanmak için daha az varsayıma ihtiyaç vardır. Fakat, bu modeller sadece uygulanan proses koşulları için geçerlidir.

Ampirik modeller, yarı-teorik modellere yakın özelliktedir. Deney koşullarına bağlıdırlar ve ürünlerin kurutma davranışları hakkında sınırlı bilgi verirler. Yarı-teorik ve ampirik modellerde gıda ile kurutucu hava arasındaki nem transferindeki dış kuvvetler de göz önünde bulundurulur.

Gıdaların kurutulması çalışmalarında genellikle yarı-teorik ve ampirik modeller tercih edilmektedir [39].

2.4 Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemler

Gıdaların kurutulması sırasında ve sonrasında meydana gelen olumsuzlukları önlemek ve kurutulan gıdanın kurutma süresinin azaltılması için kurutma öncesinde bazı ön işlemler uygulanmaktadır. Taze gıdaların kurutulmasında uygulanan ön işlemler genel olarak ayıklama, sınıflandırma, yıkama vs. gibi işlemlerden oluşur. Ayrıca, gıdaların kurutulmasında kükürtleme, alkali çözelti uygulaması, haşlama, tuzlama ve değişik çözeltilerin uygulanması vs. ön işlemleri kullanılabilir. Güneşte ya da endüstriyel sistemlerde kurutmada bu ön işlemler tek veya birlikte kullanılabilmektedir [40]. Bu ön işlemler aşağıda kısaca derlenmiştir:

a) Kükürtleme: Gıdalara kurutma işlemi uygulandığında renk değişimleri görülmektedir. Gıdalarda, özellikle meyvelerde kurutma süresince meydana gelen enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşmeleri önlemek için kükürtleme uygulaması yapılır.

Kükürtleme işlemi; kurutulacak gıdanın genellikle kükürt elementi yakılarak oluşturulan kükürt dioksit gazına maruz bırakılması, sodyum metabisülfit çözeltilerine gıdanın daldırılması veya bu çözeltilerin gıda üzerine püskürtülmesi yöntemlerine denilmektedir [40].

Kükürt dioksit kurutulacak gıdanın hücresindeki oksidasyon enzimlerini inaktif ederek enzimatik reaksiyonları, karbonil grubu ara ürünlerinin esmer pigmentlere dönüşümünü bloke ederek enzimatik olmayan reaksiyonları önlemektedir. Kükürt dioksit gazı geçmişte oluşan kararma reaksiyonlarının etkisini azaltarak gıdanın renginin açılmasına da sebep olabilir.

Kükürt kullanımının bazı olumsuz etkileri vardır, özellikle astımla ilgili ciddi yan etkileri olabilmektedir. Bu nedenle Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), Amerika'da kükürt kullanımını kısmen sınırlandırmıştır [41]. Genelde meyvelerde ön işlem olarak uygulanır.

b) Alkali Çözelti Uygulaması: Gıdaların raf ömrünün uzatılmasında üst deri ve üst deri zarının (kütikula) önemli bir rolü vardır. Üst deri hücreleri tarafından salgılanan kütin maddesinin bitki dış organları üzerinde birikmesi sonucu kütikula tabakası oluşur. Kütikula bitkinin aşırı su kaybetmesini engeller [42].

Parçalanmadan kurutulan ve üzerinde kütikula tabakası bulunan ürünlerde bu katmanın giderilmesi, inceltilmesi veya hidrofilik özellik kazandırılması gerekir. Bazı ürünlerde ön işlem olarak alkali çözeltiler (NaOH, Na_2CO_3 ve K_2CO_3) daldırma veya püskürtme şeklinde uygulanır. Bu ön işlemlerde amaç ürün üzerindeki mumsu tabakanın giderilerek kurumanın hızlandırılmasıdır. Bu alkali çözeltiler içinde NaOH en yaygın olarak kullanılır. Bazı durumlarda bunların karışımları da kullanılır. Daldırma çözeltisinin sıcak olması üst derideki enzimlerin parçalanmasını sağlar. Az olgun ve kuru bölgelerde yetiştirilen ürünler için kullanılan alkali çözeltilerin derişimi artırılır. Bu ön işlemde sertliği az olan sular kullanılmalıdır. "Bandırma çözeltisi" veya "potasa eriyiği" olarak adlandırılan çözelti %5-6 K_2CO_3 alkali çözeltiye %0,5 zeytinyağının ilave edilmesiyle hazırlanır. Bu ön işlem rengin korunmasına da yardımcı olur [43].

c) Haşlama: Özellikle parçalanan gıda ürünlerinin kurutulmasında enzimlerden kaynaklanan besin kayıplarını önlenmek için haşlama yapılır. Gıdaların haşlanmasında, hidrojen varlığında peroksitleri parçalayan ve renk kararmasına sebep olan peroksidaz enziminin elimine edilmesi amaçlanır [43]. Genelde sebzelerde ön işlem olarak uygulanır.

ç) Tuzlama: Kurutulmuş ürünlerde depolama sürecinde küf ve maya oluşumu görülür. Bu amaçla kuru gıdaların mikrobiyal yükünü kontrol altına almak için ön işlem olarak tuzlama yapılmaktadır. Tuz, kurutulacak gıdaya doğrudan serpme, tuzlu çözeltilere daldırma veya püskürtme yöntemiyle uygulanabilir [43]. Genelde domateslerde ön işlem olarak uygulanır.

d) Diğer Çözeltilere Daldırma: Kurutma sürecinde gıdayı özgün haliyle muhafaza edebilmek için ön işlem çözeltisi olarak askorbik asit, sitrik asit, sistein ve etil oleat kullanılabilir [43].

2.5 Kurutucu Türleri

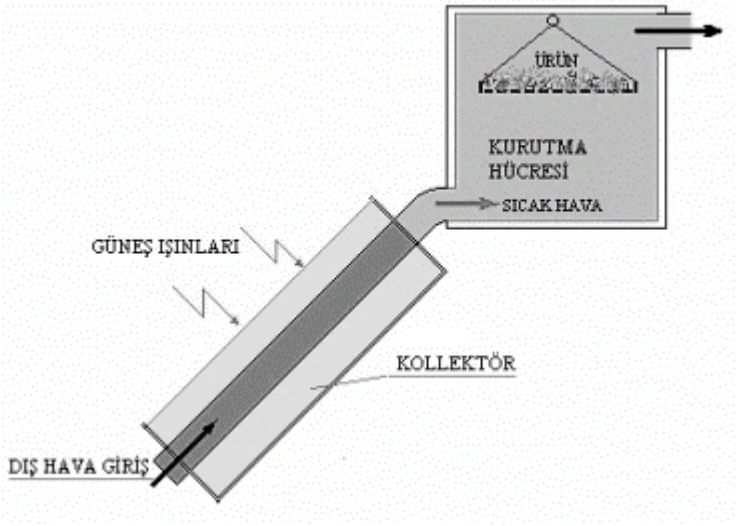
Geçmişten beri en yaygın kurutma yöntemi güneş altında kurutmadır. Ancak, her durumda güneş altında kurutmanın elverişli olmaması, kurutmanın uzun sürmesi, ürünün dış etkilere açık olması, hijyenin sağlanamaması vb. sebeplerle endüstriyel kurutma sistemleri güneşte kurutmaya tercih edilmektedir [44].

Endüstriyel kurutma, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel kurutmanın avantajları olarak daha az enerji tüketimi ile depolama ve taşımada küçük hacimli, uzun raf ömürlü ve yoğun besin değeri olan ürünler elde etmek sayılabilir.

Solar kurutucular, hava üflemeli kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalgalı kurutucular, kızılötesi kurutucular, dondurarak kurutma sistemleri en çok tercih edilen sistemler arasında yer almaktadır. Endüstriyel olarak kolaylıkla uygulanabilen bu kurutma sistemleri, tüketiciye yüksek kaliteli, hijyenik ve homojen ürünler sunmaktadır [44].

2.5.1 Solar Kurutucular

Solar kurutucularda elektrik enerjisi yerine güneş enerjisi kullanılmaktadır. Bu sistemde kurutulacak ürün güneş enerjisine doğrudan maruz kalmayıp, güneş enerjisi ile ürünü kurutacak hava ısıtılır veya ısıtmada kullanılacak su buharlaştırılır (Şekil 2.2). Solar kurutucuların üretim ve kullanım maliyeti düşüktür. Ancak bu sistemde sıcaklık kontrolü yapılamamaktadır [45].



Şekil 2.2 Solar kurutucu [46]

2.5.2 Hava Üflemeli Kurutucular

Hava üflemeli kurutma sistemleri basit tasarımlı, farklı yapıdaki ürünlerin kurutulabildiği, hızlı, homojen ve hijyenik kurutma sağlayan sistemlerdir. Hava üflemeli kurutucularda kurutucu havanın hızı, ürün kalınlığı ve sıcaklık kurutma özelliklerini ve hızını etkileyen faktörlerdir [44].

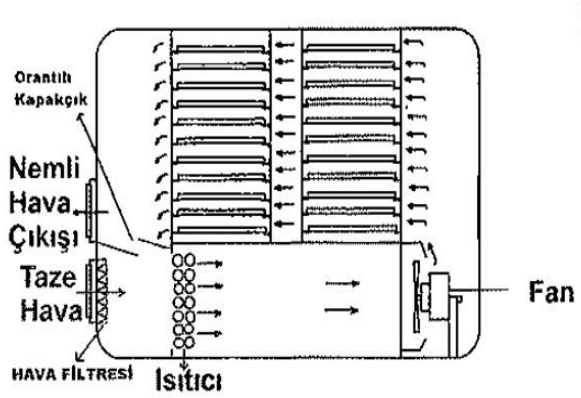
Hava üflemeli kurutucuda sürekli olarak belli şartları sağlayan havanın kullanılması amaçlanır. Enerji verimini de dikkate alarak, sürekli taze hava kullanmaktansa, kurutucudan çıkan kullanılmış havanın bir bölümü ile taze hava karıştırılıp, bu karışımın ısıtılarak kullanılması ve kurutucu içerisinde birkaç kez dolaştırılıp nem içeriğinin belli bir değere ulaşması daha verimlidir. Kurutma süresinin artmaması için havanın bağıl nemi %60-70 olduktan sonra nemli hava kurutucudan atılır. Böylelikle kurutucu hava sürekli aynı sıcaklıkta ve nemde kurutucuya besleneceğinden kurutmaya olumsuz etkisi olmaz [47].

Hava üflemeli kurutucular kabin kurutucu, tünel kurutucu, püskürtmeli kurutucu ve akışkan yataklı kurutucu şeklinde tasarlanabilir. Bu sistemlerde kurutucu hava doğrudan kurutulacak ürünle temas ederek gıdanın içerisindeki nemi alır.

a) Kabin Kurutucular: Bu tür kurutucular daha çok taneli ve dilimlenmiş ürünler için uygun olup, kurutulacak ürün kabin içerisinde bulunan raflar ya da kerevetler üzerine

serilerek kurutulur. Bu tip kurutuculardа ürüne uygun hava hızı uygulanır ve kısa kuruma süresinin yeterli olduğu ürünlerin kurutulması için elverişlidir [44].

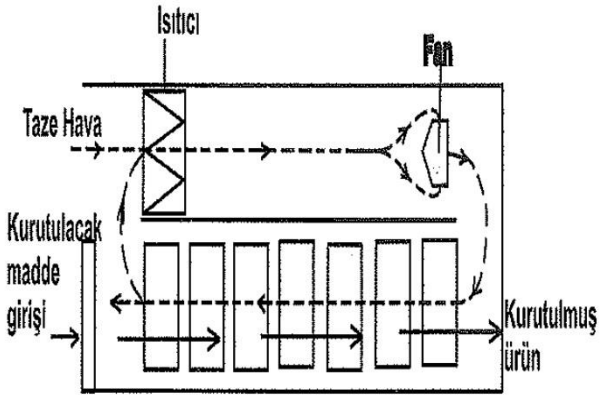
Kurutulacak ürün alt tarafı ızgara ya da elek şeklinde olan kerevetlere yerleştirilir (Şekil 2.3). Kerevetler üst üste kurutma kabinine koyulur. Kurutma boyunca kerevetler hareketsizdir. Isıtılmış hava, kabinin yan duvarlarından girerek kerevetler arasında dolaşır ve kurutma sonrası nemlenen hava yan duvarlardan kabin dışına çıkarak ısıtıcıya ulaşır [36].



Şekil 2.3 Kabin kurutucu [35]

Kabin kurutucuların dezavantajı kabinin her yerinde aynı hava hızının, sıcaklığın ve nemin sağlanamayışından dolayı aynı kurutma hızının sağlanamamasıdır. Bunu önleyebilmek için ısıtıcı fanın pozisyonu değiştirilerek çalıştırılır veya uygun pozisyonda sabit olarak yerleştirilmiş çift fan kullanılır [36].

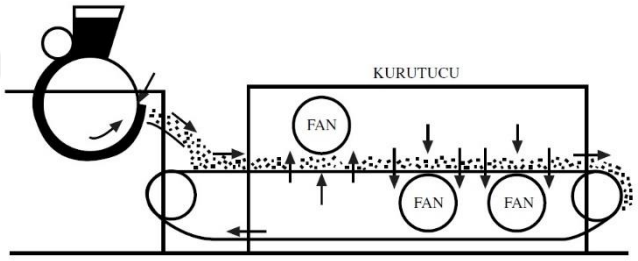
b) Tünel Kurutucular: Tünel kurutucuların kabin kurutuculardan en önemli farkı, sıralı raflardan oluşan arabaların tünel boyunca hareket etmesi olup, bu kurutucuda kurutulacak ürünü taşıyan araba tünele girdiğinde, kurumuş ürünü taşıyan araba tünelden dışarı çıkar (Şekil 2.4). Eğer arabalarla sıcak hava aynı yöne hareket ederse bu tip tünellere “paralel akış tüneli“; zıt yönde hareket ederse bu tip tünellere “zıt akış tüneli“ denir [36].



Şekil 2.4 Tünel kurutucu [48]

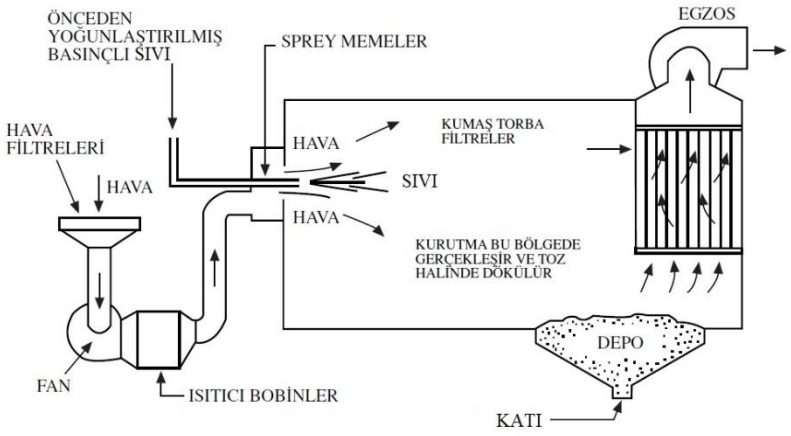
Paralel akış ve zıt akışlı iki kademesi olan kurutma tünelleri de bulunmaktadır [36].

Konveyör kurutucu ya da sürekli bant sisteminde (Şekil 2.5) sürekli çalışan ızgara ya da elek şeklinde bir bant bulunmakta olup, kurutulacak ürüne alttan ve üstten sıcak hava uygulanır**.** Konveyör kurutucular, parçalanmış gıdaları büyük miktarda kurutmak için uygundur [36].



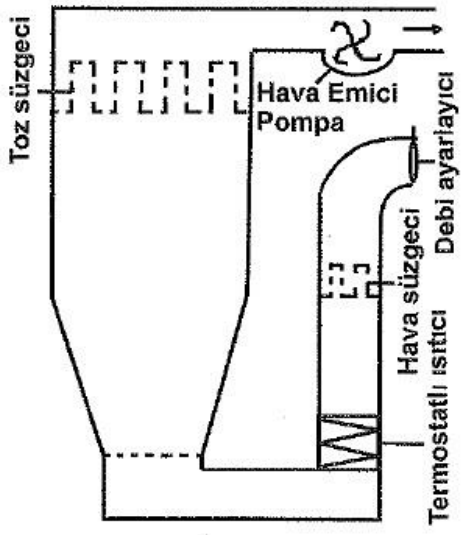
Şekil 2.5 Sürekli bant kurutucu [48]

c) Püskürtmeli Kurutucular: Püskürtmeli kurutucular süt tozu ve kahve üretiminde kullanılmakta olup, kurutulmuş madde damlacık veya tanecik yapısı olarak aynı yapıdadır ve kuruma süresi 5-15 saniye gibi oldukça kısadır. Püskürterek kurutmada, sıcak hava ile sıvı kurutma odasına küçük tanecikler biçiminde verilir (Şekil 2.6). Sıcak hava, dökülen ürün damlacıklarıyla aynı veya ters yönde sisteme verilebilir. Kuruyan madde yerçekimi etkisiyle depoya dökülür. Kurutucu hava içerisindeki ürün parçacıkları, siklon ayırıcılar veya hava filtreleri aracılığıyla toplanır [48].



Şekil 2.6 Püskürtmeli kurutucu [48]

ç) Akışkan Yataklı Kurutucular: Akışkan yataklı kurutucuda kurutulacak gıda maddesi aşağıdan yukarı doğru çıkan sıcak hava akımı içerisinde, ağırlığı karşılanarak askıda kalacak şekilde tutulur (Şekil 2.7). Gıda maddesini kurutucu boyunca taşımak için yatay bir hava akımı da bulunabilir. Havadan gıda maddesine ısı çoğunlukla konveksiyon yoluyla iletilir. Akışkan yataklı kurutucular kahve, kakao, tuz ve şeker gibi mddelerin kurutulmasında kullanılır [49].

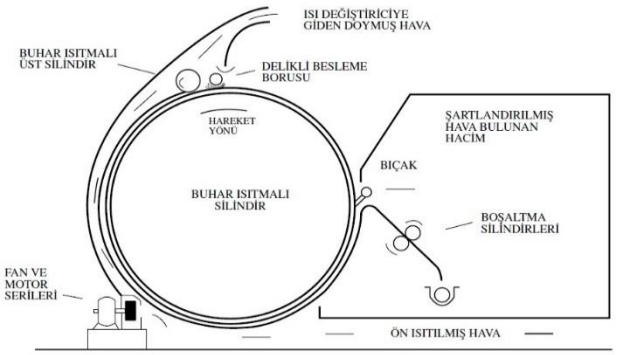


Şekil 2.7 Akışkan yataklı kurutucu [35]

2.5.3 Döner Kurutucular

Döner kurutucularda gıda maddesi içten ısıtılan ve dönen metal bir silindirin yüzeyine beslenir. İç silindir üzerinde sıcak havalı bir dış silindir daha bulunur. İç silindir belirli bir

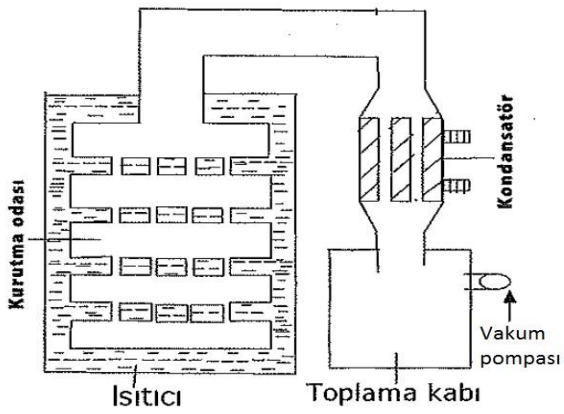
hızla döner, bu süreçte ürün iç silindirin yüzeyinde kalarak kurutma tamamlanır ve kurumuş ürün kurutucunun özel kazıyıcısı (bıçak) ile kazınarak iç silindirin üzerinden alınır (Şekil 2.8). Döner kurutucular süt tozu, hazır çorba, bazı çocuk mamaları ve patates tozu yapımında kullanılır [49].



Şekil 2.8 Döner kurutucu [48]

2.5.4 Vakum Kurutucular

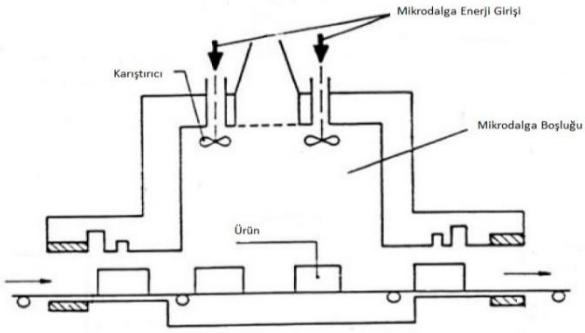
Vakum kurutucu alternatif bir kurutucu türü olup, uzun süreli kuruma gerektiren gıdalar için önemlidir (Şekil 2.9). Bu yöntemde kuruma süresi diğer yöntemlere göre çok daha kısadır. Vakum, ortam basıncını düşürerek gıdada bulunan nemin düşük sıcaklıklarda atmosferik ortamdakinden daha kısa sürede buharlaşmasını sağlar. Bir diğer avantajı ise, gıdadaki nemin uzaklaştırılması süresince ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonları minimize edilir. Vakum kurutucularda kurutulmuş olan gıdalarda renk, doku ve tat aslına yakın olarak korunur. Ancak bu yöntem pahalı bir yöntemdir [44].



