T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİLEĞİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

ELİF ÖZENÇ KOLUAÇIK

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

ÇİLEĞİN KURUTMA KİNETİĞİ ve KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif Özenç KOLUAÇIK tarafından hazırlanan tez çalışması 23.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri 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 _____

Doç. Dr. Mehmet MELİKOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi İlknur KÜÇÜK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Lisansüstü bitirme tez çalışmamda her türlü desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bütün süreçte her zaman çözüm üreten ve çalışmalarımda beni yönlendiren değerli tez Hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, her zaman moral veren ve yardımcı olan aileme sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca desteklerini hissettiğim yakın arkadaşlarıma ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ekim, 2019

Elif Özenç Koluaçık

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER iv

SİMGE LİSTESİ.....vii

KISALTMA LİSTESİ.....viii

ŞEKİL LİSTESİ.....ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT.....xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı.....2
1.3 Hipotez.....2

BÖLÜM 2

KURUTMA.....3
2.1 Kurutma İşlemi.....3
2.2 Kurutma Mekanızması.....4
2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler.....6
2.3.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi.....6
2.3.2 Ürünün Boyutları.....7
2.3.3 Sıcaklık.....7
2.3.4 Havanın Hızı..... 7
2.3.5 Havanın Kuruluğu.....7
2.3.6 Atmosfer Basıncı 7
2.4 Kurutmada Meydana Gelen Başlıca Değişimler.....8
2.4.1 Fiziksel Değişimler.....8
2.4.1.1 Yöresel Kuru Madde Birikimi.....8

2.4.1.2 Kabuk Bağlama....8
2.4.1.3 Kitle Yoğunluğundaki Değişmeler....8
2.4.2 Kimyasal ve Diğer Değişmeler....8
2.5 Kurutma Yöntemleri....9
2.5.1 Güneşte Kurutma....9
2.5.2 Solar Kurutma Yöntemi....10
2.5.3 Vakum ile Kurutma Yöntemi....10
2.5.4 Mikrodalga ile Kurutma Yöntemi....11
2.5.5 Dondurarak Kurutma Yöntemi....11
2.5.6 İnfrared Kurutma Yöntemi....12
2.6 Kurutucular....12
2.6.1 Kabin Kurutucular....12
2.6.2 Tünel Kurutucular....12
2.6.3 Akışkan Yataklı Kurutucu....13
2.6.4 Sprey Kurutucular....14
2.6.5 Vakum Bölmeli Kurutucu....14
2.6.6 Döner Kurutucular....15
2.6.7 Dondurarak Kurutucular....16
2.7 Meyvenin Kurutulması....17
2.7.1 Kurutma Yapılacak Meyvelerde Aranan Özellikler....17
2.7.2 Meyve Kurutmada Kullanılan Ön işlemler....17

BÖLÜM 3

ÇİLEK....18
3.1 Çileğin Tarihi ve Özellikleri....18
3.2 Çileğin Bileşimi ve Özellikleri....19
3.3 Çileğin Yararları....19
3.4 Çilek Kurutulması ile İlgili Yapılan Çalışmalar....19

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEMLER....26
4.1 Materyal....26
4.2 Yöntemler....26
4.2.1 Kurutma Sistemi....28
4.2.2 Kuru Madde Tayini....29
4.2.3 Renk Ölçümleri....29
4.2.4 Çilek Kurutma....31
4.3 Matematiksel Modelleme....33
4.4 Difüzyon Katsayısının Hesaplanması....35
4.5 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması....35

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....37
5.1 Sıcak Havalı Kurutucudan Elde Edilen Bulgular.....37
5.1.1 Ön İşlemin, Sıcaklığın Çileğin Kurutma Süresine Etkisi.....36
5.1.2 Kuruma Hızı ile Nem Değişimi.....41
5.1.3 Numune boyutunun Kurumaya Etkisi.....44
5.1.4 Matematiksel Modelleme.....45
5.1.5 Difüzyon Katsayısının Hesaplanması.....54
5.1.6 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....55
5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucudan Elde Edilen Bulgular.....56
5.2.1 Infrared Güç Seviyesinin ve Ön İşlemin Kurutma Süresine Etkisi.....56
5.2.2 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi.....58
5.3 Kombine Kurutmanın (Kızılötesi + Sıcak Hava) ve Ön İşlemin Kurutma Süresine Etkisi.....61
5.4. Renk Analizi.....62

