T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA KOŞULLARININ KIZILCIĞIN KURUMA SÜRESİNE VE KALİTESİNE ETKİSİ

SERHAT UZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. İBRAHİM DOYMAZ

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA KOŞULLARININ KIZILCIĞIN KURUMA SÜRESİNE VE KALİTESİNE ETKİSİ

SERHAT UZ tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Murat ÖZDEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi İlknur KÜÇÜK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Büyük bir sebze ve meyve üreticisi olan ülkemizde, tarım ürünlerinin ticareti oldukça önem taşımaktadır. Taze meyve ve sebze ile iç pazar ihtiyacını büyük ölçüde kaşılayan tarım ürünlerimiz aynı zamanda dünyanın çeşitli yerlerine de ihraç edilmektedir. Taze ürünlerin işlenmesi ise değerini ve daha geniş bir pazara hitap etme potansiyelini arttırmaktadır. Kurutmanın, insanoğlunun en eski ve hala kullanılan gıda saklama yöntemi olması ise çalışmamızın önemini göstermektedir.

Anavatanı içerisinde ülkemizin de yer aldığı, C vitamini, şeker, antosiyanin, tanen ve organik asitlerce zengin olan ve çok eski çağlardan beri tazesi ile birlikte kurutularak da kullanılan kızılcık meyvesinin kurutma karakteristiklerinin daha iyi anlaşılması ile gıda endüstrisinde öneminin artacağı düşünülmektedir. Çalışmamızda kızılcık meyvesinin farklı kurutma yöntemleri ve kurutma koşulları ile kurutulmasının kurutma karakteristiğine ve rengi üzerine etkisi incelenerek ülkemizde üretim potansiyeli yüksek bir ürünün değerinin artması ve gıda endüstrisi açısından değerli bir kaynak oluşturması beklenmektedir.

Bu konuda çalışmama imkân sağlayan, tez konusu seçimi, planlanması ve uygulanması sürecinde başlıbaşına bir kaynak olan saygıdeğer danışman Hocam Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a, bu çalışmayı gerçekleştirecek yeterliliğe ulaşmamın en büyük destekçisi olan aileme, ayrıca süreç boyunca sabrını ve değerli desteğini benden esirgemeyen eşim Damla UZ'a ve irili ufaklı birçok konuda destek olan arkadaşlarım Merve YALÇINAY İNAN, Ü. Serhan İNAN ve M. İlker YANAR'a teşekkür ederim.

Mayıs, 2019

Serhat UZ

Kimya Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
ÇİZELGE LİSTESİ xii
ÖZET xiii
ABSTRACT xv
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Orijinal Katkı 3
BÖLÜM 2
KURUTMA 4
2.1 Doğal Kurutma 5
2.2 Yapay Kurutma 7
2.3 Kurutma Sırasında Gerçekleşen Taşınım Olayları 9
2.3.1 Nem (Kütle) Denkliği 10
2.3.2 Termodinamiğin 1. Kanunu 10
2.4 Suyun Buharlaşması 12
2.5 Su Aktivitesi ve Denge Nemi 12
2.6 Kurutmanın Temel Aşamaları 14
2.6.1 İnce Tabaka Kurutma Kuramı 14
2.6.2 Kurutma Eğrileri 14
2.7 Kurutmaya Etki Eden Faktörler 16
2.7.1 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler 17
2.7.1.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi 17
2.7.1.2 Ürünün Boyutları 17
2.7.1.3 Sıcaklık 18
2.7.1.4 Havanın Hızı 18
2.7.1.5 Havanın Kuruluğu 19

2.7.2 Kurutma Sırasında Ürünün Kalitesine Etki Eden Faktörler 19
2.7.2.1 Kurutma Sıcaklığı 19
2.7.2.2 Kurutma Süresi 20
2.7.2.3 Kurutma Nem Oranı 20
2.8 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri 20
2.8.1 Kararma (Esmerleşme) Reaksiyonları 20
2.8.2 Lipid Oksidasyonu 21
2.8.3 Rehidrasyon ve Büzülme 21

BÖLÜM 3

KIZILCIK ve LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR 22

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM 30

4.1 Materyal 30
4.2 Yöntemler 30
4.2.1 Kabin Kurutucu 30
4.2.2 Kızılötesi Kurutucu 31
4.2.3 Kuru Madde Tayini 32
4.2.4 Hava Akış Hızı 32
4.2.5 Renk Ölçümleri 33
4.2.6 Terazi 35
4.2.7 Vakumlu Paketleme Cihazı 37
4.2.8 Dijital Termometre 37
4.3 Kabin Kurutucu ile Kurutma Denemeleri 38
4.4 Kızılötesi Kurutma Denemeleri 38
4.5 Kombine Kurutma (Kızılötesi + Kabin) Denemeleri 39
4.6 Matematiksel Modelleme 39
4.7 Regresyon Analizi 40
4.8 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 41

BÖLÜM 5

DENEYSEL VERİLER VE TARTIŞMA 43

5.1 Kabin Kurutucu Deneylerinde Ön İşlemin ve Sıcaklığın Kurutma Süresine Etkisi 43
5.2 Kızılötesi Kurutucu Deneylerinde Ön İşlemin ve Kızılötesi Gücünün Kurutma Süresine Etkisi 47
5.3 Kombine Kurutma Deneylerinde Sıcaklığın ve Kızılötesi Kurutucu Gücünün Kurutma Süresine Etkisi 52
5.4 Kurutma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi 56
5.5 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi 63
5.6 Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması 73
5.7 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 76
5.8 Renk Analizi 77

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 80

6.1 Sıcaklığın ve Kızılötesi Kurutucu Gücünün ve Ön İşlemin Kurutma Süresi ve Kurutma Hızına Etkisi 80
6.2 Kurutma Kinetiği 82
6.3 Difüzyon Katsayıları ve Aktivasyon Enerjileri 82
6.4 Renk Analizi 83
KAYNAKLAR 84
ÖZGEÇMİŞ 88

SİMGE LİSTESİ

A	Kurutma yüzey alanı
a*	Kırmızılık
α°	Hue açısı
aw	Su aktivitesi
a, b, k, n	Kullanılan kurutma modellerindeki sabitler
b*	Sarılık
C	Kroma değeri
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzivite değeri
Ea	Aktivasyon enerjisi
H	Konvektif ısı transfer katsayısı
H_s	Yüzeyin nemi
H_a	Havanın nemi
Kg	Kütle transfer katsayısı
L	Meyve yarı kalınlığı
L*	Parlaklık
M	Herhangi bir andaki su miktarı
m	Numune ağırlığı
MR	Nem oranı
M_0	Kurutmaya başlamadan önce ürünün içerdiği su miktarı
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı
MR_{exp}	Deneysel nem oranı
MR_{pre}	Tahmini nem oranı,
N	Deneysel veri sayısı
n_1	Katı madde mol sayısı
n_2	Çözücü mol sayısı
p	Kızıltesi (IR) gücü
P	Çözelti buhar basıncı
P_0	Çözücü buhar basıncı
Q	Sisteme verilen ısı
R	Evrensel gaz sabiti
R^2	Regresyon katsayısı
RH	Bağıl nem
s	Saniye
t	Kurutma süresi

T	Kurutma sıcaklığı
T_a	Havanın sıcaklığı
T_s	Yüzeyin sıcaklığı
W	Sistem tarafından yapılan iş
χ^2	Khi-kare
ΔE	Toplam renk değişimi
Δ_U	İç enerjideki değişim

KISALTMA LİSTESİ

IR	Kızılötesi
Potas	%3 Potasyum karbonat + %1 zeytinyağı çözeltisi
RMSE	Ortalama karesel hata değeri
Sod. Hid.	%3 Sodyum hidroksit çözeltisi
TSS	Toplam çözünebilir şeker
SÇKM	Suda çözünebilir kuru madde

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Doğal kurutma işlemi basamaklarının şematik gösterimi 6
Şekil 2.2 Tipik bir kurutma hızı eğrisi 15
Şekil 2.3 Tipik bir kurutma hızı eğrisi (2) 16
Şekil 2.4 Şeker özlü akçaağacın 54°C sıcaklıkta ve %76 bağıl nemde kurutulması 19
Şekil 4.1 Kızılcık kurutulmasında kullanılan kurutma kabini genel görünüşü 31
Şekil 4.2 Kızılcık kurutulmasında kullanılan kızılötesi kurutucunun genel görünüşü 31
Şekil 4.3 Kuru madde tayininde kullanılan etüvün genel görünüşü 32
Şekil 4.4 Hava akış hızı ölçümünde kullanılan anemometrenin genel görünüşü 33
Şekil 4.5 Renk ölçer 34
Şekil 4.6 α° değerlerinin renk karşılıkları 35
Şekil 4.7 Terazi 36
Şekil 4.8 Hassas terazi 36
Şekil 4.9 Vakumlu paketleme cihazı 37
Şekil 4.10 Kurutma havası sıcaklık ölçümünde kullanılan dijital termometre 37
Şekil 5.1 Kızılcık örneklerinin 55°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 45
Şekil 5.2 Kızılcık örneklerinin 65°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 46
Şekil 5.3 Kızılcık örneklerinin 75°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 47
Şekil 5.4 Kızılcık örneklerinin 75 W kızılötesi kurutucu gücünde nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 50
Şekil 5.5 Kızılcık örneklerinin 88 W kızılötesi kurutucu gücünde nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 51
Şekil 5.6 Kızılcık örneklerinin 104 W kızılötesi kurutucu gücünde nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 52
Şekil 5.7 Kızılcık örneklerinin kombine yöntemle 75 W kızılötesi kurutucu gücünde 2 saat kurutulduktan sonra 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıkta kurutulması sırasında nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 54
Şekil 5.8 Kızılcık örneklerinin kombine yöntemle 88 W kızılötesi kurutucu gücünde 2 saat kurutulduktan sonra 55°C, 65°C ve75°C sıcaklıkta kurutulması sırasında nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 55

Şekil 5.9 Kızılcık örneklerinin kombine yöntemle 104 W kızılötesi kurutucu gücünde 2 saat kurutulduktan sonra 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıkta kurutulması sırasında nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 56
Şekil 5.10 Kızılcık örneklerinin 55°C sıcaklıktaki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi 57
Şekil 5.11 Kızılcık örneklerinin 65°C sıcaklıktaki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi 58
Şekil 5.12 Kızılcık örneklerinin 75°C sıcaklıktaki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi 59
Şekil 5.13 Kızılcık örneklerinin 75 W kızılötesi kurutucu gücünde kurutma hızının nem içeriği ile değişimi 60
Şekil 5.14 Kızılcık örneklerinin 88 W kızılötesi kurutucu gücünde kurutma hızının nem içeriği ile değişimi 61
Şekil 5.15 Kızılcık örneklerinin 104 W kızılötesi kurutucu gücünde kurutma hızının nem içeriği ile değişimi 62
Şekil 5.16 55°C sıcaklıkta kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük modeli kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri 70
Şekil 5.17 65°C sıcaklıkta kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri..... 70
Şekil 5.18 75°C sıcaklıkta kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri..... 71
Şekil 5.19 75 W kızılötesi kurutma gücünde kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri 71
Şekil 5.20 88 W kızılötesi kurutma gücünde kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri 72
Şekil 5.21 104 W kızılötesi kurutma gücünde kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri 72
Şekil 5.22 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin efektif difüzyon katsayıları . 75
Şekil 5.23 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin efektif difüzyon katsayıları 75
Şekil 5.24 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi 76
Şekil 5.25 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için kızılötesi gücünün efektif difüzyon katsayısına etkisi 77

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Kızılcık örneklerinin kurutma eğrilerinin matematiksel modellesi için kullanılan modeller 40
Çizelge 5.1 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma süreleri 44
Çizelge 5.2 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma süreleri 48
Çizelge 5.3 Kombine yöntemle kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma süreleri 53
Çizelge 5.4 Kabin kurutucu ile 55°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 64
Çizelge 5.5 Kabin kurutucu ile 65°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 65
Çizelge 5.6 Kabin kurutucu ile 75°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 66
Çizelge 5.7 Kızılötesi kurutucu ile 75 W IR gücünde gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 67
Çizelge 5.8 Kızılötesi kurutucu ile 88 W IR gücünde gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 68
Çizelge 5.9 Kızılötesi kurutucu ile 104 W IR gücünde gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 69
Çizelge 5.10 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için hesaplanan difüzyon katsayıları 74
Çizelge 5.11 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için hesaplanan difüzyon katsayıları 74
Çizelge 5.12 Taze ve kabin kurutucu ile kurutulmuş kızılcık örneklerinin renk ölçümleri 78
Çizelge 5.13 Taze ve kızılötesi kurutucu ile kurutulmuş kızılcık örneklerinin renk ölçümleri 79

ÖZET

FARKLI KURUTMA KOŞULLARININ KIZILCIĞIN KURUMA SÜRESİNE VE KALİTESİNE ETKİSİ

Serhat UZ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Büyük bir tarım üreticisi olan ülkemizde, bulunduğu iklim kuşağının ve tarıma elverişli toprakların da katkısıyla çok çeşitli meyve ve sebze üretimi yapılmaktadır. Taze olarak tüketilen ve ticareti yapılan bu ürünlerin işlenmesi de önem arz etmektedir. Gıdaların saklanması için uygulanan yöntemlerin bilinen en eskisi olan kurutma, ülkemizde geleneksel ve endüstriyel olarak çokça kullanılmaktadır. Kurutulan ürünlerin depolanması için daha az yere ihtiyaç duyulmakta, daha uzun süreler depolanması mümkün olmakta ve çeşitli kullanım alanları için kolaylıklar sağlanmaktadır. Ürünlerin güneş altında doğa şartlarına açık bir şekilde kurutulmasıyla başlayan kurutma serüveni, bu ürünlerin bulaşma gibi doğal olumsuzluklara maruz kalması, kurutma süresinin uzun olması ve mevsimsel koşulların kurutma üzerinde önemli bir belirleyici olması sebebiyle yapay kurutma yöntemlerine ihtiyaç duymuştur. Yapay kurutma yöntemlerinin gelişmesi ile mevsimsel şartlardan bağımsız, daha yüksek kapasiteli ve bulaşma riski daha az olan bir kurutma sürecine imkân sağlanmıştır.

Bu çalışmada, ülkemizde doğal olarak yetişen ve kontrollü olarak yetiştirilme çalışmaları artış gösteren kızılcık meyvesi (*Cornus mas* L.), kabin kurutucuda (55, 65 ve 75°C), kızılötesi kurutucuda (75, 88 ve 104 W) ve kombine yöntemle 2 saat kızılötesi kurutucuda (75, 88 ve 104 W) kurutulduktan sonra kabin kurutucuda (55, 65 ve 75°C) kurutma işlemi tamamlanacak şekilde kurutulmuştur. Kabin kurutucu ve kızılötesi kurutucu deneylerinde örnekler, ön işlem uygulanmamış 1 grup (kontrol grubu) ve 2 farklı ön işlem uygulanmış gruba (Potas ve Sod. Hid. grupları) ayrılmış ve deneyler her grup için

gerçekleştirilmiştir. Çalışma boyunca meyvelerin %70.17 olan başlangıç nem oranının %10'a inmesi sağlanmıştır. Deneysel veriler kullanılarak, farklı kurutma koşulları ve ön işlemin, kızılcığın kurutma süresine etkisi ve kızılcığın kurutma kinetiği incelenmiş, efektif difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Taze ve kurutulmuş kızılcık örneklerinin renk analizleri gerçekleştirilerek kurutma koşulları ve ön işlemin kızılcığın rengine etkisi de incelenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, kurutma havası sıcaklığı ve IR gücünün artmasının kurutma hızını arttırarak kurutma süresini kısalttığını ortaya koymaktadır. Ayrıca kurutma havası sıcaklığını ile IR gücünü arttırmak ve ön işlem uygulamak efektif difüzyon katsayısını arttırmaktadır. Ayrıca ön işlem uygulamaları aktivasyon enerjisini düşürmektedir. Kurutma işleminin azalan hız periyodunda gerçekleştiği ve kurutma davranışını en iyi açıklayan modelin Midilli ve Küçük olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan ön işlem kurutma hızını arttırmakta ve kurutma süresini kısaltmaktadır. Deneysel çalışmada en başarılı ön işlemin Potas uygulaması olduğu saptanmıştır. Renk analizi çalışmaları, 55°C sıcaklıkta kurutulan Potas grubu örneklerinin taze kızılcık rengine en yakın renge sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aktivasyon enerjisi, difüzyon katsayısı, kabin kurutucu, kızılötesi, kızılcık, kurutma, matematiksel modelleme, renk analizi

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT DRYING CONDITIONS ON DRYING TIME AND QUALITY OF CORNELIAN CHERRY FRUITS (Cornus mas L.)

Serhat UZ

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

A wide variety of fruits and vegetables are produced with the contribution of the climate zone and arable lands in our country, which is a big agricultural producer. The processing of these product which are freshly consumed and traded is also important. Drying, which is the oldest known method for storing foods, is widely used in our country as traditional and industrial. Less storage is needed for the storage of dried products, longer storage times are possible and more application possibilities are provided. The drying adventure, which started by drying the foods such as fruits and vegetables openly to the natural conditions under the sun, required artificial drying methods due to the fact that these products were exposed to natural negativity such as contamination, the drying time was long and the seasonal conditions were an important determinant on drying. By the development of artificial drying methods, a drying process with higher capacity, independent of seasonal conditions and less risk of contamination, opportunity is provided.

In this study, Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits which are naturally grow in our country, were dried by three different method: cabinet dryer (55, 65 ve 75°C) and infrared dryer (75, 88 ve 104 W) and combined method (firstly 2 hours infrared dryer then completed by cabinet dryer). For cabinet dryer and infrared dryer experiments, samples were separated into 3 groups: 1 control group and 2 different pretreatment groups (Potas and Sod. Hid.). The experiments were performed for each group. the initial moisture content of the fruits was 70.17% and during the study it was decreased to 10%.

By using experimental data, drying kinetics of the Cornelian cherry and the effect of different drying conditions and pretreatment on the duration of drying process were investigated, effective diffusion coefficients and activation energy values were calculated. Color analysis of fresh and dried Cornelian cherry samples was performed to determine the drying conditions and the effect of pretreatment on the color of Cornelian cherry.

The results obtained from the study indicate that increasing the drying air temperature and drying power increase the drying rate and shorten the drying time. In addition, increasing the drying air temperature, increasing power of the infrared dryer and pretreatments increase the effective diffusion coefficient. Also pretreatments reduce the activation energy. It was determined that the drying process took place at a falling rate period and the model that best describes the drying behavior was Midilli ve Küçük. The applied pretreatment increases the drying rate and shortens the drying time. In experimental study Potas pretreatment is the most successful pretreatment. Color analysis studies show that the Potas group samples dried at 55°C have the closest color to fresh Cornelian cherry color.

Keywords: Activation energy, cabinet dryer, color analysis, Cornelian cherry, diffusion coefficient, drying, infrared, mathematical modeling

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İklim koşullarının tarıma uygun olması, çok çeşitli meyve ve sebzenin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Ülkemiz, ürün çeşitliliğinin fazla olmasıyla birlikte özellikle bazı ürünlerde üretim miktarı ile üst sıralarda yer almaktadır. Bu ürünlerin bir kısmı taze olarak piyasaya verilmekle birlikte bir kısmı da işlenerek piyasaya sürülmektedir.

Kızılcık, ülkemizin anavatanları arasında yer aldığı, eliptik şekilli, kırmızı, sarı ve yeşil renkli, tatlı ekşi tada sahip ve çekirdekli meyvesi olan bir bitkidir. Kızılcık meyvesi, şeker, antosiyanin, tanen ve organik asitlerce oldukça zengindir. Kızılcığın C vitamini içeriği oldukça yüksektir.

Kızılcık genelde küçük bir ağaçtır ancak 5-8 m boyunda örnekleri de bulunmaktadır. 800-850 m yükseltiye kadar olan dere yatakları ve bu alanlara bakan yamaçlarda doğal olarak yetiştiği gibi bahçelerde de yetiştiriciliği yapılmaktadır. Karadeniz bölgesi yoğun olmakla birlikte, Marmara, Ege, Akdeniz ve Doğu Anadolu'da da yetişmektedir. Ülkemizde ağustos ve eylül aylarında hasat edilen kızılcığın tazesi tüketilebildiği gibi reçel, peksimet, şarap ve ilaç hammadesi olarak da kullanılabilmektedir. Sert bir ağaca sahip olması sebebiyle, mobilya, çalgı ve mücevher yapımında kullanılmaktadır. Kurutulmuş kızılcık, Anadolu'da hoşaf yapımında kullanılabildiği gibi bağırsak rahatsızlığına iyi geldiği düşünülen özel bir tarhananın da hammaddesi olarak kullanılmaktadır.

Meyve ve sebzelerin hasat döneminin kısa olması ve kısa sürede bozulmaları, çeşitli muhafaza yöntemleri kullanmayı gerekli kılmaktadır. Bu amaçla kurutma, konserveleme, reçel yapma, dondurma gibi yöntemler geleneksel olarak kullanılagelmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Resmi istatistiklere göre Türkiye'de 1988 yılında 1634000 adet kızılcık ağacı bulunmaktaydı ve bu ağaçlardan yılda 18000 ton üretim yapılmaktaydı. 2017 yılına gelindiğinde, ağaç sayısı toplam 794000, yıllık üretim ise 10012 ton/yıl olarak kaydedilmiş durumdadır [1].

İnsanoğlu tarafından gıda muhafaza etmek amacıyla kullanılan en eski yöntem olan kurutma, kurutulmuş ürünlerin kalitesinde olan iyi sonuçları sebebiyle sebze ve meyve muhafasında tercih edilen önemli bir prosestir [2]. Kızılcık, geleneksel olarak güneşte kurutularak muhafaza edilmektedir. Güneşte kurutma işlemi için güneşten faydalanılacak gün sayısı, yağmurlu günler ve havanın bağıl nemi gibi mevsimsel koşullar kısıtlayıcı olmaktadır. Güneş ışığı alan yerlere serilerek kurutulan ürünlerin kuruması uzun olmakta, ürünler bu sürede kuşlar ve rüzgârın sürüklediği, toz ve toprak gibi yabancı maddelerle kontamine olmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Güneşte kurutmanın mevsimsel koşullara bağlı olması ve daha etkin ve kontrollü bir kurutma sürecinin sağlanması sebebiyle farklı kurutma koşullarının kızılcığın kurutma karakteristiğine ve kalitesine etkisinin incelenmesi önem arz etmektedir. Bu sebeplerle kızılcık kurutma üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Kurutulan kızılcık, daha uzun süre bozulmadan saklanabilmekte, böylece kısa olan hasat dönemi dışında da kullanımı mümkün kılınmaktadır.

Kurutma koşulları kurutulan ürünün besin içeriğine, kurutma işlemi için kullanılan enerji miktarına ve gerekli süreye etki etmektedir. Uygun kurutma koşullarının belirlenmesi amacıyla kurutma parametrelerinin deneysel yöntemlerle incelenerek analiz edilmesi gerekmektedir. Ayrıca günümüzde çeşitli kurutma yöntemleri kullanılmakta, her bir yöntem değişik kurulum ve işletme maliyetine sahip olmaktadır. Sıkça kullanılan kabin kurutucu ile (sıcak hava ile) kurutma yöntemi, yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalan ürünün kalitesi üzerinde olumsuz etki gösterebilmekte olduğundan farklı kurutma yöntemleri ile daha düşük sıcaklığa maruz kalan daha kaliteli ürünler elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde yer alan Bilecik ilinden hasat edilmiş kızılcık meyvesinin (Cornelian cherry), farklı ön işlemler uygulanarak ve ön işlem uygulanmadan farklı sıcaklıklarda kabin kurutucu ile ve farklı güçlerde kızılötesi kurutucu ile kurutulmasının gerçekleştirilip, kurutma eğrilerinin modellenmesi ve difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerisi değerlerinin hesaplanması ayrıca ön işlem uygulanmasının ve farklı kurutma koşullarının kuruma hızları ve kuruma süreleri üzerine etkisi incelenmesi amaçlanmaktadır.

1.3 Orijinal Katkı

Önceki bölümde bahsedilen amaçla, ön işlem uygulanmamış 1 grup (kontrol grubu) ve 2 farklı ön işlem uygulanmış grup (Potas ve Sod. Hid. grupları); kabin kurutucuda sabit hava akış hızında (2±0,1 m/s), 3 farklı sıcaklıkta (55, 65 ve 75°C) ve kızılötesi kurutucu ile 3 farklı güçte (75, 88 ve 104 W) kurutulmuş bunlara ek olarak da 2 saat infrared kurutucuda 3 farklı güçte (75, 88 ve 104 W) kurutulup ardından sabit hava akış hızında 3 farklı sıcaklıkta (55, 65 ve 75°C) tamamlanacak şekilde kontrol grubu çalışılmıştır. Çalışma boyunca meyvelerin %70.17 olan başlangıç nem oranının %10'a indirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak, kızılcığın kurutma hız eğrileri ve kurutma kinetiği oluşturulmuş, efektif difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır.

BÖLÜM 2

KURUTMA

Meyve ve sebzeler bir işleme tabi tutulmaksızın taze olarak tüketilebilmektedir. Her meyve ve sebzenin belirli bir hasat dönemi olması tüketim dönemleri üzerinde önemli bir belirleyicidir. Bu sebeple gıdaların tazeliğini koruyacak şekilde saklanması önem arz etmektedir.

Fazla miktarda üretilen tarımsal ürünler hemen tüketilmediğinden dolayı dayanma süreleri çok kısa olmaktadır. Bu ürünlerin taze olarak saklanabilmesi bazı özel işlemler sonucunda mümkün olabilmektedir. Tarımsal ürünlerin tüketilme anına kadar geçen süre içerisinde besleyici özelliklerini kaybetmeden ekonomik ömürlerinin uzatılmasına yönelik olan bu işlemlerin başında kurutma gelmektedir. Kurutma, meyve ve sebzelerin su niceliğini azaltarak, su aktivitesini düşürmek ve böylece biyokimyasal, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmaları minimize etmek amacıyla ısıtılmış hava ile endüstriyel ölçekte uygulanan bir koruma metodu olarak tanımlanmaktadır [3].

Meyve ve sebzelerin temel bileşenleri, su, karbonhidratlar, yağlar, proteinler, organik asitler, vitaminler, mineraller, renk maddeleri, aromalar, alkoller ve yabancı maddelerdir. Meyve ve sebzelerin önemli bileşeni sudur. Gıda işlemenin en önemli amacı suyun fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal olarak kontrol altına alınmasıdır. Meyve ve sebzeler %3-95 arası su içermektedir. Kızılcık meyvesi ise; %17.98-24.34 arası kuru madde içermektedir [4]. Kızılcığın su içeriği %75.66-82.02 arasındadır.

Meyve ve sebzelerin uzun süre bozulmadan korunmaları için çok çeşitli muhafaza yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler, fiziksel yöntemler, kimyasal yöntemler ve biyolojik yöntemler olarak 3 ana başlıkta incelenebilir. Enzimatik asitlendirme biyolojik yöntemlere, tuz katma, şekerleme ve kimyasal koruyucular kimyasal yöntemlere,

pastörizasyon, sterilizasyon, konsantre etme, soğukta muhafaza, ışınlama, yüksek basınç altında işlem uygulama ve kurutma ise fiziksel yöntemlere örnektir.

Fiziksel koruma yöntemlerinden biri olan kurutma aynı zamanda insanoğlunun kullandığı en eski koruma yöntemlerinden biridir. Kurutma kısaca gıdaların içerdiği suyun kontrollü koşullarda uzaklaştırılması olarak tanımlanabilen, gıdalara uygulanan en temel işlemlerden birisidir. İnsanoğlu tarafından gıda muhafaza etmek amacıyla kullanılan en eski yöntem olan kurutma, kurutulmuş ürünlerin kalitesinde olan iyi sonuçları sebebiyle sebze ve meyve muhafazasında tercih edilen önemli bir prosestir [2].

Kurutmanın temel amacı gıdaları korumaktır. Buna ek olarak, kurutma ile toplam kütle ve hacimde azalmalar yaşanması sebebiyle depolama ve taşınma ile ilgili gerekçelerle de kurutma işlemi uygulanabilmektedir. Kurutma uygulamasında temel amaçlar;

- Ürünün bozulmasını engellemek ve daha uzun bir süre muhafaza etmek,
- Nem içeriğinin düşürülmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerini korumak,
- Ürün geliştirme veya üretim basamağında daha kolay kullanımı sağlamak

olarak listelenebilir.

Kurutma endüstrisi, kurutmayı gerçekleştirmek için yüksek miktarlarda enerji kullanan bir endüstridir. Bu yüzden, yüksek enerji tüketen endüstrilerin başında gelmektedir. Kurutma, doğal kurutma ve yapay kurutma olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir.