Şekil 2.9 Vakumlu kurutucu [35]

2.5.5 Mikrodalga Kurutucular

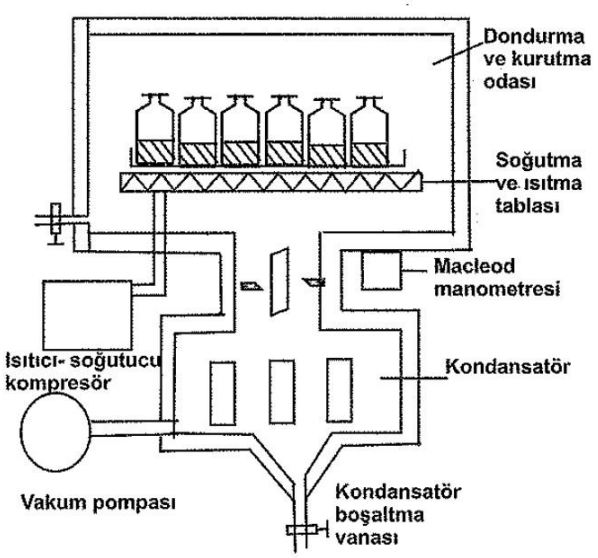
Mikrodalga kurutucular, hava üflemeli veya vakum kurutucularla birlikte kullanılarak ürün kalitesi ve enerji verimliliğini arttırmaktadır (Şekil 2.10). Mikrodalga, materyaldeki polar molekülleri (gıda içerisinde bulunan nem) etkileyerek elektromanyetik (mikrodalga) enerjinin termal enerjiye dönüşümünü sağlar. Meyveler, tahıl ürünleri ve ilk nem seviyesi yüksek olan birçok gıda ürünü kurutulabilir. Mikrodalga avantajları; kısa kurutma süresi, enerji verimliliği, düşük maliyet ve kurutulan gıdanın yüksek besin değeridir [44].



Şekil 2.10 Mikrodalga kurutucu [50]

2.5.6 Dondurarak Kurutma Yapan Kurutucular

Gıdanın özelliklerini aslına uygun olarak muhafaza edebilen bir kurutma yöntemi olan dondurarak kurutma, dondurulmuş gıdanın içerisindeki nemin süblimasyon ile gıdadan uzaklaştırılmasını amaçlar (Şekil 2.11). Bu yöntemde gıda içerisinde sıvı halde su bulunmamalı ve ortam sıcaklığı düşük olmalıdır. Bu şartlar sağlandığında mikrobiyal ve enzimatik bozulmalar durduğu için kurutulmuş gıda yüksek besin içeriğine sahip olur. Dondurarak kurutma esnasında suyun katı formda olması sebebiyle gıdanın şekli bozulmaz. Dondurarak kurutma gıdanın kalitesi açısından çok fazla avantaja sahip olmasına rağmen, pahalı olması sebebiyle az kullanılmaktadır [44].



Şekil 2.11 Dondurarak kurutma yapan kurutucu [35]

2.5.7 Kızılötesi Kurutucular

Kızılötesi enerji, elektromanyetik spektrumda mikrodalga (1 ile 1000 mm) ile görünür bölgeler (0,38 ile 0,78 µm) arasında yer alan elektromanyetik enerji olup kızılötesi kurutucular da bu aralıkta çalışır [51].

Mikrodalga enerji gibi kızılötesi enerjinin de gıda ile etkileşimde bulunması, gıdanın sıcaklık profili üzerinde etkilidir. Gıda üzerine gelen kızılötesi ışınların bir kısmı yansıtılır, bir kısmı geçirilir, bir kısmı da gıda tarafından emilir [26].

Kızılötesi radyasyonun kullanım alanı günümüzde araba boyalarının ve kâğıtların kurutulmasından, tıp ve savunma sanayi sektörüne kadar uzanmaktadır. Gıda endüstrisinde kızılötesi radyasyonun kullanım alanı oldukça geniştir. Kurutma, haşlama kızartma ve sterilizasyon bunlardan bazılarıdır [51].

Kızılötesinin kurutmada kullanımı gıda alanında diğer işlemlere göre daha yoğundur. Güneş altında kurutmanın bir alternatifi olarak düşünülen kızılötesi ile kurutmanın sıcak hava ile kurutmaya göre pek çok avantajı bulunmaktadır. Sıcak hava üflemeli kurutma ile karşılaştırıldığında kızılötesi kurutma daha kısa işlem süresi, son ürün kalitesinde artış, işlem sırasında enerji tasarrufu ve kontrol mekanizmalarının daha rahat kurulması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca temiz bir enerji kaynağı olan kızılötesi enerji herhangi bir toksik üretime de yol açmaz [51].

Kızılötesi enerji özellikle diğer kurutma yöntemleriyle beraber kullanıldığı zaman işlem sürelerinin kısaldığı ve enerji sarfiyatının ciddi oranda düştüğü görülmüştür [51], [52].

Ayrıca sıcak hava kurutma sistemlerinin sebep olduğu, üründe su kaybı sorunlarının kızılötesi enerji ile sıcak hava kombine kurutma sisteminde azaldığı görülmüştür. Kızılötesi kurutma yöntemi nem tayin etme yöntemi olarak kullanılmakta olup, ayrıca baharat ve bitkilerin vitaminlerini kaybetmeden kurutulmasını sağlamaktadır [26].

BÖLÜM 3

KİRAZ VE KİRAZIN KURUTULMASI

3.1 Kiraz Meyvesi

Kiraz (*Prunus avium* L.) meyvesi; güller (Rosales) takımının gülgiller (Rosaceae) familyasının Prunus cinsindendir. Kirazın anavatanı Güney Kafkasya, Hazar Denizi ve Kuzeydoğu Anadolu'dur. Kirazın Akdeniz iklimi gibi ılıman iklimde yetiştirilmesi uygundur [53]. Yazları görece serin olan ve bağıl nem oranı yüksek olan yerlerde kaliteli kiraz yetiştirilir [43].

Kiraz meyvesi küresel veya kalp şeklindedir. Meyve kabuğu ince ve parlaktır. Kabuk meyve etine yapışıktır. Kirazın rengi kabuk rengine bağlı olarak açık pembe veya kırmızı olabilir. Kiraz meyvesinin eti farklı renk ve farklı sertlikte olabilir. Meyve sapı, kirazın çeşitlerinin tanınmasında belirleyicidir [54].

Kirazın rengi, sertliği ve büyüklüğü tüketiciyi doğrudan etkileyen temel kriterlerdir. Dalında olgunlaşmasından dolayı hasat edildikten sonra yüksek solunum hızı sebebiyle meyve renginde ve sertliğinde bozulmalar görülmektedir [55]. Bu da kiraz meyvesinin muhafazasını zorunlu hale getirmektedir.

Kiraz, diyet lifi olarak ifade edilen lif bakımından, elmadan sonra oldukça zengin bir meyvedir. Yaklaşık %82'si su olan ve mineraller bakımından zengin sayılan kirazın mineral değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmekte olup; Kalsiyum (Ca), Potasyum (K), Fosfor (P) gibi minerallerin oranlarının yüksek olduğu gözlenmiştir. C vitamini ve β-karotence de zengin olan kiraz insan sağlığı açısından önemli bir meyvedir.

Çizelge 3.1 Bir adet kirazın besin değerleri (8,2 gram) [56]

Besin İçeriği	Değer	Birim
Su	6,74	g
Enerji	5	kCal
Protein	0,09	g
Yağ	0,02	g
Karbohidrat	1,31	g
Diyet lifi	0,2	g
Sükroz	0,01	g
Glukoz	0,54	g
Fruktoz	0,44	g
Kalsiyum	1	mg
Fosfor	2	mg
Potasyum	18	mg
C Vitamini	0,6	mg
β-karoten	3	µg

3.2 Kiraz Üretimi ve Türleri

Dünyada üretilen kiraz ve vişne üretimi Çizelge 3.2'de gösterilmekte olup, bu çizelgeden dünyadaki toplam kiraz ve vişne üretimin yaklaşık %17'sini karşılayan Türkiye'nin bu alanda lider üreticilerden biri konumunda olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2 Dünyada kiraz ve vişne üretimi (2010-2016 yılları arasında) [57]

Üretim (1000 ton)	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016 (Eylül)**
AB	706	834	622	724	758	736	655
Türkiye	613	400	500	510	465	565	475
ABD	362	404	418	401	462	419	419
Ukrayna	228	246	245	282	280	250	320
Rusya	232	267	255	278	278	280	280
Çin	190	210	170	180	220	278	278
Şili	77	86	65	86	127	140	140
Özbekistan	105	88	126	140	140	103	135
Sırbistan	88	119	97	126	126	126	126
Suriye	58	62	82	62	62	62	62
Diğer	85	105	104	117	114	115	116
Toplam	**2.744**	**2.820**	**2.686**	**2.906**	**3.032**	**3.074**	**3.006**

Meyveleri ile bir kiraz ağacı Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Kiraz yetiştiriciliğinde sofralık olarak tüketilen çeşitler ön plana çıkmaktadır.



Şekil 3.1 Kiraz ağacı

Dünyada yaklaşık 1500 kiraz çeşidinin olduğu tahmin edilmekle beraber, günümüzde ıslah çalışmalarıyla kiraz çeşidinin daha da arttığı gözlenmektedir. Ayrıca, farklı

bölgelerde aynı çeşidin farklı isimlendirildiği, farklı çeşitlere de aynı isimlerin verildiği bilinmektedir [54].

Dünyada kiraz üretiminde ön plana çıkan ülkelerde, farklı kiraz çeşitlerinin üretimi gözlenmektedir. Örneğin, kiraz yetiştiriciliğinde ilk sıralarda yer alan ABD'de Chelan, Tieton, Rainier, Bing, Lapins ve Skeena kiraz çeşitleri, ülkemizde 0900 Ziraat kiraz çeşidi, Şili'de Lapins, Van, Stella ve Summit kiraz çeşitleri, Arjantin de ise Bing ve Lapins kiraz çeşitlerinin üretildiği gözlenmektedir.

Dünya kiraz üretiminde ön plana çıkan çeşitler aşağıda bazı özellikleriyle özetlenmiştir [58].

Chelan ve Tieton: Erkenci kiraz çeşitlerindendir. Meyveleri geniş kalp şeklinde, meyve kabukları siyahımsı koyu kırmızı; meyve etleri sert, gevrek ve yüksek kalitelidir. Tieton, chelana göre daha iridir.

Bing: ABD'de ortaya çıkmıştır. Düzenli ürün verir, verimlidir. Orta-geç mevsimlik kiraz çeşididir. Bigarreau grubu kirazlardandır. Chelan ve tieton çeşitlerine fiziksel olarak benzer ancak daha ufaktır.

Rainier: Beyaz kiraz da denir.

Lapins: Orta-geç mevsimlik kiraz çeşididir. Aromatik maddelerce zengindir.

Skeena: Orta-geç mevsimlik kiraz çeşididir. Chelan ve tieton çeşitlerine fiziksel olarak benzer.

Stella: Stella kirazı çok verimlidir. Meyve rengi, parlak koyu kırmızıdır. Orta iriliktedir.

Summit: Orta-geç mevsimlik kiraz çeşididir. Meyvesi kalp şeklinde, meyve kabuğu koyu kırmızıdır ve orta iriliktedir.

0900 Ziraat (Napolyon): Ülkemizde yetiştirilen en önemli kiraz çeşididir. Üretimi her yıl hızla yayılmaktadır. Çok geç mevsimlik kiraz çeşididir. Geç çiçek açar. Meyveleri geç olgunlaşır. Meyveleri yuvarlak kalp şeklinde, meyve kabuğu parlak çok koyu kırmızı; meyve eti sert, sulu, tatlı ve çok yüksek kalitelidir. İri meyvelidir. Taze olarak tüketilmesinin yanında kurutularak, tatlı yapımında ve içeceklerde de kullanılır [44].

Anadolu diğer meyvelerde olduğu gibi, bahçe kültüründe yetiştirilen kirazın (*Prunus avium* L.) da en eski yetiştirme alanlarındandır. Ülkemizde kiraz yetiştiriciliği dört

bölgede yoğun şekilde yapılmaktadır. Ege bölgesinde; Uluborlu, Salihli, Alaşehir, Senirkent, Çay, Honaz ve Kemalpaşa, Marmara bölgesinde; Lapseki (Çanakkale), Karacabey (Bursa) ve Balıkesir'in bazı ilçeleri, İç Anadolu'nun güneyi; Akşehir, Sultandağı, Ermenek, Hadim, Taşkent, İç Anadolu'nun kuzeyi; Tokat, Erzincan, Malatya ve Gümüşhane'dir [58].

3.3 Kirazın Kurutulması

Kiraz özellikle mineral madde açısından oldukça zengindir. Sanayide kullanılan bazı kiraz çeşitleri hariç yetiştirilen kirazın çoğu taze olarak tüketilmektedir. Sanayide ise meyve suyu, şarap, konserve ve salamura yapılarak tüketilebilir; kurutularak ya da dondurularak muhafaza edilebilir [59].

Kiraz gibi meyve ve sebzelerin kurutulması, kurutma yapılırken kullanılan ısı kaynağı, kurutma öncesi yapılan ön işlemler ve kurutma koşulları literatürde oldukça geniş çalışma alanı olan bir araştırma konusudur. Kurutma öncesinde kurutulacak gıdaya haşlama, çözeltiye daldırma ve kükürtleme gibi ön işlemler yapılabilir. Kiraz gibi meyvelere bu ön işlemin yapılmasının sebebi meyveler üzerindeki mumsu tabakanın giderilmesidir. Kiraz meyvesinin yüzeyinde bulunan mumsu tabaka triterpen, alkan ve alkol yapılarından oluşur. Kurutma yapılmadan önce uygulanan işlemler genel olarak ayıklama, sınıflandırma, kabuk soyma, bölme-dilimleme-doğrama ve çekirdek çıkarma gibi işlemlerdir. Kurutma yapılırken havanın hızı, kurutulacak maddenin geometrik şekli, ısı kaynağının şiddeti, ortam basıncı gibi faktörler kurutmayı ve kurutmanın hızını etkiler.

Kirazın çeşitlerine göre kurutulmasını özetleyecek olursak; Bing türü kirazlar tüm zamanların favori olarak kurutulan kiraz türüdür. Çekirdeği görece küçük, meyvesi gevrek, sert ve suludur. Taze Rainier türü kirazlar çok tatlı olup, pembe sarı bir rengi vardır. Bu rengin korunması için kirazların kükürtlenmesi gerekmektedir. Lambert ve Van türü kirazlar Bing kirazlarına göre daha küçük olmalarına rağmen oldukça aromalıdırlar. Kurutma için seçilecek kirazlar büyük, dolgun, sert ve tam olarak olgunlaşmış türde olmalıdır. Çekirdekleri de taze görünümlü olmalıdır. Kurutma yapılırken küçük, olgunlaşmamış, rengi bulanık, yumuşak görünümlü ve koyu renk çekirdekli kirazlar tercih edilmemelidir. Hasattan hemen sonra kurutma yapılması

kurutma için en uygun zamandır. Ancak kirazlar 5 güne kadar buzdolabında 0°C'de saklanabilir. Kirazlar eğer ön işlem yapılmadan kurutulursa renkleri çok koyu olur ve tadı kuru üzüme benzer. Kükürtlenerek kurutulmuş kirazlar ise tat ve rengini koruyabilir ve daha uzun süreler dayanabilir. Kirazlar 54 ile 60°C'lerde kurutulurlar. Kurutulan kirazlar çerez olarak tüketilebilir ve mutfakta kuru üzüm yerine ya da kuru üzümle birlikte kullanılabilir [60].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Hammadde

Bu tez çalışmasında, İstanbul'da bir marketten satın alınan kirazlar kullanılmıştır. Meyvesi 9±1 gram ağırlığında olan bu kirazlar parlak koyu kırmızı renklidir. Şekil 4.1'de gösterilen kirazların çapları 25,5±1,5 mm ve boyu 23±1 mm aralığında değişmektedir. Meyve eti sert, sulu ve gevrektir.



Şekil 4.1 Kurutma işleminde kullanılan kiraz meyvesi

4.1.2 Araç ve Gereçler

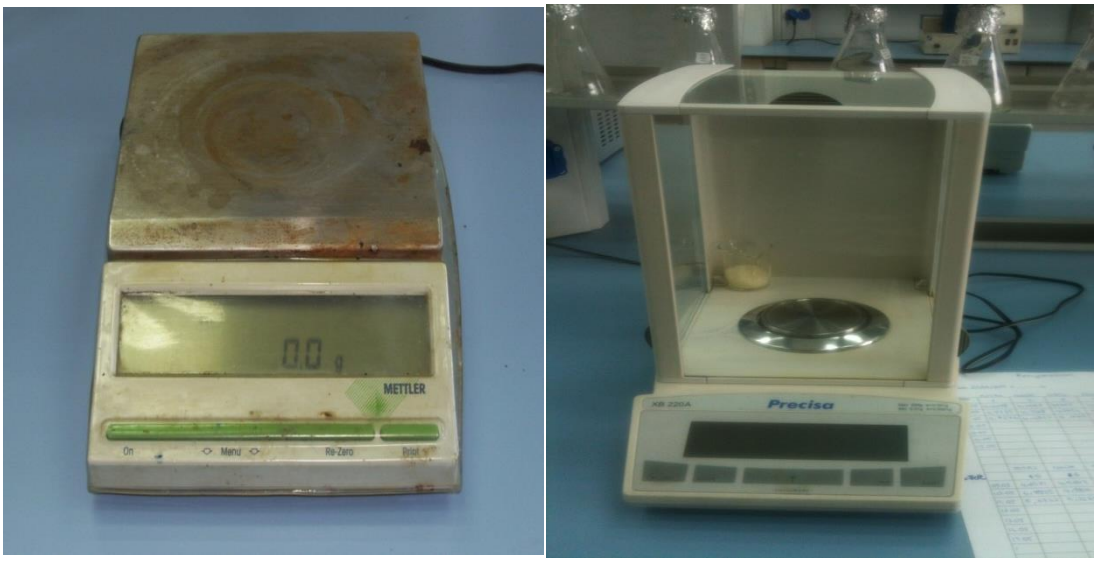
Kurutma çalışmaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümündeki Gıda ve Polimer Teknolojileri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Kurutma işleminde APV & Pasilac (Cumbria, İngiltere) marka bir kabin kurutucu ve Snijders marka kızılötesi kurutucu (Tilburg, Hollanda) kullanılmıştır (Şekil 4.2). Kabin kurutucu çelikten imal edilmiştir. Kabin duvarları 5 cm'lik yarı sert yassı izolasyon maddesi ile kaplanmıştır. Kabin içerisinde havanın hızı, 0,37 kW gücünde bir elektrik motoruyla çalışan sirkülasyon fanı tarafından kontrol edilmektedir. Kurutucu hava sirkülasyon fanının karşısında bulunan 14 adet şerit ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Kabin kurutucu, 200°C sıcaklığa kadar çalışabilmektedir. Sıcaklık ayarı, cihazda bulunan dijital kontrol panelinden yapılabilmektedir.
Kızılötesi kurutucu ise 250 W halojen lamba ile çalışan bir nem analiz cihazıdır.



Şekil 4.2 Kızılötesi kurutucu (solda) ve kabin kurutucu (sağda)

Şekil 4.3'te çalışmalarda kullanılan tartım cihazları gösterilmiştir. Kirazların tartılması için Mettler (model BB3000, Mettler-Toledo AG, Greifensee, İsviçre) marka bir tartım cihazı kullanılmıştır. Bu tartım cihazı 3 kg'a kadar olan ağırlıkları 0,1 gram hassasiyetle ölçebilmektedir. Kuru madde tayininde ise Precisa marka (model XB220A, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) bir hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Tartım Cihazları

Şekil 4.4'de gösterilen etüv cihazı (DIGITHEAT, Abrera, Barselona, İspanya) kirazların kuru madde tayini için kullanılmıştır.



Şekil 4.4 Etüv Cihazı

Şekil 4.5'de gösterilen Testo 440 Vane Anemometre (AM-4201, Lutron, Taipei, Tayvan) kabin kurutucudaki havanın akış hızının ölçümü için kullanılmıştır. Tüm kiraz kurutma denemelerinin gerçekleştirildiği kabin kurutucudaki havanın hızı 2 m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.5 Anemometre

Şekil 4.6'da gösterilen Konica Minolta Kromametre (CR-400, Osaka, Japan) taze ve kurutulan kirazların renk analizleri için kullanılmıştır.



Şekil 4.6 Kromametre (Renkölçer)

4.2 Yöntemler

4.2.1 Kuru Madde Tayini

Kirazların kuru madde miktarlarının belirlenmesi için darası önceden belirlenmiş kapta yaklaşık 5,5±0,5 gram olarak tartılan küçük parçalar halinde kesilmiş örnekler, 105˚C'ye ayarlanmış etüv cihazında sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Etüvdeki bu kurutma işlemi yaklaşık 5 saat sürmüştür. Etüvden alınan örnekler desikatörde 15 dakika bekletildikten sonra hassas terazide tartılmışlardır. Alınan tartımlar sonucu, örneklerin kuru madde miktarları (4.1) eşitliğine göre % olarak hesaplanmıştır;

$$\% \text{ Kuru madde} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \qquad (4.1)$$

m_0: kabın boş kütlesi (g), m_1: kabın ve örneğin kuruma öncesi kütleleri toplamı (g), m_2: kabın ve örneğin kuruma sonrası kütleleri toplamı (g) olarak ifade edilmektedir.

Yapılan kuru madde tayini sonucunda, kurutma denemelerinde kullanılacak kirazların ilk nem içeriği 5,13±0,20 kg su/kg kuru madde (%83,7 yaş baz) olarak bulunmuştur.