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER.....64
KAYNAKLAR.....66
ÖZGEÇMİŞ.....71

SİMGE LİSTESİ

E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
MR_{exp}	Deneysel nem oranı (birimsiz)
M_e	Denge anindaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
χ^2	Khi-kare
t	Kuruma süresi (dakika)
M	Nem içeriğini (kg su/kg kuru madde)
n	Page model sabiti (birimsiz)
R^2	Regresyon katsayısı
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
MR_{pre}	Tahmini nem oranı (birimsiz)
RMSE	Tahminin standart hatası
M_t	t anindaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_0	t=0 anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
R	Universal gaz sabiti (kJ/(mol.K))
r	Yarıçap (m)

KISALTMA LİSTESİ

IR	Infrared
LDPE	Low Density Polyethylene (Düşük yoğunluklu polietilen)
US	Ultrason
W	Watt

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Nem içeriği – zaman değişim grafiği ……5
Şekil 2.2 Kuruma oranı nem içeriği değişimi……6
Şekil 2.3 Havalı güneş kollektörlü kurutucu ……10
Şekil 2.4 Kabin kurutucu ……12
Şekil 2.5 Tünel Kurutucu ……13
Şekil 2.6 Akışkan yataklı kurutucu……13
Şekil 2.7 Sprey kurutucu ……14
Şekil 2.8 Vakumlu bölmeli kurutucu ……15
Şekil 2.9 Döner kurutucu.. ……16
Şekil 2.10 Dondurarak kurutucu……17
Şekil 3.1 Çilek meyvesi ……18
Şekil 4.1 Çilek kurutulmasında kullanılan kurutucu cihazı ……27
Şekil 4.2 Çilek kurutulmasında kullanılan infrared kurutucu cihazı……27
Şekil 4.3 Etüv……28
Şekil 4.4 Desikatör……28
Şekil 4.5 Hassas terazi ……29
Şekil 4.6 Renk ölçüm cihazı……30
Şekil 4.7 Hunter lab renk skalası ……30
Şekil 4.8 Kurutulma işlemi yapılmadan önceki çileklerin görüntüsü……31
Şekil 4.9 Terazi……32
Şekil 4.10 Plastik gıda paketleyici cihaz……33
Şekil 5.1 45°C'de Kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi……38

Şekil 5.2 50°C'de Kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi……39

Şekil 5.3 55°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi……39

Şekil 5.4 60°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi ……40

Şekil 5.5 65°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi……40

Şekil 5.6 45°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi……41

Şekil 5.7 50°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi……42

Şekil 5.8 55°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi……42

Şekil 5.9 60°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi……43

Şekil 5.10 65°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi…… 43

Şekil 5.11 60°C'de kurutulan bütün ve yarım çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi …… 45

Şekil 5.12 45°C'de kurutulan çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması....51

Şekil 5.13 50°C'de kurutulan çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması...52

Şekil 5.14 55°C'de kurutulan çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması.....52

Şekil 5.15 60°C'de kurutulan çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması.....53

Şekil 5.16 65°C'de kurutulan çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması.....53

Şekil 5.17 Farklı sıcaklıklarda kurutulan çileklere ait hesaplanan efektif difüzyon katsayıları……55

Şekil 5.18 Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi……55

Şekil 5.19 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş kontrol kodlu çileklerin nem içeriği-kurutma süresi grafiği……57

Şekil 5.20 Farklı güç seviyelerinde potas kodlu çileklerin nem içeriği-kurutma süresi grafiği……58

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Güneşte kurutulan meyvelerin bazı özellikleri.....9

Çizelge 4 .1 Çilek kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler.....35