2.1 Doğal Kurutma

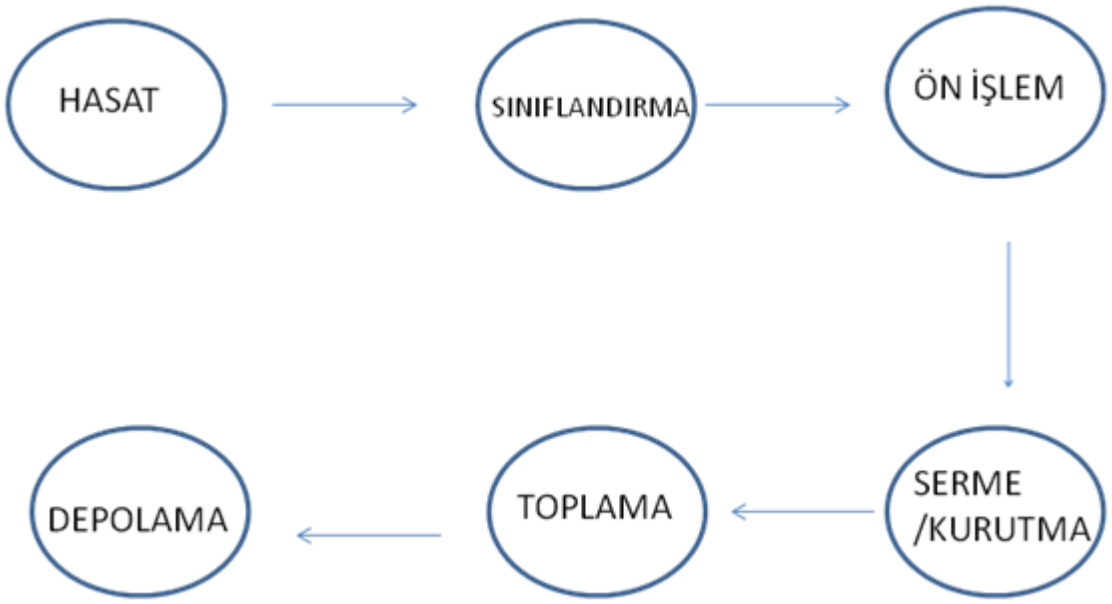
Doğal kurutma yönteminde enerji kaynağı olarak güneş kullanılır. Geleneksel olarak kullanılan kurutma yöntemi olup güneşte kurutma olarak da bilinir. Doğal kurutma hali hazırda dünyanın birçok bölgesinde kullanılan en ucuz kurutma yöntemidir. Bu yöntemin tercih edilmesinin en büyük sebebi tesis kurulum maliyeti ve işletme giderlerinin ihmal edilebilir seviyede olmasıdır. Yöntem üzerinde en etkili faktör iklim koşullarıdır. Havanın bağıl nemi, ortam sıcaklığı, yağış rejimi ve hava hızı etkili parametrelerdir.

Bu yöntem yılın her döneminde uygulanabilir değildir. Mevsim koşulları belirleyici olmaktadır. Örneğin; ülkemizde Ege Bölgesi, Ağustos-Eylül aylarında güneşte kurutma işlemi için uygun koşullara sahiptir.

Doğal kurutma yönteminin dezavantajları; kontaminasyon, kurutma süresinin uzunluğu, senede sadece 1-2 ay kullanılacak olan boş bir alan gerektirmesi gibi etkenlerdir.

Doğal kurutma sırasında bir fatura ödenmediği gerçek olmakla birlikte, doğal ortamdan bulaşan/karışan toz ve sap/saman gibi yabancı maddeleri temizlemek için de ciddi bir işçilik gerekmektedir. Bu işler için kullanılmakta olan çeşitli makinalar mevcuttur.

Şekil 2.1'de doğal kurutma yönteminde uygulanan basamaklar görülmektedir. Hasat, uygun kalitede ürün elde etmek için gerekli olan ilk basamaktır. Hasat zamanının doğru seçimi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 2.1 Doğal kurutma işlemi basamaklarının şematik gösterimi

Sınıflandırma, hasat edilen ürün içine karışmış yabancı maddelerin ve bozuk ürünlerin ayrılması olarak tanımlanabilir. Bu basamakta ürünün kalitesine olumsuz etkisi olacak bileşenler ana işleme geçilmeden saf dışı bırakılmaktadır.

Ön işlem, özellikle meyve kurutma uygulamalarında tercih edilmektedir. Meyvenin nem içeriğini kaybetmesini hızlandırmak amacıyla kullanılır. Kuruma hızı artan ürünün kuruma süresi kısalır, böylece yüksek sıcaklıkta bekleme süresi azalarak, besin değerleri

ve aroma içeriği de korunur. Kükürtleme, haşlama ve bandırma en çok kullanılan yöntemlerdendir.

Serme/Kurutma, ana işlem basamağıdır. Uygulanan ön işlemden sonra ürünler hasar görmeden sergi yerine alınırlar. Yer tipi sergiler ve yüksek sistem sergiler kullanılabilir. Bu basamakta ürünler hedeflenen nem içeriği sağlanana kadar kurutulur.

Toplama, kurutma işlemi bitmiş ürünlerin sergilerden alınarak depolanacak alana kaldırılması basamağıdır. Bu basamak uygulanırken ürünün hedeflenen nem içeriğine ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilmedilir.

Depolama, toplanan ürünlerin kullanım anına kadar uygun koşullarda saklanmasıdır. Bu basamakta kurutulmuş ürünlerin kalitesini etkileyecek faktörlere dikkat edilmelidir. Depolanacak alan uygun sıcaklık ve nem koşullarında bulunmalı, gerekirse depolanan ürünler nem içeriğinin artmasını engelleyecek uygun ambalajlar içinde saklanmalıdır.

2.2 Yapay Kurutma

Bu yöntemle kurutma işlemi, kapalı alanlarda, kontrollü koşullarda gerçekleştirilir. Enerji kaynağı olarak sıcak hava, kızılötesi ve mikrodalga gibi çeşitli kaaynaklar kullanılabilir. Bu yöntemde tesis kurulum maliyeti ve işletme giderleri oldukça etkilidir. Kurutma koşullarının kontrollü olması, değişik meyve ve sebzelerin yılın her döneminde kurutulmasına olanak sağlamaktadır. Sistemin kapalı alanlarda kurulu olması, kontaminasyon riskini de azaltmaktadır.

Doğal kurutma dışında fabrikasyon sistemi olarak kullanılan suni kurutma çok pahalı olmaktadır. Bunun en büyük nedeni ise meyvelerin hasat edildikten hemen sonra kurutma işleminin yapılması gerekliliğidir. Hasat zamanı en fazla 15-20 gün olduğu için bir yörede bulunan bütün meyvelerin bu süre içinde kurutulması gerekir. Böylece çok yüksek kapasiteli tesislere ihtiyaç vardır. Bunun diğer bir sakıncası ise sistemin çalışma periyodunun kısa olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, bu tesisler çok yüksek ilk yatırım ve işletme maliyeti getirmektedir [5].

Kurutulacak ürün çeşitliliğinin fazla olması, bu ürünlerin hasat dönemlerinin uygun aralıklarla olacak şekilde planlanması ile tesisisin yılın daha uzun dönemlerinde aktif olarak işletilmesine olanak sağlayabilecektir.

Yapay kurutma yönteminde de Şekil 2.1'de yer verilen basamakların, hasat, sınıflandırma ve ön işlem basamakları aynı şekilde uygulanır. Kurutma basamağında serme yerine, ön işlemlerden geçirilmiş ara ürünler, kurutucu içerisine alınır ve belirlenen nem içeriğine kadar kurutulur. Kurutucudan çıkan ürünler son kontrolleri yapıldıktan sonra aynı şekilde depolama basamağına alınır.

Yapay kurutma yönteminin uygulamaları;

- Kabin Kurutucular,
- Kesikli Kurutucular,
- Döner Kurutucular,
- Vakum Kurutucular,
- Tünel Kurutucular,
- Bantlı (Kayışlı) Kurutucular,
- Akışkan Yataklı Kurutucular,
- Yüksek Hızlı Havalı Kurutma,
- Kısa Süreli Üflemeli Kurutma,
- Tambur Kurutucular,
- Püskürtmeli Kurutma,
- Osmotik Kurutma,
- Dondurarak Kurutma olarak listelenebilir.

Kurutma yöntemleri pek çok şekilde sınıflandırılabileceği gibi ısının iletim şekline göre konveksiyon kurutma, kontakt kurutma ve radyasyon kurutma olarak da sınıflandırılabilir [6].

Konveksiyon Kurutma: Genellikle tünel kurutucular ile akışkan yatak ve püskütmeli kurutuculardа kullanılan bu yöntemde, suyun buharlaşması için gereken ısı bir gaz yardımıyla taşınır. Bu gaz çoğunlukla havadır. Bu yöntem geleneksel kurutma yöntemlerinin çoğunda (akışkan yatak, püskürtmeli kurutucu ve tepsili kurutucu) kullanılmaktadır.

Kontakt Kurutma: Bu yöntemde, kurutulacak madde yüzeyi ile ısı kaynağı temas halindedir ve ısı kondüksiyonla iletilmektedir. Bu yöntemde kurutulacak maddenin ısıl iletkenliği ve ısıtıcı yüzeyi ısı iletim katsayısı önemlidir.

Radyasyon Kurutma: Bu yöntemde ısı radyasyon ile iletilmektedir. Kızılötesi kurutucular bu yönteme örnektir. Bu yöntem gıdaların endüstriyel kurutulmasında yaygın olmamakla birlikte günümüzde birçok deneysel çalışmaya konu olmaktadır.

Bunlara ek olarak önemli bir diğer kurutma yöntemi ise dondurarak kurutmadır. Bu yöntem tamamen farklı ilkelere dayanmaktadır. Gıdaların doğal yapısının bozulmadığı ve besin içeriğinin korunduğu bu yöntem, kurutma yöntemleri içerisinde en iyi olanıdır. Kurutulacak olan ürün önce dondurulmakta ve yapısındaki su buz halinde bağlanmakta, daha sonra uygun koşullarda gerçekleştirilen süblimasyon ile doğrudan buhar haline geçirilerek ortamdan uzaklaştırılmaktadır [5].

2.3 Kurutma Sırasında Gerçekleşen Taşınım Olayları

Taşınım olayları, evrende kütle, enerji ve momentumun bir noktadan diğer bir noktaya hareketini içermektedir. Bu olaylar doğal ya da özel tasarlanmış mühendislik olaylarını da kapsamaktadır [7].

Taşınım olaylarında 3 temel olay bulunmaktadır. İlki, transfer olayının kararlı durumun oluşacağı ve enerjinin minimum seviye olacağı duruma kadar sürmesidir. Bu durum transfer olayının yönünü belirler. İkincisi, itici kuvvettir. İtici kuvvet, hız, sıcaklık, kimyasal aktivite ya da konstrasyon farkı ile oluşur ve transfer olayını gerçekleştiren ana kuvvettir. Sonuncusu ise taşınım olayına karşı gelişen dirençtir. Bu durum viskozite, difüzyon katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısı ile ifade edilir [7].

Kurutma işlemi sırasında kütle aktarımı ve ısı aktarımı şeklinde 2 farklı taşınım olayı gerçekleşmektedir. Kütle aktarımı, kurutulacak üründeki nemin kurutucu havaya akışı şeklinde, ısı transferi ise, kurutucu havadan kurutulacak ürüne akış şeklindedir.

Kurutucu havadan ürüne aktarılan ısı, ürünün sıcaklığının artmasına ve ürünün içeriğindeki suyun buharlaşmasına sebep olmaktadır. Buharlaşan su, ürünün yüzeyinden uzaklaşarak kurutucu hava bünyesinde tutulmakta böylece ürün nem içeriği ve toplam kütlesi düşerken kurutucu hava nem içeriği ve kütlesi artmaktadır.

2.3.1 Nem (Kütle) Denkliği

Kütlenin korunumun kanunu;

Girdi + Üretim = Çıktı + Birikim (2.1)

şeklindeki genel kütle denkliği ile ifade edilir.

Nem denkliği kurulurken girdi kurutulacak ürün ve kurutucuya beslenen havanın içerdiği nem, çıktı ise kurutulan ürün ve kurutucuyu terk eden havanın içerdiği nemdir. Nem içeriğini etkileyen bir kimyasal reaksiyon bulunmaması sebebiyle üretim ve birikim ifadeleri yok sayılmaktadır.

Kurutma işlemi sırasında kütle transferi yönü üründen, ürün içinde yüzeye doğru daha sonra ise ürün yüzeyinden kurutucu havaya doğrudur. Ürün içerisindeki su, ürün yüzeyine doğru hareket etmekte, buharlaşan nem içeriği ürün yüzeyinden çevreye (kurutucu havaya) yayılmaktadır. Bu olay Eşitlik (2.2)'de ifade edilmektedir.

$$\frac{dW}{dt} = K_g.A.(H_s - H_a) \quad (2.2)$$

Denklemde;

$\frac{dW}{dt}$: Kurutma hızı (kg/s),

K_g: Kütle transfer katsayısı (kg/m^2.s),

A: Kurutma yüzey alanı (m^2),

H_s: Yüzeyin nemi (kg su/kg kuru hava),

H_a: Havanın nemi (kg su/kg kuru hava)

Bu denklemde de açıkça görüldüğü üzere, yüzey alanı ile yüzey nemi ve hava nemi arasındaki fark kütle aktarım hızı (kurutma hızı) ile doğru orantılıdır. Kütle aktarımının yaşanması için bu iki nem arasında fark olmalıdır.

2.3.2 Termodinamiğin 1. Kanunu

Enerjinin korunumu olarak da bilinen Termodinamiğin 1. Kanunu, sistemin iç enerjisindeki değişimin sisteme verilen ısı ile sistemin çevresine uyguladığı iş arasındaki farka eşit olduğunu gösterir. Bu kanun ile enerjinin yoktan var, vardan ise yok

edilemeyeceği, ancak şekil değiştirebileceği anlatılmaktadır. Aşağıda gösterilen bağıntı Termodinamiğin 1. Kanununu göstermektedir [7].

Termodinamiğin 1. Kanunu'na göre sistemin kazandığı enerji çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşit olmak zorundadır [8].

$$\Delta U = Q - W \tag{2.3}$$

ΔU : İç enerjideki değişim

Q : Sisteme verilen ısı

W : Sistem tarafından yapılan iş

Kurutma işleminde sisteme enerji beslemesi kurutucu hava ile sağlanmaktadır. Sistem tarafından yapılan iş, kurutulan ürünün sıcaklığının artması ve ürün içerisindeki suyun buharlaşmasıdır. Kurutucu hava ile sisteme ürün beslenmesi olayında itici kuvvet, ürün ile kurutucu hava arasındaki sıcaklık farkı ile sağlanmaktadır. Isı aktarımının yaşanması için bu iki sıcaklık arasında fark olmalıdır. Kurutma esnasında gerçekleşen ısı transferi olayı eşitlik (2.4)'de gösterilmektedir.

$$\frac{dQ}{dt} = \mathrm{h}.A.(T_a - T_s) \tag{2.4}$$

Denklemde;

$\frac{dQ}{dt}$: Isı aktarımı (kJ/s),

h: Konvektif ısı transfer katsayısı (kJ/m^2.s.°C),

A: Kurutma yüzey alanı (m^2),

T_a: Havanın sıcaklığı (°C),

T_s: Yüzeyin sıcaklığıdır (°C)

Bu denklemde de açıkça görüldüğü üzere, yüzey alanı ile yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı arasındaki fark kütle aktarım hızı (kurutma hızı) ile doğru orantılıdır.

2.4 Suyun Buharlaşması

Kurutma işleminde temel amaç, kurutulacak ürün neminin azaltılması ve böylece istenen besin değeri, aroma gibi özellikleri uzun süre muhafaza edecek şekilde saklanmasının sağlanmasıdır. Nem içeriğinin azaltılması ürün içerisindeki nemin buharlaşma yoluyla üründen uzaklaştırılması ile sağlanmaktadır. Buharlaşma her sıcaklıkta gerçekleşmekle birlikte endotermik bir proses olması sebebiyle buharlaşma hızı sıcaklık ile doğru orantılıdır. Ortam basıncı buharlaşma üzerinde ters orantılı olarak etki göstermektedir. Bununla birlikte kurutma işlemi sırasında buharlaşma hızı üzerinde, kurutucu havanın nemi ve hızı ile kurutulacak maddenin geometrik şekli (yüzey alanı ve kalınlığı) de etkilidir.

2.5 Su Aktivitesi ve Denge Nemi

Gıdaların tümü su içermektedir. Karpuz, ıspanak ve lahana %90'ın üzerinde, balık eti, patates ve süt %80'in üzerinde, yumurta, tavuk eti ve muz %70'in üzerinde su içermektedir. Gıdalardaki su içeriği enzimatik, mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalar ile ilişkilidir [9].

Biyolojik ve kimyasal bozulmaların hızı gıdanın içerdiği su miktarı ile doğru orantılıdır. Bu sebeple kurutma işlemiyle gıdalardaki su içeriğinin azaltılması amaçlanmakta, böylece biyolojik ve kimyasal bozulmalar azaltılarak daha uzun süre muhafaza imkânı sağlanmaktadır.

Gıdalardaki tuz, şeker ve organik asitler suda çözünürken proteinler, kolloidal maddeler ve yağlar çözünmezler. Su içinde katı maddelerin bulunması entropiyi düşürmektedir. Bu durumda suyun buhar basıncı düşer ve buharlaşması zorlaşır. Buhar basıncı düştüğünde donma noktası düşerken kaynama noktasında yükselme yaşanmaktadır.

Raoult Yasası, ideal çözeltilerdeki konsantrasyon ile buhar basıncı arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Eşitlik (2.5)'de Raoult yasası gösterilmektedir.

$$\frac{P}{P_0} = \frac{n_2}{n_1+n_2} \tag{2.5}$$

P: Çözelti buhar basıncı

P_0: Çözücü buhar basıncı

n_1: Katı madde mol sayısı

n_2: Çözücü mol sayısı

Sabit sıcaklıkta çözelti ve çözücü buhar basınçlarının oranı su aktivitesi olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (2.6)'da gösterildiği gibi, gıda maddeleri için, gıda içerisindeki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncı oranı su aktivitesini vermektedir.

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\%RH}{100} \quad (2.6)$$

a_w: Su aktivitesi

P: Çözelti buhar basıncı

P_0: Çözücü buhar basıncı

RH: Bağıl nem

Bu denkleme göre su aktivitesi 0 ile 1 arasındaki bir değerdedir. %100 bağıl neme karşılık gelen saf suyun su aktivitesi 1'dir. Su aktivitesinin 0.95'den büyük olduğu durumlarda, patojen ve bozulma yapan bakteriler ve bazı mayalar, 0.91-0.95 aralığında bozulma yapan bakteriler ve bazı küfler, 0.87-0.90 aralığında maya ve küfler, 0.60-0.85 aralığında ise maya, küf ve ozmotik basınca dayanıklı bakteriler aktifken 0.60'dan küçük olduğu durumlarda mikrobiyal aktivite görülmez [9].

Suyun gıda maddeleri üzerindeki kimyasal ve mikrobiyal bozunmasında etkin rol oynaması sebebiyle çeşitli yöntemlerle (kurutma ve şekerleme vb.) su aktivitesinin düşürülmesi gerekmektedir. Gıdaların dayanıklılığı üzerinde su aktivitesinin oldukça etkili olduğu görülmektedir [10].

Kurutma işlemi boyunca kurutulacak ürünün içerdiği nemin üründen uzaklaşması ve toplam kütlenin azalması beklenir. Kurutma işleminde denge haline ulaşıldığında kurutulan maddenin kütlesindeki azalma durur. Bu noktaya ulaşıldığında ürünün buhar basıncı ortam buhar basıncına eşittir. Bu noktada ürünün içerdiği nem miktarı denge nemi olarak tanımlanır. Denge nemi, kurutma havasının sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak kurutma işlemi sonucunda ürünün içereceği en az su miktarıdır [5].

2.6 Kurutmanın Temel Aşamaları

2.6.1 İnce Tabaka Kurutma Kuramı

Kurutma işleminde ürünlerin tek tabaka halinde kurutulması ince tabaka kurutma olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda kullanım kolaylığı ve daha az veri gerektirmesi sebebiyle ince tabaka eşitlikleri birçok çalışmada yer almaktadır. Bu eşitlikler, teorik, yarı teorik ve ampirik modeller şeklinde sınıflandırılmaktadır [11].

Teorik modellerde çok fazla varsayım yapılması ve hata payının yüksek olması sebebiyle, bu yöntem ekipman tasarımında kullanılmamaktadır. Fick'in 2. Yasası'ndan türetilmiş yarı teorik modellerin daha az varsayım içermesi ve daha basit olması geniş kullanıma sahip olmasını sağlamaktadır. Ampirik modeller de yarı teorik modellere benzemekte ancak kurutma karakteristikleri hakkında sınırlı bilgi içermekte ve deneysel verilere dayanmaktadır [12].

İnce tabaka kurutma kuramı çerçevesinde kurutulacak ürünler boyutlarına göre ince dilimler halinde hazırlanarak, tek sıra olacak şekilde yerleştirilmesiyle kurutulmaktadır. Bu şekilde serilen ürünlerin kalınlığı boyunca sıcaklık ve nem değişikliği yaşanmadığı kabul edilebilir. Böylece sabit kuruma periyodu ihmal edilerek doğrudan azalan kurutma periyodu dikkate alınmaktadır [13].

Tezin deneysel çalışmaları için kullanılan kızılcıklar boyutlarının küçük olması sebebiyle dilimlenmeden tek sıra halinde dizilmiştir. Bu haliyle kurutma işleminin ince tabaka kurutma kuramına uygun olduğu kabul edilmektedir.

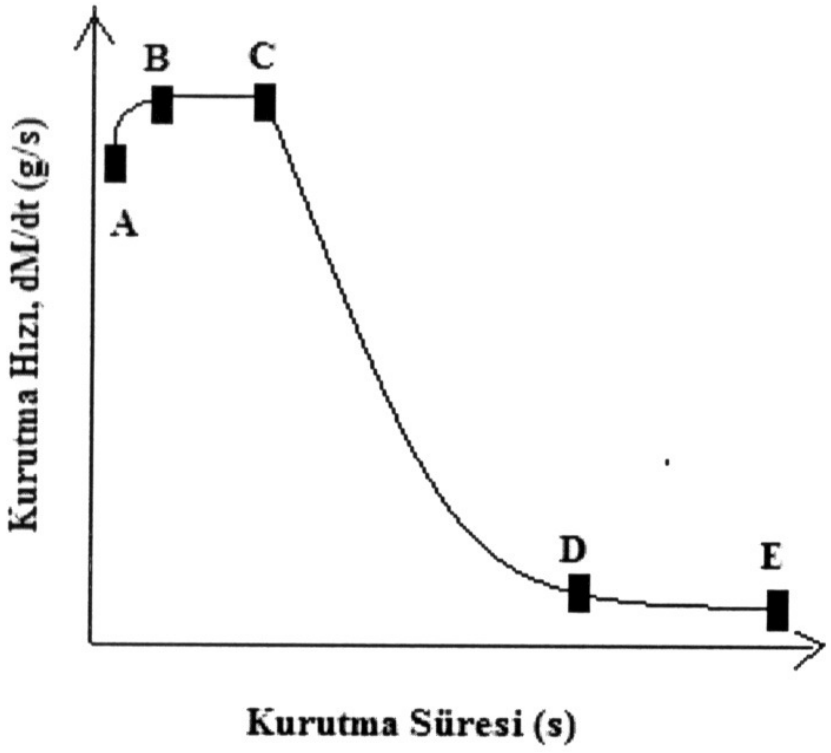
2.6.2 Kurutma Eğrileri

Kurutma işlemi süresince ısı ve nem transferi olayları gerçekleşmekte, aktarılan ısıyla gıda bünyesindeki suyun buharlaşarak gıdayı terk etmesi ve kurutucu hava ile ortamdan uzaklaşması sağlanmaktadır. Kurutulan ürünün nem içeriği değişimi ve kurutma süresinin ilişkisi kurutma eğrileri yardımıyla görülmektedir. Şekil 2.2'de tipik bir kurutma hız eğrisi görülmektedir. Bu eğride A-B arasındaki bölgesi kurutulacak ürünün ısınmasını, B-C arası sabit hız kuruma bölgesini, C-D ve D-E bölgeleri kritik neme ulaştıktan sonra gözlenir ve azalan hız kuruma bölgesini göstermektedir.

Şekil 2.2'de ince tabaka kurutma kuramı için ısınma periyodu ihmal edilmekte, kurutma işlemi sabit hız periyodu ile başlamaktadır.

Isınma Periyodu: Bu periyotta kurutulacak olan ürün yüzey koşullarının kurutma ortamı sıcaklık koşullarıyla dengeye ulaşması gözlenir. Bu periyotta kurutma hızında bir artış gözlenmektedir, ancak kurutma süresinin çok küçük bir kısmı bu periyottan oluşmaktadır. İnce Tabaka Kurutma Kuramı'na göre bu periyot ihmal edilmektedir [13].

Sabit Hız Kuruma Periyodu: Bu periyotta, kurutulacak ürün yüzeyinin sürekli ıslak kaldığı kabul edilmekte olup ürün içeriğindeki suyun yüzeyden buharlaşması, aynı şartlar altındaki suyun buharlaşma hızına eşittir. Bu periyotta kuruma hızını belirleyen olay, kurutulan ürün ile kurutma havası arasındaki ısı transferidir. Kütle ve ısı transferi olayları denge oluşturmakta bu sayede kurutulan ürünün yüzey sıcaklığı sabit kalmaktadır. Ürün yüzeyi ıslak kaldığı sürece, kuruma olayı ürünün iç kısımlarından yüzeye ulaşma mekanizmasından etkilenmemektedir [5].

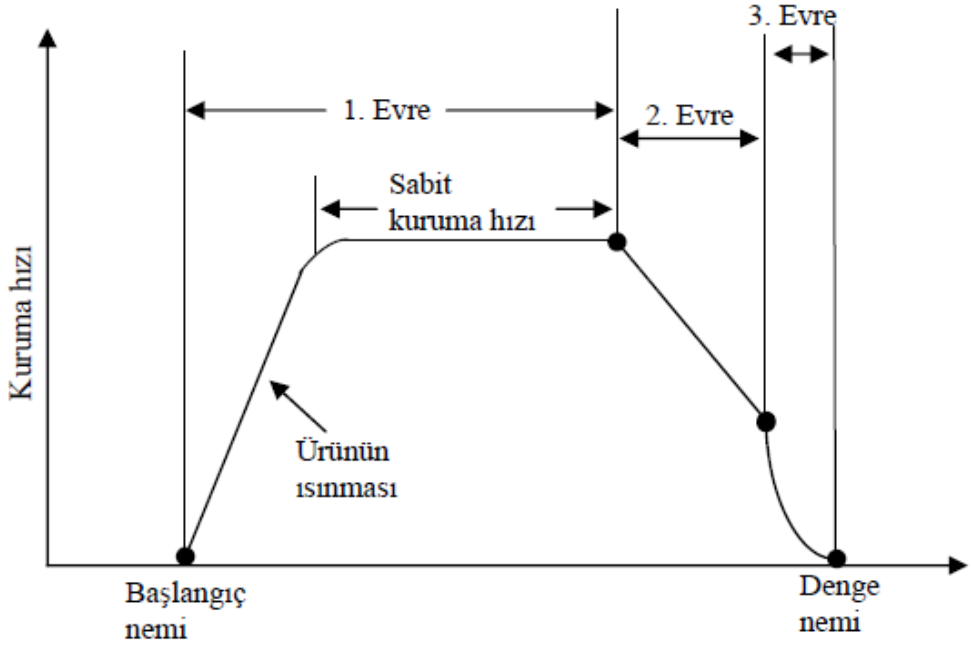


Şekil 2.2 Tipik bir kurutma hızı eğrisi [11]

Azalan Hız Kuruma Periyodu: Kritik nem içeriğine ulaşıldıktan sonra ürün yüzeyi kurumaya ve böylece kuruma hızı düşmeye başlar. Bu noktadan sonra difüzyon hızı,

yüzeyi ıslak tutmaya yetmemektedir. Kurutma hızı ıslak yüzey miktarının azalmasıyla orantılı olarak düşmektedir. Bu periyot 1. Azalan Hız Periyodu olarak adlandırılır. Bu periyodun ardından, suyun buharlaşma hızının yüzeye difüzyon hızını aşması ile yüzeydeki ıslaklık tamamen yok olmaktadır. Bu nokta ikinci kritik nokta olarak tanımlanır. İkinci kritik noktadan sonra kuruma hızı eğrisi doğrusallığını kaybetmektedir [13].

Şekil 2.3'de tipik bir kurutma hız eğrisi görülmektedir. Burada 3. Evre olarak tanımlanan kısım ikinci kritik noktadan sonra yüzeyin kuruması ve kuruma hızı eğrisinin doğrusallığını kaybetmesini göstermektedir.



Şekil 2.3 Tipik bir kurutma hızı eğrisi (2) [14]

İnce Tabaka Kurutma Kuramına göre ısınma periyodunun ihmal edilmesiyle birlikte, azalan hız kuruma periyodu kurutma için en önemli etkiye sahip periyottur. Bu periyotta hız giderek azaldığı için ürünün nemindeki değişim birim zamanda azdır, ancak en uzun periyottur.

2.7 Kurutmaya Etki Eden Faktörler

Kurutma işleminde suyun kurutulacak üründen uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Kurutma işlemi iki temel işlem olarak ısı aktarımı ve kütle aktarımının eş zamanlı gerçekleştiği termal bir prosestir. Isı aktarımı ile kurutulacak ürünün ısıtılması böylece

içindeki suyun ısınarak buharlaşması, kütle aktarımında ısınarak buharlaşan su içeriğinin kurutulacak ürünün yüzeyinden uzaklaştırılması sağlanmaktadır.

Bu proses esnasında kurutma hızında etkili olan faktörler, sıcaklık, havanın (kurutucu havası veya kızılötesi yöntemlerinde kurutucu içindeki hava) nemi, kurutucu hava hızı, aktif yüzey alanı (geometrik şekil), ürün veya dilim kalınlığı ve kurutma ortamının basıncıdır.

Kurutma hızında etkili olan faktörler aynı zamanda ürünün kalitesini de etkilemektedir. Sıcaklığın yükselmesi veya havanın bağıl neminin, ortam basıncının yüksek olması veya ürünün gometrik şeklinin nem kaybını engellemesi sebebiyle kurutma süresinin uzaması üründe istenmeyen reaksiyonların gerçekleşmesi ile besin değerleri ve aromanın kaybedilmesi, şekil ve renk bozulmasına sebep olabilmektedir.