4.2.2 Kurutma Çalışmaları

Kabin kurutucuda yapılan kiraz kurutma çalışmaları için; öncelikle ön işlemler için gerekli olan potas çözeltisi ve NaOH çözeltisi hazırlanmıştır. Potas çözeltisi içerik olarak %4'lük potasyum karbonat (K_2CO_3) ve %1'lik zeytinyağından oluşmaktadır. Potas çözeltisi temiz bir beher içine konulan 20 g potasyum karbonat üzerine 5 g zeytinyağı eklendikten sonra 500 g olacak şekilde saf su ile çözelti tamamlanarak hazırlanmıştır. %4'lük sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ise temiz bir beher içine 20 g sodyum hidroksit konulduktan sonra 500 g olacak şekilde saf su ile çözelti tamamlanarak hazırlanmıştır.

Aynı büyüklükteki kirazlar yıkandıktan sonra sapları çıkarılarak ortalama 100'er g olacak şekilde üç farklı gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki 100 g kiraz oda sıcaklığında 3 dakika boyunca hazırlanmış olan potas çözeltisine (Potas kodlu) daldırılmıştır. İkinci gruptaki 100 g kiraz ise yine oda sıcaklığında 3 dakika boyunca NaOH çözeltisine (NaOH kodlu) daldırılmıştır. Üçüncü gruptaki 100 g kiraz (Naturel kodlu), herhangi bir çözeltiye daldırılmamıştır.

Kirazların farklı sıcaklıklarda hava ile kurutulması için öncelikle kurutucuda hava akış hızı ve sıcaklık ayarları yapılmıştır. Sistem kararlı duruma eriştikten sonra ön işlem uygulanan kirazlar ve kontrol grubu kirazlar sabit hızda (2 m/s) ve 60, 65, 70 ve 75°C sıcaklığındaki hava ile kabin kurutucuda son nem içeriği yaklaşık 0,25 kg su/kg kuru madde olana kadar kurutulmuştur.

Kirazların kuruma hızı eşitlik (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır [48]:

$$\frac{dM}{dt} = \left(\frac{M_{t+dt} - M_t}{dt}\right) \quad (4.2)$$

dM/dt: Kuruma hızı (kg su/kg kuru madde×dak), M_t: t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), M_{t+dt}: t+dt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), ve d_t: zaman aralığı (dak) olarak ifade edilmektedir.

Farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemleri sonucunda potas çözeltisinin, NaOH çözeltisine ve natürel olarak kirazlara kıyasla çok daha kısa sürede kuruduğu gözlemlendiğinden; potas çözeltisi için kirazların daldırılma süresinin ve çözelti derişiminin kurutmaya etkisi incelenmek istenmiştir.

Çözelti derişiminin kurutmaya etkisinin incelenmesi amacıyla %2, %3, %4 ve %5'lik potas çözeltileri hazırlanmıştır. Ortalama 100'er g olacak şekilde üç farklı grup kiraz hazırlanarak, farklı derişimlerdeki potas çözeltilerine oda sıcaklığında 3 dakika boyunca daldırılmıştır ve 60°C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda son nem içerikleri yaklaşık 0,25 kg su/kg kuru madde olana kadar kurutulmuştur.

Daldırma süresinin kurutmaya etkisinin incelenmesi amacıyla ortalama 100'er g olacak şekilde dört farklı kiraz grubu 1, 2, 3 ve 4 dakika boyunca hazırlanan %4'lük potas çözeltisine oda sıcaklığında daldırılmıştır. 60°C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda son nem içerikleri yaklaşık 0,25 kg su/kg kuru madde olana kadar kurutulmuştur.

Aynı şekilde ön işlem çözeltisi ile muamale edilen ve edilmeyen kirazlar kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde (75, 88 ve 104 W) son nem içerikleri yaklaşık 0,25 kg su/kg kuru madde olana kadar kurutulmuştur.

Ayrıca kızılötesi kurutucu ile kurutmanın etkisini daha iyi gözlemlemek için yaklaşık 100 g kiraz ön işlem uygulanmadan kızılötesi kurutucuda 88 W güç seviyesinde 1 saat kurutulmuştur. Daha sonra kurutma işlemine 60°C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda

son nem içerikleri yaklaşık 0,25 kg su/kg kuru madde olana kadar devam edilmiştir. Daha sonra aynı işlem kızılötesi kurutucuda 2 saat ve 3 saatlik kurutma için de uygulanmıştır.

Kurutma işlemi sırasında kirazların kütle kaybını belirlemek için her 30 dakikada bir tartım alınmıştır. Kurutma işlemi tamamlanan örnekler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra, Şekil 4.7'de gösterildiği gibi kurutulan kirazlar polietilen torbalara doldurulmuş ve torbaların ağzı ısısal yöntemle kapatılarak saklanmıştır.



Şekil 4.7 Kurutulup paketlenmiş kiraz örnekleri

4.2.3 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi ve Veri Analizi

Deneysel çalışmalar sonucu kurutulan kirazın nem içeriği eşitlik (4.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MR=\frac{M_t-M_e}{M_0-M_e} \tag{4.3}$$

MR: nem oranını, M_t: kurutmanın herhangi bir anındaki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), M_e: denge anındaki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), M_0: başlangıç anındaki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde) göstermektedir. M_e değeri, M_t ve M_0 değerleri ile kıyaslandığında, çok düşük olduğundan hesaplamalarda ihmal edilir [20].

Moleküllerin difüzyonu kinetik bir olaydır ve Fick kanunları ile matematiksel olarak ifade edilir. Fick'in birinci kanununa göre derişimin uzaklık ile değişimi zamandan

bağımsız iken, Fick'in ikinci kanununa göre ise, derişim ve akı zaman ve uzaklığa bağlıdır [35].

Deneysel çalışmalar sonrası elde edilen kurutma eğrileri, gıdalar için kullanılan Lewis, Page, Henderson ve Pabis, Midilli vd., logaritmik ve Aghbashlo vd. modellerine uyarlanmıştır. Bu modeller Fick'in ikinci kanununun genel seri çözümünün basitleştirilmesiyle türetilmiş olup, bahsedilen modeller Çizelge 4.1'de fonksiyonlarıyla birlikte tanımlanmıştır.

Çizelge 4.1 Kiraz örneklerinin kurutma kinetiklerinin matematiksel modellemesi için kullanılan kurutma modelleri

Model Adı	**Eşitlik**	**Kaynak**	**Eşitlik No**
Lewis	$MR= \exp(-kt)$	[61]	(4.4)
Henderson ve Pabis	$MR= a \exp(-kt)$	[62]	(4.5)
Logaritmik	$MR= a \exp(-kt) +c$	[63]	(4.6)
Page	$MR= \exp(-kt^n)$	[64]	(4.7)
Midilli vd.	$MR= a \exp(-kt^n)+bt$	[65]	(4.8)
Aghbashlo vd.	$MR= \exp\left(-\frac{k_1 t}{1+k_2 t}\right)$	[66]	(4.9)

Regresyon analizi için Statistica 8.0.550 bilgisayar yazılımı (StatSoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılmıştır. Model parametreleri Levenberg-Marquardt lineer olmayan regresyon algoritmasına dayanarak değerlendirilmiştir. Determinasyon katsayısı (R^2), ki-kare (χ^2) ve hataların ortalama kare kökü (RMSE) kirazın kuruma eğrilerinin uygunluğunun belirlenmesi için kriter olarak seçilmiştir. R^2, χ^2 ve RMSE değerleri, (4.10), (4.11) ve (4.12) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i}-MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{MR_{pre}}-MR_{exp,i}\right)^2} \quad (4.10)$$

$$\chi^2=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i}-MR_{pre,i}\right)^2}{N-n} \quad (4.11)$$

$$RMSE=\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i}-MR_{exp,i}\right)^2\right]^{1/2} \quad (4.12)$$

Denklemlerde; MR_{exp} deneysel nem oranını, MR_{pre} tahmini nem oranını, N deneysel gözlem sayısını, n kullanılan kurutma modelindeki sabitlerin sayısını gösterir.

En iyi kurutma modelinin seçilmesi için; R^{2}'nin en yüksek, ki-kare (χ^{2}) ve RMSE değerlerinin en düşük olması tercih edilir [9], [15]. Böylelikle deneysel verilerin en uygun modele uyarlanması sağlanmış olur.

4.2.4 Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Azalan hız periyodunda gıdaların kurutma karakteristiği Fick'in ikinci kanunu kullanılarak tanımlanabilir [39]. Fick'in ikinci kanunu eşitlik (4.13)'deki gibi çözülürken, nem transferinin sadece difüzyonla gerçekleştiği, ürünün büzülmediği, sıcaklık ve difüzyon katsayısının sabit olduğu ve kurutma süresinin yeterince uzun olduğu varsayılmıştır [14].

$$MR=\frac{6}{\pi^{2}}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^{2}}\exp\left(-\frac{n^{2}\pi^{2}D_{eff}t}{r^{2}}\right) \tag{4.13}$$

Burada, MR: Ayrılabilir nem oranını (M/M_0), D_{eff}: Etkin difüzyon katsayısını (m^2/s), r: Ürünün çapı (m), ve t: Kurutma süresini (s) göstermektedir.

Uzun kurutma süreleri için eşitlik (4.13)'de sadece serinin ilk terimi kullanılır ve logaritmik formda yazıldığında eşitlik (4.14) elde edilir [14].

$$\ln(MR)=\ln\frac{6}{\pi^{2}}-\frac{\pi^{2}D_{eff}t}{r^{2}} \tag{4.14}$$

MR değerlerinin doğal logaritması alınıp zamana karşı grafiğe geçirilip, elde edilen doğrunun eğimi kullanılarak kurutulan kirazların D_{eff} değerleri (4.15) eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlik (4.15)'da K, doğrunun eğimini göstermektedir [14].

$$K=\frac{\pi^{2}D_{eff}}{r^{2}} \tag{4.15}$$

Bir işlemin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o işlemin sıcaklık değişimine karşı duyarlı olduğunu göstermektedir [14]. Difüzyon katsayısı hesaplandıktan sonra, eşitlik (4.16) kullanılarak kurutulan kirazların aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

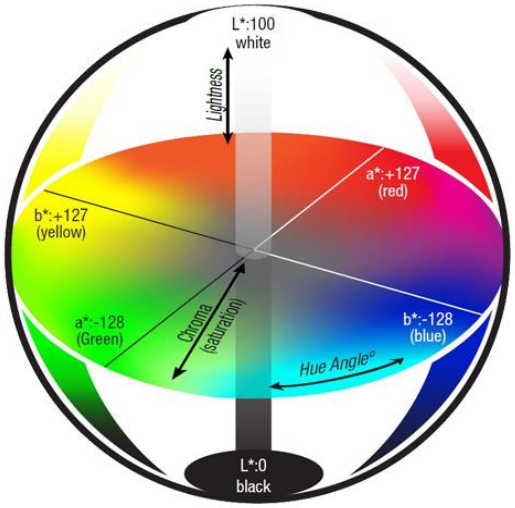
$$D_{eff}=D_{0}\exp\left(-\frac{E_{a}}{R(T+273,15)}\right) \tag{4.16}$$

D_{eff}: Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0: Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s), E_a: Aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R: Gaz sabiti (8,314 kJ/mol.K) ve T: Kurutma sıcaklığıdır(˚C).

4.2.5 Renk Analizi

Kurutulmuş tüm kirazlar ve kontrol grubu olarak taze kirazlar Şekil 4.6'da gösterilen kromametre ile ölçülmüştür. Yapılan her bir deney sonunda kurutulmuş olan örneklerden rastgele 6'sı seçilerek "L*", "a*" ve "b*" değerleri ölçülmüş ve bu değerlerin ortalaması alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

Şekil 4.9'da gösterilen CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) sistemine göre, renk ölçümü esnasında elde edilen "L*", "a*" ve "b*" değerlerinden, "L*" parametresi parlaklığın bir göstergesi olup 0-100 değerleri arasında değer alır. "L*" parametresinin değerinin artması rengin siyahtan beyaza gidişine, "a*" değerinin pozitif olması kırmızılığa, negatif olması yeşilliğe; "b*" parametresinin pozitif olması sarılığa, negatif olması ise maviliğe gidişi göstermektedir [67].



Şekil 4.8 "L*", "a*" ve "b*" değerlerini gösterir renk skalası [68]

BÖLÜM 5

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Sıcak Havalı Kabin Kurutucudan Elde Edilen Bulgular

5.1.1 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Süresine Etkisi

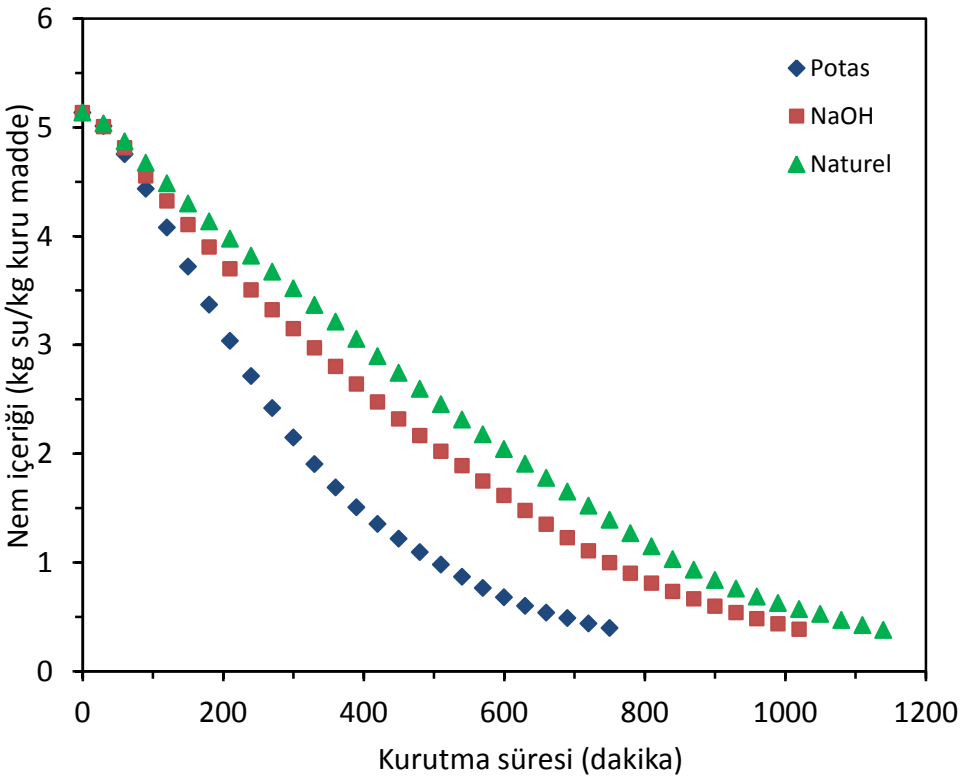
Taze kirazların ilk nem içeriği Bölüm 4.2.1'de detaylı olarak anlatıldığı üzere %83,7 olarak hesaplanmıştır. Kabin kurutucuda yapılan kiraz kurutma çalışmaları için yaklaşık 100'er g üç farklı çekirdekli kiraz grubu oluşturulmuştur. Hazırlanmış olan potas ve NaOH çözeltilerine 3 dakika boyunca daldırılmış iki farklı kiraz grubu ve çözeltiye daldırılmayan kontrol grubu kirazlar sabit hızda ve 60, 65, 70 ve 75°C sıcaklığındaki hava ile kabin kurutucuda son nem içeriği yaklaşık %22 olana kadar kurutulmuştur. Her 30 dakikada bir tartım alınarak hazırlanan nem içeriği-kurutma süresi grafikleri (Şekil 5.1-5.4) çizilmiş olup; her sıcaklık ve çözelti uygulaması için kirazların %22'lik son nem içeriğine ulaştığı toplam kurutma süreleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Farklı sıcaklıkta ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazların toplam kurutma süreleri

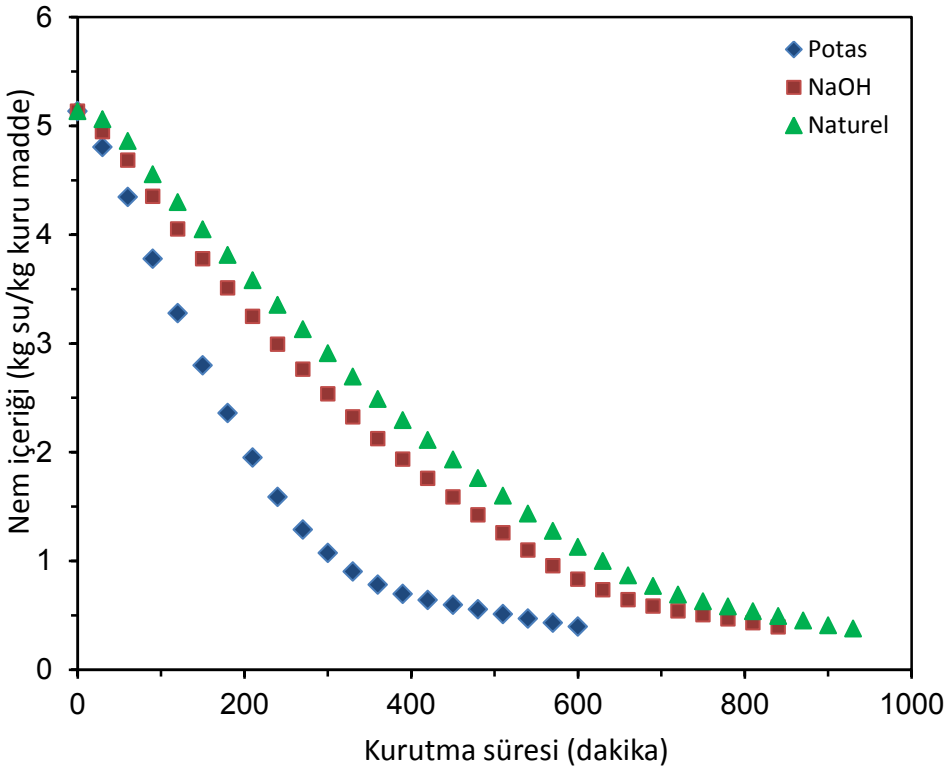
Kurutma Sıcaklığı (°C)	**Toplam Kurutma Süresi (dakika)**		
	Potas	**NaOH**	**Natürel**
60	750	1020	1140
65	600	840	930
70	540	720	780
75	510	600	660

Çizelge 5.1 incelendiğinde, aynı son nem içeriğine ulaşana kadar kurutma sıcaklığı arttıkça tüm gruplarda kirazların toplam kurutma süresinin azaldığı gözlenmektedir. Kurutma sıcaklığının kurutmaya etkisinin incelenmesi için yapılan bu çalışmanın literatürde yapılan diğer meyve kurutma çalışmalarıyla [3], [6-17], [20], [21] uyum göstermiş olduğu ve kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

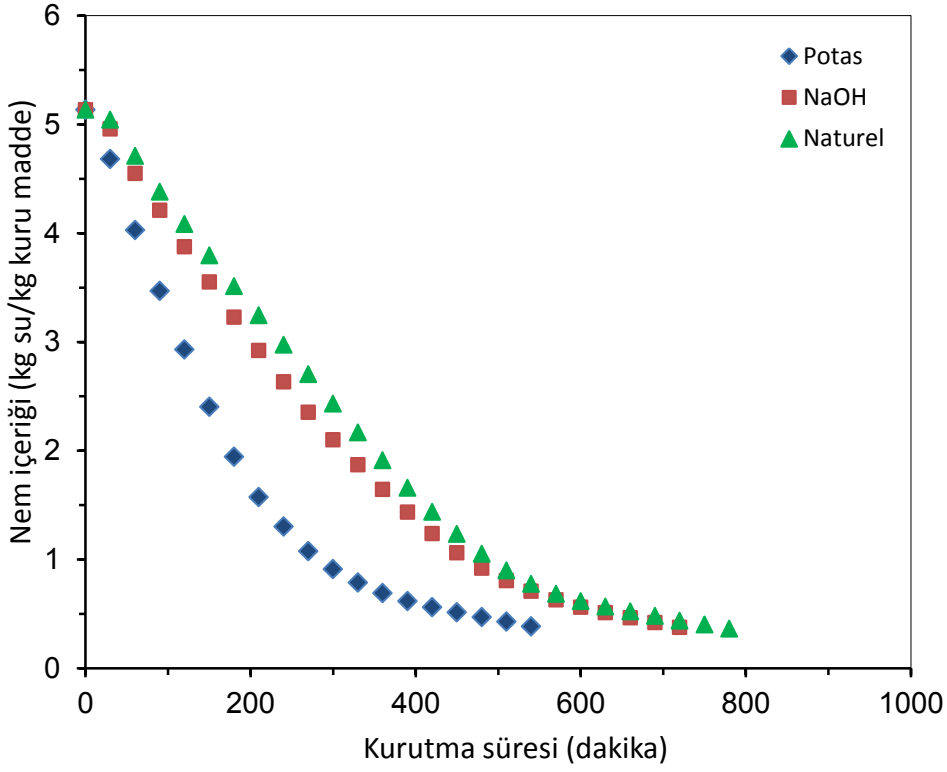
Ayrıca, tüm sıcaklıklarda en kısa kurutma süresi potas çözeltisiyle muamele edilmiş kirazlarda, en uzun kurutma süresi de ön işlem uygulanmamış olan natürel kirazlarda gözlemlenmiştir. Ön işlemin kurutmaya etkisi incelenmek istediğinde, yapılan bu çalışmanın literatürde yapılan diğer meyve kurutma çalışmalarıyla [14], [17], [20], [21] uyum göstermiş olduğu ve çözeltiye daldırarak meyve üzerindeki mumsu tabakanın giderilmesi için yapılan ön işlemin kurutma süresini azalttığı tespit edilmiştir.