Çizelge 5.1 Çilek numunelerinin kuruma süreleri.....37

Çizelge 5.2 Yarım ve bütün çilek numunelerinin kuruma süreleri.....44

Çizelge 5.3 45°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler.....46

Çizelge 5.4 50°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler.....47

Çizelge 5.5 55°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler.....48

Çizelge 5.6 60°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler.....49

Çizelge 5.7 65°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler.....50

Çizelge 5.8 Farklı sıcaklıklarda kurutulan çileklerin efektif difüzyon katsayısı değerleri.....54

Çizelge 5.9 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş çileklerin toplam kuruma süreleri.....57

Çizelge 5.10 50, 62 ve 74 W güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulmuş çileklerin kurutma modellerinin istatiksel sonuçları.....59

Çizelge 5.11 88 ve 104 W güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulmuş çileklerin kurutma modellerinin istatiksel sonuçları..... 60

Çizelge 5.12 Kombine kurutma ile kurutulan örneklerin kurutma süreleri.....61

Çizelge 5.13 Taze ve farklı ön işlem ve sıcaklıklarda kabin kurutucuda kurutulan çilek örneklerinin renk parametreleri.....62

Çizelge 5.14 Farklı güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulan kontrol kodlu çilek örneklerinin renk parametreleri.....63

ÖZET

ÇİLEĞİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif Özenç KOLUAÇIK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Çilek meyvesi kolay yetişen bir üründür. Çilek otsu bitki çeşidine girmektedir. Kökleri iyi uzanan, toprakta yatay çekilde büyüyen özelliğe sahiptir.

Kurutma, gıda ürünlerinde mikrobiyal büyümeyi engellemek ve biyokimyasal reaksiyonları geciktirmek için uygulanan bir ayırma işlemidir. Bu sebeple çileğin farklı kurutucularda kurutma davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Çeşitli ön işlemlerin kuruma süresi ve çilek kalitesi üzerine etkisi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çilekler, farklı ön işlem çözeltileri (potasyum karbonat ve sitrik asit) ile ön işlemden geçirildikten sonra kabin kurutucusunda farklı sıcaklıklarda (45, 50, 55, 60 ve 65°C) kurutuldu. Sonuçlar, ön işlemli numunelerin ön işlemsiz numunelerden daha hızlı kuruduğunu göstermiştir. Potasyum karbonat çözeltisine daldırılmış numuneler, kurutulmuş diğer numunelere kıyasla en düşük kuruma süresine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Matematiksel modelleme çalışmalarında Lewis, Henderson & Pabis, Logaritmik, Midilli & Küçük, Wang & Singh, Weibull ve Agbashlo vd. modelleri olmak üzere yedi model değerlendirilmiştir. Midilli & Küçük modeli, en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Fick'in ikinci yasasına dayanarak efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak potasyum karbonat çözeltisi ile önişleme tabi tutulan örneklerin D_{eff} değerleri diğer örneklere göre daha yüksektir.

Ayrıca, ikiye ayrılmış numuneler için sıcak havalı kabin kurutucuda kurutma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuca göre de numunenin yüzey alanı arttığından kurutma hızı arttığı dolayısıyla kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kızılötesi kurutucuda da sırasıyla 50, 62, 74, 88 ve 104 W'lık infrared güç seviyelerinde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. 104 W infrared güç seviyesinde kurutma süresi en az olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, Midilli & Küçük modeli infrared kurutma çalışmalarında en uygun olduğu tespit edilmiştir.

Kombine kurutmanın etkisini incelemek amacıyla ön işlemli ve ön işlemsiz çilek numunelerinin kızılötesi kurutucuda 1 ve 2 saat kurutulmasının ardından kurutma işlemine 55°C'deki sıcak havalı kabin kurutucuda devam edilmiştir. Kurutma süreleri incelendiğinde ise kızılötesi kurutucuda kurutma süresi arttıkça örneklerin toplam kurutma süresinde azalma görülmüştür.