Sıcaklığın düşük olması ürünün istenen nem içeriğine ulaşmasını sağlamak için yeterli olmayabilir. Bu durumda ortam basıncının değiştirilmesi (vakum ortamı) ile buharlaşma sıcaklığında düşme yaşanması sağlanarak ürünün istenen nem içeriğine ulaşması sağlanabilir. Fakat bu durum vakum ortamı için ekipman kurulumu ve dolayısıyla ek maliyet gerektirecektir. Bu sebeplerle kurutulacak ürünün kuruma karakteristiğinin incelenmesi ile ilgili çalışmalar önem kazanmaktadır.

2.7.1 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

2.7.1.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi

Kurutma boyunca nem içeriği azalacağından ürünün kimyasal bileşimi değişmektedir. Kurutulacak üründe bulunan şeker gibi küçük moleküllü maddeler suyun buhar basıncını düşürerek kurutma hızını düşürmektedir. Kurutulan ürünün nemi kurutma işlemi boyunca düşecektir, bu durum kurutma hızını düşürmektedir.

2.7.1.2 Ürünün Boyutları

Kurutulacak ürünün yüzey alanı ve kalınlığı kuruma hızı üzerinde doğrudan etkilidir. Yüzey alanının artması kurutma hızını arttırırken kalınlığın artması azaltacaktır. Kuruma

hızı, parçacıkların yüzey alanıyla doğru, kalınlıklarıyla ters orantılıdır. Yüzey alanı aynı zamanda ısı transferini de doğru orantılı olarak etkilemektedir.

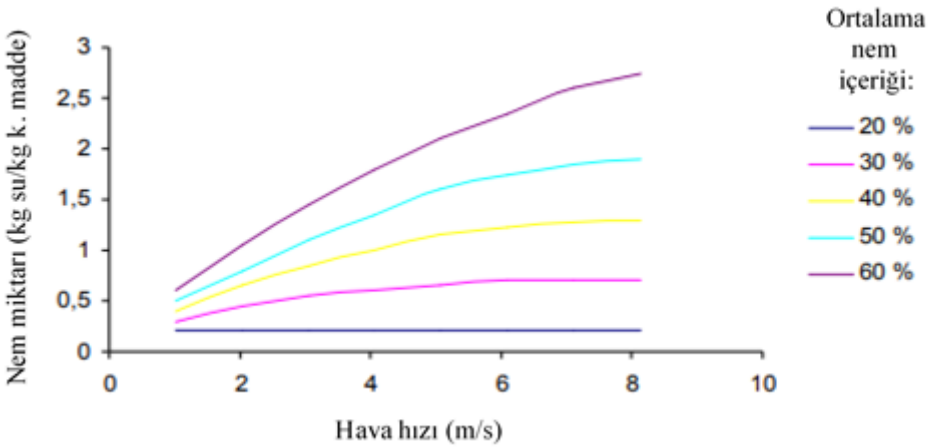
Kurutulacak ürünün kullanım alanı ve ürünün yapısı, yüzey alanı ve kalınlığa müdahale etmeye izin veriyorsa, ürünü parçalara ayırarak kurutmak kurutma hızını arttıracak bir işlemdir. Ayrıca kurutma boyunca üründe büzüşme ve hacim kaybı yüzey alanı ve kalınlığı değiştirebilmektedir.

2.7.1.3 Sıcaklık

Sıcaklık, kurutma üzerinde doğrudan etkili bir faktördür. Kurutulacak ürün ve kurutucu havası arasındaki sıcaklık farkı ısı aktarım hızıyla doğru orantılıdır. Ayrıca sıcaklığın artması havanın bağıl nemini düşürerek su tutma kapasitesini de arttırır. Fakat sıcaklığı yükseltmek ürünün kalitesini de doğrudan etkilemektedir.

2.7.1.4 Havanın Hızı

Kurutma havasının hızı kurutma hızı ile doğru orantılıdır. Kurutma esnasında kurutucu havanın bağıl nemi kurutucu boyunca artış gösterecektir. Bu artış, havanın maksimum nem noktasına yaklaştıkça su tutma yeteneğini düşürecektir. Ancak hava hızının kuruma hızına etki edeceği maksimum noktadan sonra hava hızını arttırmanın etkisi bulunmayacaktır. Şekil 2.4'de %76 nem içeriğine sahip şeker özlü akçaağacın 54°C sıcaklıkta kurutulması esnasında hava hızının kurutma hızını arttırdığı ve maksimum hıza ulaştığı noktada etkisinin durduğu görülmektedir. Ayrıca ürünün nem oranı ile kurutucu hava hızının etkisi arasında da ilişki bulunduğu görülmektedir.



Şekil 2.4 Şeker özlü akçaağacın 54°C sıcaklıkta ve %76 bağıl nemde kurutulması [15]

2.7.1.5 Havanın Kuruluğu

Havanın bağıl nemi kurutma üzerinde sınırlayıcı etkiye sahiptir. Kurutma işlemi kurutulacak ürün ile kurutma havasının bağıl nemi dengeye gelene kadar sürdürülebilir. Bağıl nem ile ürün nemi dengeye geldiğinde itici kuvvet (konsantrasyon farkı) sıfır olacak ve kütle transferi duracaktır. İtici kuvvetin büyük olması Şekil 2.4'de de görüldüğü üzere kurutma hızını arttırıcı etkide bulunmaktadır.

2.7.2 Kurutma Sırasında Ürünün Kalitesine Etki Eden Faktörler

2.7.2.1 Kurutma Sıcaklığı

Kurutma sıcaklığı, kurutma hızında olduğu gibi ürün kalitesi üzerinde de belirleyici bir etkiye sahiptir. Maruz kalınan sıcaklığın etkisi her ürünün kimyasal bileşimine göre değişir. Özellikle yüksek sıcaklığa karşı dayanımı daha düşük protein içeriği, sıcaklığın yüksek olması durumunda kaybedilecektir. Bununla birlikte ürünün aroması da yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilenebilmektedir. Buna karşın sıcaklığın düşük olması kurutmayı yavaşlatarak maruz kalınan süreyi arttırabilmektedir. Bu gibi durumlarda düşük sıcaklarda kurutma yapabilmek için ortam basıncını düşürmek buharlaşma hızını arttırarak uygun kurutma koşullarının oluşmasını sağlayabilmektedir.

2.7.2.2 Kurutma Süresi

Kurutma süresi kurutulacak ürünün yüksek sıcaklığa maruz kalacağı süreyi belirleyecek ve üründe istenmeyen bozulmalara sebep olabilecek bir faktördür. Aynı zamanda kurutma süresinin uzun olması işletme koşulları açısından da olumsuzdur. Kurutma süresini kısaltmak sıcaklık, basınç ve hava hızı gibi parametrelerin ayarlanması ile mümkündür. Bu noktada kurutulacak ürünün o şartlardaki kurutma karakteristiğinin incelenmesi önem arz etmektedir.

2.7.2.3 Kurutma Nem Oranı

Ürünün nem oranı üzerinde ürünün kullanım alanı ve yapısı etkilidir. Ürünün nem içeriğinin yüksek olması üründeki kimyasal bozulma hızını arttırarak ürünün daha kısa sürede bayatlamasına veya bozulmasına yol açacaktır. Nem içeriğinin çok fazla düşürülmesi ürünün sert bir yapıya sahip olmasına ve rehidrasyon kapasitesinin düşmesine böylece kullanım amacına hizmet etmemesine sebep olacaktır.

2.8 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri

Kurutma esnasında ürünün bünyesindeki suyun azalması doku çökmelerine sebep olarak büzülmeye sebep olur, ürünlerin dokularında değişikler meydana gelir, ürünün tekrar su alma yeteneği azalır, kuru madde kayıpları ve sertleşme gözlenir [5].

2.8.1 Kararma (Esmerleşme) Reaksiyonları

Esmerleşme, üründe darbeyle oluşan hasarlar, kesilmesi ve soyulması gibi sebeplerle veya ısının zararlı etkisi ile oluşan renk değişimlerine verilen addır. En bilinen sebebi Maillard reaksiyonlarıdır [5].

Esmerleşme ile ürünün duyusal özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Rengi taze ürüne göre koyulaşmakta ayrıca tadında da değişime sebep olmaktadır. Esmerleşme sıcaklığın artışı ile beraber artmaktadır. Ayrıca kurutulan ürünün son nem içeriği de önemlidir, nem oranı düştükçe esmerleşme hızı da düşmektedir.

Esmerleşme reaksiyonlarını önlemeye yönelik olarak, fiziksel yöntemler ve koruyucular kullanılmaktadır. Bunların bir kısmı haşlama, pastörizasyon, sülfat ajanları, askorbik asit ve türevleri ile muamele, ışınlama gibi yöntemlerdir [16].

2.8.2 Lipid Oksidasyonu

Ürünlerin bünyesindeki lipidlerin oksidayonu, yağda çözünen vitaminlerin kaybına ve acılaşma gibi istenmeyen tad değişimlerine sebep olmaktadır. Sıcaklık, oksijen miktarı, nem miktarı gibi sebepler oksidasyonu etkileyen faktörlerden bazılarıdır [17].

2.8.3 Rehidrasyon ve Büzülme

Rehidrasyon, kurutulmuş ürünün su verilmesiyle eski haline dönüşebilme özelliğidir. Ürün, taze halinde bulundurduğu su miktarına ne kadar yakın miktarda suyu tekrar adsorblarsa o kadar iyi nitelikte olduğu kabul edilir. Kabin kurutucu ile (sıcak havayla) kurutma işleminde rehidrasyon yeteneği azalır, dondurarak kurutulan ürünler rehidrasyon kapasitesi açısından en başarılı ürünlerdir [17].

Gıda ürünlerinin bünyesinde barındırdıkları suyun basıncı, ürünün katı bir halde karakteristik şeklini korumasını sağlamaktadır. Kurutma esnasında yapıdaki bu suyun kaybıyla, ürünün üzerindeki dengeyi sağlayan bileşenlerden biri olan suyun etkisi düşer ve geri dönüşümsüz bir esneklik kaybıyla birlikte dokuda çökmeler gözlenir ve ürün büzülür.

Büzülmenin, ürün üzerinde, yüzey başına birim ağırlığının değişmesi, yüzeyde sert bir kabuk oluşması ve nem geçişinin zorlaşması, dolayısıyla kuruma hızında azalma ve üründe yarılmalar ve çatlaklar oluşması şeklinde etkileri olmaktadır [5].

Kurutma işlemi esnasında anlatılanların dışında çözünebilme kapasitesinde düşme, aroma ve tat değişimleri, C vitamini kayıpları gibi kalite değişimleri de gözlemlenebilmektedir.

BÖLÜM 3

KIZILCIK VE LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

Tarım Bakanlığı tarafından yayınlanan tarım verileri incelendiğinde Türkiye'de meyveciliğin, 1990 yılında 3029 bin Ha alanda, tarım alanlarının %10.9'u kullanılarak, 2017 yılında ise 3343 bin Ha alanda, tarım alanlarının %14.3'ü kullanılarak yapıldığı anlaşılmaktadır [18].

Resmi istatistiklere göre Türkiye'de 1988 yılında 1634000 adet kızılcık ağacı bulunmaktaydı ve bu ağaçlardan yılda 18000 ton üretim yapılmaktaydı. 2017 yılına gelindiğinde, ağaç sayısı toplam 794000, yıllık üretim ise 10012 ton/yıl olarak kaydedilmiş durumdadır [1].

Anadolu orta iklim kuşağında yer almakta olup, ılıman iklim meyvesi olarak bilinen kızılcığın yetişmesi için uygun iklim koşullarını sağlamaktadır. Kızılcık orman alt florasında 800-850 m yükseltiye kadar olan alanlarda yetişen bir ağaçtır. Meyve, yüksek miktarda şeker ve %7-9 oranında C vitamini içermektedir. Son yıllarda kızılcığa ilaç endüstrisinden gelen talep artmaktadır. Batı ve Orta Karadeniz'de yoğun olarak yetişmekte olup üretimin büyük kısmı da buralarda yapılmaktadır. Kızılcık üretim miktarı 2013 yılında 11838 ton olarak tespit edilmiştir. Üretimde belli başlı bölgeler, Rize-Trabzon üretimin %5'i, Kocaeli-Sinop üretimin %31'i, Amasya-Tokat üretimin %4'ü, Bolu-Kastamonu üretimin %5'i şeklindedir [19].

Kızılcık genellikle kırmızı olsa da sarı ve yeşil örnekleri de görülen ekşi ve çekirdekli bir meyvedir. Üretimi artırmaya yönelik ıslah çalışmaları ise bir yandan sürdürülmektedir. Meyvesi 1-1.5 cm genişliğinde 2-4 cm uzunluğunda eliptik şekildedir Taze portakalın iki katı C vitaminine sahip olan kızılcık, şeker, antosiyanin, tanen ve organik asitlerce zengindir. Ülkemizde ağustos eylül aylarında hasat edilmektedir. Kızılcık meyvesi taze

olarak tüketilmekle birlikte reçel, peksimet, şarap, ilaç hammadesi olarak da kullanılır. Kızılcık doğal ortamında hektar başına 500-1000 kg verim vermekte, meyve bahçelerinde gerçekleştirilen üretimde ise hektar başı verimin 5000 kg'a kadar çıktığı görülebilmektedir. Kızılcığın muhafazası için geleneksel olarak doğal kurutma yöntemi de çokça tercih edilir. Kızılcığın sert ve sağlam yapılı ağacı da çeşitli amaçlarla kullanılmıştır [20].

Kızılcık Türkiye'nin birçok yerinde yabani olarak yetişmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde yoğun olmakla birlikte tüm Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde de yaygın olarak yetişmektedir. Kızılcık, ılıman iklim meyvesi olarak bilinmektedir [21].

Toprak bakımından seçici olmayan kızılcık bitkisi, soğuğa dayanıklı, aşırı sıcaktan olumsuz etkilenen, taban suyuna orta derece dirençli, sıcakta meyvesi çabuk olgunlaşan ancak gölgeli yerleri de seven ve su miktarı ile meyve verimi oldukça artan bir türdür [22].

Türkiye birçok meyvenin yetişebileceği bir kuşakta yer almaktadır ve dolayısıyla çok çeşitli meyve türlerinin gen merkezidir. Kızılcık da bu meyvelerden biri olarak Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde yaygın olarak yetişmektedir. Ülkemiz çok zengin bir kızılcık popülasyonuna sahiptir. Bilecik, Bursa, Erzurum, Tokat, Samsun, Sinop, Amasya, Mersin, Hatay gibi birçok şehirde yetişen mahalli kızılcık popülasyonları üzerine yürütülen seleksiyon çalışması sonucunda "Erolbey 77" ve "Yalçınkaya 77" çeşitleri seçilerek, verim, meyve iriliği ve et/çekirdek oranı açısından dikkat çekici olmaları sebebiyle tescil edilerek milli çeşit listesine girmiştir. Gerçekleştirilen çalışma ile "Erolbey 77" ve "Yalçınkaya 77" için sırasıyla, 6.85 g ve 6.03 g meyve ağırlığı, 21.3 mm ve 19.6 mm meyve eni, 26.5 mm ve 28.3 mm meyve boyu, 0.63 g ve 0.57 g çekirdek ağırlığı, 3.09 ve 3.19 pH, 146.2 mg/100 g ve 168.96 mg/100 g c vitamini içeriği tespit edilmiştir [23].

Güleryüz ve ark. 1998 yılında yayınladıkları çalışmalarında [24], ekşi-tatlı tada sahip, C vitamini içeriğince zengin kızılcık meyvelerinin Çoruh Vadisi'nde yetişen sofralık tiplerini meyve iriliği ve verimliliğine göre seçerek 15 tip üzerinde meyve ağırlığı, et/çekirdek oranı, suda çözünebilir kuru madde (SÇKM) oranı, C vitamini içeriği, malik asit cinsinden toplam asitlik oranı, SÇKM/asitlik oranı, toplam şeker ve indirgen şeker oranı değerleri açısından incelemişlerdir. Meyve ağırlığı 2.907-3.684 g, et/çekirdek oranı 5.950-10.707, SÇKM %11.50-16.70, meyve boyu 1.657-2.485 cm, meyve eni 1.335-1.541 cm, çekirdek

ağırlığı 0.308-0.530 g, toplam aitlik oranı %2.350-3.690, SÇKM/asit oranı %3.040-5.617, %4.276-%9.960 toplam şeker, indirgen şeker oranı %2.024-5.664, C vitamini içeriği ise 45.16-67.40 mg/100g arasında tespit edilmiştir. Tespit edilen değerlerin literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüş ve seçilen tiplerin ticari meyve üretim için uygun olduğu belirlenmiştir.

Şengül vd. [4], kızılcığın Türkiye'de yetişen farklı genotipleri üzerine yaptıkları araştırmada toplam kuru madde miktarı, toplam çözünebilir kuru madde miktarı, pH gibi parametreleri karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda toplam kuru madde miktarını %19.63-24.34 aralığında, toplam çözünebilir madde miktarını %16-21 aralığında ve pH'ı 2.02-2.13 aralığında tespit etmişlerdir.

Demir ve Kalyoncu, [25], kızılcığın bazı fiziksel, yetiştirme ve besleyici özelliklerini araştırmıştır. Kızılcık örnekleri Konya Kuruovadan alınmıştır. Meyve ağırlıkları 1.496 g – 4.116 g, 9.108-11.967 çekirdek meyve eti oranı, %13.6-24,1 toplam asit oranı (malik asit), 6.371-12.61 TSS/asit oranı (toplam şeker olarak), 6.924-8.433 indirgenmiş şeker oranı, 15.95-20.77 mm uzunluk, 10.91-16.40 genişlik ve 12.574-17.692 geometrik çap, sırasıyla meyve yüzey alanı ve hacim, 498-989 mm^2, 775-2415 mm^3, 1000 meyvenin toplam ağırlığı 1496-4116 g, meyve ve bulk yoğunlukları sırasıyla 8860-17.568 N/m^3 ve 5479-6588 N/m^3, sertlik ve elastiklik modülü sırasıyla 1.22-2.44 N ve 388-77 kPa, statik ve dinamik sürtünme katsayıları çelik için; 0.79-0.85 ve 0.62-0.64, kontraplak için 0.67-0.61, kauçuk için 0.75-0.76 aralıklarında çeşitlenmiştir.

Tural ve Koca çalışmalarında [26], Türkiye'de yetişen kızılcık meyvelerinin fizikokimyasal ve antioksidan özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada 24 çeşit yerli kızılcık meyvesi kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarında, kızılcık meyvesinin ağırlığı 0.39–1.03 g aralığında, meyve genişliği 9.59–13.21 mm aralığında, meyve uzunluğu 14.24–22.20 mm aralığında, meyve eti/çekirdek oranı 1.34–6.72 olarak hesaplanmıştır. Kuru madde içeriği %15.88–28.19 aralığında, çözünebilir kuru madde ise %12.50–21.00 olarak ölçülmüştür. Toplam asitlik %1.10–2.53, pH 3.11–3.53, toplam şeker %6.60–15.10, toplam şeker 76.80–154.00 g/kg olarak tespit edilmiştir. Renk analizi sonuçları ise L, 10.82–19.69, +a, 6.25–15.59 ve +b, 3.46–6.64 şeklinde ölçülmüştür. Çalışılan kızılcık meyvelerinde, askorbik asit

0.16–0.88 mg/g, toplam fenolik bileşikler 2.81–5.79 mg/g, toplam antosiyanin 1.12–2.92 mg/g şeklindedir.

Gündüz vd. çalışmalarında [27], Malatya'da yer alan ticari bir meyve bahçesinden hasat edilen 4 farklı olgunluk seviyesindeki (açık yeşil, pembe, açık kırmızı ve koyu kırmızı renkli) kızılcığa ait bir takım takım fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, meyve uzunluğunun yetişkinlik seviyesine göre sırasıyla 22.3, 22.8, 23.8 ve 25 mm, genişliğinin, 15.9, 16.8, 17.4 ve 19.4 mm, ağırlığının 3.9, 4.2, 5.0 ve 6.4 g, toplam çözünebilir madde oranının %11.3, %12.2 %16.0 ve %16.5 ve pH'ın ise 2.9, 2.7, 2.8 ve 3.0 olduğunu tespit etmişlerdir.

Hasanpour vd. [28], taze meyvesi portakalın iki katı C vitamini içeren ve Çin Bitkisel Tıbbı'nda tonik, analjezik ve diüretik olarak, Avrupa'da kozmetik gibi amaçlarla kullanılan kızılcığın, İran'ın kuzeyinde (Arasbaran) yetişen çeşitlerinin, antioksidan, fenol, C vitamini, antosiyanin içeriğini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan kızılcık çeşitlerinin, toplam fenolik içeriği 1097.19-2695.75 mg gallik asit/100 g meyve, toplam antosiyanin içeriği 106.89-442.11 mg/100 g meyve, C vitamini içeriği 183.25-299.5 mg/100 g meyve olarak tespit edilmiştir.

Sochor vd. çalışmalarında [29], ortaçağ boyunca Çek Cumhuriyetinde bolca bulunan, 18. yüzyıldan itibaren erikle değiştirilen ve günümüzde kısmen unutulmuş olan kızılcık meyvesinin yetiştiriciler tarafından tekrar çoğaltılmaya çalışıldığı anlatılmış ve bu sebeple seçilen 8 çeşidin, kuru madde miktarı, SÇKM, toplam asitlik, pektin, ham protein ve fosfor içeriği gibi özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada, kuru madde %15.45-23.64, SÇKM %14.58-16.34, toplam asit 16.71-24.00 g/kg meyve, pektin 8.66-1080 g/kg meyve, ham protein 7.65-12.34 g/kg meyve, fosfor 259.9-435.1 mg/kg meyve olarak tespit edilmiştir.

Islamovic vd. çalışmalarında [30], Balkanlarda yüzyıllardır hasat edilen yabani kızılcık meyvesinin 2 yabani çeşidinin, günümüzde çok bilinmemesine rağmen gelecek diyet sisteminde yer alma potansiyeli olması sebebiyle, 2012 ve 2013 yıllarında incelenen fiziksel ve kimyasal karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Çalışmada, 2012 ve 2013 yıllarında sırasıyla, Konjic kodlu meyveler için; meyve ağırlığı 2.02 ve 1.90 g, çekirdek ağırlığı 0.37 ve 0.37 g, meyve genişliği, 6.81 ve 11.55 mm, meyve boyu 12.51 ve 15.04

mm, meyve kalınlığı 7.50 ve 12.53 mm, et oranı %81.70 ve 80.47, SÇKM 21.1 ve 16.95, toplam asitlik 1.99 ve 2.72 g/100 g, indirgen şeker 12.04 ve 7.95 g/100 g, C vitamini 428.24 ve 440.60 mg/ 100 g, Bugojno kodlu meyveler için ise; meyve ağırlığı 2.57 ve 1.74 g, çekirdek ağırlığı 0.44 ve 0.32 g, meyve genişliği, 6.94 ve 11.57 mm, meyve boyu 15.20 ve 15.60 mm, meyve kalınlığı 7.45 ve 12.20 mm, et oranı %82.58 ve 81.53, SÇKM 20.90 ve 18.21, toplam asitlik 2.05 ve 2.07 g/100g, indirgen şeker 12.03 ve 8.45 g/100 g, C vitamini 253.62 ve 410.6 mg/ 100 g olarak tespit edilmiştir. L* renk parametresi (parlaklık değeri); en yüksek değeri 2013 yılı Bugojno kodlu meyvelerde 30.24, en düşük değeri yine Bugojno kodlu meyvelerde 2012 yılında 20.81 olarak, a* renk parametresi (yeşillik/kırmızılık değeri); 2012 yılı Konjic kodlu meyvelerde 23.34, en düşük değeri 2012 yılı Bugojno kodlu meyvelerde 14.42 olarak, b* renk parametresi (mavilik/sarılık değeri) ise; 2013 yılı Konjic kodlu meyvelerde 8.12 ve en düşük değeri 2012 yılı Konjic kodlu meyvelerde 6.64 olarak hesaplanmıştır.Tespit edilen özelliklerin literatürde yer alan veriler ile uyumlu olduğu ve bölgede yetişen meyvelerin fonksiyonel gıdalar, ilaçlar ve nutrasötiklerde kullanılmaya uygun olduğu ortaya koyulmuştur.

Rad vd. [31], çalışmalarında, kızılcığın İran'da yetişen 9 yabani genotipinin fizikokimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, toplam çözünebilir şeker oranı %17.61, pH'ı 3.10, kuru madde oranını %20.71 olduğunu ortaya koymuştur. Ortalama meyve uzunluğu 20.9 mm, genişliği 13.85 mm ve meyve ağırlığı ortalama 2.16 g olarak tespit edilmiştir.

Eroğlu ve Yıldız, çalışmalarında [32], gıdaların ozmotik kurutmalarında kullanılan yeni teknikleri enerji verimliliği açısından değerlendirmişlerdir. Kurutma basamağı içeren endüstrilerde enerji kullanımının %10-25'lik kısmı kurutma için kullanılmaktadır. Kurutma işleminin bilinen birçok avantajına karşılık, özellikle geleneksel kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin kalite özelliklerinde görülen olumsuzluklar sebebiyle alternatif yöntemler üzerine çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Mikrodalga, kızılötesi ve ozmotik kurutma yöntemleri en çok araştırılan yöntemlerdendir. Hipertonik bir sıvı (şurup vb.) içerisine daldırılan gıda maddelerinin kurutulması işlemi olan ozmotik kurutma ile birlikte ultrason, vurgulu elektrik alan, ohmik ısıtma ve vakum gibi kombine teknikler dikkati çekmektedir. Ozmotik kurutma, sıcak hava ile kurutma ya da dondurarak kurutma öncesinde bir ön kurutma işlemi olarak kullanılmaktadır. Nem

içeriğinin %30-50 arasında azaltılmasını sağlayarak enerji verimliliği açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda kombine olarak kullanılan ultrason, vurgulu elektrik alan, ohmik ısıtma ve vakum uygulamalarının enerji avantajı sağladığı görülmüştür.

Koyuncu vd. çalışmalarında [33], kızılcık meyvelerinin kurutma karakteristikleri ve ısı enerjisi gereksinimini incelemişlerdir. Paralel hava akışlı kurutucuda, 50, 60, 70°C kurutma havası sıcaklıklarında, 0.3, 0.6 ve 0.9 m/s hava akış hızlarında çalışılmıştır. Çalışma sonucunda kızılcığın fiziksel özellikleri, genişlik 13.03 mm, uzunluk 17.59 mm, meyve eti/çekirdek oranı %4.26, ortalama meyve ağırlığı 1.80 g şeklinde belirlenmiştir. En kısa kuruma süresi 70°C hava sıcaklığı ve 0.9 m/s hava hızında, 29 saat olarak, en uzun kurutma süresi ise 50°C hava sıcaklığı ve 0.3 m/s hava hızında, 85 saat olarak ölçülmüştür. 1 kg kızılcık kurutmak için minimum enerji 11.57 kW olarak 70°C hava sıcaklığı ve 0.3 m/s hava hızında gerçekleştirilen çalışmada kullanılmıştır. En fazla enerji ise 50°C hava sıcaklığı ve 0.9 m/s hava hızında 39.55 kW/kg kızılcık olarak hesaplanmıştır.

Polatoğlu ve Beşe [34], kızılcık meyvesinin, konvektif, mikrodalga ve güneşte kurutma prosesleri ile kuruma kinetiğinin incelenmesi ve matematik modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Kuru madde tayiniyle kızılcıkların nem içeriği %75.40 olarak belirlenmiştir. Çalışma konvektif kurutucuda, 50, 60 ve 70°C hava sıcaklığı ve 0.4, 0.7 ve 1.0 m/s hava hızlarında, mikrodalga kurutucuda 90 W gücünde ve güneşte (doğal kurutma) gerçekleştirilmiştir. Konvektif kurutucuda sıcaklığın artması kuruma süresini kısaltmıştır. 0.4 m/s hava hızında yapılan denemelerde 50°C sıcaklıkta en uzun kurutma süresi gözlenmiştir. 50°C sıcaklıkta denge nemine yaklaşık 4980 dakikada, 60°C sıcaklıkta 3300 dakikada, 70°C sıcaklıkta ise 2100 dakikada ulaşılmıştır. Aynı şekilde 0.7 ve 1 m/s hava hızlarında 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta yapılan çalışmalarda da kurutma hava hızının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Mikrodalga kurutucuda yapılan çalışmada kuruma süresi 117 dakika olarak, güneşte kurutmada ise 24480 dakika olarak ölçülmüştür. Çalışma sonucuna göre en etkin kuruma, 117 dakika ile mikrodalga kurutucuda elde edilmiş olup bu sonucu sırasıyla 70°C sıcaklıkta 1 m/s (26 saat), 70°C sıcaklıkta 0.7 m/s (31 saat), 70°C sıcaklıkta 0.4 m/s (35 saat), 60°C sıcaklıkta 1 m/s (45 saat), 60°C sıcaklıkta 0.7 m/s (50 saat), 60°C sıcaklıkta 0.4 m/s (55 saat), 50°C sıcaklıkta 1 m/s (63 saat), 50°C sıcaklıkta 0.7

m/s (74 saat), 50°C sıcaklıkta 0.4 m/s (83 saat) güneşte kurutmada (17 gün) takip etmiştir.

Özgen [35], kurutma havası hızının kızılcığın kurutma karakteristikleri üzerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmada konvektif bir kurutucuda 45°C sıcaklıkta sıcaklığı sabit tutulan kurutma havası hızı 0.5, 1 ve 1.5 m/s olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda nem içeriğinin ve kuruma hızının zamanla değişimi şeklinde paylaşılmış olup, kurutma hava hızının bu parametrelere etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre kurutma süresi kurutma hava hızı ile ters orantılıdır. Kurutma hava hızı arttıkça nem içeriğinin daha hızlı düştüğü ve kuruma süresinin kısaldığı görülmektedir. En kısa kuruma süresi 1.5 m/s kurutma hava hızında 53 saat, en uzun süre ise 0.5 m/s kurutma hava hızında 60 saat olarak tespit edilmiştir.