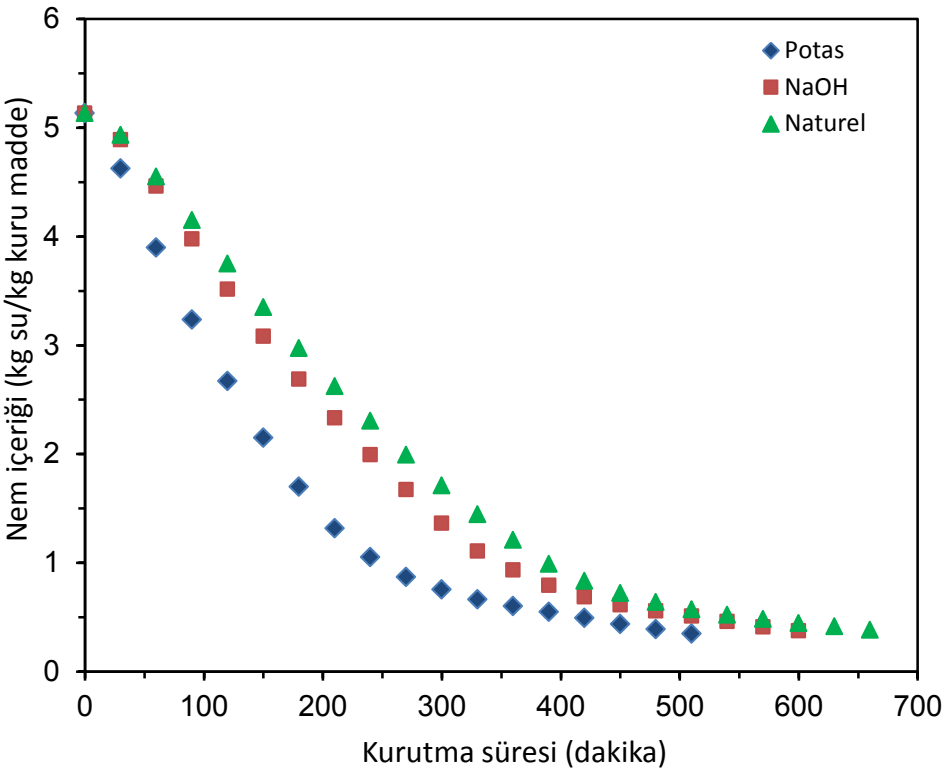
Şekil 5.1 60°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği



Şekil 5.2 65°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği



Şekil 5.3 70°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği



Şekil 5.4 75°C'de kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği

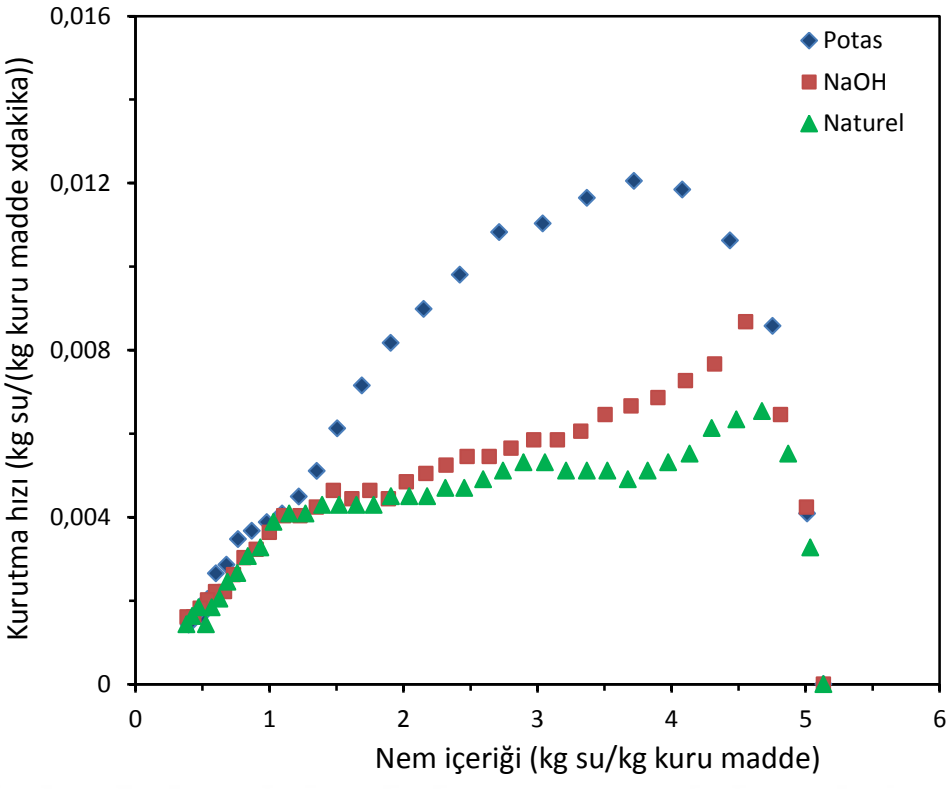
Şekil 5.1 ve 5.4 arasındaki grafikler incelendiğinde, tüm sıcaklıklarda potas çözeltisiyle ön işlem uygulanarak kurutulmuş kirazların natürel olarak kurutulan kirazlara oranla kurutma süresini %25-30 oranında, NaOH çözeltisiyle ön işlem uygulanarak kurutulmuş kirazların natürel olarak kurutulan kirazlara oranla kurutma süresini %7-10 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Kurutma eğrileri incelendiğinde yaklaşık 0,5 kg su/ kg kuru madde (%25-27 w/w) nem içeriğinden itibaren kurutma hızının tüm gruplarda yavaşladığı görülmektedir.

5.1.2 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Hızına Etkisi

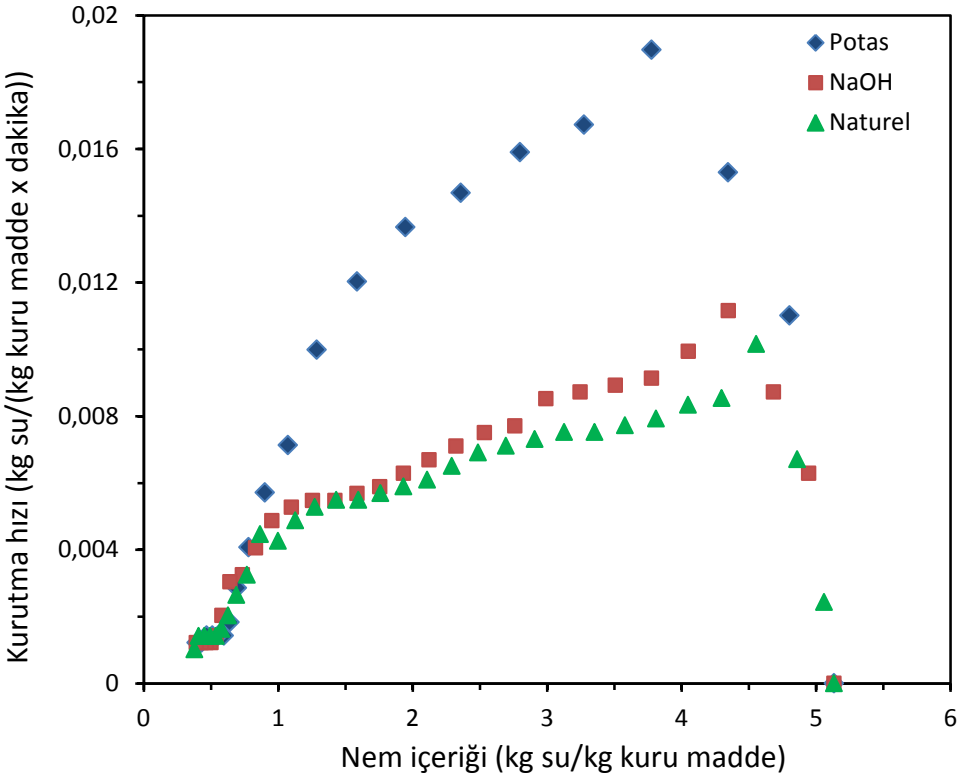
Şekil 5.5 ve 5.8 arasındaki grafikler incelendiğinde, kurutma eğrilerinde sabit kuruma periyodu gözlenmemiştir. Tüm kurutma işlemi azalan kuruma periyodunda gerçekleşmiştir. Benzer sonuçlara daha önce farklı bazı çalışmalarda da rastlanılmıştır [12], [14], [18].

Ayrıca, farklı sıcaklıklarda kurutulan kiraz gruplarında aynı nem içeriği sağlandığı anda en yüksek kurutma hızının potas çözeltisine daldırılarak kurutulan kirazlarda olduğu

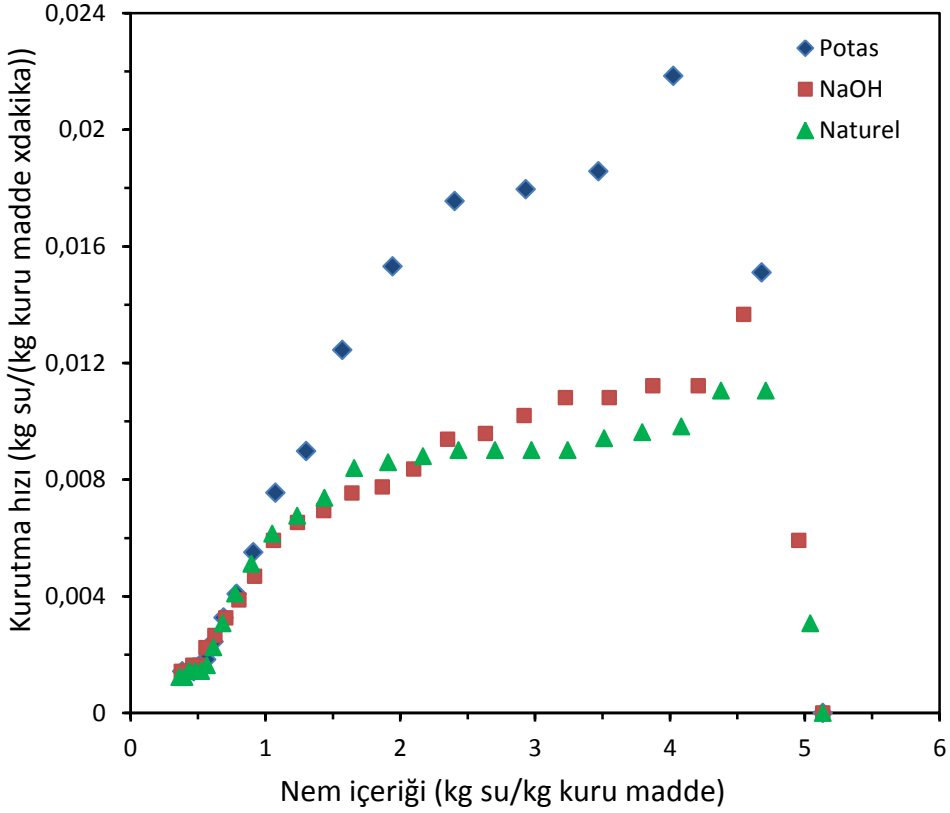
görülmüştür. Bunu NaOH çözeltisine daldırılarak kurutulan kirazların takip ettiği ve en düşük kurutma hızının da ön işlem uygulanmamış natürel kirazlarda görüldüğü tespit edilmiştir.



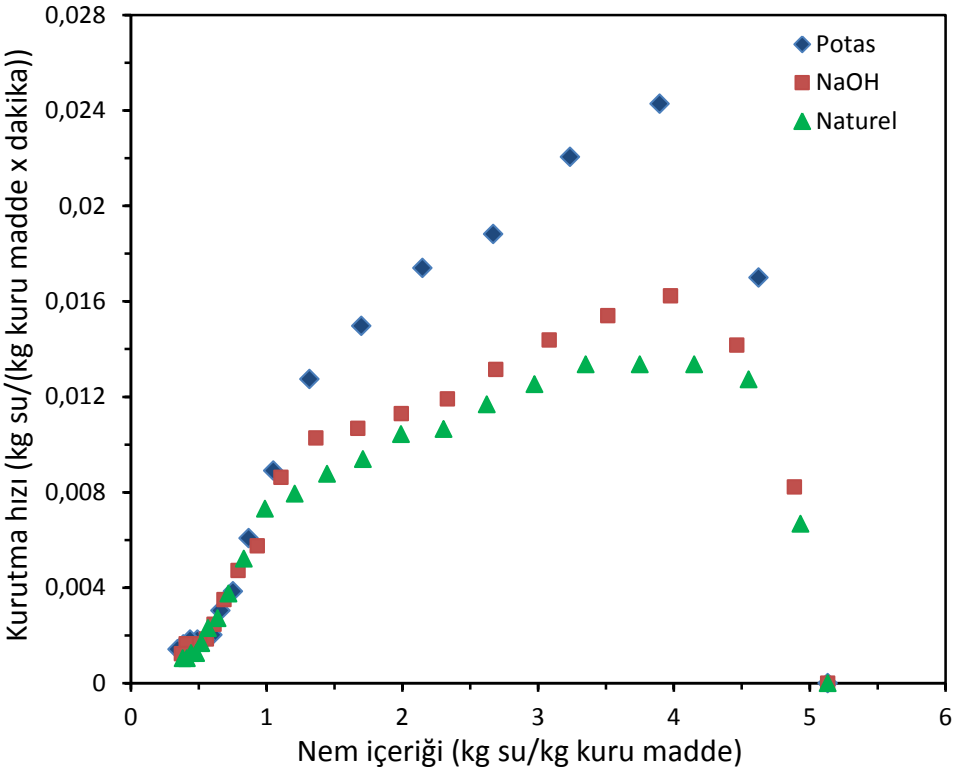
Şekil 5.5 60°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği



Şekil 5.6 65°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği



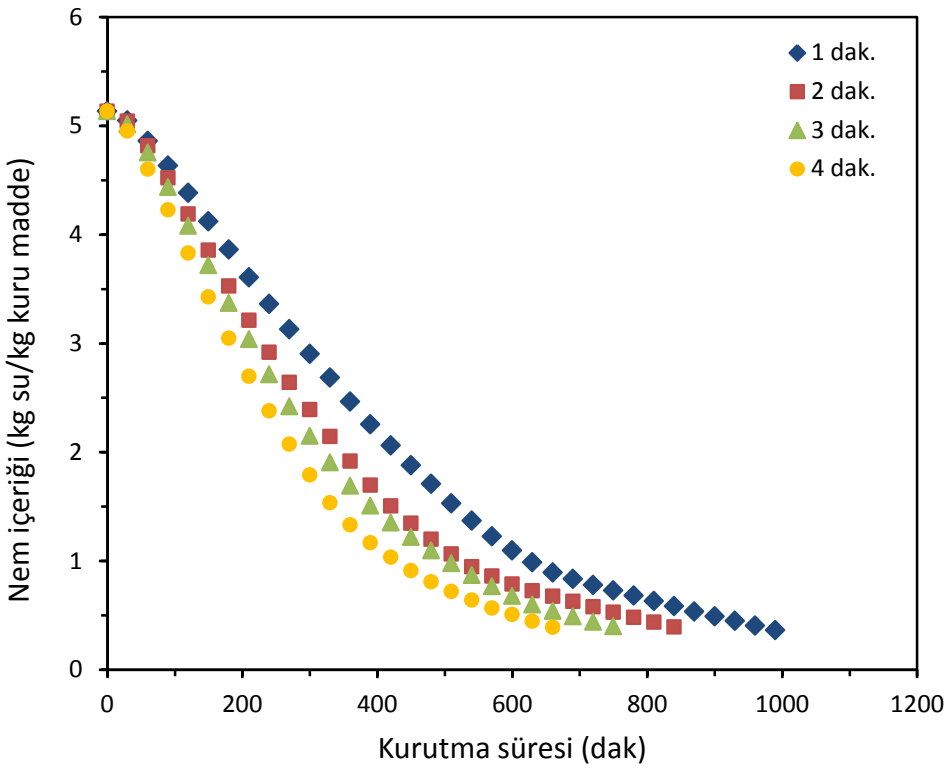
Şekil 5.7 70°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği



Şekil 5.8 75°C'de kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği

5.1.3 Ön İşlem Süresinin Kurutma Hızına ve Kurutma Süresine Etkisi

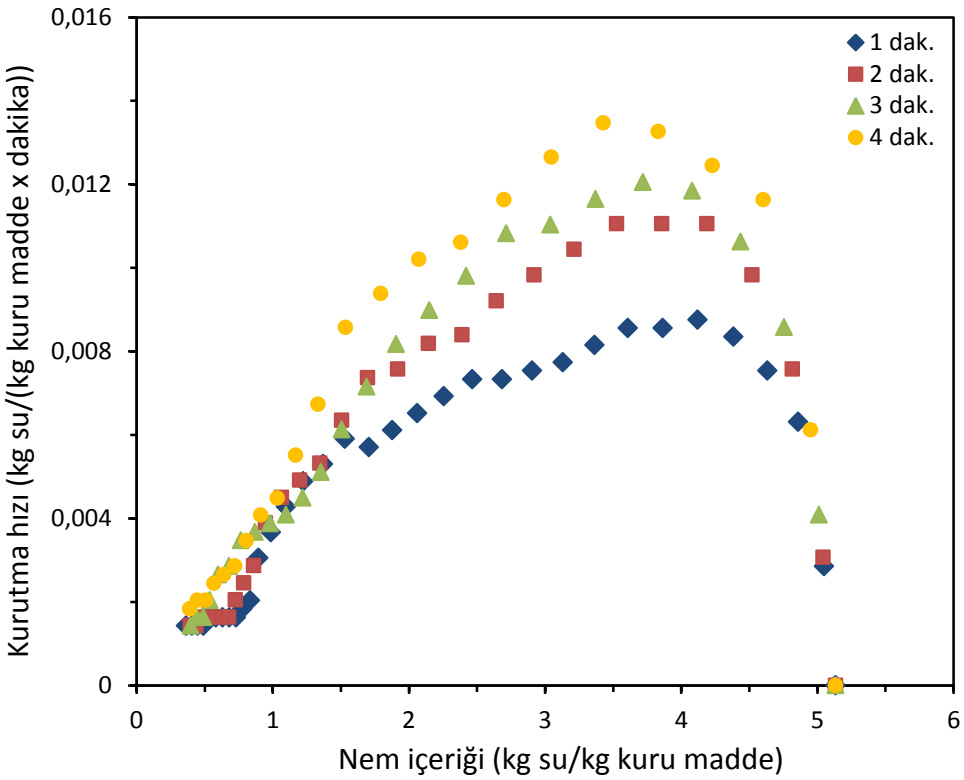
Farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemleri sonucunda potas çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan kirazların, diğer kiraz gruplarına (NaOH ve natürel) göre daha kısa sürede kuruduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple, ön işlem süresinin etkisini gözlemlemek amacıyla kirazlar 1, 2, 3 ve 4 dakika boyunca potas çözeltisi ile muamele edildikten sonra 60°C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Nem içeriği-kurutma süresi, kuruma hızı-nem içeriği grafikleri çizilerek Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.9 Farklı ön işlem süreleri uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Şekil 5.9 incelendiğinde, kirazların kurutulması öncesinde potas çözeltisine daldırılma süresi arttıkça kurutma süresinin azaldığı ve en kısa kurutma süresinin 4 dakika boyunca potas çözeltisine daldırılan kirazlarda gözlendiği tespit edilmiştir.