Özgen çalışmasında [36], kızılcığın kurutma karakteristiğini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada 35, 45 ve 55°C kurutma havası sıcaklıklarında, 1 ve 1.5 m/s hava akış hızlarında kurutma süresinin değişimi ve enerji gereksinimi incelenmiştir. Kızılcıkların %68.8 olan başlangıç nem içeriğinin 40–67 saat zaman aralığında %10 nem içeriğine düşmesi sağlanmıştır. Kurutma hava sıcaklığının artması kurutma hızında artışa kurutma süresinde ise önemli bir düşmeye sebep olmuştur. Kurutma havasının hızındaki değişim belirgin bir etki yapmamıştır. En kısa kurutma süresi 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 1.5 m/s kurutma havası hızında gerçekleştirilen deneyde, 40 saat olarak tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla, 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızında 46 saat, 45°C kurutma havası sıcaklığı ve 1.5 m/s kurutma havası hızında 53 saat, 45°C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızında 57 saat, 35°C kurutma havası sıcaklığı ve 1.5 m/s kurutma havası hızında 64 saat ve 35°C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızında 67 saat takip etmiştir. En düşük enerji gereksinimi 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızında gerçekleştirilen deneyde 51.12 kWh olarak, en yüksek enerji gereksinimi ise 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızında gerçekleştirilen deneyde 106.7 kWh olarak tespit edilmiştir. Çalışmaya göre en uygun kurutma yöntemi 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızı olarak belirlenmiştir.

Polatoğlu ve Beşe [37], kızılcık meyvesinin 50, 60 ve 70°C kurutma havası sıcaklıklarında 0.4, 0.7 ve 1.0 m/s kurutma havası hızında kurutma karakteristiği, difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisini incelemişlerdir. Çalışmada, sıcaklığın ve hava hızının arttırılmasının kurutma süresini kısalttığı, en kısa kurutma süresinin 70°C sıcaklık ve 1 m/s şartlarında 26 saat olduğu ve bu şartlarda etkin difüzyon katsayısının 1.55×10^{-10} m^2/s, aktivasyon enerjisi değerinin ise 58.51 kJ/mol olduğu ortaya koyulmuştur.

Polatoğlu ve Beşe [38], 50, 60, 70°C hava sıcaklığı ve 0.4, 0.7 ve 1.0 m/s hava hızlarında kızılcık meyvesinin konvektif kurutulması üzerine çalışmışlar ve kurutma koşullarının kızılcığın kuruma süreleri ile C vitamindeki değişimi üzerindeki etkilerini saptamışlardır. Çalışma sonucunda kurutma koşullarına bağlı olarak kurutma süresinin 18-71 saat arasında değiştiği ve sıcaklığın artışı ile kurutma süresinin azaldığını belirtmişlerdir. C vitaminindeki bozulma oranının %42-54 arasında olduğu tespit edilmiş olup, sıcaklık arttıkça bozulmanın da arttığı sonucuna varmışlardır.

Polatoğlu ve Beşe [39], kızılcık meyvesinin güneşte kuruma davranışını inceledikleri ve en iyi ince tabaka kuruma eğrisi modelini araştırdıkları, D_{eff} değerini hesapladıkları ve kurutulmuş kızılcığın C vitamini değerini belirledikleri çalışmayı yayınlamışlardır. Eylül ayında gerçekleştirilen çalışmada, örnekler 08:00-18:00 saatleri arasında 4 katlı bir binanın üstü açık terasında güneş altında kurutulmuş ve ölçümler bu kurutma periyodunda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kızılcığın ince tabaka kuruma davranışını açıklamak üzere 12 ince tabaka matematik modeli kullanılmış ve difüzyon yaklaşım modelinin en uygun model olduğu sonucuna varmışlardır. Etkin difüzyon katsayısı hesaplanırken Fick difüzyon modeli kullanılmış ve D_{eff} değeri 1.20×10^{-11} m^2/s olarak hesaplanmıştır. Kurutulan kızılcık C vitamininde %51.1 bozulma saptanmıştır.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

Tez çalışmasında kullanılan kızılcık meyvesi (Cornus mas L.) 2015 yılı Ağustos ayı sonlarında Marmara Bölgesi'nde yer alan Bilecik İli'ndeki bir üreticiden, renk, olgunluk ve meyve boyutu dikkate alınarak temin edilmiş, kullanılana kadar +4°C sıcaklıkta buzdolabında muhafaza edilmiştir. Potasyum karbonat ve Sodyum hidroksit maddeleri Merck, Almanya'dan, asit oranı %1 olan sızma zeytinyağı ise Hatay'daki bir üreticiden sağlanmıştır.

4.2 Yöntemler

4.2.1 Kabin Kurutucu

Kabin kurutucu ile kurutma işlemi APV & PASILAC (Carlisle, Cumbria, İngiltere) firması yapımı kurutma kabininde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'de kullanılan kurutucunun genel görünümü verilmiştir. Kullanılan kurutma kabini, çelikten imal edilmiş ve yassı izolasyon malzemesi ile kaplıdır. Kurutucu içinde $0.54 \times 1.4 \times 1.02$ m ölçülerinde çelikten imal edilmiş delikli tepsi bulunmaktadır. Değişik sıcaklıkta hava akışı sağlayan pilot ölçekli bir kurutucudur. 0.37 kW gücünde elektrik motorlu sirkülasyon fanı kullanılan kurutucuda hava hızı ayarlanabilmektedir. Hava akış hızı bir anemometre yardımıyla ölçülmektedir.

Kurutucu üzerinde yer alan kontrol paneliyle istenen sıcaklık 200°C'ye kadar ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.1 Kızılcık kurutulmasında kullanılan kurutma kabini genel görünüşü

4.2.2 Kızılötesi Kurutucu

Kızılötesi kurutma işleminde Snijders (Snijders b.v., Hollanda) markalı kızılötesi kurutucu kullanılmıştır. Kurutucu üzerinde yer alan kontrol paneliyle 10 farklı güç ayarı yapılabilmektedir. Kurutma işleminde 75, 88 ve 104 W güç ayarları kullanılmıştır. Kullanılan kızılötesi kurutucu Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Kızılcık kurutulmasında kullanılan kızılötesi kurutucunun genel görünüşü

4.2.3 Kuru Madde Tayini

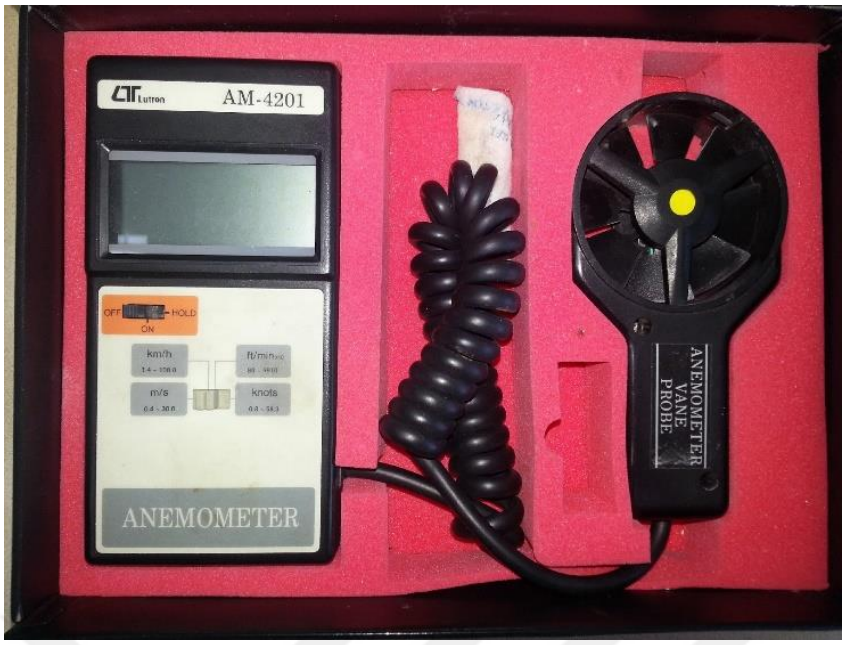
Kurutulacak kızılcık örneklerin nem içeriğini belirlemek için darası alınan örnek kabına yerleştirilen yaklaşık 5 gram örnekler Şekil 4.3'te gösterilen ve 105°C'a ayarlanmış etüvde sabit tartım gözlenene kadar kurutulmuştur. Kuru madde tayini ile kızılcık örneklerinin %70.17 (yaş baz) oranında nem içerdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.3 Kuru madde tayininde kullanılan etüvün genel görünüşü

4.2.4 Hava Akış Hızı

Kabin kurutucu ile kurutma denemeleri esnasında kurutucu hava akış hızı TESTO 440 Vane Anemometre (LUTRON, AM–4201) yardımıyla 2±0.1 m/s olarak ölçülmüştür. Şekil 4.4'de hava akış hızı ölçümleri için kullanılan anemometre görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 4.4 Hava akış hızı ölçümünde kullanılan anemometrenin genel görünüşü

4.2.5 Renk Ölçümleri

Gıdaların önemli kalite kriterlerinden biri renktir. Özellikle tüketiciler tarafından taze meyve ve sebzelerin olgunluk, tazelik gibi ölçütleri, duysal bir özellik olan renk ile test edilmektedir. Kurutulmuş ürünlerde de renk değişimleri kalite göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Renk ölçümleri için Şekil 4.5'de görülen CR-400 Model Colorimeter (Konica Minolta, Japonya) cihazı kullanılmıştır. Taze ve kurutulmuş kızılcık örnekleri için cihaz yardımıyla ölçümler dörder tekrar şeklinde gerçekleştirilmiş ve ölçümlerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak değerlendirilmiştir.

Ölçümler sonucunda parlaklık değeri "L*" değeri ile 0-100 aralığında gösterilmektedir. 0 değeri hiçbir yansımanın olmadığı siyah rengi, 100 değeri ise tam yansımanın olduğu beyaz rengi göstermektedir. "a*" değerleri için pozitif değerler kırmızılığı, negatif değerleri yeşili, "b*" değeri için pozitif değerler sarılığı, negatif değerler ise maviliği göstermektedir. "a*" ve "b*" değerlerinin 0 olduğu durum ise renksizliği (griliği) göstermektedir.

Birçok araştırmacı deneysel çalışmalarda kullandığımız cihaz için 3 boyutlu kartezyen sistem verisini CIELAB ölçüsü ile kullanmaktadır. Bu değerler 3 boyutlu renk alanında

ölçümün yerini göstermekte ancak bu veriler üreticiden tüketiciye kadar olan pazar zincirinde yer alan kişiler için sezgisel bir anlam ifade etmemektedir. Bu sebeple kırmızılık ve sarılığı bir arada ele alan metrik renk kroması (C) değeri ve renk tonu ölçüsü olan Hue açısı (α°) değeri hesaplanmaktadır. C değeri canlı renkler için yüksek, donuk renkler için düşüktür. α° değeri ise a* ve b* değerlerinin açısal değeridir ve bu değerlerin birlikte yorumlanmasına imkân sağlamaktadır. α° değeri 0°-360° (0°: kırımızı-mor, 90°: sarı, 180°: mavimsi-yeşil, 270°: mor) arasında bir değer almaktadır. C ve α° değerlerinin hesaplanması için kullanılan yöntem Eşitlik (4.1) ve Eşitlik (4.2)'de gösterilmektedir [40]. Toplam renk değişikliğini ifade eden eşitliklerden biri Eşitlik (4.3)'te görülmektedir [41]. Eşitlik (4.2) ile hesaplanan Hue açısının renklere göre karşılıkları Şekil 4.6'da görülmektedir [40].

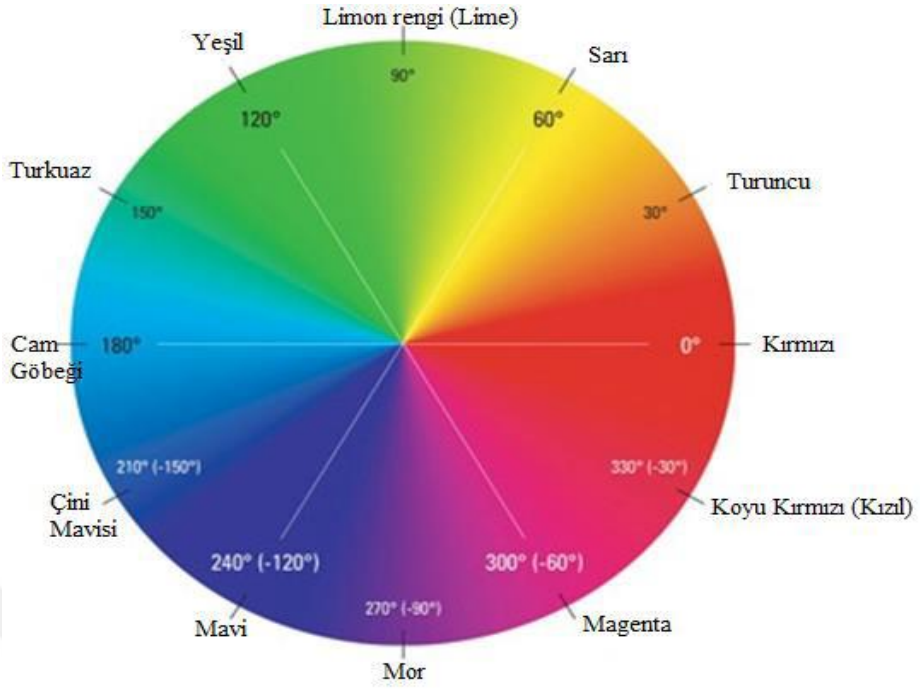
$$C = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \tag{4.1}$$

$$\alpha° = \arctan(\frac{b^*}{a^*}) \tag{4.2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \tag{4.3}$$



Şekil 4.5 Renk ölçer



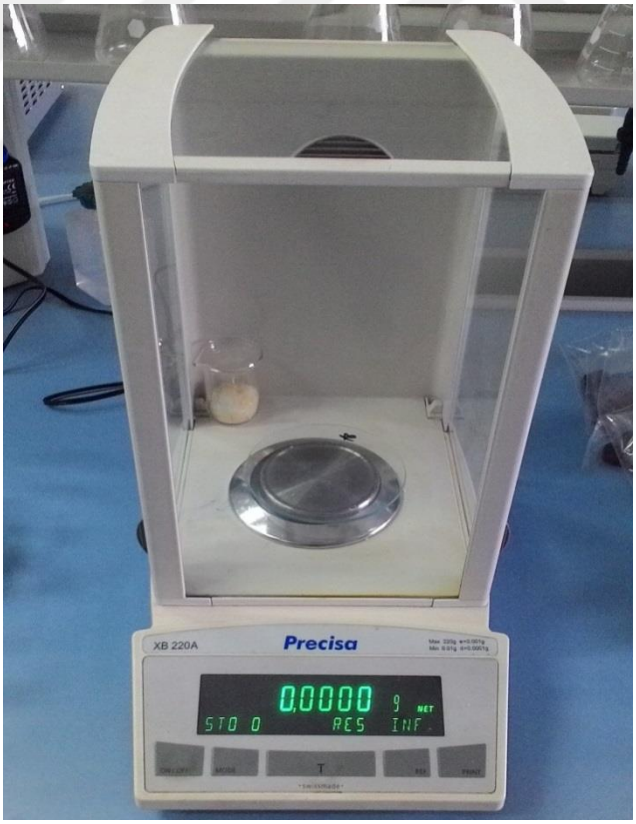
Şekil 4.6 α° değerlerinin renk karşılıkları [42]

4.2.6 Terazi

Kurutma denemelerinde kullanılan örnekler, ±0.1 g hassasiyete sahip Şekil 4.7'de gösterilen Mettler (model B3000, Mettler-Toledo AG, Greifensee, İsviçre) marka bir tartım cihazı ile tartılmıştır. Kuru madde tayini için yapılan tartımlar için ±0.0001 hassasiyete sahip Şekil 4.8'de gösterilen Precisa marka (model XB220A, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) cihaz kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Terazi



Şekil 4.8 Hassas terazi

4.2.7 Vakumlu Paketleme Cihazı

Kurutma işlemi gerçekleştirilen örnekler Şekil 4.9'da genel görünüşü verilen vakumlu paketleme cihazı ile ambalaj içerisindeki hava vakumlandıktan sonra paketlenmiştir.



Şekil 4.9 Vakumlu paketleme cihazı

4.2.8 Dijital Termometre

Kabin kurutucu ile kurutma denemeleri boyunca kurutucu içindeki sıcak havanın sıcaklığının Şekil 4.10'da gösterilen METER markalı dijital termometre yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 4.10 Kurutma havası sıcaklık ölçümünde kullanılan dijital termometre

4.3 Kabin Kurutucu ile Kurutma Denemeleri

Kabin kurutucu ile kurutma denemeleri için örnekler 2 farklı ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmadan kontrol grubu olarak kurutulmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Örnekler yaklaşık 75 g olacak şekilde gruplara ayrılarak tartılmıştır. Ön işlem uygulanacak gruplar, ilk grup için 20°C sıcaklıktaki %3 Potasyum karbonat + %1 zeytinyağı (Potas) çözeltisine ve ikinci grup için 20°C sıcaklıktaki %3 Sodyum hidroksit (Sod. Hid.) çözeltisine 2 dakika daldırılarak bekletilmiştir. Daldırma işleminden sonra örneklerin yüzeyleri kâğıt havlu yardımıyla kurulanmıştır. Üçüncü grup örneklere (Kontrol) herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır.

Kurutucu, kurutma işlemine başlanmadan 30 dakika önce denge şartlarına ulaşması için çalıştırılmıştır. Kurutucu hava hızı tüm denemelerde 2±0.1 m/s olarak sabit tutulmuştur. Ön işlemden geçirilen örnekler ve kontrol grubu örnekleri etiketlemeler yapıldıktan sonra örnek kaplarında tek sıra olacak şekilde kurutucu içine yerleştirilmiştir.

Yukarıda anlatılan işlem 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıklarda uygulanan kurutma deneyleri için tekrarlanmıştır. Kurutucuya yerleştirilen örnekler her 30 dakikada bir kurutucu içinden çıkartılarak tartılmıştır.

Kurutma işlemine son verilen ürünlerin renk ölçümleri yapıldıktan sonra ambalaj içerisindeki hava vakumlanarak paketlenmiş ve uygun etiketlemeler yapılarak saklanmıştır.

4.4 Kızılötesi Kurutma Denemeleri

Kızılötesi kurutma denemeleri için örnekler 2 farklı ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan kontrol grubu olarak kurutulmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Örnekler yaklaşık 75 g olacak şekilde tartılarak hazırlanmış ve kızılötesi kurutucu kurutma kabına tek sıra halinde yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi uygulanan örnekler her 30 dakikada bir kez tartılmıştır. Bu işlemler 75, 88 ve 104 W güç ayarları için tekrarlanmıştır. Kabin kurutucu ile kurutma denemelerinde yapıldığı gibi, kurutma işlemine son verilen ürünlerin renk ölçümleri yapıldıktan sonra ambalaj içerisindeki hava vakumlanarak paketlenmiş ve uygun etiketlemeler yapılarak saklanmıştır.

4.5 Kombine Kurutma (Kızılötesi + Kabin) Denemeleri

Bu kombine yöntem yalnızca kontrol grubu örneklere uygulanmıştır. Örnekler yaklaşık 75 g olacak şekilde tartılarak hazırlanmış ve kızılötesi kurutucu kurutma kabına tek sıra halinde yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi uygulanan örnekler her 30 dakikada bir kez tartılmıştır. 2 saat boyunca kızılötesi kurutma uygulanan örnekler, önceden denge koşullarına ulaşması için 30 dakika boyunca çalıştırılan ve dengeye ulaşmış kurutma kabinine yerleştirilmiş ve her 30 dakikada bir tartım işlemine devam edilmiştir. Sırasıyla 2 saat 75, 88 ve 104 W gücünde kızılötesi kurutma uygulanan örnekler, kabin kurutucuda 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Daha önceki yöntemlerde olduğu gibi, kurutma işlemi tamamlanan ürünler vakumlanmış paketler halinde saklanmıştır.

4.6 Matematiksel Modelleme

Kurutma denemeleri için kullanılan kızılcık örneklerinin nem içeriği Eşitlik (4.4) kullanılarak kuru baza göre hesaplanmıştır:

$$M = \frac{m_w}{m_d} \tag{4.4}$$

M: Nem içeriği (kg su/kg kuru madde),

m_w: Su miktarı (kg)

m_d : Kuru madde miktarıdır (kg).

Kurutma hızı hesaplanırken Eşitlik (4.5) kullanılmıştır:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \right) \tag{4.5}$$

Denklemde;

$\Delta M/\Delta t$: Kurutma hızı (kg su/kg kuru madde×dakika),

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),

t, Δt: Zaman (dakika) olarak ifade edilmektedir.

Nem oranı (MR), Eşitlik (4.6) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} \quad (4.6)$$

MR: Nem oranı,

M: Herhangi bir andaki su miktarı (kg su/kg kuru madde),

M_0: Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarı (kg su/kg kuru madde),

M_e: Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarıdır (kg su/kg kuru madde).

M_e değeri M ve M_0 değerleri ile kıyaslandığında çok küçük bir değer olduğundan ihmal edilir.

Deneysel veriler kullanılarak nem içeriği ile kurutma süresi arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla Çizelge 4.1'de yer alan model denklemleri test edilmiş ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1 Kızılcık örneklerinin kurutma eğrilerinin matematiksel modellesi için kullanılan modeller

Model Adı	**Model Denklemi**
Lewis	$MR = exp(-kt)$
Henderson ve Pabis	$MR = a\exp(-kt)$
Logaritmik	$MR = \exp(-kt) + c$
Midilli ve Küçük	$MR = a\exp(-kt^n) + bt$
Vega-Lemus	$MR = (a + bt)^2)$
Vega-Galvez	$MR = \exp(\mathrm{n} + kt)$

4.7 Regresyon Analizi

Regresyon analizi Statistica programı (StatSoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizde regresyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hata değeri (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri hesaplanarak ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlamak için en uygun modelin seçilmesi amaçlanmıştır.

RMSE, teorik ve deneysel sonuç verileri arasındaki sapmayı gösterir. χ^2, modelin uyumluluğunu gözlemlemek için kullanılan istatistiksel bir test istatistiğidir [43]. RMSE değerinin 0'a ne kadar yakın olduğu modelin ne kadar uyumlu olduğunun göstergesidir [44]. Ayrıca model uyumluluğu test edilirken χ^2 değerinin düşük, R^2 değerinin ise 1'e

yakın olması aranır. R^2, χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanırken aşağıda yer verilen eşitlikler (4.7-4.9) kullanılmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^{\infty}(MR_{pre} - MR_{exp,i})^2} \quad (4.7)$$

$$x^2 = \frac{\sum(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad (4.8)$$

$$RMSE = [\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4.9)$$

Eşitliklerde;

MR_{exp}: Deneysel nem oranı,

MR_{pre}: Tahmin edilen nem oranı,

N: Deneysel veri sayısı

n: Kullanılan kurutma modelindeki katsayı sayısını gösterir.

4.8 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Çeşitli gıdaların ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan teorik model, Fick'in ikinci yasasının çözümüdür.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla . (D_{eff.} \nabla M) \quad (4.10)$$

Eşitlik (4.10) difüzyon katsayısı sabit alınarak kartezyen koordinatlar için çözülüp uygun sınır koşulları ile basitleştirme yapılırsa, aşağıdaki (4.11) eşitliği elde edilir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp(-\frac{(2n+1)^2\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}) \quad (4.11)$$

Burada;

D_{eff}: Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s),

L: Meyve yarı kalınlığı (m)

t: Kurutma süresi (s) olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma zamanları için, (4.11) eşitliğinin ilk terimi çözüm için kullanılmaktadır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\exp(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}) \quad (4.12)$$

Kurutma süresi ve ln(MR) grafiği çizildiğinde, eğim (4.13) eşitliğindeki K'yı vermektedir.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \tag{4.13}$$

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Eşitlik (4.14)'de verilen Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır.

$$D_{eff} = D_0 \exp(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}) \tag{4.14}$$

Denklemde;

D_{eff}: Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s),

D_0 : Sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s),

E_a : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol),

R : Gaz sabiti (8.314 kJ/mol×K)

T : Kurutma sıcaklığıdır (˚C)

İnfrared kurutucunun kullanıldığı çalışmalarda sıcaklık doğrudan ölçülemediğinden dolayı aktivasyon enerjisi hesaplanmasında modifiye edilmiş Arrhenius denklemi kullanılmıştır.

$$\mathrm{D_{eff}} = \mathrm{D_0 exp}\left(-\frac{\mathrm{E_a m}}{\mathrm{p}}\right) \tag{4.15}$$

Burada:

E_a: Aktivasyon enerjisini (W/kg),

p: İnfrared güç seviyesini (W)

m: Örnek ağırlığını (kg) göstermektedir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL VERİLER VE TARTIŞMA

Kızılcığın kurutma karakteristikleri, ön işlem uygulanmamış 1 grup (kontrol grubu) ve 2 farklı ön işlem uygulanmış grup (Potas ve Sod. Hid. grupları) için kabin kurutucuda sabit hava akış hızında (2±0,1 m/s), 3 farklı sıcaklıkta (55, 65 ve 75°C) ve kızılötesi kurutucu ile 3 farklı güçte (75, 88 ve 104 W) kurutulmuş bunlara ek olarak da kombine yöntemle 2 saat kızılötesi kurutucuda 3 farklı güçte (75, 88 ve 104 W) kurutulup ardından 2±0,1 m/s hava akış hızında, 3 farklı sıcaklıkta (55, 65 ve 75°C) tamamlanacak şekilde kontrol grubu için incelenmiştir. Deneyler, meyvelerin %70.17 olan başlangıç nem oranı %10'a indirilene kadar sürdürülmüştür.

5.1 Kabin Kurutucu Deneylerinde Ön İşlemin ve Sıcaklığın Kurutma Süresine Etkisi

Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma karakteristikleri; ön işlem uygulanmamış 1 grup (kontrol grubu) ve 2 farklı ön işlem uygulanmış grup (Potas ve Sod. Hid. grupları) için sabit hava akış hızında (2±0,1 m/s)ve 3 farklı sıcaklıkta (55, 65 ve 75°C) incelenmiştir.

Kabin kurutucuda kızılcık kurutma denemelerinin kurutma süreleri Çizelge 5.1'de, uygulanan ön işlemin sabit sıcaklıkta kurutma süresine etkisi ise Şekil 5.1-5.3'de görülebilmektedir. Çizelge 5.1'de görüleceği üzere, Potas grubu kızılcıkların kurutma sürelerinin her sıcaklıkta diğer gruplara göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir. En kısa kurutma süresinin, 75°C sıcaklıkta Potas grubu kızılcık örneklerinde 360 dakika olduğu en uzun kurutma süresinin ise 55°C sıcaklıkta Kontrol grubu kızılcık örneklerinde 1320 dakika olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.1 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma süreleri

Sıcaklık	Kuruma Süresi (dakika)		
	Potas	Sod. Hid.	Kontrol
55°C	810	930	1320
65°C	570	630	840
75°C	360	390	510

Ön işlemin etkisi incelendiğinde, kontrol grubuna göre, Potas ve Sod. Hid. ön işlem uygulamalarının sırasıyla; 55°C için, %38.64 ve %29.55, 65°C için, %32.14 ve %25, 75°C için ise %29.41 ve %23.53 kurutma süresini kısalttığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre ön işlem uygulamalarının kurutma süresi üzerinde belirgin bir olumlu etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

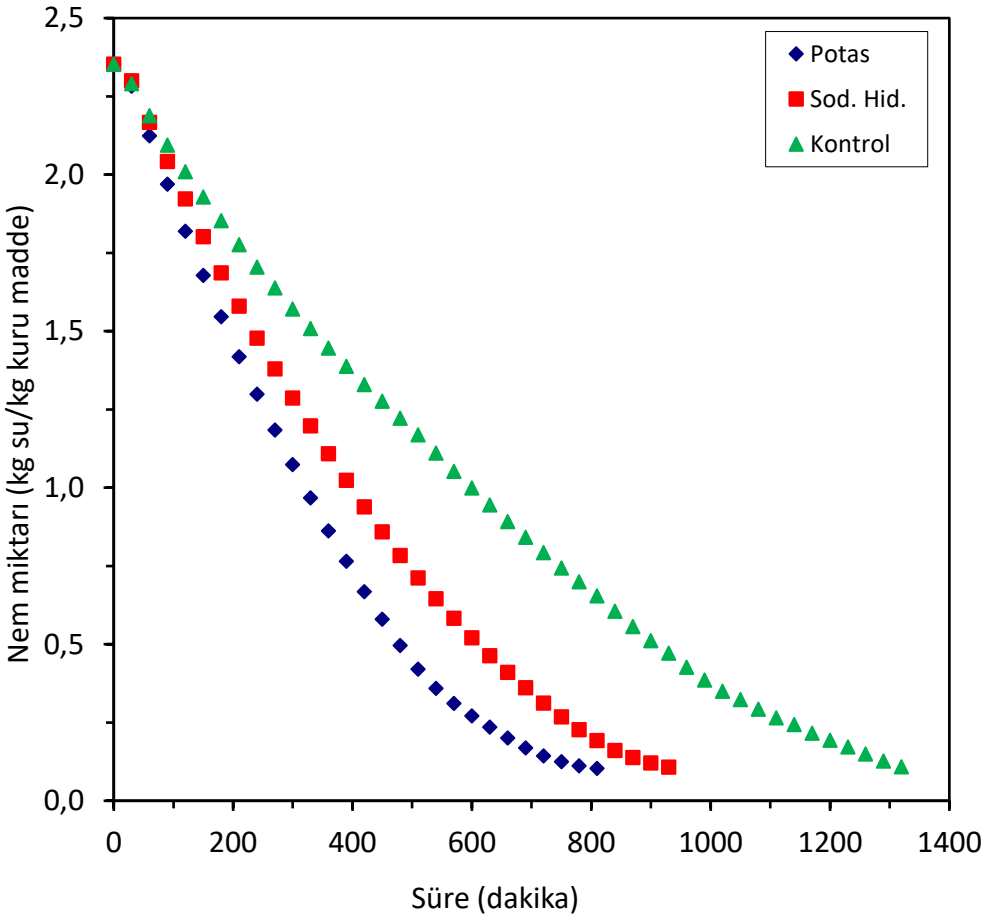
Potas ve Sod. Hid. ön işlem uygulamaları kıyaslandığında; Potas ön işlem uygulamasının Sod. Hid. ön işlem uygulamasına göre kurutma süresini, 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklık için sırasıyla, %12.90, %9.52 ve %7.69 kısalttığı görülmektedir. Bu sonuçlar, Potas ön işlem uygulamasının kurutma süresi üzerinde daha etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Deneylerde kurutma süresi üzerinde sıcaklığın etkisi, 55°C, 65°C ve 75°C kurutma sıcaklığında kurutma süreleri incelenerek anlaşılabilir. Kontrol grubu örneklerinin kurutma süresi 55°C, 65°C ve 75°C kurutma havası sıcaklıkları için sırasıyla, 1320, 840 ve 510 dakika olarak tespit edilmiştir. Buna göre sıcaklığın 55°C olduğu duruma göre 65°C ve 75°C kurutma havası sıcaklıklarının kurutma süresini %36.36 ve %61.36 oranında kısalttığı anlaşılmaktadır. Benzer sonuçlar Potas ve Sod. Hid. grubu örneklerde de tespit edildi. Literatürde sıcaklığın kuruma süresi üzerine etkisi ile ilgili bulguların deneysel çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmektedir [33], [34], [37], [38], [45], [46].