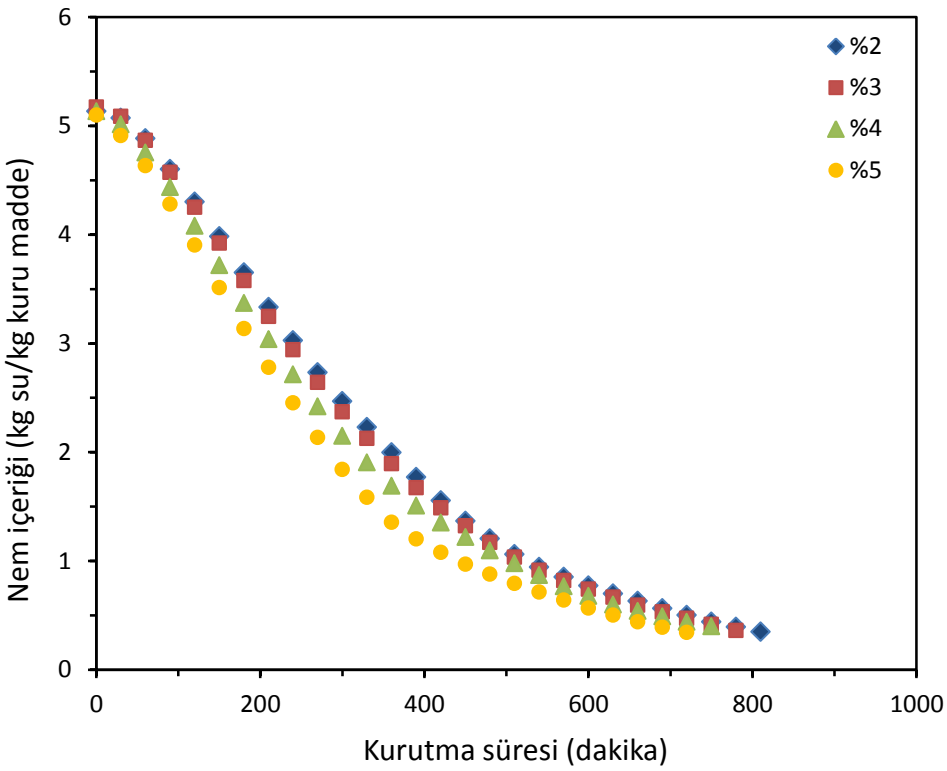
Şekil 5.10 incelendiğinde ise, daha uzun süre potas çözeltisine maruz kalan kirazların kurutma hızının daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 5.10 Farklı ön işlem süreleri uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait kurutma hızı-nem içeriği grafiği

5.1.4 Ön İşlem Çözeltisinin Derişiminin Kurutma Hızına ve Kurutma Süresine Etkisi

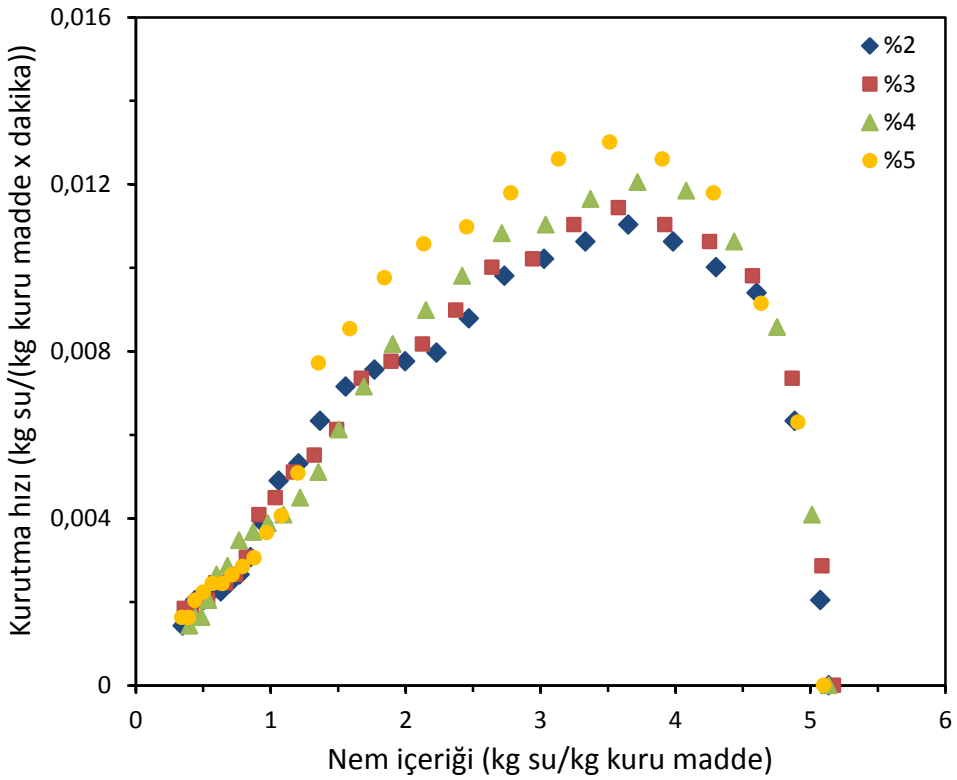
Kirazların kurutma süresini kısalttığı tespit edilen potas çözeltisinin derişiminin kurutma süresi ve hızına etkisini incelemek amacıyla %2, %3, %4 ve %5'lik olarak hazırlanan potas çözeltileri ile oda sıcaklığında 3 dakika boyunca ön işleme tabi tutulmuş ve 60°C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Nem içeriği-kurutma süresi, kuruma hızı-nem içeriği grafikleri çizilerek Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.11 Farklı derişimlerde ön işlem uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Şekil 5.11 incelendiğinde; kirazların kurutulması öncesinde potas çözeltisinin derişimi arttıkça kurutma süresinin azaldığı ve en kısa kurutma süresinin %5'lik potas çözeltisine daldırılan kirazlarda gözlendiği tespit edilmiştir.

Şekil 5.12 incelendiğinde ise; %5'lik potas çözeltisi ile muamele edilen kirazların kurutma hızının diğer örneklere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Potas çözeltisinin derişimi arttıkça kurutma hızının daha yüksek olduğu dolayısıyla kurutma süresinin kısaldığı görülmüştür.



Şekil 5.12 Farklı derişimlerde ön işlem uygulanmış kirazların 60°C'de kurutulmasına ait kurutma hızı-nem içeriği grafiği

5.1.5 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Determinasyon katsayısı (R^2), ki-kare (χ^2) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) kirazın kuruma eğrilerinin uygunluğunun belirlenmesi için kriter olarak seçilmiştir. R^2, χ^2 ve RMSE değerleri, (4.10)-(4.12) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Determinasyon katsayısı (R^2), ki-kare ($\chi 2$) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) istatistik parametrelerinin karşılaştırılması için altı farklı kurutma modeli kullanılmıştır. Bu modeller her bir ön işlem ve her bir kurutma sıcaklığı için çizilen kurutma eğrilerine ayrı ayrı uygulanarak anılan veriler hesaplanmış olup, veriler Çizelge 5.2-5.6 arasında gösterilmiştir. Tüm durumlarda R^2 değerleri 0,96'dan yüksek bulunmuş olup, bu da kurutma eğrileri ile modellerin uyum sağladığını göstermektedir. R^2 değerleri 0,9623-0,9996 arasında, χ^2 değerleri 0,000033-0,003618 arasında ve RMSE değerleri ise 0,020850-0,31974 arasında değişmektedir.

Çizelge 5.2 60°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları

Ön İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9745	0,002399	0,207683
	Henderson ve Pabis	0,9884	0,001137	0,133684
	Logaritmik	0,9936	0,000646	0,096641
	Page	0,9984	0,000155	0,053280
	Midilli vd.	0,9996	0,000033	0,023199
	Aghbashlo vd.	0,9922	0,000756	0,109553
NaOH	Lewis	0,9758	0,002084	0,298771
	Henderson ve Pabis	0,9853	0,001208	0,179162
	Logaritmik	0,9990	0,000082	0,039044
	Page	0,9980	0,000165	0,006545
	Midilli vd.	0,9996	0,000034	0,021548
	Aghbashlo vd.	0,9995	0,000037	0,029889
Natürel	Lewis	0,9620	0,003267	0,31974
	Henderson ve Pabis	0,9756	0,002159	0,25056
	Logaritmik	0,9982	0,000162	0,05976
	Page	0,9967	0,000291	0,05286
	Midilli vd.	0,9995	0,000041	0,02774
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000076	0,04566

Çizelge 5.3 65°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları

Ön İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9827	0,001627	0,141216
	Henderson ve Pabis	0,9894	0,001049	0,117016
	Logaritmik	0,9895	0,001091	0,120105
	Page	0,9932	0,000668	0,098114
	Midilli vd.	0,9996	0,000044	0,024036
	Aghbashlo vd.	0,9877	0,000756	0,0131831
NaOH	Lewis	0,9799	0,001785	0,202436
	Henderson ve Pabis	0,9887	0,001041	0,147083
	Logaritmik	0,9971	0,000273	0,068528
	Page	0,9992	0,000068	0,036099
	Midilli vd.	0,9993	0,000067	0,036015
	Aghbashlo vd.	0,9982	0,000164	0,051547
Natürel	Lewis	0,9683	0,002942	0,275202
	Henderson ve Pabis	0,9832	0,001612	0,192329
	Logaritmik	0,9958	0,000413	0,090020
	Page	0,9994	0,000073	0,040172
	Midilli vd.	0,9995	0,000070	0,039972
	Aghbashlo vd.	0,9968	0,000303	0,077787

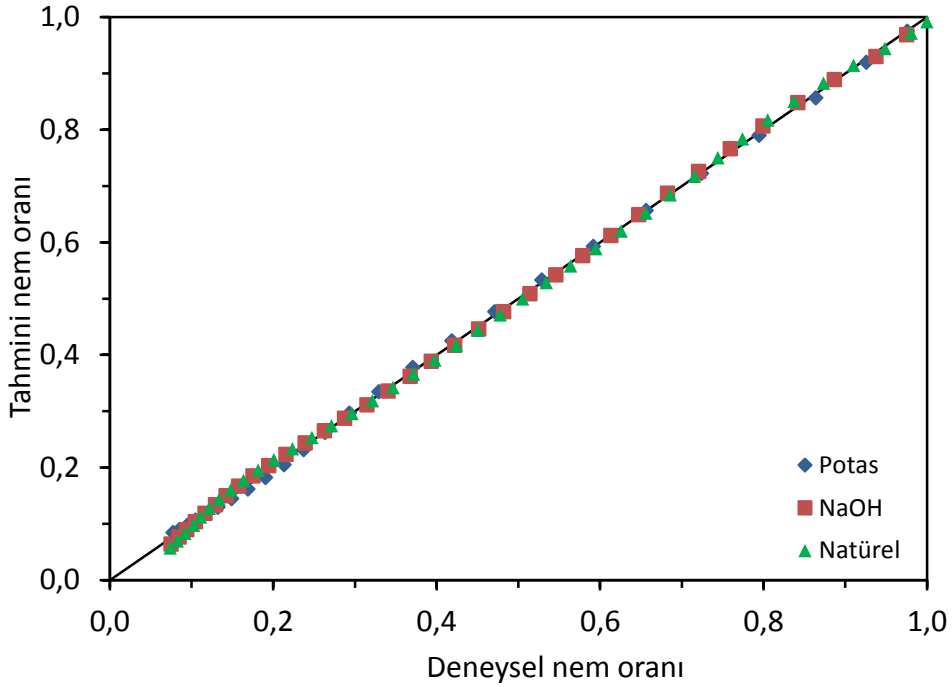
Çizelge 5.4 70°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları

Ön İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9903	0,000877	0,101462
	Henderson ve Pabis	0,9936	0,000616	0,089867
	Logaritmik	0,9936	0,000653	0,088845
	Page	0,9948	0,000496	0,080637
	Midilli vd.	0,9996	0,000038	0,020850
	Aghbashlo vd.	0,9919	0,000772	0,099138
NaOH	Lewis	0,9791	0,001926	0,193833
	Henderson ve Pabis	0,9887	0,001086	0,136394
	Logaritmik	0,9959	0,000720	0,107080
	Page	0,9995	0,000048	0,027929
	Midilli vd.	0,9996	0,000043	0,026913
	Aghbashlo vd.	0,9969	0,000301	0,070075
Natürel	Lewis	0,9623	0,003618	0,271059
	Henderson ve Pabis	0,9785	0,002160	0,195898
	Logaritmik	0,9931	0,000721	0,107087
	Page	0,9986	0,000139	0,049382
	Midilli vd.	0,9987	0,000135	0,048860
	Aghbashlo vd.	0,9950	0,000498	0,091254

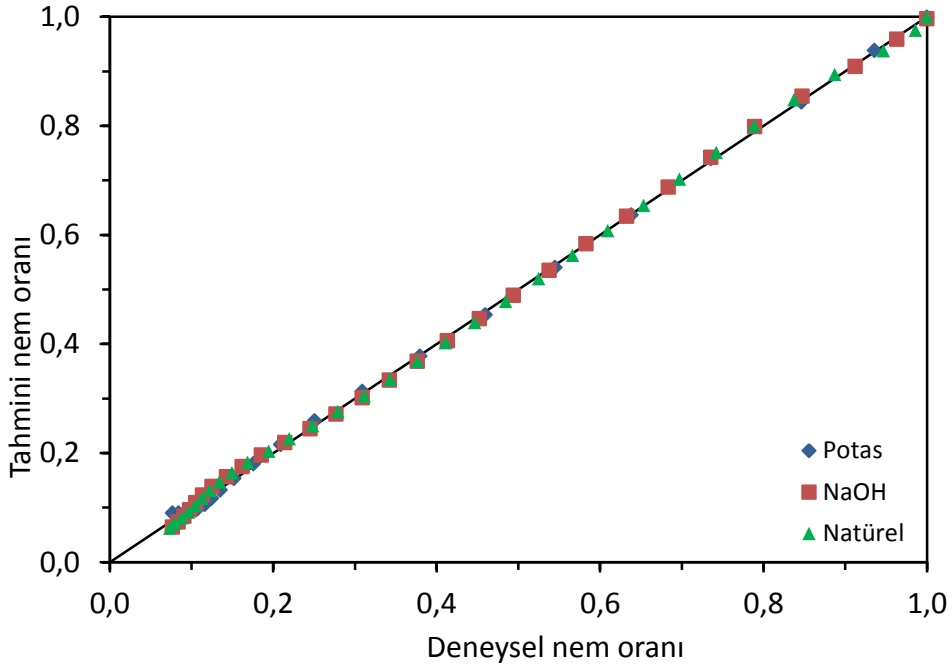
Çizelge 5.5 75°C'de farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazlara uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları

Ön İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9901	0,000907	0,099642
	Henderson ve Pabis	0,9929	0,000685	0,092592
	Logaritmik	0,9930	0,000717	0,088883
	Page	0,9938	0,000593	0,085096
	Midilli vd.	0,9994	0,000066	0,025560
	Aghbashlo vd.	0,9911	0,000859	0,101235
NaOH	Lewis	0,9774	0,002208	0,180426
	Henderson ve Pabis	0,9876	0,001279	0,126631
	Logaritmik	0,9916	0,000913	0,108963
	Page	0,9971	0,000233	0,052525
	Midilli vd.	0,9996	0,000042	0,022831
	Aghbashlo vd.	0,9921	0,000809	0,104750
Natürel	Lewis	0,9714	0,002767	0,208213
	Henderson ve Pabis	0,9842	0,001614	0,150322
	Logaritmik	0,9927	0,000789	0,100543
	Page	0,9989	0,000114	0,032769
	Midilli vd.	0,9996	0,000048	0,025555
	Aghbashlo vd.	0,9938	0,000629	0,091636

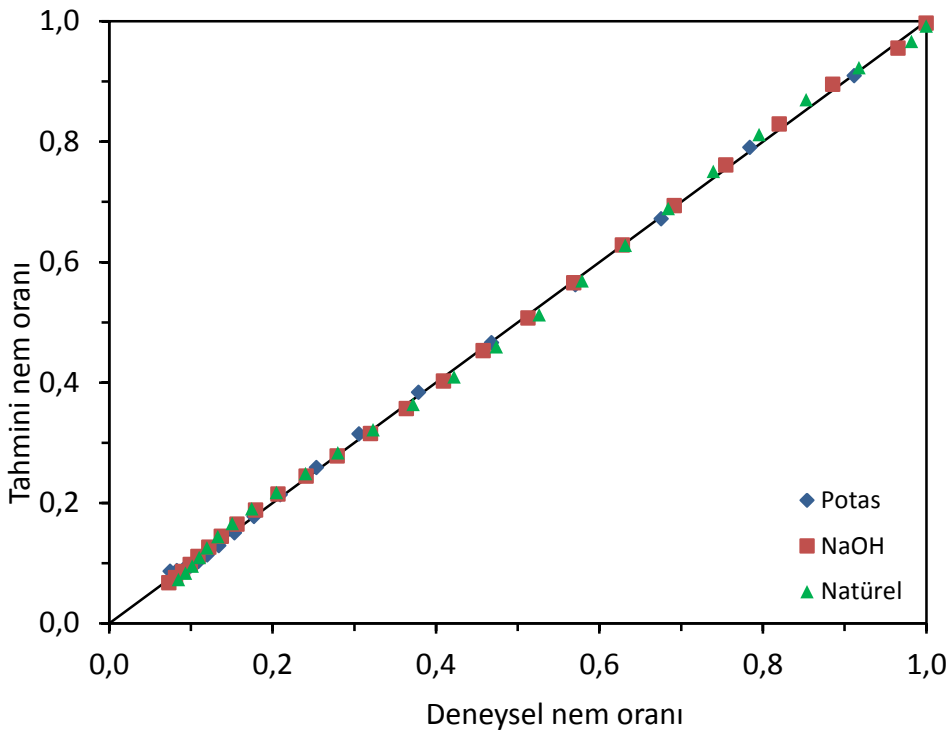
Çizelge 5.2-5.5'deki veriler incelendiğinde, R^2 değerleri için en yüksek, χ^2 ve RMSE değerleri için en düşük veriler Midilli vd. modelinde gözlenmiştir. Bu sebeple kirazların kurutma eğrilerinin kurutma modeli olarak bu model seçilmiştir.



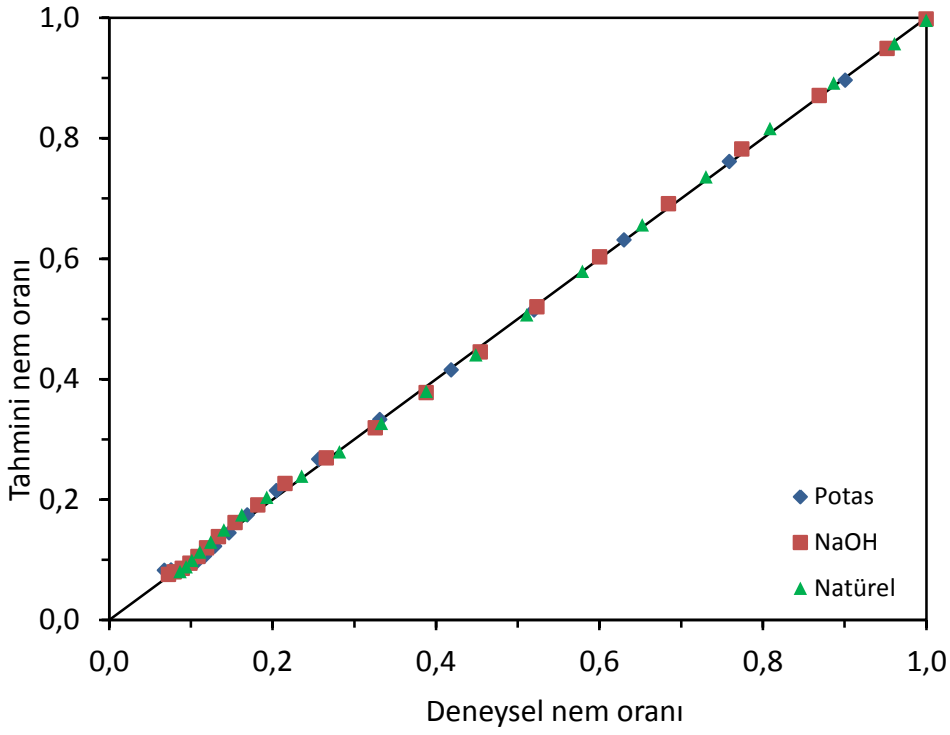
Şekil 5.13 60°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



Şekil 5.14 65°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



Şekil 5.15 70°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



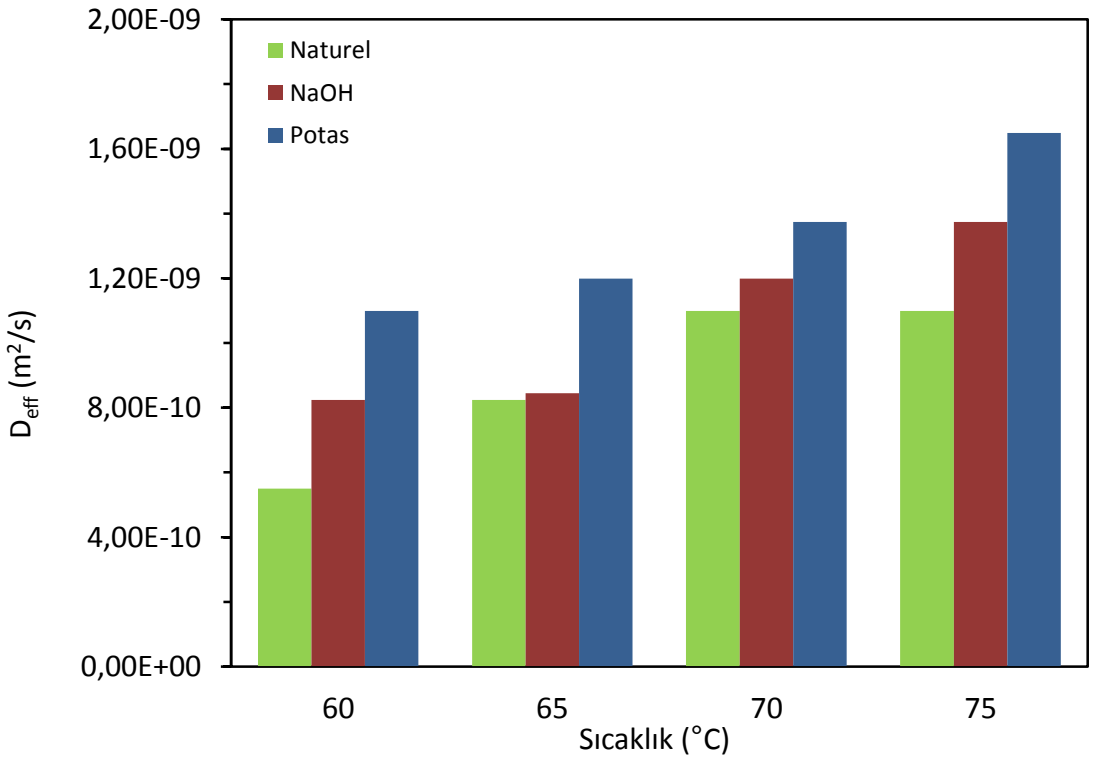
Şekil 5.16 75°C'de farklı ön işlemlerle kurutulmuş kirazların deneysel nem oranlarının Midilli vd. modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması

Şekil 5.13-5.16 arasındaki grafiklerde Midilli vd. modelinden elde edilen nem oranı değerleri ile deneysel olarak elde edilen nem değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Şekil 5.13-5.16 arasındaki grafikler incelendiğinde; 60, 65, 70 ve 75°C'de kurutulan kirazların Midilli vd. modeli kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranlarının düz bir çizgi üzerinde sıralandığı görülmektedir. Bu sonuç, Midilli vd. modelinin kirazın kurutma karakteristiklerini tanımlamak açısından uygun bir model olduğunu göstermektedir.

5.1.6 Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Eşitlik (4.15) kullanılarak elde edilen potas ve NaOH çözeltileri ile ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan ve natürel olarak kurutulan kirazların etkin difüzyon katsayıları $5{,}49\times10^{-10}$ m^2/s ile $1{,}65\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmekte olup, hesaplanan etkin difüzyon katsayıları Şekil 5.17'te gösterilmektedir.



Şekil 5.17 Deneysel olarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazların etkin difüzyon katsayıları

Potas çözeltisi uygulanarak kurutulan kirazların etkin difüzyon katsayıları $1{,}10\times10^{-9}$ – $1{,}65\times10^{-9}$ m^2/s, NaOH çözeltisi uygulanarak kurutulan kirazların etkin difüzyon katsayıları $1{,}37\times10^{-9}$ - $8{,}24\times10^{-10}$ m^2/s ve ön işlem görmeden kurutulan kirazların etkin difüzyon katsayıları $1{,}10\times10^{-9}$ - $5{,}49\times10^{-10}$ m^2/s arasında değişmektedir.

Literatürde yapılan incelemeler neticesinde elde edilen kiraz, vişne, üzüm ve elma meyvelerinin kurutulmasına ait etkin difüzyon katsayıları Çizelge 5.6'da gösterilmekte olup, deneysel olarak bulunan etkin difüzyon değerleri ile literatürde belirtilen difüzyon değerleri olan 10^{-10} - 10^{-9} m^2/s aralığının uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.6 Literatürde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş farklı meyvelerin difüzyon katsayıları

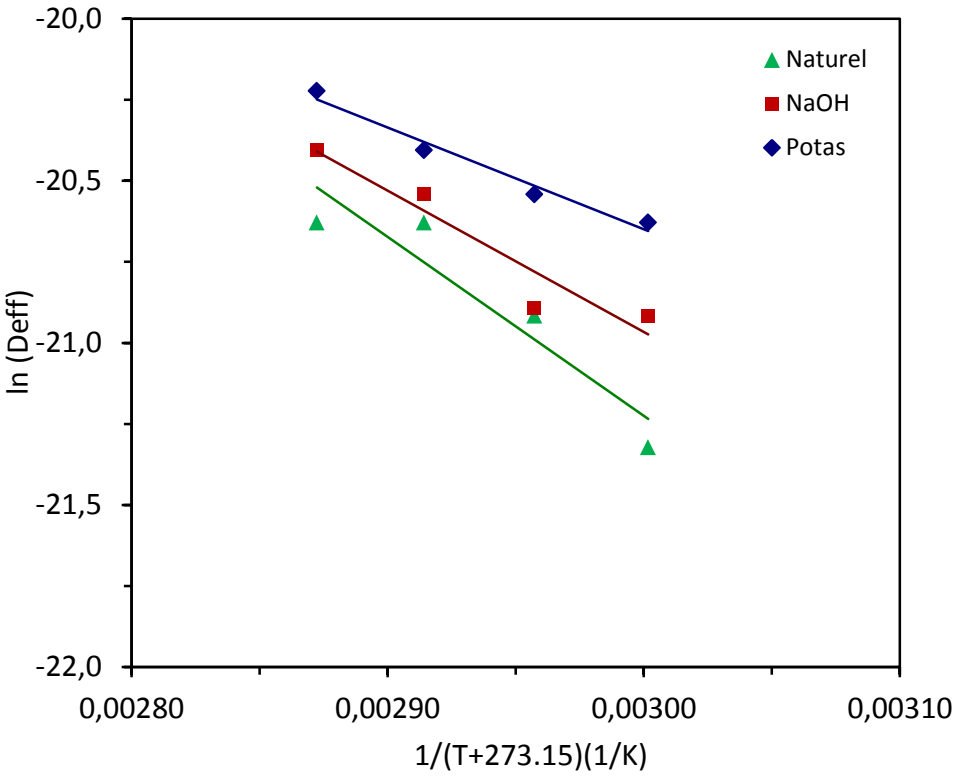
Ürün	**T (˚C)**	**Ön İşlem**	**D_{eff} (m^2/s)**	**Kaynak**
Elma	40-60	-	$2{,}27\times10^{-10}$ -$4{,}97\times10^{-10}$	[9]
Kiraz	50-80	-	$6{,}81\times10^{-11}$-$3{,}47\times10^{-10}$	[12]
Vişne	60-80	-	$3{,}46\times10^{-9}$ -$13{,}08\times10^{-9}$	[13]
Kiraz	60-75	Etil oleat	$5{,}68\times10^{-10}$-$1{,}54\times10^{-9}$	[14]
Üzüm	60	Etil oleat, K_2CO_3	$3{,}82\times10^{-10}$-$1{,}28\times10^{-9}$	[23]

Kurutma havasının sıcaklığının artmasıyla birlikte ön işlem görmüş ve natürel olarak kurutulmuş kirazların etkin difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda kiraz içerisindeki suyun daha kolay buharlaşmasıyla açıklanabilir. Ayrıca tüm sıcaklıklar kendi içinde değerlendirildiğinde potas çözeltisi uygulanarak kurutulan kirazların en hızlı kuruduğu, bunu NaOH çözeltisi uygulanarak kurutulan kirazların takip ettiği ve en düşük etkin difüzyon katsayısına ön işlem görmeden kurutulan kirazlarda rastlandığı tespit edilmiştir.

5.1.7 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Reaksiyon hızının sıcaklık derecesine bağımlılık düzeyi, aktivasyon enerjisinin (E_a) hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Reaksiyon hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tarafından tanımlanmıştır [69].

Aktivasyon enerjisi değerleri, ln(D_{eff}) ile sıcaklık arasında çizilen ve Şekil 5.18'de gösterilen doğruların eğimlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.18 Aktivasyon enerjisinin tahmini için etkin difüzivite ile mutlak sıcaklık arasındaki Arrhenius tipi ilişki

Eşitlik (5.1), (5.2) ve (5.3) ile ön işlem uygulanarak (potas ve NaOH çözeltileri) ve natürel olarak kurutulan kirazlar için etkin difüzyon katsayı değerlerine sıcaklığın etkisi gösterilmiştir.

Potas kodlu:

$$D_{eff}=1{,}300\times10^{-5}\exp\left(-\frac{3132{,}9}{T+273{,}15}\right) \quad R^2=0{,}9716 \tag{5.1}$$

NaOH kodlu:

$$D_{eff}=3{,}768\times10^{-4}\exp\left(-\frac{4361}{T+273{,}15}\right) \quad R^2=0{,}9054 \tag{5.2}$$

Natürel kodlu:

$$D_{eff}=9{,}319\times10^{-3}\exp\left(-\frac{5516{,}5}{T+273{,}15}\right) \quad R^2=0{,}8768 \tag{5.3}$$

Yukarıda gösterilen eşitliklerden yararlanarak potas, NaOH ve natürel kodlu kiraz örneklerinin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 26,05, 36,25 ve 45,86 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bazı meyvelerin aktivasyon enerji değerleri Çizelge 5.7'de verilmiş olup, literatür değerleri bu çalışmadan elde edilen veriler ile uyum göstermektedir.

Çizelge 5.7 Literatürde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş farklı meyvelerin aktivasyon enerjileri

Ürün	T (˚C)	Ön İşlem	E_a (kj/mol)	Referans
Vişne	60, 70, 80	-	64,39–66,05	[13]
Kiraz	60, 70, 75	Etil oleat	43,05-49,17	[14]
Vişne	35, 50, 65	-	30,31-41,68	[18]
Vişne	60, 70, 80	-	100,78- 103,94	[22]

5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucudan Elde Edilen Bulgular

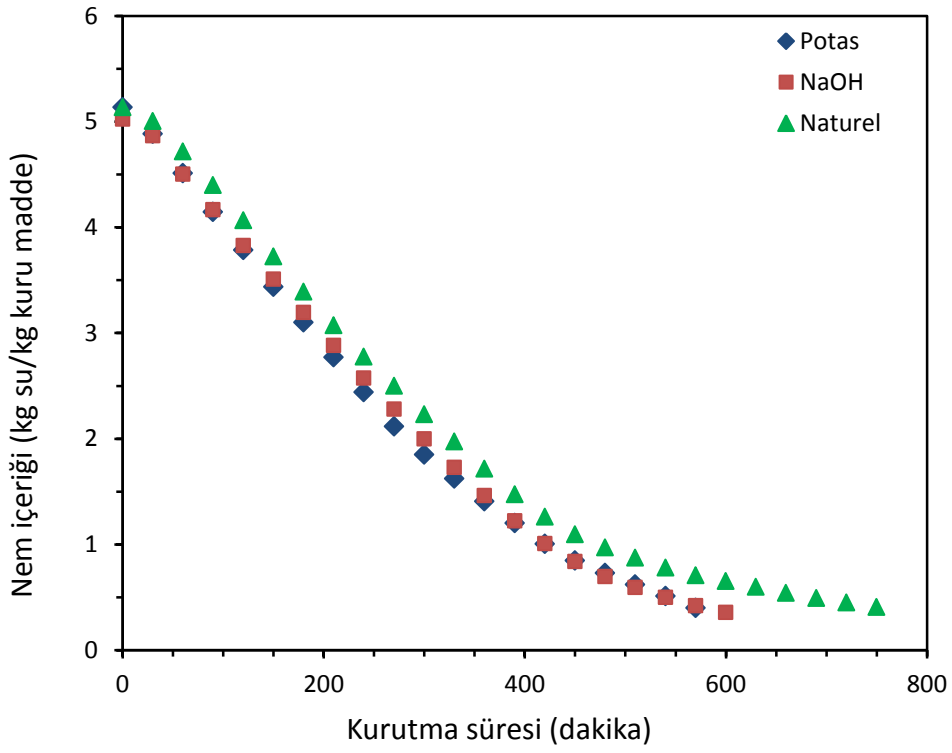
5.2.1 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Süresine Etkisi

Kızılötesi kurutucuda yapılan kiraz kurutma çalışmaları için yaklaşık 100'er g üç farklı kiraz grubu oluşturulmuştur. Hazırlanmış olan potas ve NaOH çözeltileri ile 3 dakika boyunca muamele edilmiş iki farklı kiraz grubu ve natürel kirazlar 75 W, 88 W ve 104 W güç seviyelerinde son nem içeriği yaklaşık %22 olana kadar kurutulmuştur. Her güç seviyesinde farklı ön işlem çözeltileriyle yapılan deneyler sonucunda saptanan toplam kurutma süreleri Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

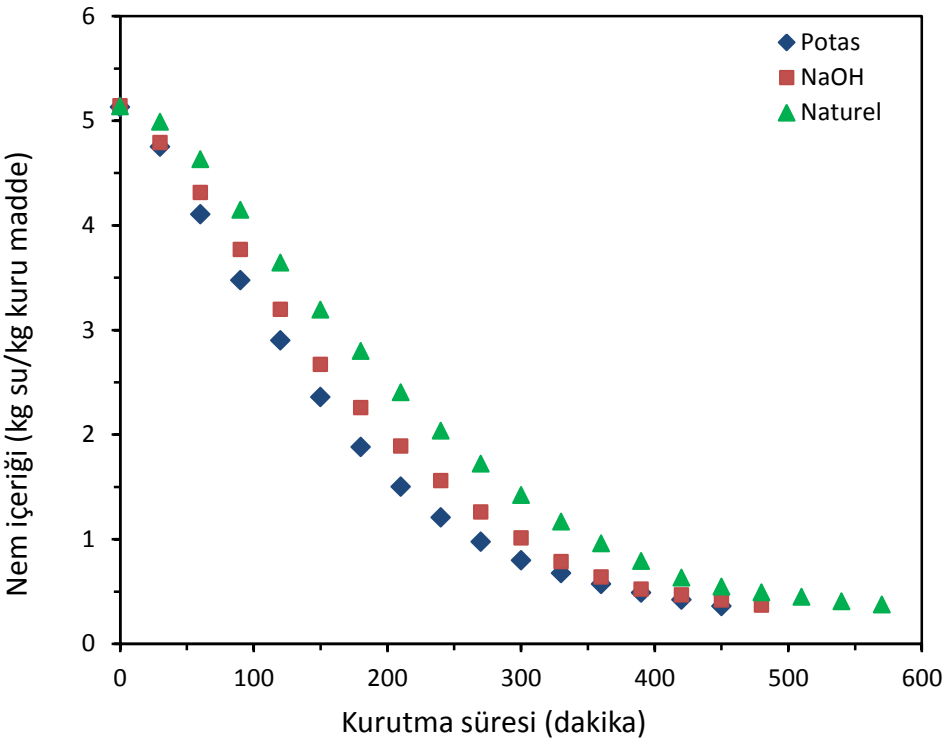
Çizelge 5.8 Farklı güç seviyelerinde ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş kirazların toplam kurutma süreleri

Güç Seviyesi (W)	Toplam Kurutma Süresi (dakika)		
	Potas	NaOH	Natürel
75	570	600	750
88	450	480	570
104	300	330	360

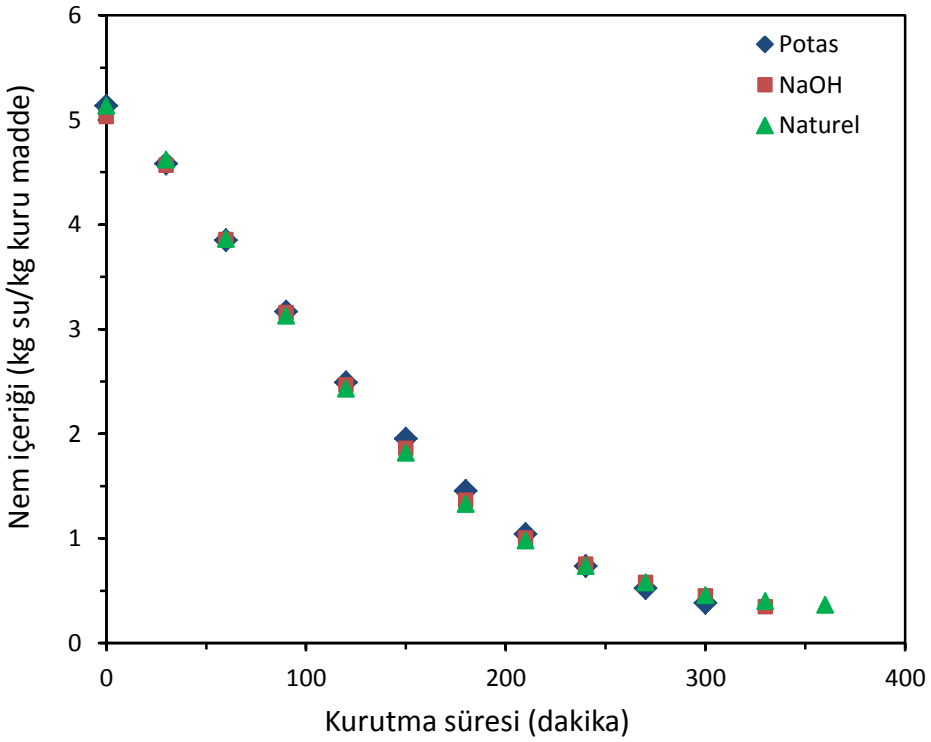
Çizelge 5.8 incelendiğinde, aynı son nem içeriğine ulaşana kadar kızılötesi kurutucuda kurutulan kirazların kurutma süreleri güç seviyesi arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, tüm güç seviyelerinde en kısa kurutma süresi potas çözeltisiyle muamele edilmiş kirazlarda, en uzun kurutma süresi de ön işlem uygulanmamış olan natürel kirazlarda saptanmıştır. Kızılötesi güç seviyesinin kurutma süresine etkisinin incelenmesi için yapılan bu çalışmanın literatürde yapılan diğer kızılötesi meyve kurutma çalışmalarıyla [15] ve [18] uyum göstermiş olduğu ve kızılötesi güç seviyesi arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda çizilen nem içeriği-kurutma süresi grafikleri Şekil 5.19-5.21'de gösterilmektedir.



Şekil 5.19 75 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği



Şekil 5.20 88 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği



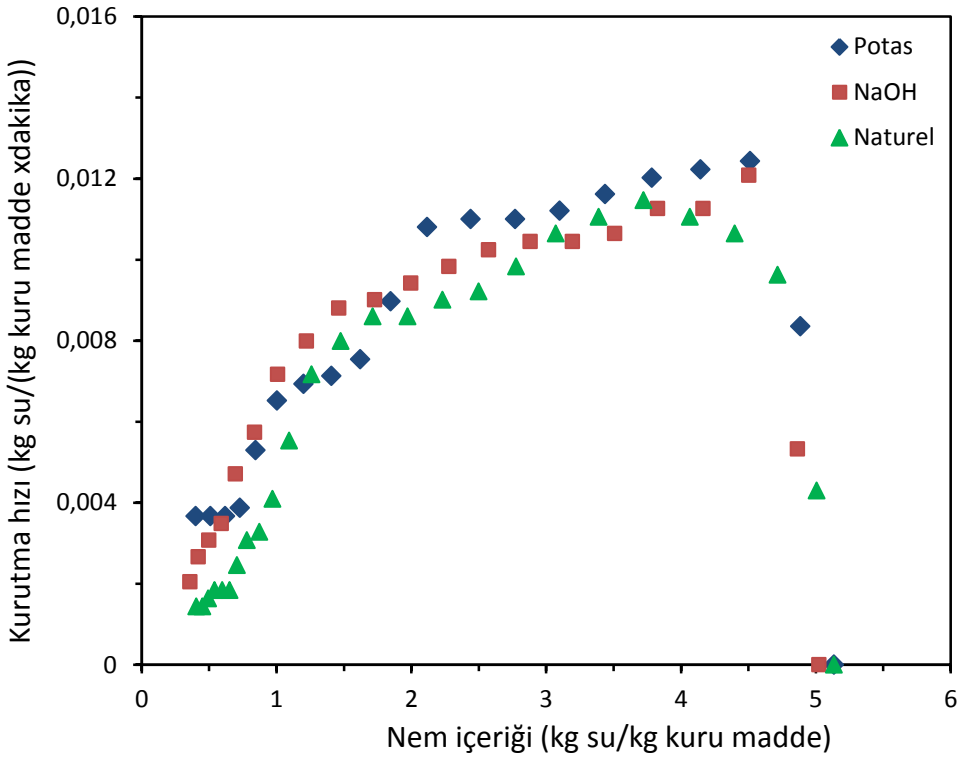
Şekil 5.21 104 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Şekil 5.19 ve 5.21 arasındaki grafikler incelendiğinde, kurutmanın gerçekleştiği tüm kızılötesi güç seviyelerinde potas çözeltisiyle ön işlem uygulanarak kurutulmuş kirazların natürel olarak kurutulan kirazlara oranla kurutma süresini % 16-24 ve NaOH çözeltisiyle ön işlem uygulanarak kurutulmuş kirazların natürel olarak kurutulan kirazlara oranla kurutma süresini ise %10-20 oranlarında daha azalttığı tespit edilmiştir.