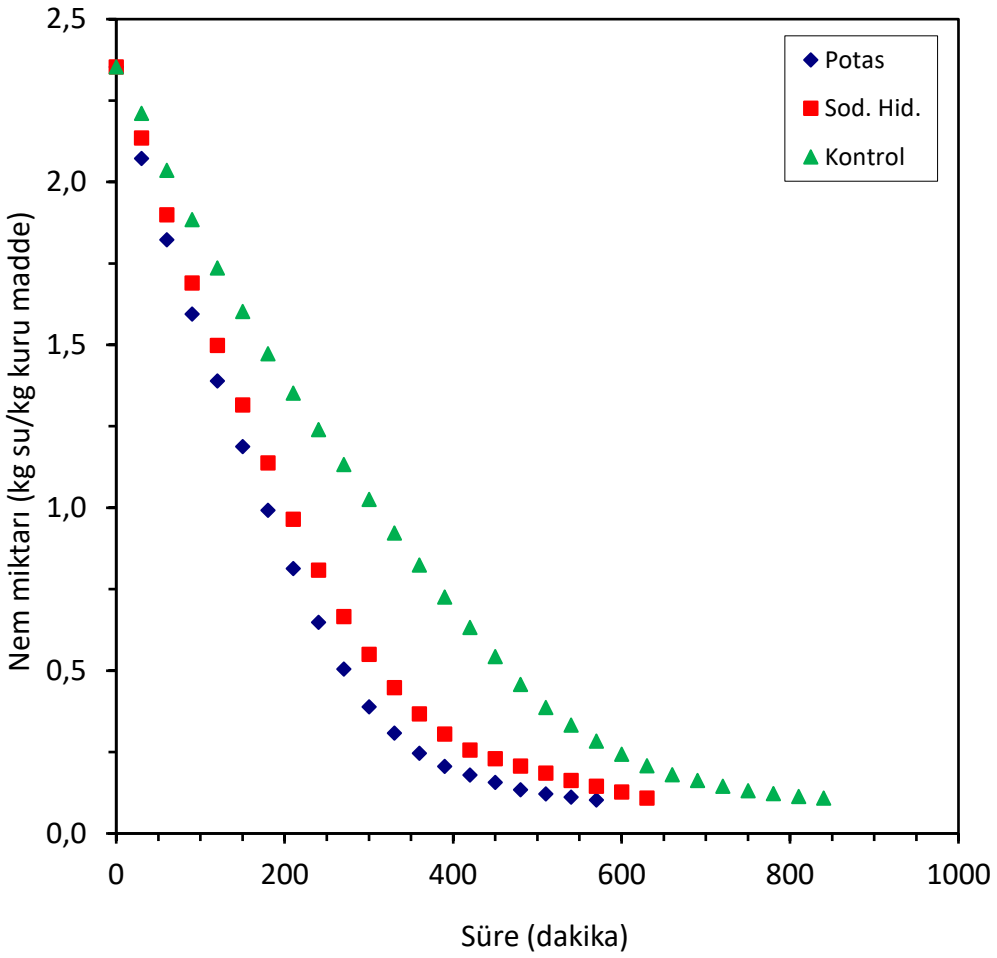
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak kızılcığın nem içeriğinin zamanla değişimini gösteren kuruma eğrileri çizilmiş olup, Şekil 5.1-5.3'de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde, kurutma havası sıcaklığı artışının kurutma hızını arttırdığı görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri yükselen sıcaklığın örneklerin buhar basıncını ve dolayısıyla buharlaşma hızını arttırmasıdır. Daha hızlı buharlaşan su, kurutma ortamından daha hızlı uzaklaştırılmakta ve kuruma işlemi daha kısa sürede

tamamlanmaktadır. Ayrıca hava sıcaklığının arttırılması havanın bağıl nemini düşürmekte, dolayısıyla nem alma kapasitesini arttırmaktadır. Bu şekilde havanın nemi tutma kapasitesi artmakta ve kurutma işlemi daha etkili olmakta, bunun sonucu olarak kurutma süresi kısalmaktadır [46].

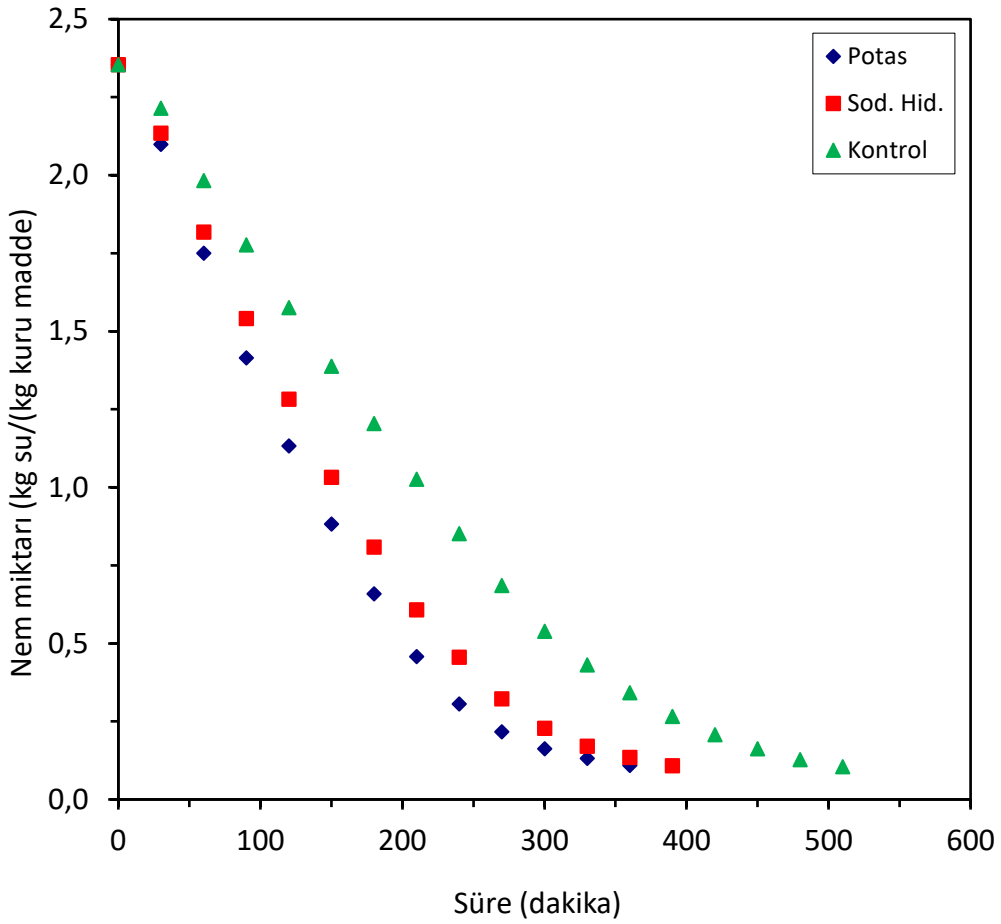
Şekil 5.1-5.3'de uygulanan ön işlemin sabit sıcaklıkta kurutma süresine etkisi de görülebilmektedir. Ön işlem uygulanan örneklerin, her sıcaklıkta Kontrol grubu örneklerine göre daha kısa sürede kuruduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi, ön işlemin meyvelerin nem kaybını yavaşlatan vax tabakasını yok ederek daha gözenekli bir yüzey oluşumuna olanak sağlaması ve nem kaybını hızlandırmasıdır. Deneysel sonuçlardan görüldüğü üzere, Sod Hid. ve Potas ön işlem uygulamalarının ikisinin de başarılı sonuçlar vererek kurutma süresini kısalttığı ancak Potas ön işleminin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır [45], [46].



Şekil 5.1 Kızılcık örneklerinin 55°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 5.2 Kızılcık örneklerinin 65°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 5.3 Kızılcık örneklerinin 75°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi

5.2 Kızılötesi Kurutucu Deneylerinde Ön İşlemin ve Kızılötesi Gücünün Kurutma Süresine Etkisi

Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma karakteristikleri, 2 farklı ön işlem uygulanmış grup (Potas ve Sod. Hid. grupları) ve 1 kontrol grubu için 3 farklı güçte (75, 88 ve 104 W) incelenmiştir. Deneyler, meyvelerin %70.17 olan başlangıç nem oranı %10'a indirilene kadar sürdürülmüştür.

Kızılötesi kurutucuda gerçekleştirilen kızılcık kurutma denemelerinin kuruma süreleri Çizelge 5.2'de, uygulanan ön işlemin sabit IR gücünde kurutma süresine etkisi ise Şekil 5.4-5.6'da görülebilmektedir. Çizelge 5.2'de görüleceği üzere, kızılötesi kurutucu ile kurutma deneylerinde, Potas grubu kızılcıkların kurutma süresinin her IR gücünde diğer gruplara göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir. En kısa kurutma süresinin, 104 W IR

gücünde Potas grubu kızılcık örneklerinde 150 dakika, en uzun kurutma süresinin ise 75 W IR gücünde Sod. Hid. ve Kontrol grupları için 360 dakika olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.2 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma süreleri

Güç	**Kuruma Süresi (dakika)**		
	Potas	**Sod. Hid.**	**Kontrol**
75 W	240	360	360
88 W	210	300	330
104 W	150	210	240

Ön işlemin etkisi incelendiğinde, Kontrol grubuna göre Potas ve Sod. Hid. ön işlem uygulamalarının kurutma süresini sırasıyla, 88 W IR gücü için, %36,36 ve %9.09, 104 W için ise, %37.50 ve %12.50 kısalttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kızılötesi kurutucu ile gerçekleştirilen deneylerde de kabin kurutucu ile gerçekleştirilen deneylerle uyumlu olacak şekilde, ön işlem uygulamalarının kurutma süresi üzerinde belirgin bir olumlu etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

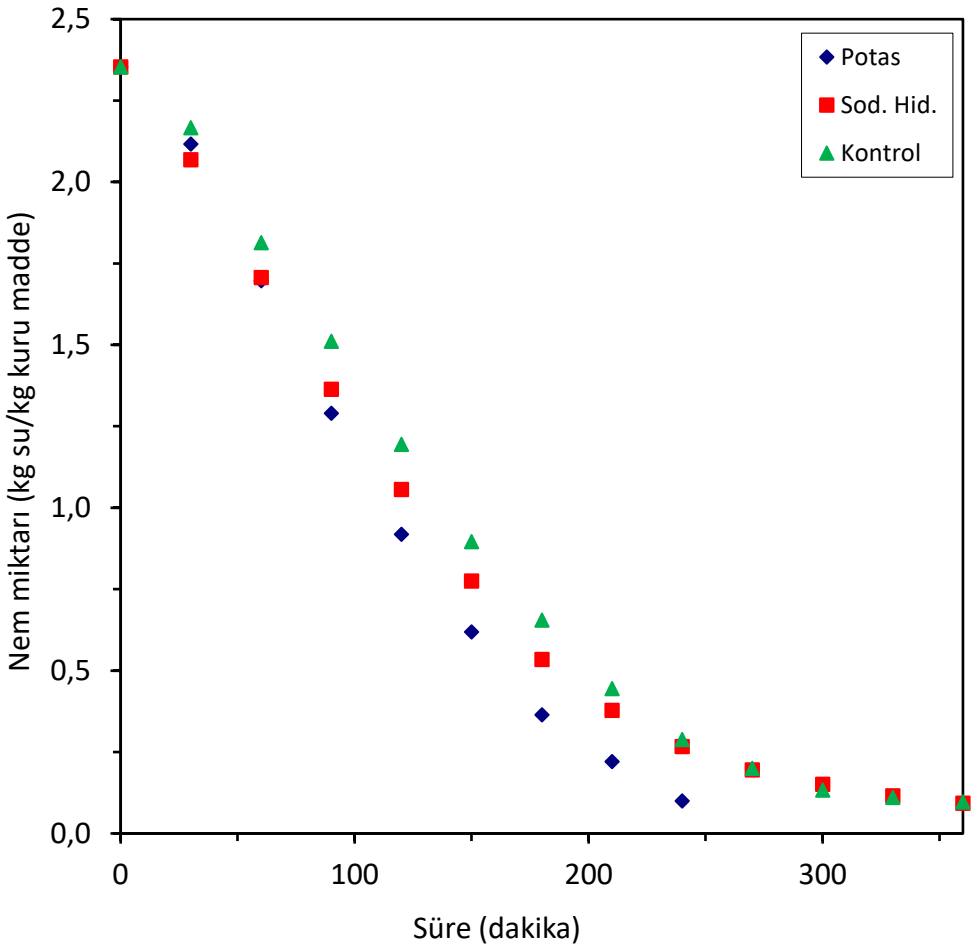
Potas ve Sod. Hid. ön işlem uygulamaları kıyaslandığında; Potas ön işlem uygulamasının Sod. Hid. ön işlem uygulamasına göre kurutma süresini 75 W, 88 W ve 104 W IR gücü için sırasıyla, %33.33, %30 ve %28.57 kısalttığı görülmektedir. Bu sonuçlar, Potas ön işlem uygulamasının, kabin kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde olduğu gibi kurutma süresi üzerinde daha başarılı bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Kızılötesi kurutucu gücünün kurutma süresine etkisi incelendiğinde, Kontrol grubu örneklerinin kuruma süresi 75 W, 88 W ve 104 W IR güçleri için sırasıyla 360, 330 ve 240 dakika olarak tespit edilmiştir. 75 W IR gücüne göre, 88 W ve 104 W IR gücü uygulamaları sırasıyla %8.33 ve %33.33 kurutma süresi tasarrufu sağlamıştır. Benzer sonuçlar Potas ve Sod. Hid. ön işlem uygulanmış örneklerde de ekde edilmiştir. Literatürde kızılötesi kurutma uygulamalarında kızılötesi gücünün arttırılmasının kurutma süresini kısalttığını gösteren çalışmalar deneysel bulgular ile uyum göstermektedir [46], [47], [48].

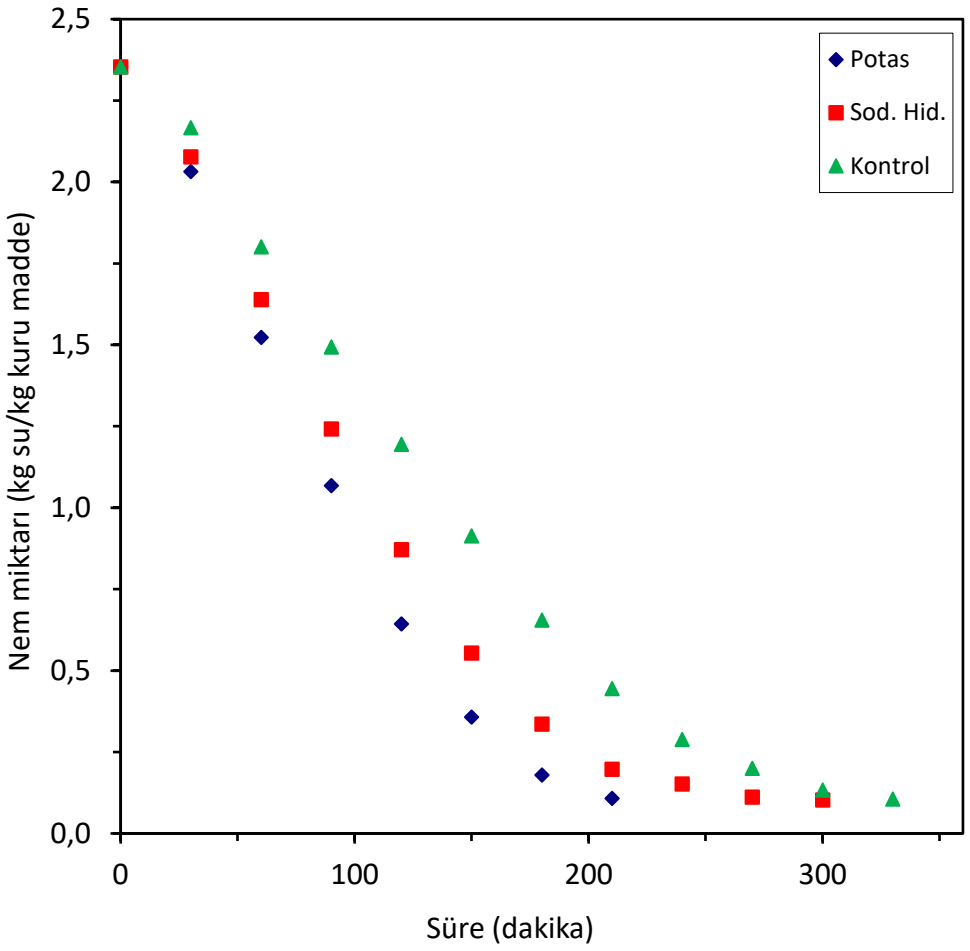
Deneyler sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak kızılcığın nem içeriğinin zamanla değişimini gösteren kuruma eğrileri çizilmiş olup, Şekil 5.4-5.6'da gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde, IR gücü artışının kurutma hızını arttırdığı

görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri artan IR gücünün örneklerin buhar basıncını ve dolayısıyla buharlaşma hızını arttırmasıdır. Daha hızlı buharlaşan su, kurutma ortamından daha hızlı uzaklaştırılmakta ve kuruma işlemi daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Ayrıca IR gücünün arttırılması havanın bağıl nemini düşürmekte, dolayısıyla nem alma kapasitesini arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak havanın nemi tutma kapasitesi artmakta ve kurutma hızı artmakta ve dolayısıyla bunun sonucu olarak kurutma süresi kısalmaktadır.

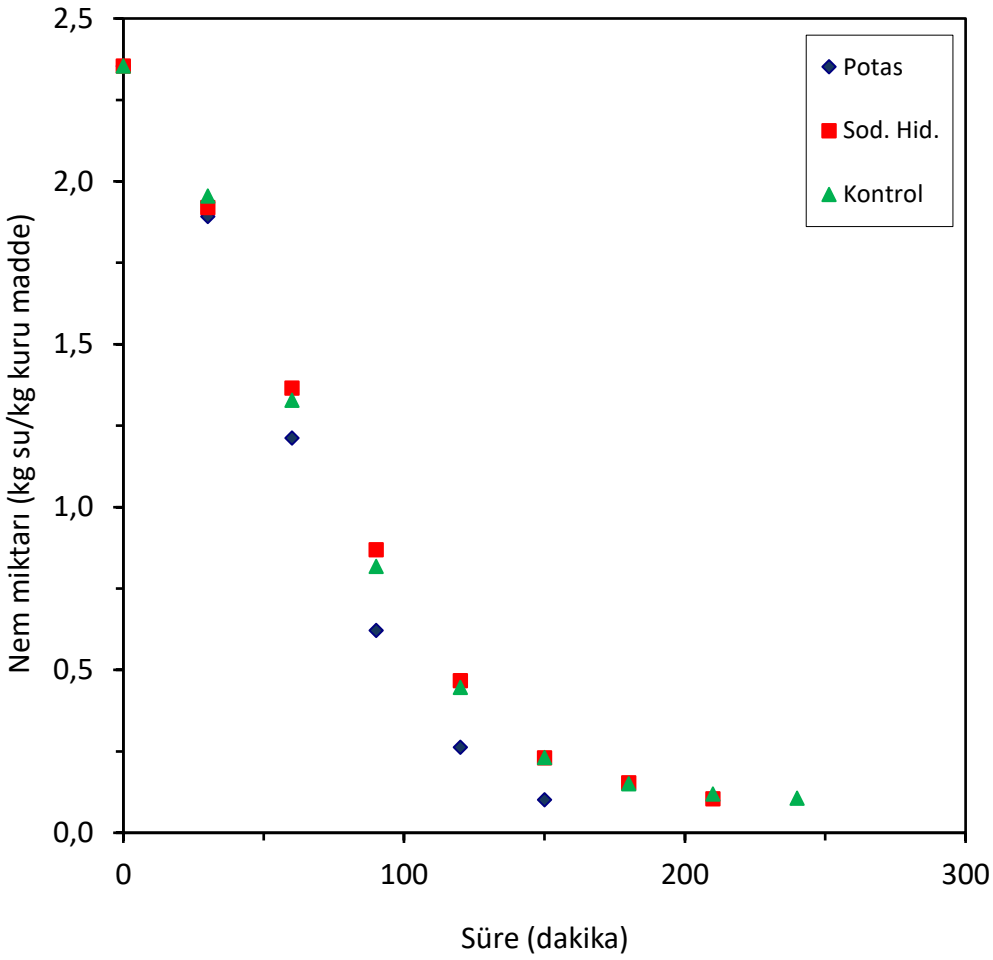
Şekil 5.4-5.6'da uygulanan ön işlemin sabit IR gücünde kurutma süresine etkisi de görülebilmektedir. Ön işlem uygulanan örneklerin, her IR gücünde Kontrol grubu örneklerine göre daha kısa sürede kuruduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi, ön işlemin meyvelerin nem kaybını yavaşlatan vax tabakasını yok ederek daha gözenekli bir yüzey oluşumuna olanak sağlaması ve nem kaybını hızlandırmasıdır. Deneysel sonuçlardan görüldüğü üzere, Sod Hid. ve Potas ön işlem uygulamalarının ikisi de başarılı sonuçlar vererek kurutma süresini kısalttığı, ancak Potas ön işleminin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır [46].



Şekil 5.4 Kızılcık örneklerinin 75 W kızılötesi kurutucu gücünde nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 5.5 Kızılcık örneklerinin 88 W kızılötesi kurutucu gücünde nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 5.6 Kızılcık örneklerinin 104 W kızılötesi kurutucu gücünde nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi

5.3 Kombine Kurutma Deneylerinde Sıcaklığın ve Kızılötesi Kurutucu Gücünün Kurutma Süresine Etkisi

Kombine kurutma yöntemiyle kurutulan kızılcığın kurutma karakteristikleri, 2 saat kızılötesi kurutucuda 3 farklı güçte (75, 88 ve 104 W) kurutulup kabin kurutucuda 3 farklı sıcaklıkta (55, 65 ve 75°C) tamamlanacak şekilde kontrol grubu için incelenmiştir.

Kombine kurutma yöntemiyle kurutulan kızılcıkların kuruma süreleri Çizelge 5.3'de görülmektedir. Çizelge 5.3'de görüleceği üzere, kombine yöntemle kurutma deneylerinde, 2 saat boyunca 104 W IR gücünde kurutulduktan sonra 75°C kurutma havası sıcaklığında kabin kurutucuda kurutulması tamamlanan kızılcıkların kurutma süresinin diğer gruplara göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir. En kısa kurutma süresinin, 2 saat boyunca 104 W IR gücünde kurutulduktan sonra 75°C kurutma havası

sıcaklığında kabin kurutucuda kurutulması tamamlanan kızılcık örneklerinde 270 dakika, en uzun kurutma süresinin ise, 2 saat boyunca 75 W IR gücünde kurutulduktan sonra 55°C kurutma havası sıcaklığında kabin kurutucuda kurutulması tamamlanan kızılcık örneklerinde 810 dakika olduğu saptanmıştır.

İki saat kızılötesi kurutucu ile kurutulduktan sonra kabin kurutucu ile kurutma işlemi tamamlanan örnekler için sıcaklık artışının etkisi Şekil 5.7-5.9'da görülmektedir. Kızılötesi kurutucu ile 2 saat 75 W kurutulduktan sonra; kabin kurutucu ile 55°C sıcaklıkta kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin 810 dakikada, 65°C sıcaklıkta kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin 780 dakikada ve 75°C sıcaklıkta kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin ise 420 dakikada kuruduğu saptanmıştır.

Kızılötesi kurutucu ile 2 saat 88 W kurutulduktan sonra; kabin kurutucu ile 55°C sıcaklıkta kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin 720 dakikada, 65°C sıcaklıkta kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin 600 dakikada, 75°C sıcaklıkta kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin ise 360 dakikada kuruduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.3 Kombine yöntemle kurutulan kızılcık örneklerinin kurutma süreleri

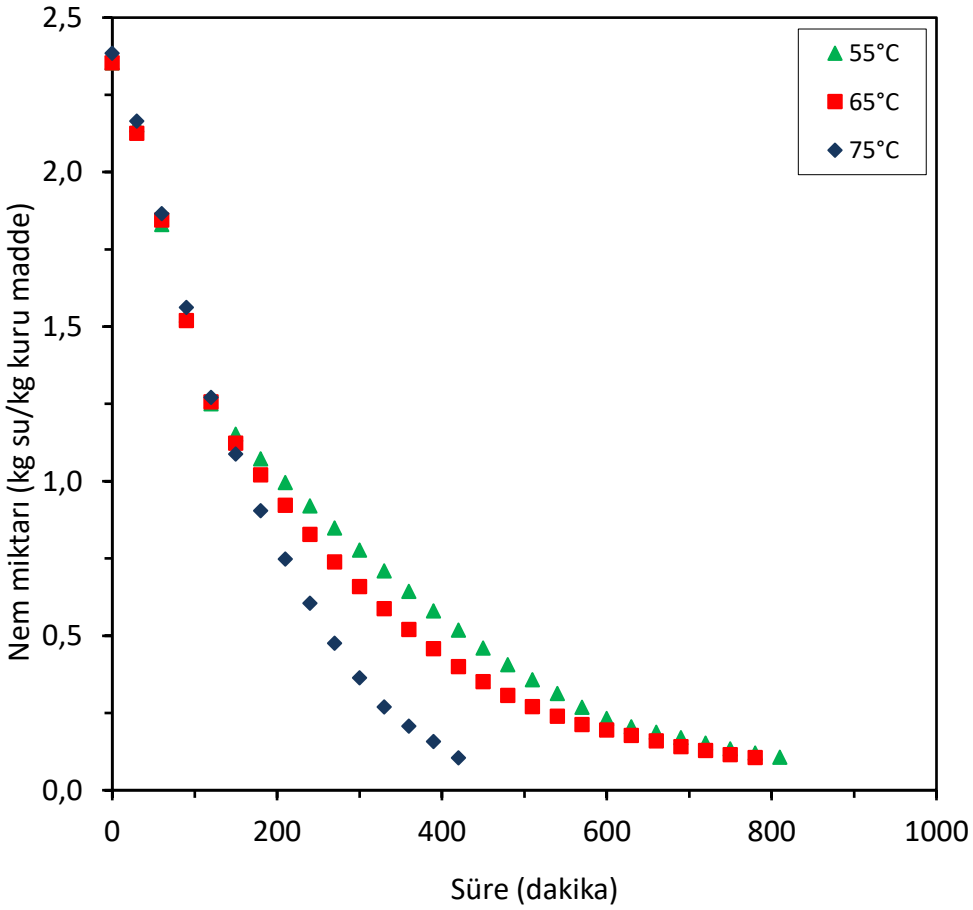
IR Gücü (W)	**Kuruma Süresi (dakika)**		
	55°C	**65°C**	**75°C**
75 W	810	780	420
88 W	720	600	360
104 W	630	510	270

Kızılötesi kurutucu ile 2 saat 104 W kurutulduktan sonra; kabin kurutucu ile 55°C 'de kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin 630 dakikada, 65°C 'de kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin 510 dakikada, 75°C 'de kurutma işleminin tamamlandığı örneklerin ise 270 dakikada kuruduğu saptanmıştır.