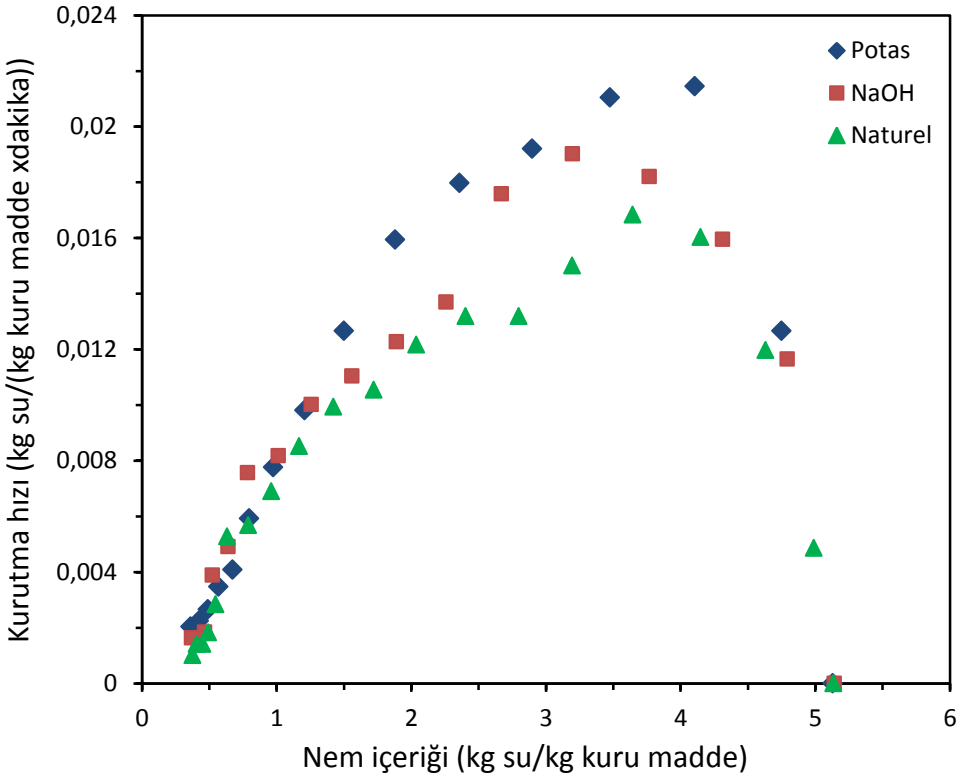
104 W güç seviyesinde kurutulan kirazların kurutma eğrileri incelendiğinde potas ve NaOH çözeltileriyle muamele edilmiş ve natürel olarak kızılötesi kurutucu ile kurutulan kirazların kurutma eğrilerinin neredeyse tüm nem içeriklerinde birbiri ile kesiştiği gözlenmiştir. Buradan kurutma hızlarının yüksek kızılötesi güç seviyelerinde birbirine yaklaştığı ve ön işlemin etkisinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

5.2.2 Ön İşlem Çözeltisinin Kurutma Hızına Etkisi

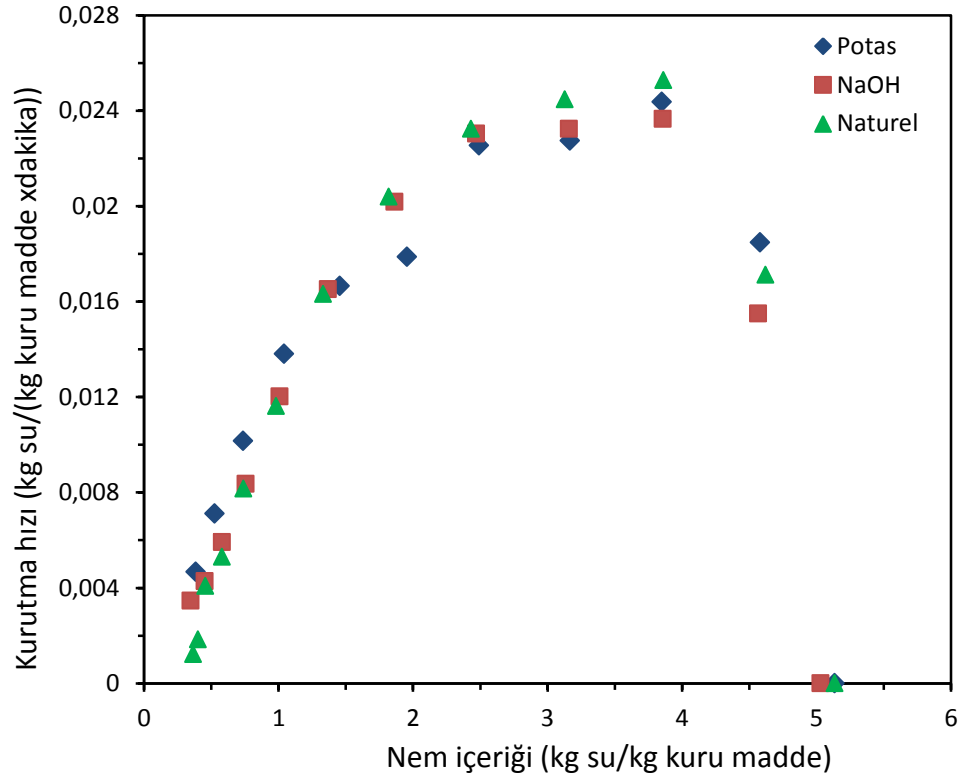
Kızılötesi kurutucu ile kurutulan kirazların kurutma hızı; deneysel verilerden yararlanarak ve eşitlik (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan kurutma çalışmalarında sabit kuruma periyodu gözlenmemiş olup, azalan kuruma periyodunda kuruma gözlenmiştir.



Şekil 5.22 75 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği



Şekil 5.23 88 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği

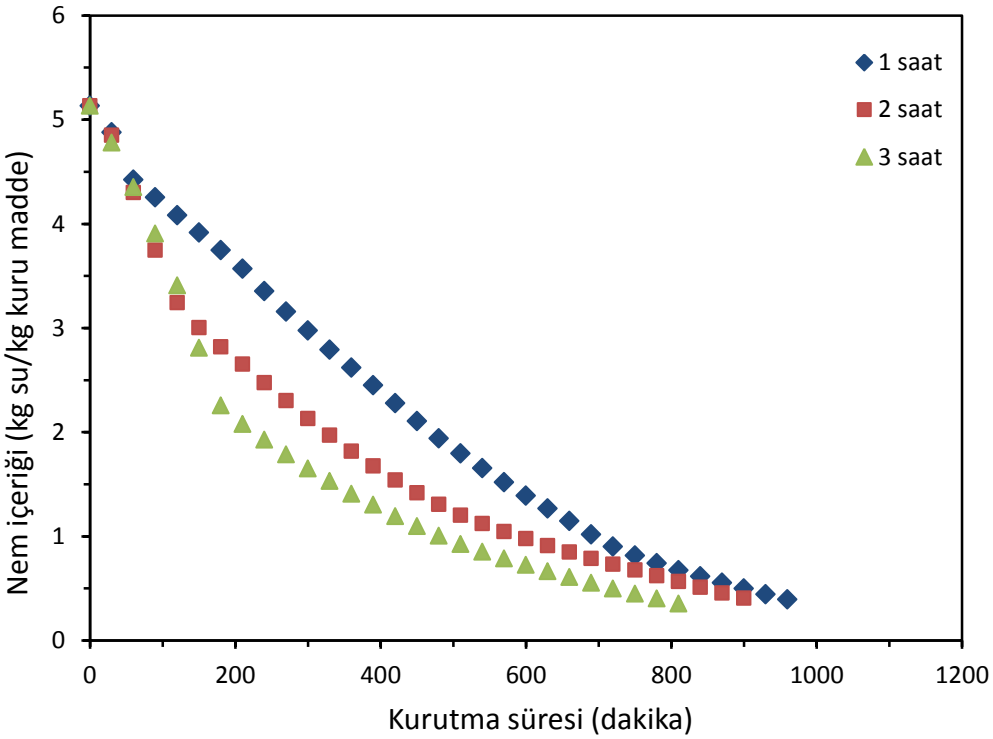


Şekil 5.24 104 W güç seviyesinde kurutulmuş kirazların kurutma hızı-nem içeriği grafiği

Şekil 5.22 ve 5.25 arasındaki grafikler incelendiğinde, 75 W ve 88 W güç seviyelerinde kurutulan kiraz gruplarında aynı nem içeriği sağlandığı anda en yüksek kurutma hızının potas çözeltisine daldırılarak kurutulan kirazlarda görülmüştür. Bunu NaOH çözeltisine daldırılarak kurutulan kirazların takip ettiği ve en düşük kurutma hızının da ön işlem uygulanmamış natürel kirazlarda görüldüğü tespit edilmiştir. Ancak 104 W güç seviyesinde kurutma hızlarının birbirine yaklaştığı ve ön işlemin etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

5.3 Kombine Kurutmanın (Kızılötesi + Sıcak Hava) Kurutma Süresine Etkisi

Kızılötesi kurutucu ile kurutmanın etkisini daha iyi gözlemlemek için kirazlar ön işlem uygulanmadan kızılötesi kurutucuda 88 W güç seviyesinde 1 saat kurutulduktan sonra kurutma işlemine 60°C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda yaklaşık %22 son nem içeriğine kadar devam edilmiştir. Daha sonra aynı işlem kızılötesi kurutucuda 2 saat ve 3 saatlik kurutma süresi için tekrarlanmış sonra sıcak hava ile kurutma işlemine devam edilmiştir.



Şekil 5.25 Önce 88 W güç seviyesinde kızılötesi kurutucuda farklı sürelerde (1, 2 ve 3 saat) kurutulan kirazların daha sonra 60°C kabin kurutucuda kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Daha önce 60°C'de ön işlem uygulanmadan kurutulan kirazların son nem içeriği yaklaşık %22 olana kadar geçen toplam kurutma süresinin 1140 dakika olduğu tespit edilmişti. Şekil 5.25 incelendiğinde, aynı son nem içeriğine ulaşana kadar kızılötesi kurutucunun kurutma süresini azalttığı görülmekte olup, kızılötesi ile kurutma süresi arttıkça, toplam kurutma süresinin azaldığı görülmektedir. 1 saat kızılötesi kurutmanın toplam kurutma süresini % 15,78; 2 saat kızılötesi kurutmanın toplam kurutma süresini %21,05 ve 3 saat kızılötesi kurutmanın toplam kurutma süresini %28,94 oranında azalttığı gözlenmiştir. Bu sonucun literatürdeki diğer çalışmalarla [4], [5], [19] uyumlu olduğu, kombine kurutmanın sıcak hava ile yapılan kurutmaya göre daha kısa sürede kurutma sağladığı ve daha etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

5.4 Farklı Kurutucularda Kurutulan Kirazın Renk Analizi

Kurutulmuş meyve ve sebze gibi ürünlerde renk önemli bir kalite parametresi olduğundan kurutulan ürünlerin son ürün kalitesini korumak amacıyla ısıl işlem uygulanan gıdanın rengini de dikkate almak gerekmektedir.

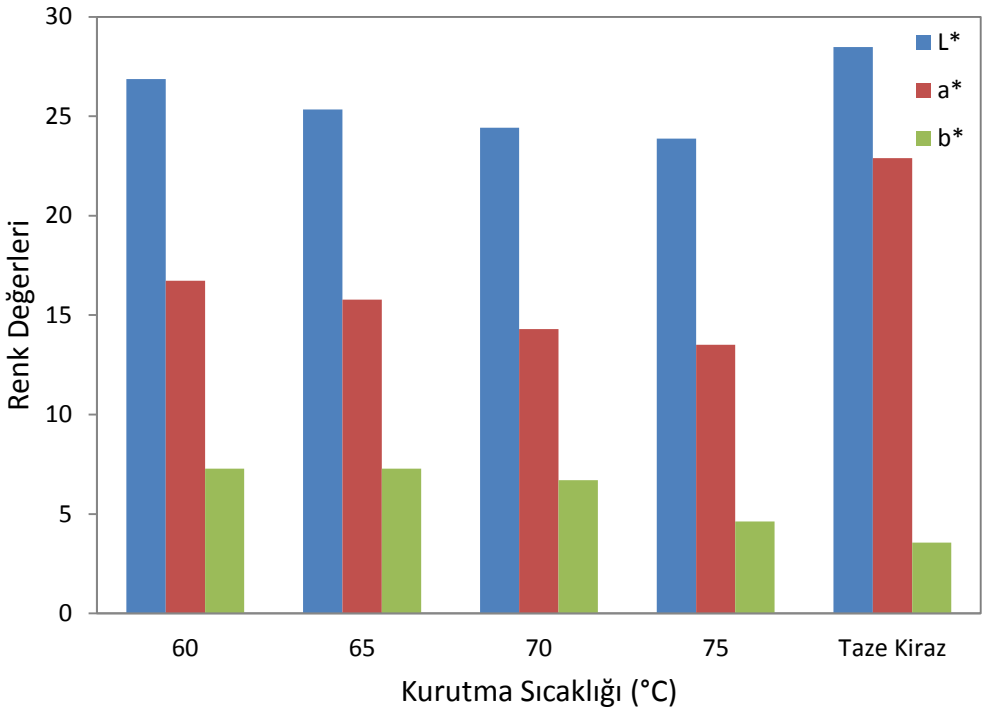
Bu sebeple çalışmamızda, sıcak havalı kabin kurutucuda ve kızılötesi kurutucuda ön işlem uygulanmadan ve ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların "L*", "a*" ve "b*" değerleri ayrı ayrı ölçülmüş olup; bu değerler, yine deneysel olarak ölçülen taze kirazların "L*", "a*" ve "b*" değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Taze kirazların ortalama "L*" parametresi 28,48 olarak, "a*" parametresi 22,89 olarak ve "b*" parametresi 3,56 olarak ölçülmüştür.

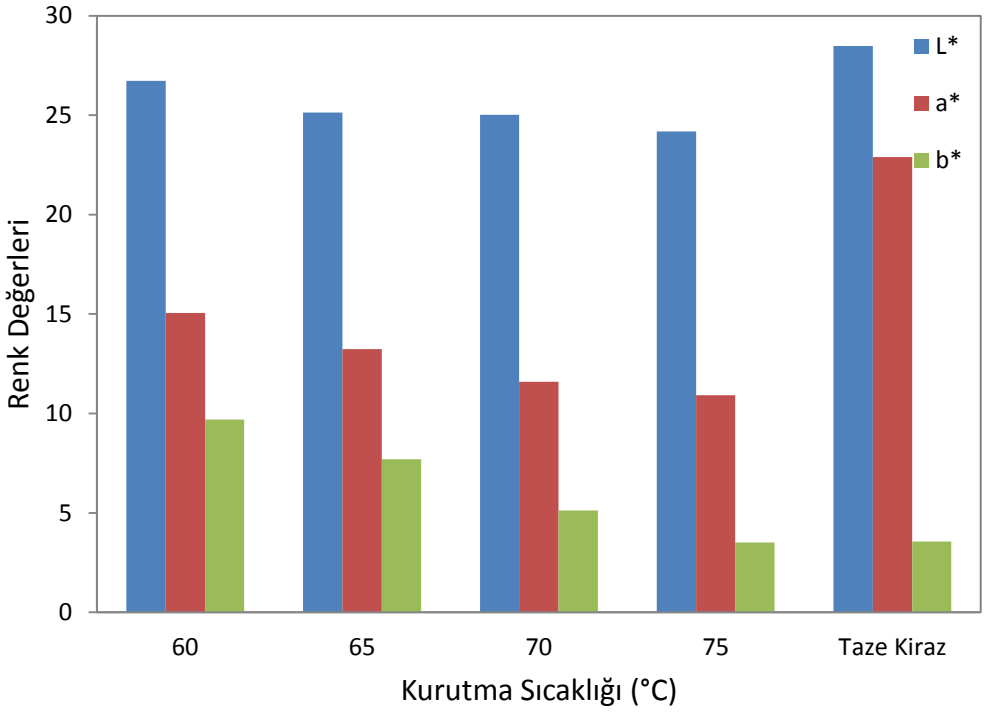
Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulan kirazların "L*" parametresi 27,61-23,88 değerleri arasında, "a*" parametresi 16,73-10,08 değerleri arasında ve "b*" parametresi 8,87-3,51 değerleri arasında ölçülmüştür.

Kızılötesi ışınımlı kurutucuda kurutulan kirazların "L*" parametresi 27,95-22,72 değerleri arasında, "a*" parametresi 15,29-3,61 değerleri arasında ve "b*" parametresi 11,95-0,28 değerleri arasında ölçülmüştür.

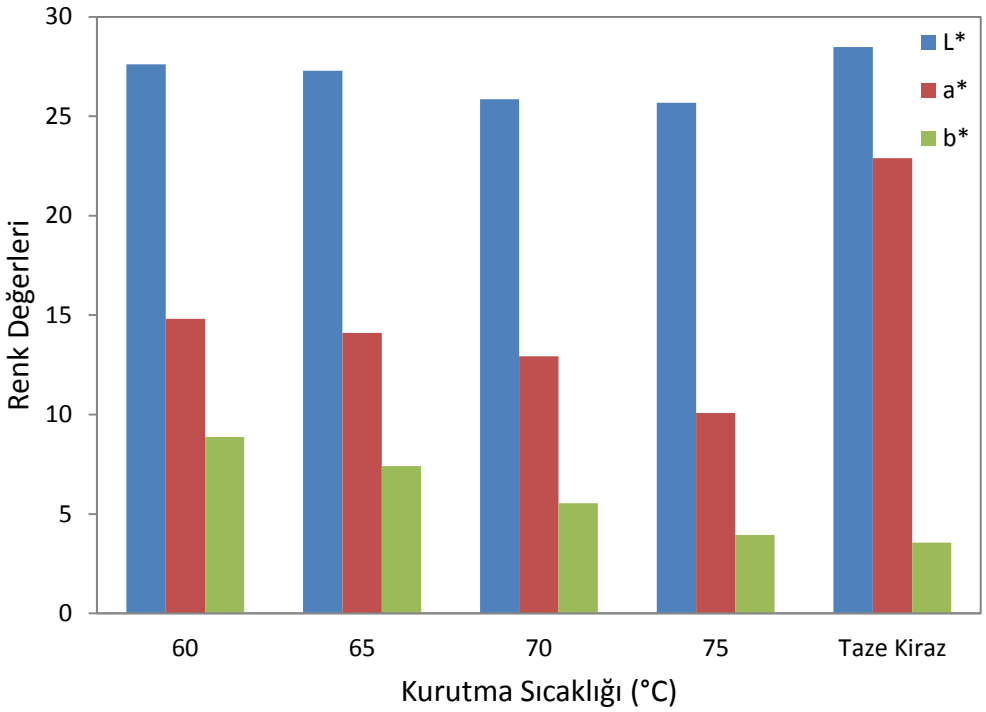
Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulan örneklerin renk değerleri Şekil 5.26, 5.27 ve 5.28'de, kızılötesi kurutucuda kurutulan örneklerin renk değerleri Şekil 5.29, 5.30 ve 5.31'de gösterilmiştir.



Şekil 5.26 Potas çözeltisine daldırılarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazlarının renk analizi grafiği



Şekil 5.27 NaOH çözeltisine daldırılarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazlarının renk analizi grafiği

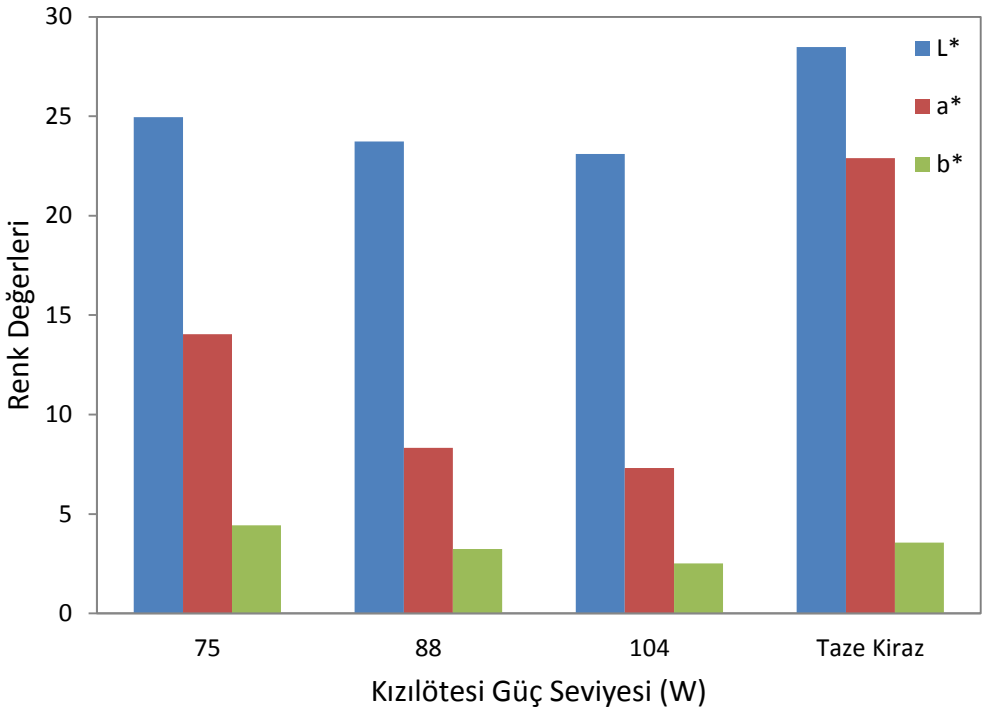


Şekil 5.28 Ön işlem uygulanmadan sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan kirazlarının renk analizi grafiği

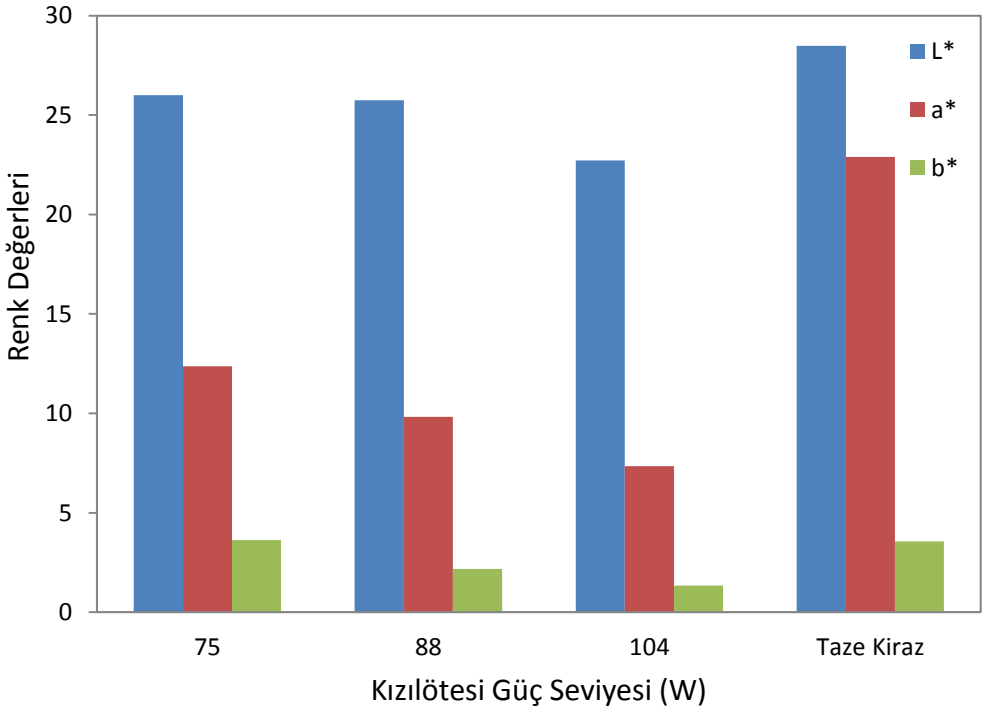
Şekil 5.26, 5.27 ve 5.28 incelendiğinde; "L*" parametresinin, kurutma sıcaklığı arttıkça azaldığı, dolayısı ile rengin koyulaştığı gözlenmektedir. "a*" parametresinin kurutma sıcaklığı arttıkça azaldığı, dolayısı ile kırmızılığının azaldığı gözlenmiştir. "b*" parametresinin de aynı şekilde kurutma sıcaklığı arttıkça azaldığı, dolayısı ile kurutulan ürünün sarılığının azaldığı, maviliğinin arttığı söylenebilir.