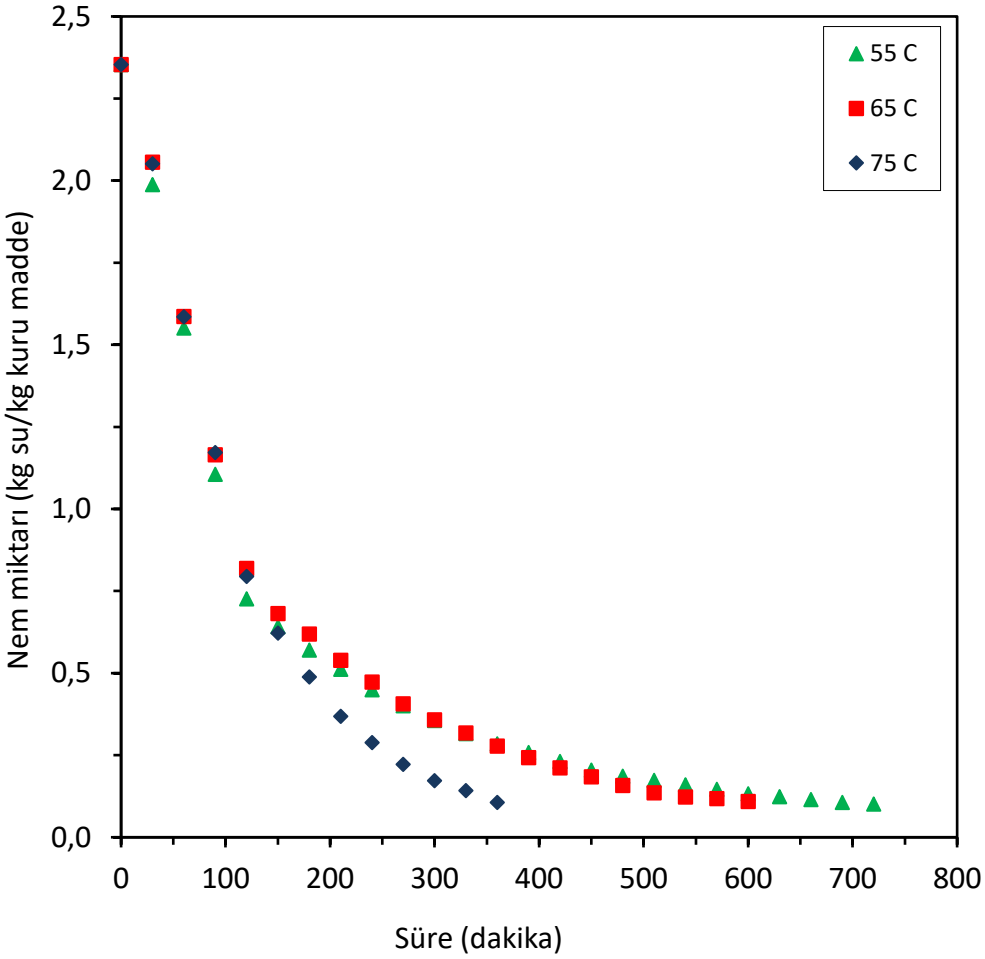
İki saat kızılötesi kurutucu ile kurutulduktan sonra kabin kurutucu ile kurutma işlemi tamamlanan örnekler için sıcaklık artışının etkisi incelendiğinde; 75 W kurutma ardından uygulanan 55°C sıcaklığa göre 65°C ve 75°C kurutma sıcaklığı uygulamaları %37.04 ve %48.15, 88 W kurutma ardından uygulanan 55°C sıcaklığa göre 65°C ve 75°C kurutma sıcaklığı uygulamaları %16.67 ve %50, 104 W kurutma ardından uygulanan 55°C sıcaklığa

göre 65°C ve 75°C kurutma sıcaklığı uygulamaları ise %12.70 ve %57.14 oranında kurutma süresini kısalttığı anlaşılmaktadır.

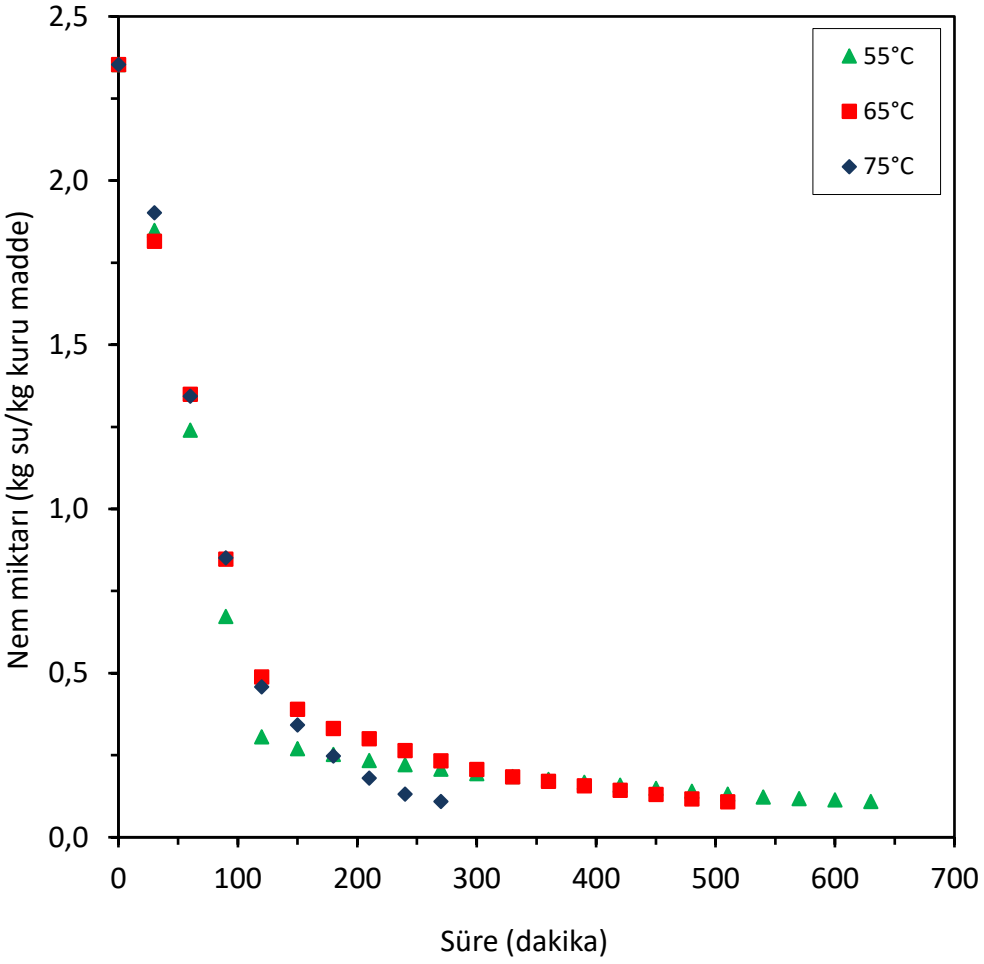
Kabin kurutucu yöntemi ile 55°C sıcaklıkta kurutulan kontrol grubu örnekleri ile kombine yöntemle kurutulan örneklerin kuruma süreleri kıyaslandığında, 75 W kurutma ardından uygulanan 55°C sıcaklıkta kurutma işlemi tamamlanan örneklerin %39, 88 W ile başlayarak 55°C sıcaklıkta kurutma işlemi tamamlanan örneklerin %45, 104 W ile başlayarak 55°C sıcaklıkta kurutma işlemi tamamlanan örneklerin ise %52 kurutma süresi avantajı sağladığı görülmektedir. 65°C sıcaklıkta kurutma işlemi tamamlanan örnekler incelendiğinde aynı sırayla, %7 ,%29 ve %39 ve 75°C sıcaklıkta kurutma işlemi tamamlanan örnekler incelendiğinde ise %18 ,%29 ve %47 kurutma süresi avantajı sağladığı saptanmıştır. Elde edilen sonuçların literatürde yer alan çalışmalarla benzerlik göstermiştir [46].



Şekil 5.7 Kızılcık örneklerinin kombine yöntemle 75 W kızılötesi kurutucu gücünde 2 saat kurutulduktan sonra 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıkta kurutulması sırasında nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



Şekil 5.8 Kızılcık örneklerinin kombine yöntemle 88 W kızılötesi kurutucu gücünde 2 saat kurutulduktan sonra 55°C, 65°C ve75°C sıcaklıkta kurutulması sırasında nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi



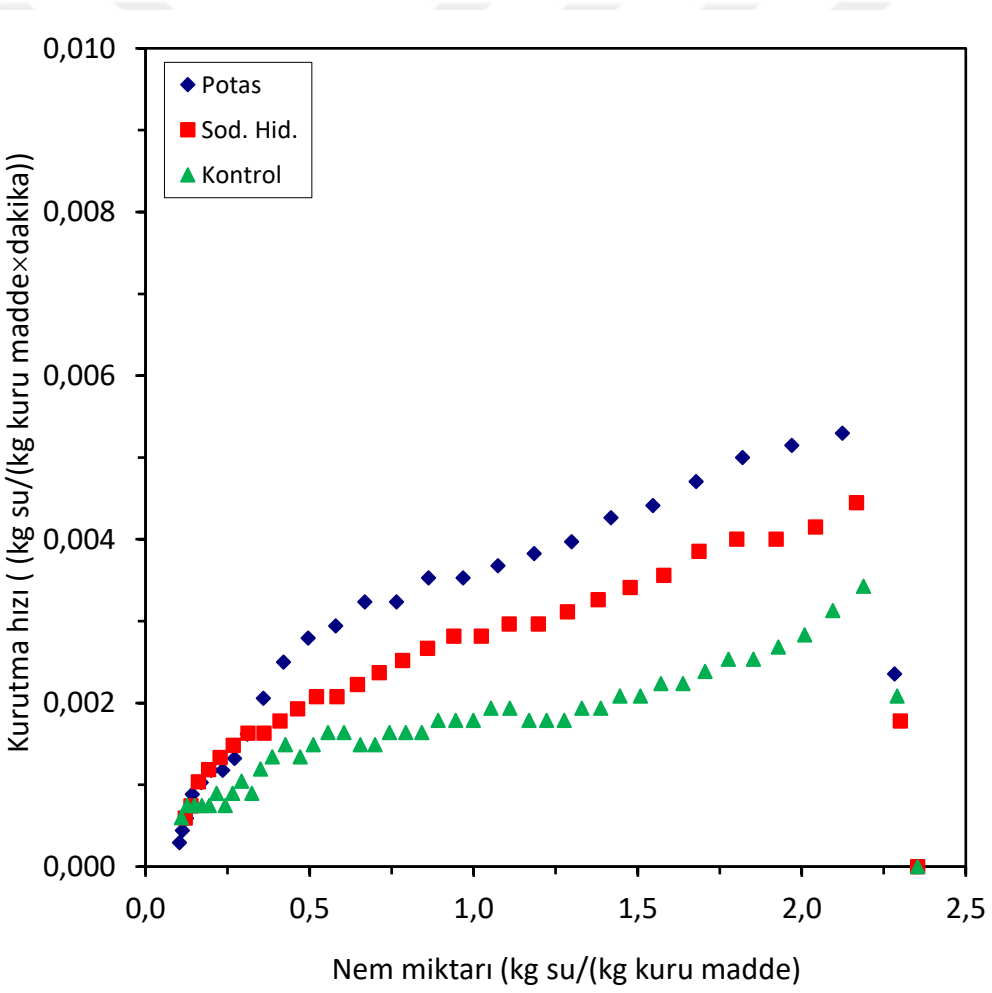
Şekil 5.9 Kızılcık örneklerinin kombine yöntemle 104 W kızılötesi kurutucu gücünde 2 saat kurutulduktan sonra 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıkta kurutulması sırasında nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi

5.4 Kurutma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi

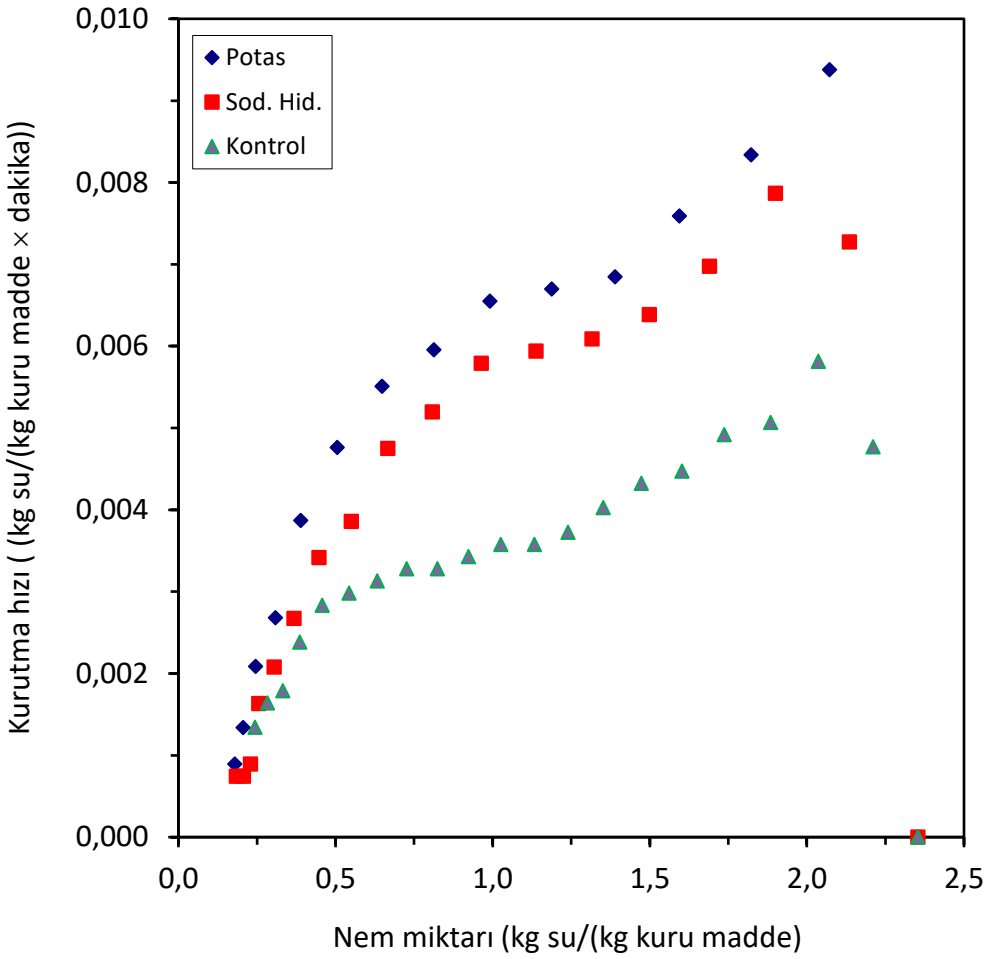
Şekil 5.10-5.15'de, 2 farklı ön işlem uygulanmış grup (Potas ve Sod. Hid. grupları) ve 1 kontrol grubu için, 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıkta kabin kurutucuda, 75 W, 88 W ve 104 W IR gücünde kızılötesi kurutucuda gerçekleştirilen deneylere ait kurutma hız eğrileri görülmektedir. Eğriler incelendiğinde, kurutma işleminin tüm deneylerde çok kısa bir ısınma periyodundan sonra azalan hız periyodunda gerçekleştiği görülmektedir. Bu eğrilerde, sabit hız periyodunun ise bulunmadığı görülmektedir. Tek tabaka halinde kurutulan kızılcık meyvelerinin, meyve boyutlarının küçük olması sebebiyle İnce Tabaka Kurutma Kuramı'na uygun bir davranış gösterdiği anlaşılmaktadır.

İnce Tabaka Kurutma Kuramına göre ısınma periyodu ve sabit hız kurutma periyodunun ihmal edilebilir olması uygundur. Kızılcık meyvelerinin kabin kurutucu ile kurutulması işleminin azalan hız periyodunda gerçekleştiği Polatoğlu ve Beşe [34] yaptıkları çalışmada daha önce belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermiştir.

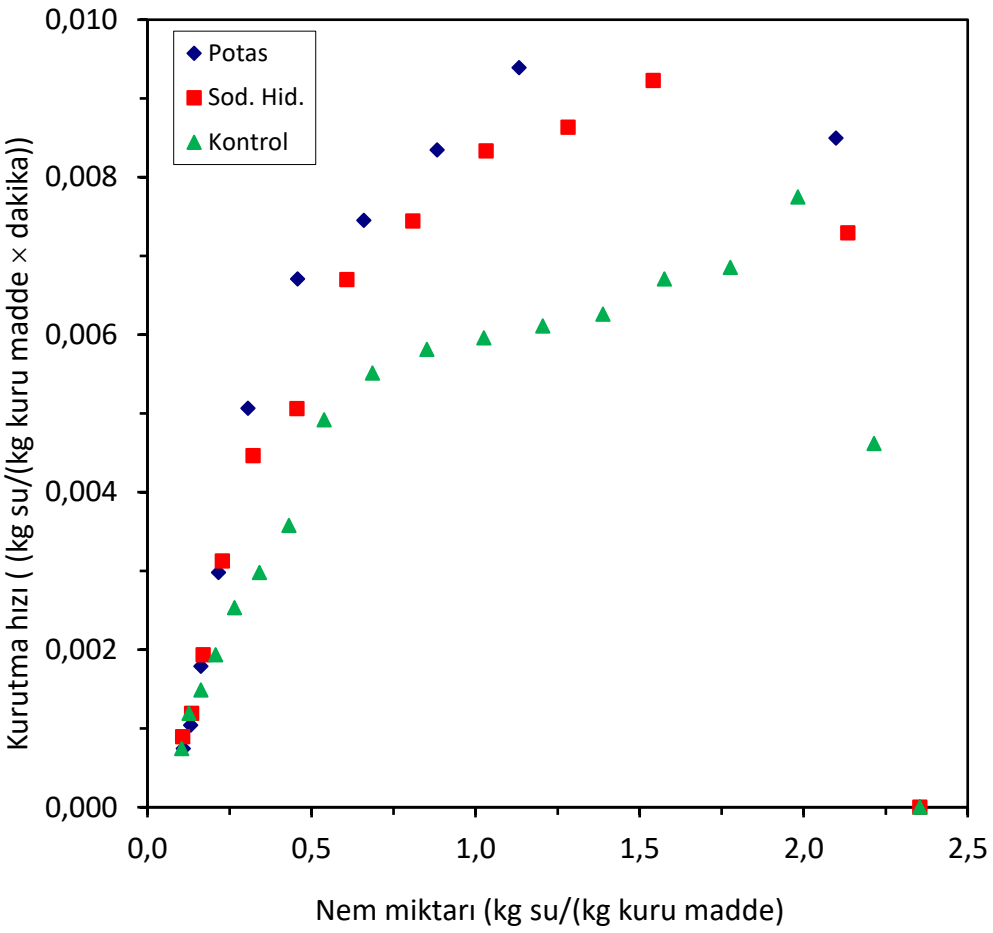
Kurutma havası sıcaklığının ve IR gücünün arttırılmasının kurutma hızını arttırdığı görülmektedir. Benzer sonuçlar daha önce yayınlanan çalışmalar ile uyum göstermektedir [36], [49]. Bununla birlikte ön işlem uygulanan örneklerin Kontrol grubu örneklerine göre daha yüksek kurutma hızlarına sahip olduğu da görülmektedir. En yüksek kurutma hızı Potas grubu örneklerde elde edilmiştir.



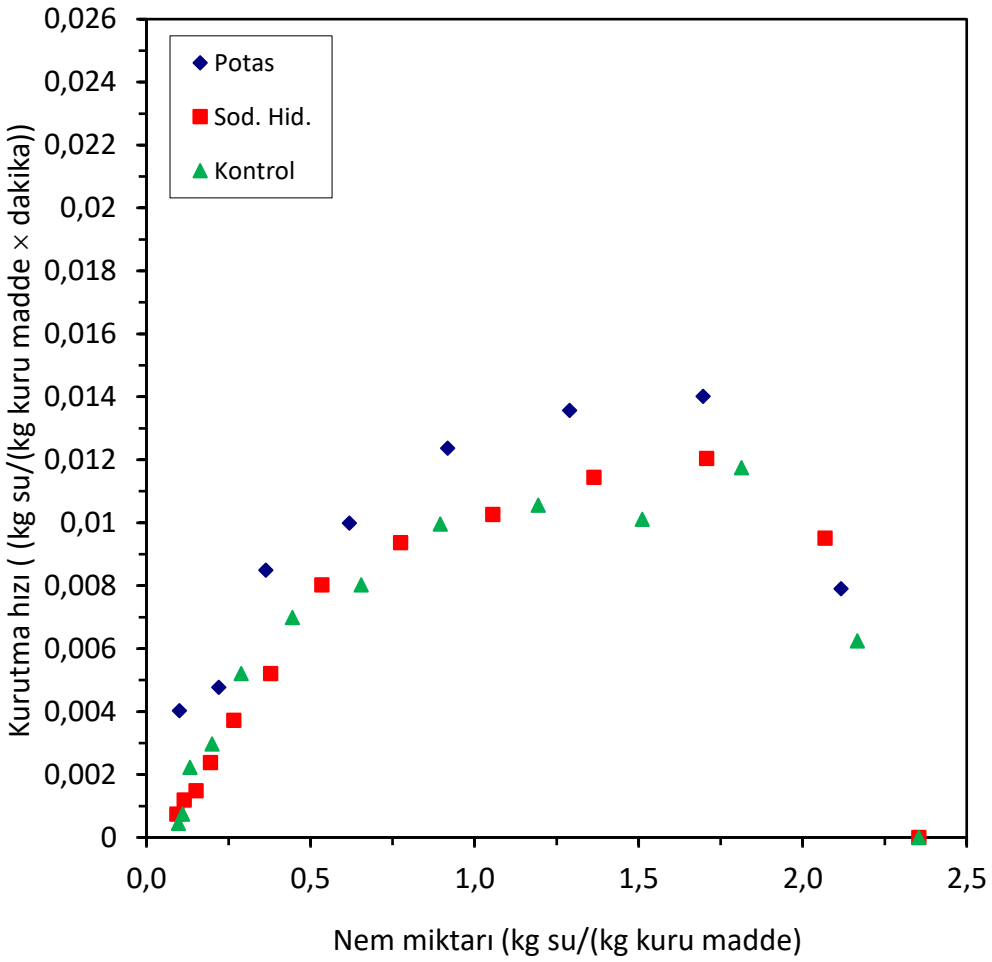
Şekil 5.10 Kızılcık örneklerinin 55°C sıcaklıktaki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



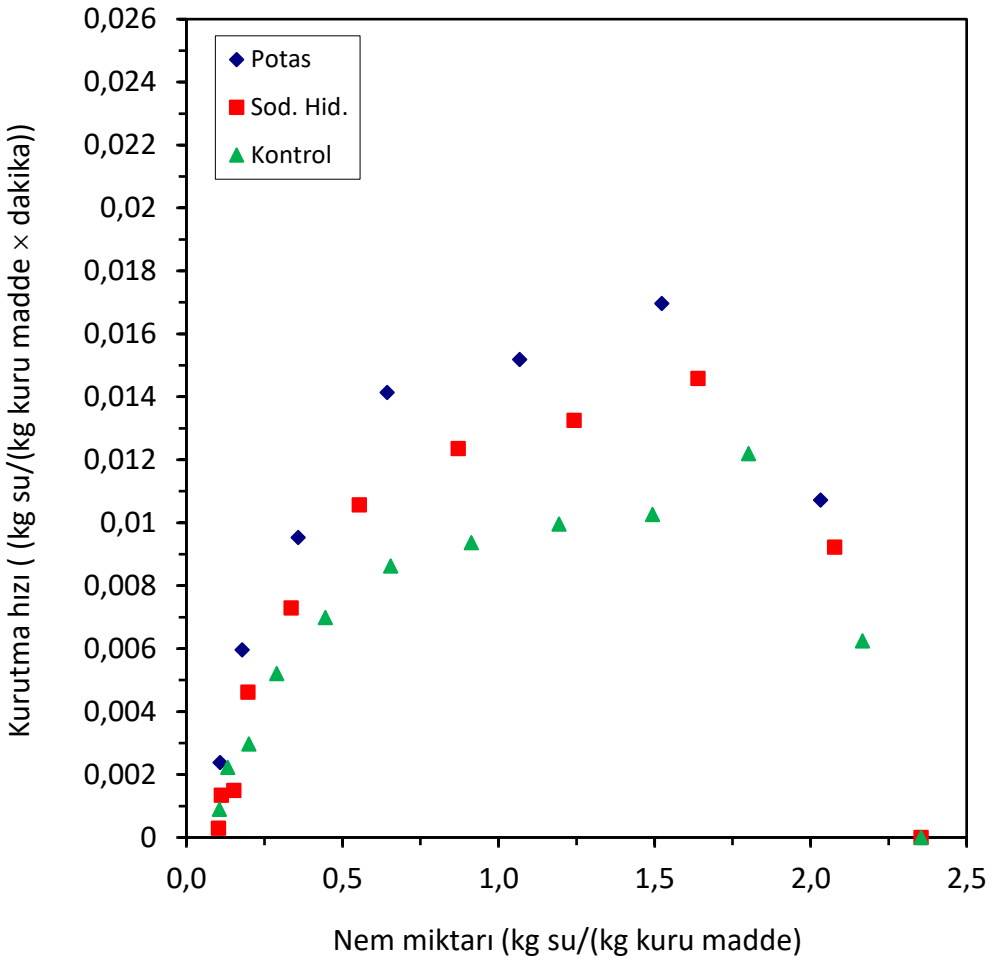
Şekil 5.11 Kızılcık örneklerinin 65°C sıcaklıktaki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



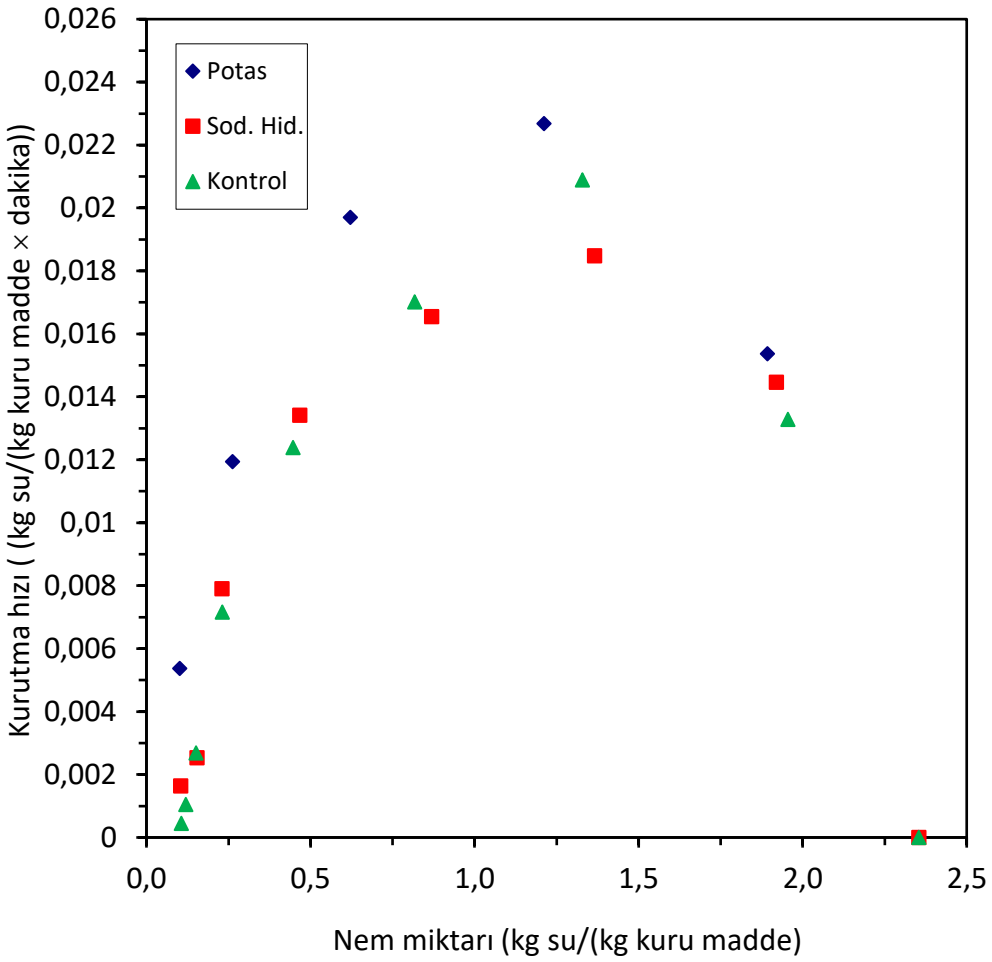
Şekil 5.12 Kızılcık örneklerinin 75°C sıcaklıktaki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 5.13 Kızılcık örneklerinin 75 W kızılötesi kurutucu gücünde kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 5.14 Kızılcık örneklerinin 88 W kızılötesi kurutucu gücünde kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 5.15 Kızılcık örneklerinin 104 W kızılötesi kurutucu gücünde kurutma hızının nem içeriği ile değişimi

5.5 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Ön işlem uygulanarak ve uygulanmadan kabin kurutucuda 55°C, 65°C ve 75°C kurutma havası sıcaklıklarında ve kızılötesi kurutucuda 75 W, 88 W ve 104 W IR gücünde gerçekleştirilen kurutma çalışmalarından elde edilen verilerden yaralanarak kurutma işleminin kurutma kinetiği belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin modellenmesi amacıyla Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Midilli ve Küçük, Vega-Lemus ve Vega-Galvez teorik model denklemleri seçilerek uyumlulukları incelenmiştir. Modeller deneysel verilere uygulanmış ve R^2 değerinin 1'e yakınlığı, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise küçüklüğü gözetilerek tüm kurutma denemelerinde Midilli ve Küçük modelinin, kızılcık örneklerinin kurutma kinetiği davranışı için en iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Benzer çalışmalar çeşitli araştırıcılar tarafından da daha önce çeşitli gıdaların kurutulması çalışmalarında belirtmişlerdir [46], [50], [51].

Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Midilli ve Küçük, Vega-Lemus ve Vega-Galvez teorik model denklemleri kullanılarak hesaplanan R^2, χ^2 ve RMSE değerleri Çizelge 5.4-5.9'da verilmiştir. Kabin kurutucuda 55°C, 65°C ve 75°C kurutma havası sıcaklıklarında ve kızılötesi kurutucuda 75 W, 88 W ve 104 W IR gücünde gerçekleştirilen kurutma deneylerinden elde edilen nem içeriği verileri ile en uyumlu model olduğu tespit edilen Midilli ve Küçük modellerinden hesaplanan nem içeriği verilerinin kurutma süresi ile değişimi Şekil 5.16-5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Kabin kurutucu ile 55°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Yöntem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0.9717	0.002749	0.251514
	Henderson ve Pabis	0.9832	0.001696	0.187208
	Logaritmik	0.9963	0.000388	0.080885
	Midilli ve Küçük	0.9993	0.000075	0.037208
	Vega-Lemus	0.9981	0.000192	0.053627
	Vega-Galvez	0.9832	0.001696	0.187208
Sod. Hid.	Lewis	0.9725	0.002518	0.251284
	Henderson ve Pabis	0.9833	0.001582	0.188265
	Logaritmik	0.9988	0.000111	0.044037
	Midilli ve Küçük	0.9997	0.000029	0.020635
	Vega-Lemus	0.9996	0.000034	0.023374
	Vega-Galvez	0.9833	0.001582	0.188265
Kontrol	Lewis	0.9756	0.002010	0.264421
	Henderson ve Pabis	0.9816	0.001548	0.226935
	Logaritmik	0.9993	0.000057	0.041437
	Midilli ve Küçük	0.9994	0.000043	0.038179
	Vega-Lemus	0.9993	0.000051	0.039930
	Vega-Galvez	0.9816	0.001548	0.226933

Çizelge 5.5 Kabin kurutucu ile 65°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Yöntem	Model	R2	χ2	RMSE
Potas	Lewis	0.9867	0.001272	0.135725
	Henderson ve Pabis	0.9901	0.000996	0.115471
	Logaritmik	0.9937	0.000667	0.094187
	Midilli ve Küçük	0.9984	0.000179	0.045826
	Vega-Lemus	0.9924	0.000763	0.086494
	Vega-Galvez	0.9901	0.000996	0.115471
Sod. Hid.	Lewis	0.9878	0.001136	0.135421
	Henderson ve Pabis	0.9918	0.000793	0.106704
	Logaritmik	0.9947	0.000536	0.088868
	Midilli ve Küçük	0.9991	0.000095	0.034917
	Vega-Lemus	0.9901	0.000968	0.109439
	Vega-Galvez	0.9918	0.000793	0.106704
Kontrol	Lewis	0.9811	0.001739	0.205012
	Henderson ve Pabis	0.9867	0.001266	0.169211
	Logaritmik	0.9960	0.000394	0.086805
	Midilli ve Küçük	0.9982	0.000180	0.059973
	Vega-Lemus	0.9968	0.000305	0.063047
	Vega-Galvez	0.9867	0.001266	0.169210

Çizelge 5.6 Kabin kurutucu ile 75°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Yöntem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0.9734	0.002970	0.166532
	Henderson ve Pabis	0.9813	0.002270	0.144028
	Logaritmik	0.9930	0.000929	0.084406
	Midilli ve Küçük	0.9993	0.000095	0.026413
	Vega-Lemus	0.9961	0.000474	0.058628
	Vega-Galvez	0.9813	0.002270	0.144028
Sod. Hid.	Lewis	0.9710	0.003166	0.182029
	Henderson ve Pabis	0.9800	0.002365	0.154105
	Logaritmik	0.9942	0.000736	0.081022
	Midilli ve Küçük	0.9994	0.000074	0.023604
	Vega-Lemus	0.9972	0.000323	0.053666
	Vega-Galvez	0.9800	0.002365	0.154111
Kontrol	Lewis	0.9645	0.003730	0.230841
	Henderson ve Pabis	0.9765	0.002619	0.183989
	Logaritmik	0.9946	0.000637	0.086113
	Midilli ve Küçük	0.9992	0.000093	0.031645
	Vega-Lemus	0.9976	0.000265	0.056502
	Vega-Galvez	0.9765	0.002619	0.183991

Çizelge 5.7 Kızılötesi kurutucu ile 75 W IR gücünde gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

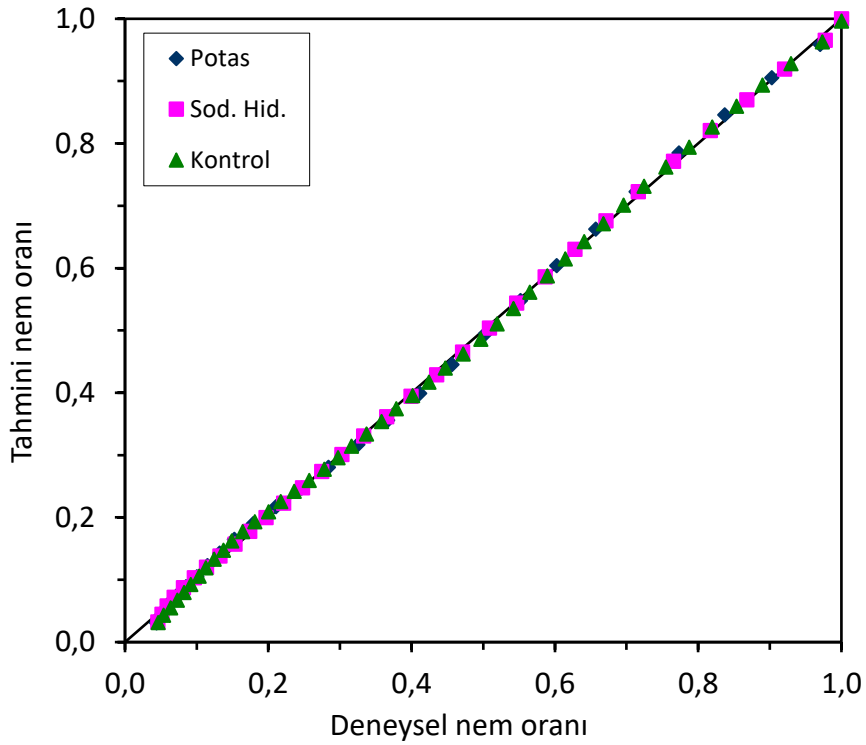
Yöntem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0.9464	0.006735	0.199429
	Henderson ve Pabis	0.9568	0.005764	0.186434
	Logaritmik	0.9920	0.001330	0.079054
	Midilli ve Küçük	0.9998	0.000021	0.008183
	Vega-Lemus	0.9924	0.001079	0.070788
	Vega-Galvez	0.9598	0.005764	0.186436
Sod. Hid.	Lewis	0.9756	0.002740	0.158158
	Henderson ve Pabis	0.9828	0.002112	0.139064
	Logaritmik	0.9916	0.001131	0.030082
	Midilli ve Küçük	0.9996	0.000049	0.018712
	Vega-Lemus	0.9944	0.000682	0.074440
	Vega-Galvez	0.9828	0.002111	0.139064
Kontrol	Lewis	0.9574	0.005120	0.218256
	Henderson ve Pabis	0.9703	0.003887	0.188523
	Logaritmik	0.9881	0.001710	0.118481
	Midilli ve Küçük	0.9994	0.000087	0.023871
	Vega-Lemus	0.9940	0.000776	0.081860
	Vega-Galvez	0.9703	0.003887	0.188520

Çizelge 5.8 Kızılötesi kurutucu ile 88 W IR gücünde gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

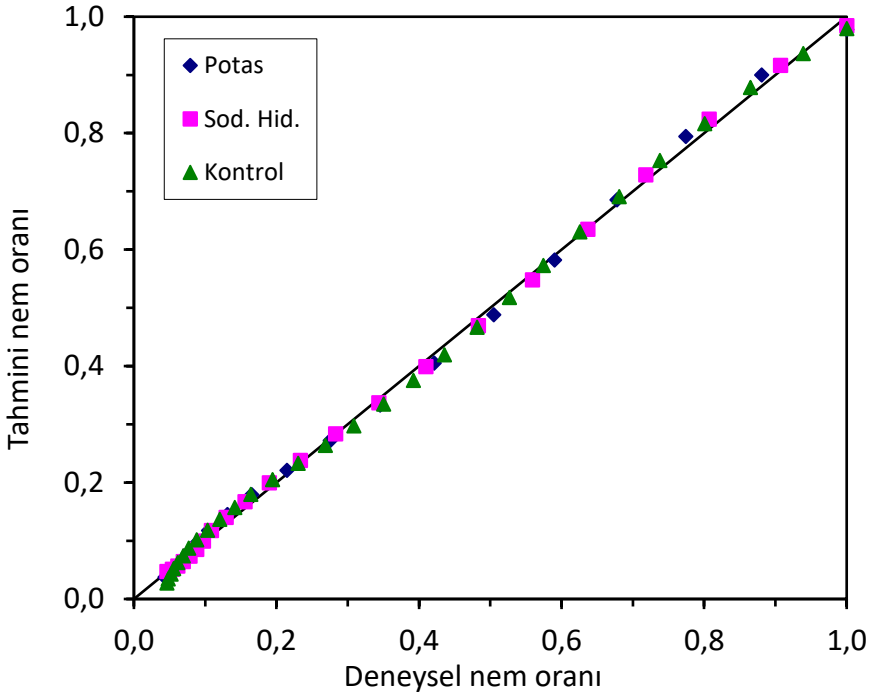
Yöntem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0.9501	0.006658	0.187964
	Henderson ve Pabis	0.9606	0.006133	0.182885
	Logaritmik	0.9891	0.002036	0.090931
	Midilli ve Küçük	0.9997	0.000070	0.014544
	Vega-Lemus	0.9920	0.001234	0.07215
	Vega-Galvez	0.9606	0.006133	0.182888
Sod. Hid.	Lewis	0.9623	0.004687	0.186727
	Henderson ve Pabis	0.9721	0.003860	0.171619
	Logaritmik	0.9853	0.002287	0.121835
	Midilli ve Küçük	0.9994	0.000089	0.021441
	Vega-Lemus	0.9923	0.001059	0.089843
	Vega-Galvez	0.9721	0.003860	0.171617
Kontrol	Lewis	0.9561	0.005211	0.213706
	Henderson ve Pabis	0.9692	0.004027	0.186628
	Logaritmik	0.9911	0.001285	0.096061
	Midilli ve Küçük	0.9993	0.000108	0.024375
	Vega-Lemus	0.9951	0.000635	0.068124
	Vega-Galvez	0.9692	0.004027	0.186630

Çizelge 5.9 Kızılötesi kurutucu ile 104 W IR gücünde gerçekleştirilen kızılcık kurutma deneyleri için kullanılan modellerin, regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

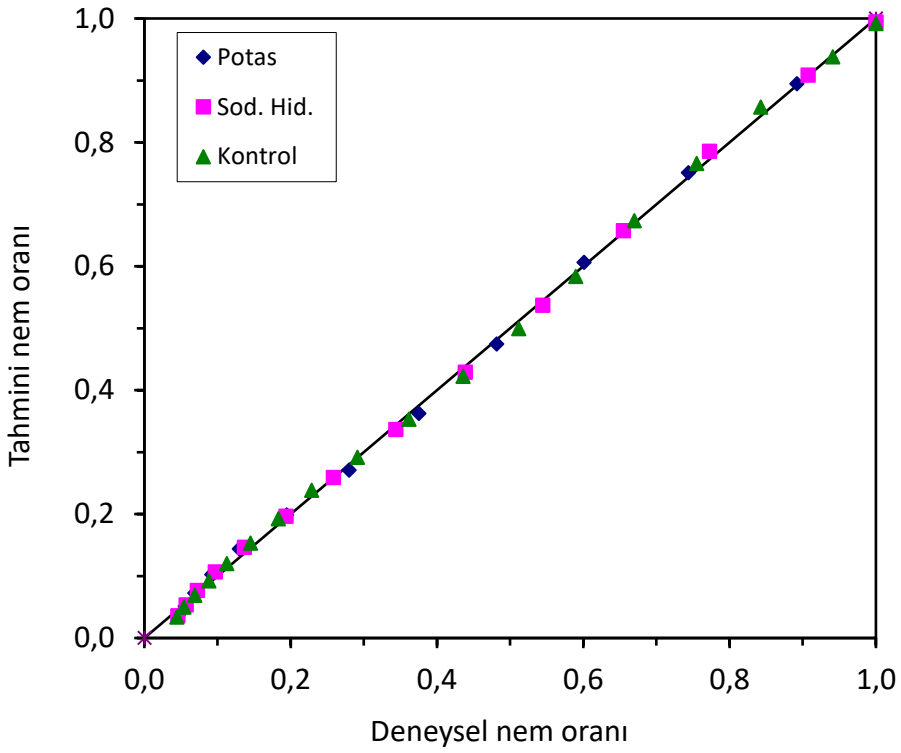
Yöntem	Model	R^2	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0.9462	0.008027	0.169302
	Henderson ve Pabis	0.9539	0.008600	0.175695
	Logaritmik	0.9880	0.002969	0.086678
	Midilli ve Küçük	0.9999	0.000033	0.007402
	Vega-Lemus	0.9889	0.002060	0.078689
	Vega-Galvez	0.9539	0.008600	0.175695
Sod. Hid.	Lewis	0.9635	0.004912	0.157847
	Henderson ve Pabis	0.9701	0.004696	0.157084
	Logaritmik	0.9864	0.002562	0.100722
	Midilli ve Küçük	0.9990	0.000221	0.024963
	Vega-Lemus	0.9927	0.001140	0.077397
	Vega-Galvez	0.9701	0.004696	0.157084
Kontrol	Lewis	0.9659	0.004524	0.148316
	Henderson ve Pabis	0.9726	0.004156	0.146121
	Logaritmik	0.9816	0.003263	0.126991
	Midilli ve Küçük	0.9998	0.000040	0.012024
	Vega-Lemus	0.9911	0.001338	0.084577
	Vega-Galvez	0.9726	0.004156	0.146123



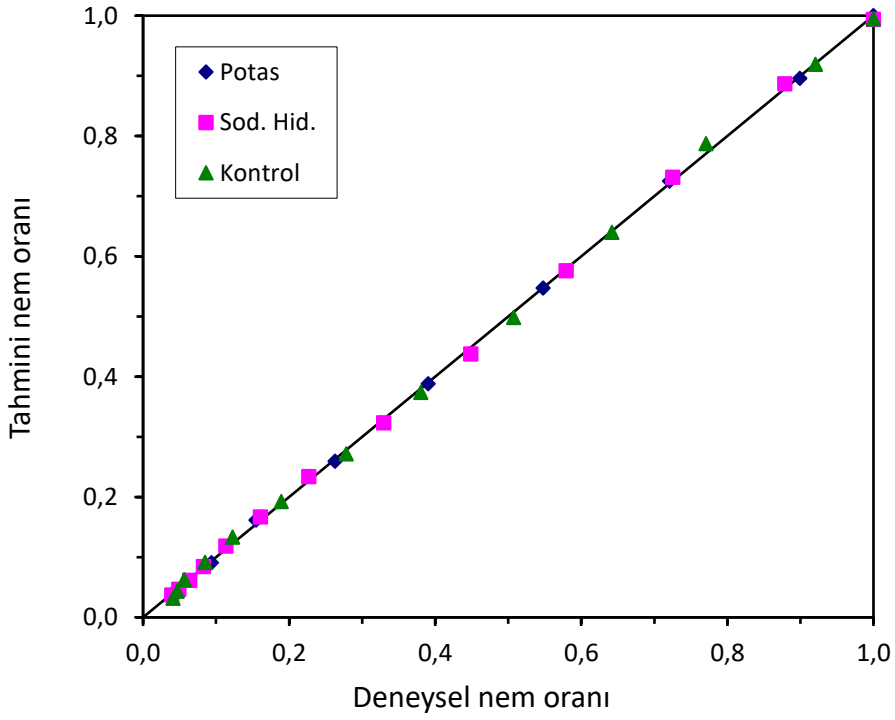
Şekil 5.16 55°C sıcaklıkta kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük modeli kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



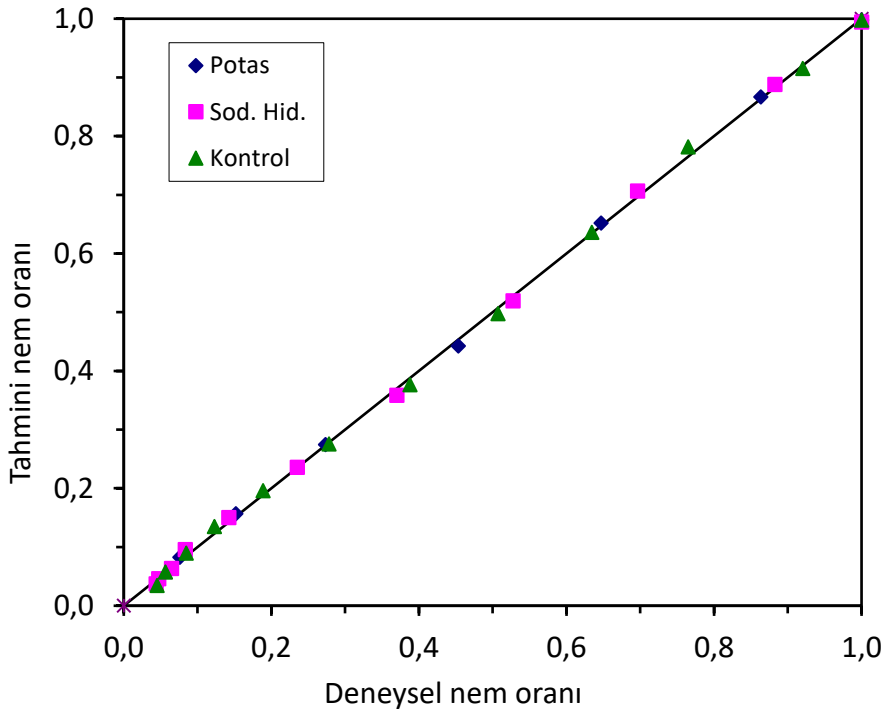
Şekil 5.17 65°C sıcaklıkta kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



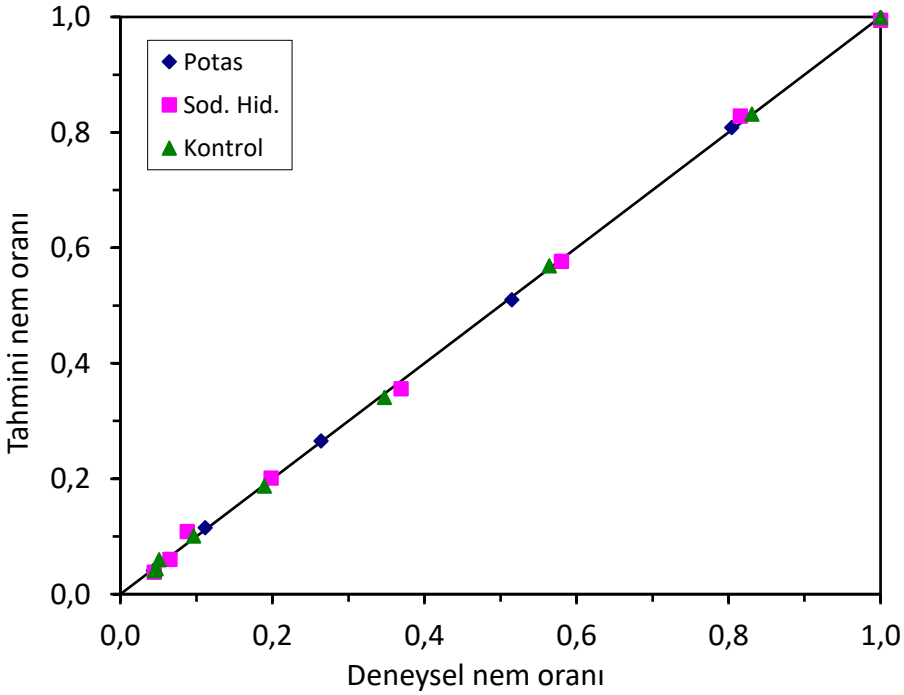
Şekil 5.18 75°C sıcaklıkta kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



Şekil 5.19 75 W kızılötesi kurutma gücünde kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



Şekil 5.20 88 W kızılötesi kurutma gücünde kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



Şekil 5.21 104 W kızılötesi kurutma gücünde kurutulan kızılcık örneklerine ait deneysel ve Midilli ve Küçük denklemi kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri

5.6 Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Farklı sıcaklıklarda kabin kurutucu ve kızılötesi ile kurutulan kızılcık örneklerinin Eşitlik (4.14) kulanılarak hesaplananan difüzyon katsayıları Çizelge 5.10 ve 5.11'de ve Şekil 5.22 ve 5.23'de verilmektedir. Çizelge 5.10 ve 5.11'den de görüleceği gibi difüzyon katsayısı değerleri kurutma sıcaklığı ve IR gücü arttıkça artmaktadır. Ön işlemin difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde, uygulanan ön işlemlerin difüzyon katsayısını arttırdığı, Potas ön işlem uygulamasının Sod. Hid. işlemine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin difüzyon katsayısı değerleri, Kontrol grubu örnekleri için 1.295×10^{-10} – 3.766×10^{-10} m^2/s, Sod. Hid. grubu örnekleri için 1.941×10^{-10} – 4.707×10^{-10} m^2/s ve Potas grubu örnekleri için ise 2.412×10^{-10} – 5.472×10^{-10} m^2/s arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin difüzyon katsayısı değerleri, Kontrol grubu örnekleri için 5.825×10^{-10} – 8.649×10^{-10} m^2/s, Sod. Hid. grubu örnekleri için 5.707×10^{-10} – 9.414×10^{-10} m^2/s ve Potas grubu örnekleri için ise 7.590×10^{-10} – 1.253×10^{-9} m^2/s arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek difüzyon katsayısının kabin kurutucu için 75°C'de kurutulan Potas grubu örneklerinde 5.472×10^{-10} m^2/s olduğu, kızılötesi kurutucuda kurutulan örnekler için ise 104 W IR gücünde 1.253×10^{-9} m^2/s olduğu anlaşılmıştır.

Ön işlemin meyvelerin yüzeyinde vax tabakasının direncini azaltması ile kurutma hızı artmıştır. Bunun sonucu olarak örneklerin içinden yüzeyine nemin transferi artmış ve buna bağlı olarak difüzyon katsayısı değerlerinde artışa sebep olmuştur. Çizelge 5.10 ve 5.11'de yer alan sonuçların yukarıda belirtilen olguyu doğruladığı görülmektedir. Difüzyon katsayıları açısından incelendiğinde kızıılcıkların kurutulmasında Potas ön işleminin Sod. Hid. ön işleminden daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde yer alan çalışmalarla benzerlik göstermektedir [45].

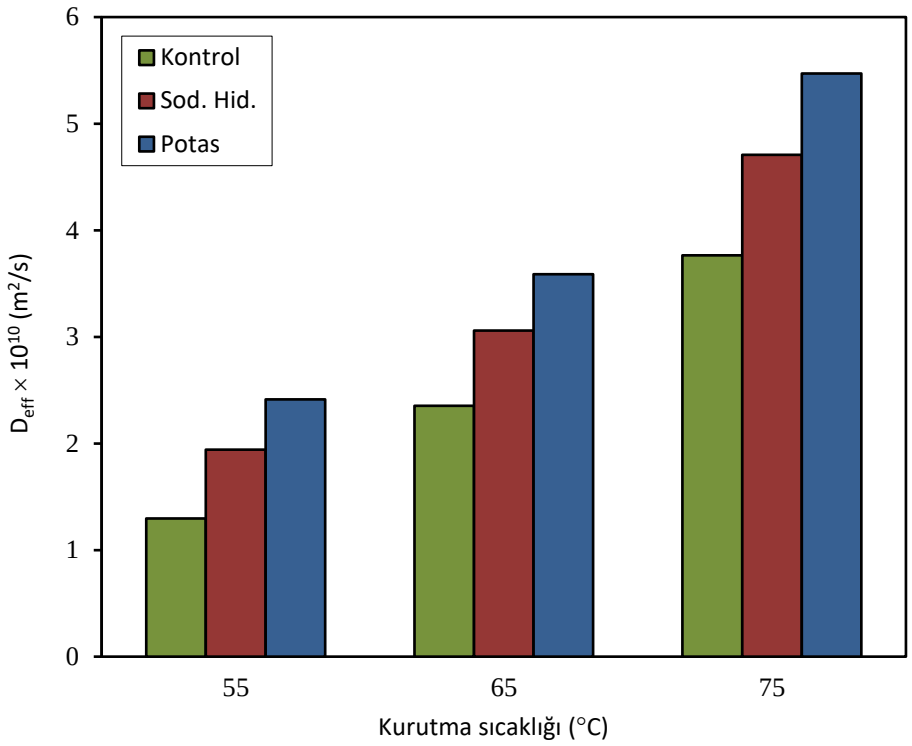
Çizelge 5.10 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için hesaplanan difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Difüzyon Katsayısı (m^2/s)		
	Kontrol	Sod. Hid.	Potas
55	1.295×10^{-10}	1.941×10^{-10}	2.412×10^{-10}
65	2.354×10^{-10}	3.060×10^{-10}	3.589×10^{-10}
75	3.766×10^{-10}	4.707×10^{-10}	5.472×10^{-10}

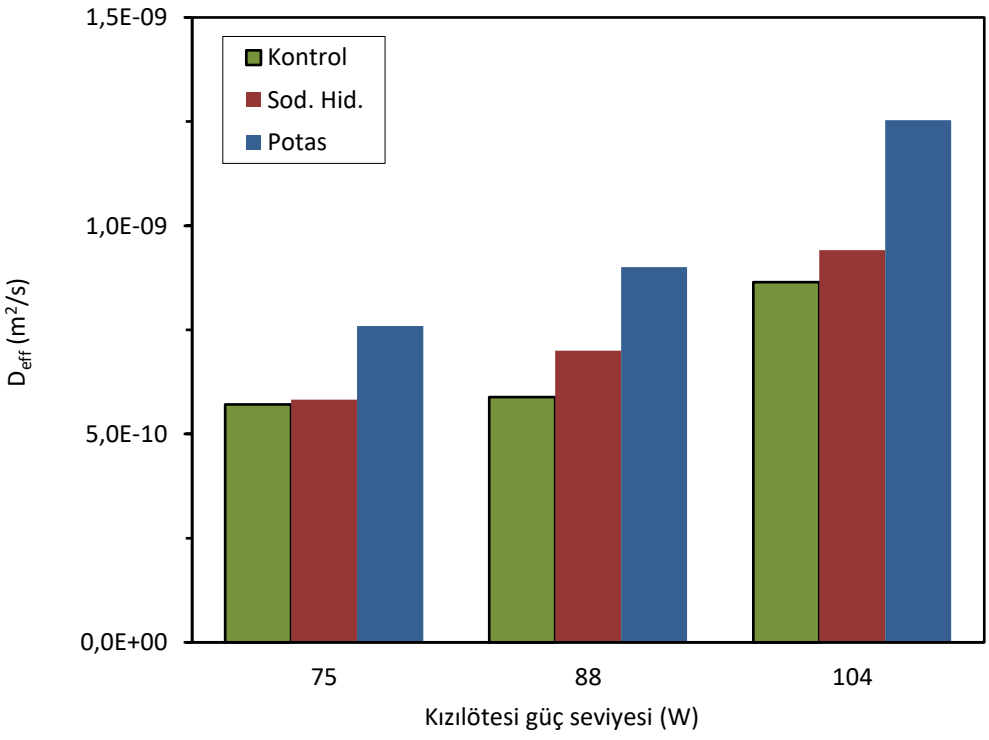
Çizelge 5.11 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için hesaplanan difüzyon katsayıları

IR Gücü (W)	Difüzyon Katsayısı (m^2/s)		
	Kontrol	Sod. Hid.	Potas
75	5.707×10^{-10}	5.825×10^{-10}	7.590×10^{-10}
88	5.884×10^{-10}	7.002×10^{-10}	9.003×10^{-10}
104	8.649×10^{-10}	9.414×10^{-10}	1.253×10^{-9}

Polatoğlu ve Beşe [37] tarafından yapılan bir çalışmada, 0.4, 0.7 ve 1.0 m/s hava hızı ve 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulan kızılcıklarden elde edilen verilerden yararlanarak difüzyon katsayısı değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin 3.13×10^{-11} - 1.55×10^{-10} m^2/s arasında değiştiği belirtmişlerdir. Deneysel çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre difüzyon katsayısının literatürdeki değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kızılcıklarının farklı koşullarda kurutulması ile açıklanabilir.



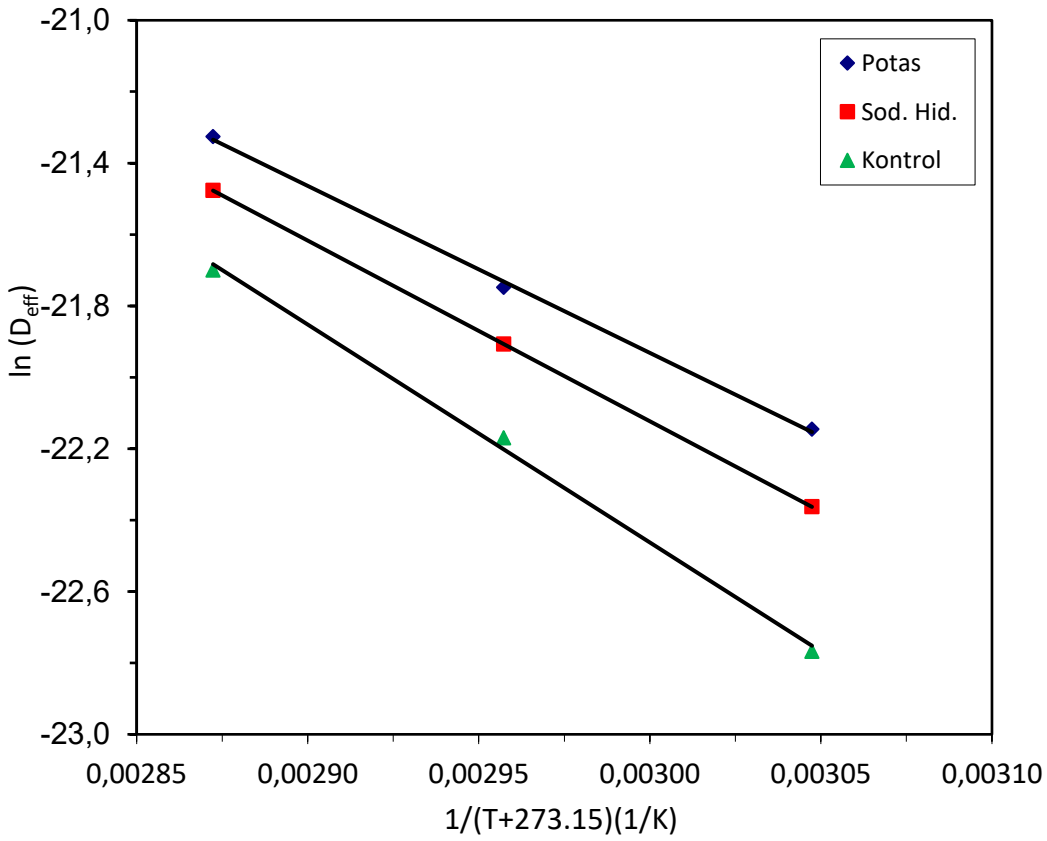
Şekil 5.22 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin efektif difüzyon katsayıları



Şekil 5.23 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin efektif difüzyon katsayıları

5.7 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Kabin kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon enerji değerleri $\ln(D_{eff})$ ile 1/(T+273.15) arasında çizilen grafik yardımıyla hesaplanmıştır. Bu değerlere karşılık çizilen grafik Şekil 5.24'de görülmektedir. Bu grafikte ön işlem uygulanan gruplar ve Kontrol grubu örnekleri için difüzyon katsayısına sıcaklığın etkisi görülmektedir. Çizilen grafikteki doğru denklemleri kullanılarak hesaplanan aktivasyon enerjileri Kontrol, Sod Hid. ve Potas grubu örnekler için sırasıyla 50.74, 42.07, 38.88 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

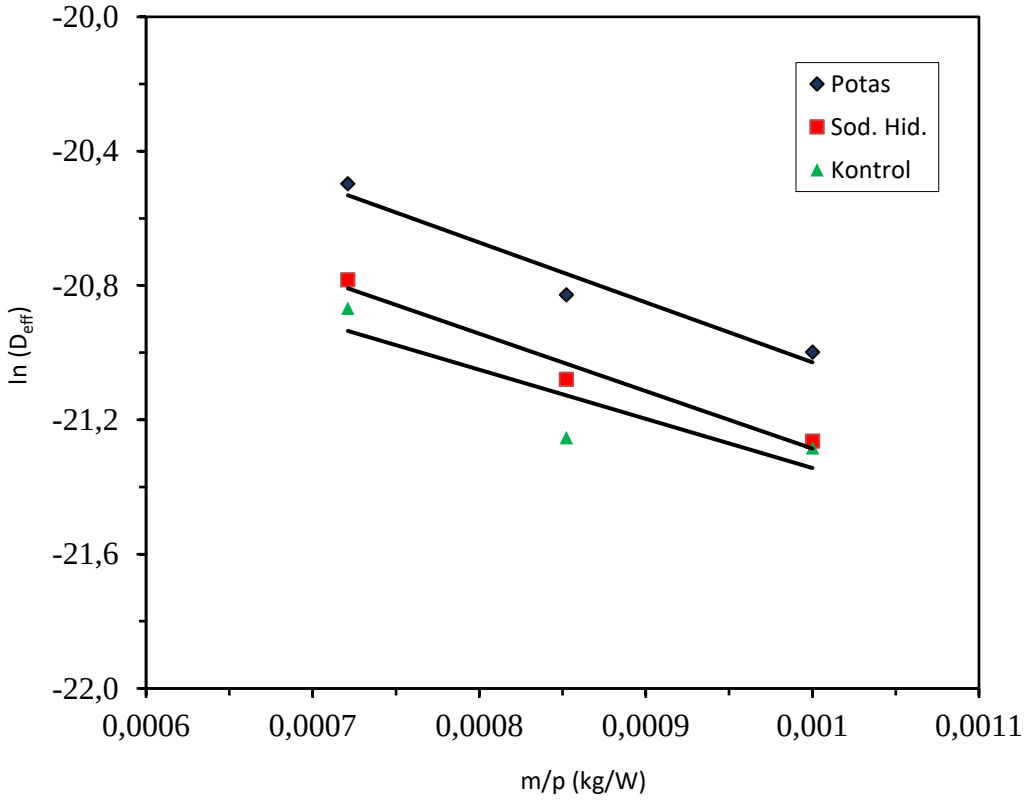


Şekil 5.24 Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi

Polatoğlu ve Beşe [37], ön işlem uygulanmamış kızılcık örneklerinin 0.4, 0.7 ve 1 m/s kurutma havası hızında aktivasyon enerjilerini sırasıyla 44.82, 54.02 ve 58.51 kJ/mol olarak hesaplamıştır. Hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri Zogzas vd. tarafından belirlenen gıda kurutma için aktivasyon değerleri aralığı olan (12.7-110 kJ/mol) ile

uyumludur [50]. Uygulanan ön işlemlerin aktivasyon enerjisini düşürdüğü, Potas ön işleminin etkisinin daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Kızılötesi kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon enerji değerleri hesaplanırken $\ln(D_{eff})$ ile m/p (kg/W) arasında Şekil 5.25'de verilen eğriler çizilmiştir. Bu eğrilerin eğimleri doğrudan aktivasyon enerjisi değerlerini vermektedir. Kontrol, Sod Hid. ve Potas grubu örnekler için aktivasyon enerjileri sırasıyla 1.46, 1.71 ve 1.78 kJ/kg olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.25 Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örnekleri için kızılötesi gücünün efektif difüzyon katsayısına etkisi

5.8 Renk Analizi

Taze ve kabin kurutucu ve kızılötesi kurutucu yöntemleri ile kurutulmuş kızılcık örnekleri için renk ölçümleri yapılmış ve sonuçları (L*, a* ve b*) kaydedilmiştir. Bu veriler kullanılarak metrik renk kroması (C) değeri, Hue açısı (α°) ve toplam renk değişikliği (ΔE) hesaplanmıştır. Renk analizi sonuçları kabin kurutucu için Çizelge 5.12'de, kızılötesi kurutucu için Çizelge 5.13'de gösterilmektedir.

Kabin kurutucu ile kurutulan örneklerin ΔE değerlerinin 18.20-22.24 arasında olduğu, en düşük değerin 75°C sıcaklıkta kurutulan Potas grubu örnekleri için, en yüksek değerin ise 55°C sıcaklıkta kurutulan Kontrol grubu örnekleri için elde edildiği görülmektedir. Sıcaklık artışının ΔE değerini düşürdüğü ve 75°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işleminde değerlerin diğer sıcaklıklara göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Ön işlem uygulaması açısından incelendiğinde ise, Potas uygulamasının en iyi sonucu verdiği görülmektedir.

Kızılötesi kurutucu ile kurutulan örnekler incelendiğinde ΔE değerinin 22.53-23.39 arasında olduğu, IR gücünü arttırmanın ΔE'yi de düşürdüğü gözlemlenmiştir. En düşük ΔE değerinin 104 W IR gücünde kurutulan örneklerde elde edildiği saptanmıştır.

Çizelge 5.12 Taze ve kabin kurutucu ile kurutulmuş kızılcık örneklerinin renk ölçümleri

Grup	**Sıcaklık**	**L***	**a***	**b***	**C**	**α°**	**ΔE**
Taze	-	36.45	25.89	5.41	26.46	12°	-
Potas	55°C	24.18	14.22	-4.74	14.99	341°	19.75
	65°C	26.47	14.78	-5.46	15.76	339°	18.48
	75°C	27.71	15.40	-6.61	16.76	335°	18.20
Sod. Hid.	55°C	22.73	12.68	-5.16	13.69	337°	21.79
	65°C	25.68	14.70	-6.16	15.94	336°	19.38
	75°C	27.66	14.92	-6.58	16.31	335°	18.48
Kontrol	55°C	22.03	12.52	-4.96	13.47	337°	22.24
	65°C	26.18	13.95	-5.75	15.09	336°	19.31
	75°C	27.41	14.35	-6.29	15.67	335°	18.76

Çizelge 5.13 Taze ve kızılötesi kurutucu ile kurutulmuş kızılcık örneklerinin renk ölçümleri

Grup	Güç	L*	a*	b*	C	α°	ΔE
Taze	-	36.45	25.89	5.41	26.46	12°	-
Kontrol	75 W	27.37	7.83	-6.35	10.08	314°	23.39
Kontrol	88 W	30.05	8.37	-7.25	11.07	311°	22.55
Kontrol	104 W	30.55	9.46	-8.82	12.93	306°	22.53

Hue açısı (α°) değerleri incelendiğinde, bu değerlerin kabin kurutucu için 335-341°, kızılötesi kurutucu için ise 306-314° arasında değiştiği saptanmıştır. Kırmızı-turuncu arasında kırmızı rengine yakın olan taze kızılcık renginin, kabin kurutucuda kurutulan ürünlerde koyu kırmızıya (kızıl) dönüştüğü, kızılötesi kurutucuda kurutulan örneklerin ise koyu kırmızı (kızıl) ile magenta rengi arasında bir renge sahip olduğu anlaşılmaktadır. Taze ürüne en yakın renk değeri 55°C sıcaklıkta kurutulan Potas grubu örneklerinde elde edilmiştir. Sıcaklık ve IR gücünün arttırılmasının α° değerini düşürdüğü anlaşılmaktadır.

Canlılığı gösteren C değeri incelendiğinde, değerler kabin kurutucu için 13.47-16.76, kızılötesi kurutucu için ise 10.08-12.93 arasında değişmektedir. Kurutma sıcaklığı ve IR gücünün arttırılması sonucunda C değerlerinde bir artış meydana gelmiştir. C değerlerine göre, en canlı renk 75°C sıcaklıkta kurutulan Potas grubu örneklerinde elde edilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kızılcık örnekleri kabin kurutucuda, kızılötesi kurutucuda ve kombine yöntemle kurutulması işleminin kurutma karakteristiklerine etkisi ve renk değişimleri incelenmiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve infrared gücünün arttırılması ile ön işlem uygulanmasının, kurutma süresine, kurutma hızına ve renk değişimlerine etkisi incelenmiş ve aktivasyon enerjileri ile difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmadan elde edilen veriler ile matematiksel modelleme çalışmaları yapılarak kurutma kinetiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

6.1 Sıcaklığın ve Kızılötesi Kurutucu Gücünün ve Ön İşlemin Kurutma Süresi ve Kurutma Hızına Etkisi

Meyvelerin nem oranı %70.17 olarak tespit edilmiş olup, deneyler kurutulmuş kızılcık örneklerinin %10 nem oranına sahip olduğu ana kadar sürdürülmüştür. Kurutma işlemleri kabin kurutucuda, kızılötesi kurutucuda ve kombine yöntemle (2 saat kızılötesi kurutucuda kurutulan örneklerin kurutma işlemi kabin kurutucuda tamamlanarak) gerçekleştirilmiştir. Kabin kurutucu ve kızılötesi kurutucuda, ön işlem uygulanmamış 1 grup (Kontrol grubu) ve 2 farklı ön işlem uygulanmış grup (Potas ve Sod. Hid. grupları) örnekleri kurutulmuştur.

a) Kurutma havası sıcaklığı ve infrared gücünün etkisi incelendiğinde;

Kızılcık örnekleri kabin kurutucuda 55, 65 ve 75°C kurutma havası sıcaklıklarında, kızılötesi kurutucuda 75, 88 ve 104 W infrared gücünde, kombine yöntemde ise 2'şer saat 75, 88 ve 104 W infrared gücünde kurutulduktan sonra çalışmaya kabin kurutucuda

55, 65 ve 75°C kurutma havası sıcaklıklarında devam edilerek kurutulmuştur. Kurutma işlemi ile kızılcık örneklerinin %70.17 olan nem içeriğinin %10'a düşmesi sağlanmıştır.

Kabin kurutucu yöntemi ile kontrol gubu örneklerinde kurutma havası sıcaklığının 20°C artırılmasının kurutma süresini %61 oranında kısalttığı tespit edilmiştir. Sod. Hid. gubu örneklerinde kurutma havası sıcaklığının 20°C artırılmasının kurutma süresini %58 oranında, Potas grubu örneklerinde ise %56 oranında kısalttığı saptanmıştır.

Kızılötesi kurutucu yöntemi ile kontrol gubu örneklerinde infrared gücünün 29 W artırılmasının kurutma süresini %33, Sod. Hid. grubu örneklerinde %42 oranında, Potas grubu örneklerinde ise %38 oranlarında kısalttığı saptanmıştır.

Kombine yöntemde IR gücü 29 W ve kurutma havası sıcaklığı da 20°C arttırıldığında kurutma süresinin %67 kısaldığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlardan görüleceği üzere kurutma havası sıcaklığının ve infrared gücünün artırılması tüm örnekler için kurutma hızını arttırmakta, buna karşılık kurutma sürelerinde azalma kaydedilmiştir. Bu da kurutma işleminde önemli bir parametre olan enerjiden büyük tasarruf sağlamaktadır.

Kurutma hızı eğrileri incelendiğinde, kurutma havası sıcaklığı ve infrared gücünün arttırılmasının kurutma hızını arttırdığı görülmektedir. Eğrilerden de görüleceği üzere, kurutma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir.

b) Ön işlemin etkisi incelendiğinde;

Kurutma işleminde, örnekler 3 gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan ilki ön işleme tabi tutulmayan Kontrol Grubu, diğerleri ise ön işlem uygulanmış Sod. Hid. ve Potas gruplarıdır.

Kabin kurutucu ile 55°C sıcaklıkta kurutulan örnekler incelendiğinde, Sod. Hid. ve Potas ön işlem uygulanan örneklerde kontrol grubuna göre sırasıyla %30 ve %39 kurutma süresi kısalmıştır. Kızılötesi kurutucu ile 104 W IR gücünde kurutulan örnekler incelendiğinde, Sod. Hid. ve Potas ön işlem uygulanan örneklerde kontrol grubuna göre sırasıyla %13 ve %40 oranlarında kurutma süresi kısalmıştır. Uygulanan ön işlemler kızılcık meyvelerinin yüzeyinde bulunan mumsu tabakanın etkisini azaltarak kurutma hızını arttırmış ve dolayısıyla kurutma süresini kısaltmıştır. Diğer sıcaklıklarda elde edilen

sonuçlar da bu sonuçlar ile uyum göstermektedir. Çalışmada en iyi sonucun Potas ön işlemi uygulanan örneklerde elde edildiği tespit edilmiştir.

6.2 Kurutma Kinetiği

Çalışmadan elde edilen deneysel veriler Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Midilli ve Küçük, Vega-Lemus ve Vega-Galvez teorik model denklemleri kullanılarak kurutma kinetiğini oluşturmak üzere incelenmiştir. Kullanılan tüm modeller için R^2, χ^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde Midilli ve Küçük modelinin kızılcık meyvelerinin kuruma davranışına en uyumlu model olduğu anlaşılmaktadır.

6.3 Difüzyon Katsayıları ve Aktivasyon Enerjileri

Kızılcık meyvelerinin kurutma işlemi için difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Kabin kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin difüzyon katsayısı değerleri, Kontrol grubu örnekleri için 1.295×10^{-10} – 3.766×10^{-10} m^2/s arasında, Sod. Hid. grubu örnekleri için 1.941×10^{-10} – 4.707×10^{-10} m^2/s arasında ve Potas grubu örnekleri için ise 2.412×10^{-10} – 5.472×10^{-10} m^2/s arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kızılötesi kurutucuda kurutulan kızılcık örneklerinin difüzyon katsayısı değerleri, Kontrol grubu örnekleri için 5.707×10^{-10} – 8.649×10^{-10} m^2/s arasında, Sod. Hid. grubu örnekleri için 5.825×10^{-10} – 9.414×10^{-10} arasında ve Potas grubu örnekleri için ise 7.590×10^{-10} – 1.253×10^{-9} m^2/s arasında değiştiği saptanmıştır.

En yüksek difüzyon katsayısının kabin kurutucu için 75°C'de kurutulan Potas grubu örneklerinde 5.472×10^{-10} m^2/s olduğu, kızılötesi kurutucuda kurutulan örnekler için ise 104 W IR gücünde kurutulan Potas gurubu örneklerinde 1.253×10^{-9} m^2/s olduğu anlaşılmıştır. Sıcaklık ve IR gücü arttıkça difüzyon katsayısının arttığı görülmektedir. Ön işlem uygulanan örneklerin difüzyon katsayıları Kontrol grubu örneklerininden daha yüksektir, en yüksek difüzyon katsayısının ise Potas grubu örneklerine ait olduğu görülmektedir.

Kabin kurutucuda kurutulan Kontrol, Sod Hid. ve Potas grubu örneklerin aktivasyon enerjileri sırasıyla 50.74, 42.07, 38.88 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık,

kızılötesi kurutucuda kurutulan örnekler için bu değerler sırasıyla 1.46, 1.71 ve 1.78 kJ/kg bulunmuştur.

6.4 Renk Analizi

Çalışmada taze ve kurutulmuş örneklerin renk değişimlerinin incelenmesi için L*, a*, b* değerleri ölçülmüş ve bunlardan yararlanarak metrik renk kroması (C) değeri, Hue açısı (α°) ve toplam renk değişikliği (ΔE) hesaplanmıştır.

Kurutma havası sıcaklığı ve IR gücü arttıkça, L*, a* ve C değerlerinin arttığı, b*, α° ve ΔE değerlerinin ise düştüğü görülmektedir. Kurutma havası sıcaklığı ve IR gücünün artması ile parlaklığın, kırmızılığın ve canlılığın arttığı, sarılığın azalarak maviliğin arttığı, toplam renk değişiminin ise azaldığı anlaşılmaktadır. Görülebilir renk göstergesi olarak tanımlayabileceğimiz α° değeri incelendiğinde ise, sıcaklığın ve infrared gücünün artışı ile taze kızılcık renginden uzaklaşıldığı anlaşılmaktadır.

Bu sonuçlara göre, görülebilir renk göstergesi açısından en başarılı sonucun 55°C sıcaklıkta kurutulan Potas grubu örneklerine ait olduğu anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Türkiye İstatistik Kurumu, Kızılcık Üretim Verileri, www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=69, 01.06.2018.

[2] Doymaz, İ., (2006). "Drying kinetics of black grapes treated with different solution", Journal of Food Engineering, 76(2):212-217.

[3] Akpınar, E. ve Biçer, Y., (2003). "Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(1):159-169.

[4] Sengul, M., Eser, Z. ve Ercisli, S., (2014). "Chemmical Properties and Antioxidant Capacity of Cornelian Chhery Genotypes Grown in Coruh Valley of Turkey", Acta Scientiarum Polonorum, 13(4):73-82.

[5] Doymaz, İ., (1998). Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[6] Erentürk, S., (2002). Kuşburnu Meyvesinin Kurutulmasında Bazı Parametrelerin Kurumaya ve C Vitamini Miktarına Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

[7] Hasdemir, M., (2010), Taşınım Olaylar III Ders Notları, http://aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=2&USER=1250, 17.01.2010.

[8] Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., (1995). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Palme Yayıncılık.

[9] Yaralı, E., (2017), Gıda Kimyası, http://akademik.adu.edu.tr/myo/cine/webfolders/File/ders%20notlari/Gida%20Kimyasi.pdf., 18.01.2019.

[10] Demirci, M., (2012). Gıda Kimyası, Birinci Baskı, Kişisel Yayınlar, İstanbul.

[11] Kutlu, N., İşçi, A. ve Demirkol, Ö. Ş., (2015). "Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri", Gıda, 40(1):39-46.

[12] Küçük, H., Midilli, M., Kilic, A. ve Dincer, I., (2014). "A Review on Thin-layer Drying-curve Equations", Drying Technology, 32:757-773.

[13] İzli, N., (2012). Bazı Tarımsal Ürünlerin Mikrodalga Konvektif Kurutma Yöntemiyle İnce Tabaka Kurutma Kuramına Göre Kurutulmasında Kurutma

Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

[14] Çolak Güneş, N., (2009). Gıda Kurutma Sistemlerinin Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[15] Torgeson, O. W., (1940). "The Drying Rate of Sugar Maple as Affected by Relative Humidity and Air Velocity", Journal of Forestry, 40(3):218-233.

[16] Büyükbenli, H. A., (2010). Bazı Bitki Ekstratlarının Karideslerde Kararma ve Kalite Değişimleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

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

[18] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel üretim verileri, https://www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf. 01.06.2018.

[19] Okatan, V., (2016). "Determination of Some Physical and Chemical Properties of Native Cornelian Cherry (Cornus mas L.) Distrisct of Almus (Tokat)", Scientific Papers Series B, Horticulture, LX:21-25.

[20] Dokoupil, L. ve Reznicek, V., (2012). "Production and Use of the Cornelian Cherry - Cornus mas L.", Acta Universitas Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, LX(8):49-57.

[21] Didin, M., Kızılaslan, A. ve Fenercioglu, H., (2000). "Malatya'da Yetiştirilen Bazı Kızılcık Çeşitlerinin Nektara İşlenmeye Uygunluklarının Belirlenmesi Üzerinde Bir Araştırma", Gıda, 25(6):435-441.

[22] Aslan, B. G., ve Yazıcı, K., (2017). "Doğanın Bize Sunduğu Görsel Şölen: Yabani Meyveler", Türktob Dergisi, 21:62-65.

[23] Aktepe Tangu, N. ve Şen, A., (2016). "Türkiye'nin İlk Tescilli Kızılcık Çeşitleri "Erolbey 77" ve Yalçınkaya 77" nin Pomolojik Özellikleri", VII. Bahçe Ürünlerinde Muhafaza ve Pazarlama Sempozyumu, 04-07 Ekim 2016, 1(Özel):80-84.

[24] Güleryüz, M., Bolat, İ. ve Pırlak, L. (1998). "Selection of Table Cornelian Cherry (Cornus mas L.) Types in Çoruh Valley", Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22:357-364.

[25] Demir, F. ve Kalyoncu, İ. H., (2003). "Some Nutritional, Pomological and Physical of Cornelian Cherry (Cornus mas L.)", Journal of Food Engineering, 60:335-341.

[26] Tural, S. ve Koca, I., (2008). "Physico-chemical and Antioxidant Properties of Cornelian Cherry Fruits (Cornus mas L.) Grown in Turkey", Scientia Horticulturae, 116:362-366.

[27] Gündüz, K., Saraçoğlu, O., Özgen, M. ve Serçe, S., (2013). "Antioxidant, Physical and Chemical Characteristics of Cornelian Cherry Fruits (Cornus mas L.) at Different Stages of Ripeness", Acta Scientiarum Polonorum, 4(12):59-66.

[28] Hassanpour, H., Hamidoghli, Y., Hajilo J. ve Adlipour, M., (2011). “Antioxidant Capacity and Phytochemical Properties of Cornelin Cherry (Cornus mas L.) Genotypes in Iran”, Scientia Horticulturae, 129:459-463.

[29] Sochor, J., Jurikova, T., Ercisli, S., Mlcek, J., Baron, M., Balla, S., Öztürk Yılmaz, S. ve Necas, T., (2014). “Characterization of Cornelian Cherry (Cornus mas L.) Genotypes - Genetic Resources for Food Productiin in Czech Republic”, Genetika, 46(3):915-924.

[30] Islamovic, A., Mlaco, M., Begic-Akagic, A., Orucev, S., Bulbulusic, A., Ekeberg, D. ve Drkenda, P., (2014). “Seasonal Variation of The Physical and Chemical parameters of Wild Genotype of Cornelian Cherry (Cornus mas L.)”, Journal of International Scientific Publications: Agriculture and Food, 2:466-471.

[31] Rad, Z. S., Pakbin, B., Rahmani, K., Allahyari, S., Karami, K., Mahmoudi, R., Ghajarbeygi, P. ve Kazeminia M., (2016). “Physicochemical Properties of Cornelian Cherry Fruit (Cornus mas L.) Grown in Qazvin Province”, Journal of Biology and Today's World, 12(5):209-212.

[32] Eroğlu, E. ve Yıldız, H., (2011). “Gıdaların Ozmotik Kurutumasında Uygulanan Yeni Tekniklerin Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi”, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2):41-48.

[33] Koyuncu, T., Tosun, İ. ve Pınar, Y., (2007). “Drying Characteristics and Heat Energy Requirement of Cornelian Cherry Fruits (Cornus mas L.)”, Journal of Food Engineering, 78:735-739.

[34] Polatoğlu, B. ve Beşe, A. V., (2012). “Konvektif, Mikrodalga ve Güneşte Kurutma Prosesleri ile Kızılcık (Cornus mas L.) Meyvesinin Kuruma Kinetğinin İncelenmesi ve Matematik Modellenmesi”, Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, İstanbul.

[35] Özgen, F., (2013). “Kurutma Havası Hızının Kızılcığın Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(2):99-105.

[36] Özgen, F., (2015). “Experimental Investigation of Drying Characteristics of Cornelian Cherry Fruits (Cornus mas L.)”, Heat and Mass Transfer, 51:343-352.

[37] Polatoğlu, B. ve Beşe, A. V., (2016). “Etkin Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Değerlerinin Kızılcık (Cornus mas L.) Meyvesinde Belirlenmesi”, Türkiye 12. Gıda Kongresi, 5-7 Ekim 2016, Edirne.

[38] Polatoğlu, B. ve Beşe, A. V., (2017). “Convectine Drying of Cornelian Cherry Fruits (Cornus mas L.) Drying Kinetics and Degradation of Vitamin C”, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2):406-414.

[39] Polatoğlu, B. ve Beşe, A. V., (2017). “Sun Drying of Cornelian Cherry Fruits (Cornus mas L.)”, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1):68-77.

[40] McGuire, R. G., (1992). “Reporting of Objective Color Measurements”, HortScience, 27(12):1254-1255.

[41] Bingöl, G., (2008). Farklı Önişlemlerin Thompson Çekirdeksiz Üzümlerinin Mikrodalga Yardımlı Konvektif ve Yalnız Konvektif Kurutulması Sırasında Kurutma ve Renk Kinetiği Üzerine Olan Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[42] Demiray, E., (2015). Havuç ve Kırmızıbiberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

[43] Baykul, Y. ve Güzeller, C. O., (2014). Sosyal Bilimler İçin İstatistik, Pegem Akademi Yay. Eğt. Dan. Hizm. Tic. Ltd. Şti., 523, Ankara.

[44] Büyüköztürk, Ş., Çokluk, Ö. ve Köklü, N., (2014). Sosyal Bilimler İçin İstatistik, Pegem Akademi Yay. Eğt. Dan. Hizm. Tic.Ltd. Şti., Ankara.

[45] Zhao, D., Wei, J., Hao, Han, X., Ding, S., Yang, L. ve Zhang, Z., (2019). "Effect of Sodium Carbonate Solution Pretreatment on Drying Kinetics, Antioxidant Capacity Changes, and Final Quality of Wolfberry (Lyciumbarbarum) during Drying", LWT - Food Science and Technology, 99:254-261.

[46] Sarıkulak, N., (2017). Kirazın Farklı Kurutuculardа Kurutulması ve Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[47] Taşkın, O. ve İzli, N., (2017). "Kızılötesi Kurutucu ile Hurmanın Kurutulması ve Matematiksel Modellenmesi", Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(Ek sayı):10-15.

[48] Sharma, G. P., Verma, R. C. ve Pathare, P., (2005). "Mathematical Modeling of Infrared Radiation Thin Layer Drying of Onion Slices", Journal of Food Engineering, 71(3):282-286.

[49] Şahin, M., (2014). Brokoli ve Karnabaharın Kurutma Karakteristiklerine Ön İşlem Sıcaklığının ve Süresinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[50] Horecki, A. T., Vakula, A., Pavlic, B., Jokanovic, M., Malbasa, R., Vitas, J., Jacimovic, V. ve Sumic, Z., (2017). "Comparative Drying of Cornelian Cherries: Kinetics Modeling and Physico-Chemical Properties", Journal of Food Processing and Preservation, 2018;42:e13562.

[51] Taşkın, O., İzli, G. ve İzli, N., (2018). "Convective Drying Kinetics and Quality Parameters of European Cranberrybush", Tarım Bilimleri Dergisi, 24:349-358.

[52] Zogzas, N., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D., (1996). "Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs", Drying Technology, 14:2225-2253.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serhat UZ

Doğum Tarihi ve Yeri : 14/11/1989 Eyüp

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : serhatuz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Kimya Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu	Ürün Denetmeni
2014	T.C. Sağlık Bakanlığı	Taşeron Personel Şefi
2013	Anatolia Geneworks	Ankara Bölge Sorumlusu

YAYINLARI

Uluslararası Bildiri

1. Uz, S. ve Doymaz, I., (2018). “Influences of Temperature and Pretreatments on Drying of Cornelian Cherry Fruits (*Cornus mas* L.)”, 1st. International Balkan Chemistry Congress, 17-20 September, 2018, Edirne, p. 127.