Ön işlemin kurutulan ürünün rengine etkisini incelemek istediğimizde ise; aynı sıcaklıklarda farklı ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların renk parametreleri arasında çok ciddi farklar olmadığı özellikle düşük sıcaklıklarda belirgin olmakla birlikte, potas ile ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların en çok karardığı; en az kararan kirazların ise ön işlem uygulanmadan kurutulan kirazlarda olduğu gözlenmiştir.

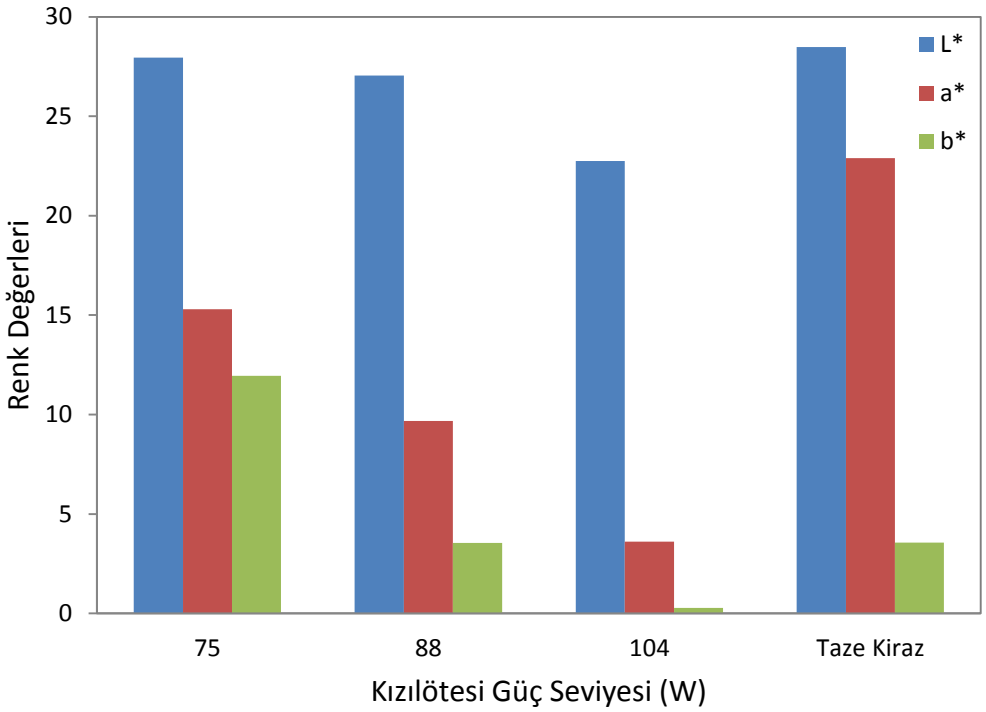
Ayrıca taze kirazın renk parametreleri ile kurutulan kirazların renk parametreleri kıyaslandığında tüm gruplarda kurutulan kirazların renk parametrelerinin azaldığı yani rengin koyulaştığı gözlenmiştir.



Şekil 5.29 Potas çözeltisine daldırılarak kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan kirazların renk analizi grafiği



Şekil 5.30 NaOH çözeltisine daldırılarak kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan kirazların renk analizi grafiği



Şekil 5.31 Ön işlem uygulanmadan kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan kirazların renk analizi grafiği

Şekil 5.29, 5.30 ve 5.31 incelendiğinde; "L*" parametresinin, kızılötesi kurutucunun güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile rengin koyulaştığı gözlenmektedir. "a*" parametresinin kızılötesi kurutucunun güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile kırmızılığının azaldığı gözlenmiştir. "b*" parametresinin de aynı şekilde kızılötesi kurutucunun güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile kurutulan ürünün sarılığının azaldığı, maviliğinin arttığı söylenebilir.

Ön işlemin kurutulan ürünün rengine etkisi incelenirse; aynı güç seviyelerinde farklı ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların renk parametreleri arasında çok ciddi farklar olmadığı gözlenmiştir. Potas ile ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların en çok karardığı; en az kararan kirazların ise sıcak hava ile kurutulan örneklere de benzer olarak ön işlem uygulanmadan kurutulan kirazlarda olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca taze kirazın renk parametreleri ile kurutulan kirazların renk parametreleri kıyaslandığında kurutulan kirazların renk parametrelerinin azaldığı yani rengin koyulaştığı gözlenmiştir.

Yapılan tüm kurutma çalışmaları incelendiğinde ise, kızılötesi kurutmanın sıcak hava ile kurutmaya göre meyve rengini daha çok koyulaştırdığı tespit edilmiştir.

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde; gıda maddelerinin yüksek sıcaklıklardaki ısıl işlemlerden etkilendiği, kalite kaybının sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak arttığı, gıdanın karakteristik rengini veren pigmentlerin ısıl işlemlerden etkilenerek önemli seviyelerde kayba uğradığı birçok çalışmada ifade edilmiştir [67], [69]-[71]. Bu çalışmada da, literatürle uyumlu olarak kurutma işlemi sonucunda tüm gruplarda kirazların renginin koyulaştığı gözlenmiş olup, ayrıca ön işlemin renk koyulaşmasını arttırıcı etki yaptığı gözlenmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizin üretimi için önemli olan kiraz meyvesinin muhafaza edilmesi için en yaygın metotlardan biri olan kurutma yönteminin kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiş, kiraz meyvesinin farklı kurutuculardaki kuruma davranışları deneysel olarak incelenmiş ve kurutulmuş kirazın kalite parametreleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kirazların kurutulması için biri sıcak havalı kabin kurutucu, diğeri kızılötesi kurutucu olmak üzere iki farklı kurutucu kullanılmıştır. Kirazlar, sabit hızda (2 m/s) ve dört farklı sıcaklıkta (60, 65, 70 ve 75°C) bir kabin kurutucuda ve farklı güç seviyelerinde (75 W, 88 W ve 104 W) bir kızılötesi kurutucuda ön işlem uygulanmadan ve ön işlem uygulanarak (sodyum hidroksit veya potas çözeltisi) kurutulmuştur. Uygulanan ön işlemlerin kurutma hızına ve süresine etkileri araştırılmıştır. Kurutma sıcaklığı ve kurutma güç seviyesi arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.
- Potas çözeltisi ve sodyum hidroksit çözeltisinin ön işlem olarak uygulandığı kurutma işlemleri incelendiğinde potas çözeltisi ile ön işlem uygulanan örneklerin kurutma sürelerinin diğer örneklere göre daha kısa sürede kurudukları; en uzun kurutma süresinin de ön işlem uygulanmamış olan natürel kirazlarda olduğu tespit edilmiştir.
- Kızılötesi ile kurutmanın sıcak hava ile kurutma süresinin üzerine etkisini incelemek için; ön işlem uygulanmayan kirazların kızılötesi kurutucuda 88 W güç seviyesinde 1, 2 ve 3 saat kurutulduktan sonra kurutma işlemine 60°C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda devam edilmiştir. Sonuç olarak kombine kurutma işleminin kurutma

süresini azalttığı görülmekte olup, kızılötesi ile kurutma süresi arttıkça, toplam kurutma süresinin %20-30 arasında azaldığı görülmektedir.

- İki farklı kurutucuda kurutulan kirazların renk analizi yapıldığında; "L*" parametresinin, kurutma sıcaklığı ve kızılötesi kurutucunun güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile rengin koyulaştığı gözlenmektedir. "a*" parametresinin de aynı şekilde kurutma sıcaklığı ve güç seviyesi arttıkça azaldığı, dolayısı ile kırmızılığının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca taze kiraz ile kurutulan kirazların renk parametreleri kıyaslandığında kurutulan kirazların renk parametrelerinin azaldığı yani rengin koyulaştığı gözlenmiştir. Aynı sıcaklıklarda ve güç seviyelerinde farklı ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların renk parametreleri arasında çok ciddi farklar olmadığı özellikle düşük sıcaklıklar ve güç seviyelerinde belirgin olmakla birlikte, potas ile ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların en çok karardığı; en az kararan kirazların ise ön işlem uygulanmadan kurutulan kirazlarda olduğu gözlenmiştir.
- Sıcak havalı kabin kurutucuda yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen kurutma eğrileri, gıdalar için kullanılan Lewis, Page, Henderson ve Pabis, Midilli vd., logaritmik ve Aghbashlo vd. modellerine uyarlanmıştır. R^2 değerleri için en yüksek, χ^2 ve RMSE değerleri için en düşük veriler Midilli vd. modelinde gözlenmiştir. Bu sebeple kurutulan kirazların kurutma eğrilerinin kurutma modeli olarak Midilli vd. modeli seçilmiştir.
- Kirazların kurutma sırasındaki etkin nem difüziviteleri $5{,}496\times10^{-10}$ m^2/s ile $1{,}649\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmektedir. Aktivasyon enerji değerleri 26,05-45,86 kJ/mol değerleri arasında hesaplanmıştır.
- Ayrıca, ön işlem süresi (1-4 dakika arasında) ve ön işlem derişimi (%2-5 arasında) değiştirilerek 60°C hava sıcaklığında kurutma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre ön işlem süresi ve derişimi arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Cemeroğlu, B. ve Acar, J., (1986). "Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi", Gıda Teknolojisi Derneği, 6:9-12.

[2] Davis, P.H., (1972). Flora of Turkey and East Aegean Islands, Tenth Edition, Edinburg University Press, Edinburg.

[3] Elrashid, A.A. ve Iqbal, N., (2000). "Dehydration Characteristics of Sweet Cherry", Pakistan Journal of Biological Sciences, 3(2):231-235.

[4] Nowak, D. ve Lewicki, P.P., (2004). "Infrared Drying of Apple Slices", Innovative Food Science & Emerging Technologies, 5(3):353–360.

[5] 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.

[6] Erentürk, S., Gulaboğlu, M.S. ve Gültekin, S., (2004). "The Thin-Layer Drying Characteristics of Rosehip", Journal of Biosystems Engineering, 89(2):159-166.

[7] Toğrul, H., (2005) "Simple Modeling of Infrared Drying of Fresh Apple Slice", Journal of Food Engineering, 71(3):311–323.

[8] Abdelhaq, E.H. ve Labuza, T. P., (2006). "Air Drying Characteristics of Apricots", Journal of Food Science, 52(2):342–345.

[9] Saçılık, K. ve Eliçin, A.K., (2006). "The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices", Journal of Food Engineering, 73(3):281–289.

[10] Ochoa, M. R., Kesseler, A. G., Pirone, B. N., Márquez, C. A. ve Michelis, A. D., (2007). "Volume and Area Shrinkage of Whole Sour Cherry Fruits (*Prunus cerasus*) during Dehydration", Drying Technology, 20(1):147-156.

[11] Koyuncu, T., Tosun, I. ve Pınar, Y., (2007). ''Drying Characteristics and Heat Energy Requirement of Cornelian Cherry Fruits (*Cornus Mas* L.)'', Journal of Food Engineering, 78(2):735-739.

[12] Mabellini, A., Vullioud, M., Márquez, C.A. ve Michelis, A.D., (2010). "Kinetic Drying Experimental Data and Mathematical Model for Sweet Cherries (*Prunus Avium* L.)", Journal of Food Process Engineering, 33(6):1115–1128.

[13] Aghbashlo, M., Kianmehr M.H. ve Hassan-Beygi S.R., (2009). "Drying and Rehydration Characteristics of Sour Cherry (*Prunus Cerasus* L.)", Journal of Food Processing and Preservation, 34(3):351–365.

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

[15] Doymaz, İ., (2011). "Thin-layer Drying Characteristics of Sweet Potato Slices and Mathematical Modeling", Heat and Mass Transfer, 47(3):277-285.

[16] Arısoy, İ. ve Toğrul, İ.T., (2014). "Vişne ve Kirazın Rehidrasyon Yeteneğine Kurutma Sıcaklığı ve Ön İşlemin Etkisi", 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 2-5 Eylül 2014, Eskişehir.

[17] Pirone B.N., Michelis, A.D. ve Salvatori , D.M., (2014). "Pretreatments Effect in Drying Behaviour and Colour of Mature and Immature Napolitana Sweet Cherries", Food and Bioprocess Technology, 7(6):1640-1655.

[18] Chayjan, R.A., Kaveh, M. ve Khayati S., (2014). "Modeling Some Drying Characteristics of Sour Cherry (*Prunus cerasus* L.) under Infrared Radiation Using Mathematical Models and Artificial Neural Networks", Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 16(1):265-279.

[19] Eshtiagh, A. ve Zare, D., (2015). "Modeling of Thin Layer Hot Air-Infrared Drying of Green Peas", Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Special Edition:246-258.

[20] Doymaz, İ. ve Pala, M., (2002). "The Effects of Dipping Pretreatments on Air-Drying Rates of the Seedless Grapes", Journal of Food Engineering, 52:413–417.

[21] Pangavhane, D.R., Sawhney, R.L. ve Sarsavadia, P.N., (1999). "Effect of Various Dipping Pretreatment on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes", Journal of Food Engineering, 39:211-216.

[22] Mengeş, H.O. ve Ertekin, C., (2007). "Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması", Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(42):4-10.

[23] Doymaz, İ., (2006). "Drying Kinetics of Black Grapes Treated with Different Solutions", Journal of Food Engineering, 76:212–217.

[24] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP Gıda Teknolojisi Gıda Muhafaza İlkeleri, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/gida_muhafaza_ilkeleri1.pdf, 07 Ocak 2017.

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

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

[27] Kolsarıcı, N. ve Özkaya, Ö., (1998). "Gökkuşağı Alabalığı (Salmo gairdneri)'nın Raf Ömrü Üzerine Tütsüleme Yöntemleri ve Depolama Sıcaklığının Etkisi" Journal of Veterinary and Animal Sicences, 22:273-284.

[28] Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., (1994). Besin Kirliliği, 1. Baskı, Aydoğdu Ofset, Ankara.

[29] Atasever, M., (2000), "Besin İşyerlerinde: Hijyen, Besinlerin Hazırlanması ve Muhafazası", Y.Y.Ü. Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 11(2):117-122.

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

[31] Gürlek, G., Akdemir, Ö. ve Güngör, A. (2015). "Gıda Kurutulmasında Isı Pompalı Kurutucuların Kullanımı ve Elma Kurutmada Uygulanması", Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Dergisi, 21(9):398-403.

[32] Demiray, E. ve Tülek, Y. (2012). "Kurutma İşleminin Kırmızı Biberdeki Renk Maddelerine Etkisi", Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(3):1-10.

[33] Pala, M. ve Saygı Y.B., (1983). "Su Aktivitesi ve Gıda İşlemedeki Önemi", Gıda Dergisi, 8(1):33-39.

[34] Özay, G., Pala, M. ve Saygı Y.B., (1993). "Bazı Gıdaların Su Aktivitesi (a_w) Yönünden İncelenmesi", Gıda Dergisi, 18(6):377-383.

[35] Doğanay, T., (2009). Modern Farmasötik Teknoloji, 2. Baskı, Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Akademisi Yayını, Ankara.

[36] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/sebzeleri%20kurutma.pdf, 02 Aralık 2016.

[37] Arısoy, İ. ve Toğrul, İ. T., (2014). "Vişne ve Kirazın Kuruması Sırasında Büzülmenin İncelenmesi", 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 2-5 Eylül 2014, Eskişehir.

[38] İçier, F. ve Sabancı, S., (2013). "Kurutma Sistemleri: Kurutma ve İşletmede Hijyen", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2013, İzmir.

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

[40] Şen, F., (2013). "Meyve ve Sebzelerin Kurutulmasında Ön İşlemler", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2013, İzmir.

[41] Türkmen, N. ve Sarı, F., (2004). "Minimal İşlem Görmüş Meyve ve Sebze Üretimi ve Gıda Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi", Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(2):223-232.

[42] Vikipedi, Yaprak, https://tr.wikipedia.org/wiki/Yaprak, 04 Şubat 2017.

[43] T.C. Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü, Meyvecilik, http://samsun.tarim.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Kitaplarimiz/meyvecilik.pdf, 09 Aralık 2016.

[44] Erbay, B. ve Küçüköner, E., (2008). "Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri", Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.

[45] Yıldız, O. ve Ertekin, C., (2001). "Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables", Journal of Drying Technology, 19:583–597.

[46] Doğan, H., (2001). "Kurutmada Kullanılan Hava Isıtma Kollektörlerinin Deneysel Karşılaştırılması", Teknoloji Dergisi, 1(2):75-82.

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

[48] Günerhan, H., (2005). "Endüstriyel Kurutma Sistemleri", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Temel Bilgiler Tasarım ve Uygulama Eki: 13.

[49] Gürses, Ö. L., (1986). Gıda İşleme Mühendisliği-II, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.

[50] Mujumdar, A. S., (2011). "Drying: Principles and Practice", International Workshop on Drying of Food and Biomaterials, 6-7 Temmuz 2011, Bangkok.

[51] Yılmaz Tuncel, N. ve Tuncel, N. B., (2016). "Kızılötesi Teknolojisi ve Gıda İşlemedeki Kullanımı", Akademik Gıda Dergisi, 14(2):196-203.

[52] Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A. ve Şahin, M., (2013), "Kızılötesi Işınımlı Bir Kurutucuda Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi", Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28(4):767-775.

[53] Önen, M., (2008). "0900 Ziraat Kiraz Çeşidinde GA_3, Budama ve Gölgeleme Uygulamalarının Derim Zamanı ve Meyve Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

[54] Ekinci Kulu, N., (2006). "Kemalpaşa Yöresi Organik ve Entegre Kiraz Yetiştiriciliğinde Salihli Çeşidinin Beslenme ve Ağır Metal Durumlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[55] Öztürk, B., Küçüker, E., Saraçoğlu, O., Yıldız, K. ve Özkan, Y., (2013). "0900 Ziraat Kiraz Çeşidinin Meyve Kalitesi ve Biyokimyasal İçeriği Üzerine Büyümeyi Düzenleyici Maddelerin Etkisi", Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 10(3):82-89.

[56] United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Raw Sweet Cherry Nutrients, https://ndb.nal.usda.gov/, 04 Şubat 2017.

[57] United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Fresh Peaches and Cherries: World Markets and Trade, https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/StoneFruit.pdf, 05 Şubat 2017.

[58] Engin, H. ve Akçal, A., (2013). Kiraz Yetiştiriciliği-Lapseki Kirazı, Birinci Baskı, Çanakkale Favori Reklam Ltd. Şti., Çanakkale.

[59] Sofra Dergisi, Kiraz, http://www.sofra.com.tr/SozlukMeyve/2010/08/10/kiraz, 09 Aralık 2016.

[60] DeLong, D., (2006). How to Dry Foods?, Revised Edition, Penguin Group Inc., New York.

[61] Roberts, J. S., Kidd, D. R. ve Padilla Zakour, O., (2008). “Drying Kinetics of Grape Seeds”, Journal of Food Engineering, 89:460-465.

[62] Henderson, S.M. ve Pabis, S., (1961). “Temperature Effect on Drying Coefficient”, Journal of Agricultural Engineering Research, 6(3):169–174.

[63] Yaldız, O. ve Ertekin C., (2001). “Thin Layer Solar Drying of Some Different Vegetables”, Drying Technology, 19(3):583–596.

[64] Page, G., (1949). Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin-Layer, MS Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.

[65] Midilli, A., Küçük, H. ve Yapar, Z. A., (2002). “A New Model for Single-Layer Drying”, Drying Technology, 20:1503-1513.

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

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

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

[69] Tülek, Y. ve Demiray, E., (2014). “Sıcak Hava Kurutma Yönteminde Farklı Sıcaklık ve Ön İşlemlerin Trabzon Hurmasının Renk ve Kuruma Karakteristiklerine Etkisi”, Tarım Bilimleri Dergisi, 20:27-37.

[70] Demiray, E., (2009). Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, B-Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Denizli.

[71] Kocabıyık, H. ve Demirtürk, B. S., (2008). “Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması”, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(3):239-246.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Name SARIKULAK

Doğum Tarihi ve Yeri : 07.05.1989 Elazığ

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nameormanoglu@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Kimya Mühendisliği	Hacettepe Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Sıhhıye Atatürk Anadolu Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016-Halen	DHMİ Genel Müdürlüğü	Memur
2013-2016	DHMİ Atatürk Havalimanı Başmüdürlüğü	Memur
2012-2013	DHMİ Esenboğa Simülatör Eğitim Merkezi	Stj. Hava Trafik Kontrolörü
2011	Petkim Petrokimya Holding A.Ş.	Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

1. Sarıkulak, N. ve Doymaz, İ., (2016). "Ön İşlemlerin Kiraz Meyvesinin Kurutma Karakteristiklerine Etkisi", Türkiye 12. Gıda Kongresi, 05-07 Ekim 2016, Edirne.

ÖDÜLLERİ

1. Hacettepe Üniversitesi 6. Kimya Mühendisliği Proses Tasarım Yarışması (Ankara, 2012)

   "Polietilentereftalat (PET) Fabrikası Tasarımı" ile 2.'lik Ödülü alındı.