Her iki kurutucuda kurutulan çilek örneklerinin renk analizleri yapılmıştır. Kabin kurutucuda 65°C'de ile infrared kurutucuda 104 W gücünde kurutulan çilek numuneleri en yüksek L ve b değerlerine ve buna karşılık en düşük a değerine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Aktivasyon enerjisi, çilek, kurutma, matematiksel modelleme, ön işlem çözeltisi

ABSTRACT

DRYING KINETICS OF STRAWBERRY AND INVESTIGATION OF QUALITY CHARACTERISTICS

Elif Özenç KOLUAÇIK

Department of Chemical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Strawberry fruit is an easy to grow product. It is introduced into the herbaceous plant variety. It has features that extend its roots well, growing in horizontal motion in the soil.

Drying is a separation process applied to prevent microbial growth in food products and to delay biochemical reactions. For this reason, drying behaviour of strawberry in different dryers was investigated experimentally.

On the effect of various pre-treatments on drying time and strawberry quality. The strawberries were dried at different temperatures (45, 50, 55, 60 and 65 °C) in the cabinet dryer after being pre-treated with different pre-treatment solutions (potassium carbonate and citric acid+ascorbic acid). Results indicate that pre-treated samples dry faster than non-treated samples. Samples immersed in potassium carbonate solution were observed to have the lowest drying time compared to other dried samples.

In mathematical modeling studies, Lewis, Henderson & Pabis, Logarithmic, Midilli & Küçük, Wang & Singh, Weibull and Agbashlo et al. models were evaluated. Midilli & Küçük model has been found to be the most suitable model. Effective diffusion coefficient (D_{eff}) values were calculated based on Fick's second law. As a result, the D_{eff} values of the samples subjected to pre-treated with potassium carbonate solution are higher than the other samples. Furthermore, the samples sliced in half are dried in a hot air cabinet dryer. According to the results obtained from this study, it was found that drying rate increased and drying time decreased because surface area of sample increased.

Infrared drying was carried out by applying 50, 62, 88 and 104 W infrared power respectively. At power level of 104 W, the drying time was minimal. In the same way, Midilli&Küçük model was found to be most suitable for infrared drying studies.

In order to examine the effect of combined drying, pre-treated and non-treated strawberry samples were dried in infrared dryer for 1 and 2 hours and drying process was continued in hot air cabinet dryer at 55°C. When the drying times were examined, the total drying time of the samples decreased as the drying time increased in the infrared dryer.

Color analysis of strawberry samples dried in both dryers was performed. The strawberry samples dried at 65°C in cabinet dryer and 104 W in infrared dryer have the highest L and b values and the lowest a value.

Keywords: Activation energy, strawberry, drying, mathematical modeling, pretreatment solution.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gıdaların kurutulma işlemi en eski yöntemlerden biridir. Bu sayede çeşitli gıdalar kurutularak dayanıklı hale gelir. Doğada kurutma işlemi kendi kendine gerçekleşir. Kurutma işlemleri maliyet açısından basit yöntemlerde gerçekleştirilmektedir. Kurutma işlemleri pratikte çoğunlukla ilkel olarak uygulanmaktadır. Teknolojik özellikleri bilinmeyen gıdaların kurutulmasında değişik zorluklarla karşılaşılmaktadır [1].

Doğal kurutmada gıdaların teknolojik özelliklerinin bilinmesi yeterli olmamaktadır. Çünkü doğal kurutma şartlarını gıdanın teknolojik özelliklerine göre ayarlamak oldukça zordur. Doğal şekilde kurutma işleminde teknolojik gereçlere ihtiyaç yoktur.

Türkiye'de kurutma işlemi güneş altında ve açık atmosfer koşullarında yapılmaktadır. Güneş altnda kurutma yöntemiyle meyve ve sebzelerin kalitesi belirlenmektedir. Bunun dışında alternatif kurutma yöntemkeri de uygulanmaktadır [2].

Çilek meyvesi de gerek kullanım alanları gerek yararları bakımında önemli bir meyvedir. Dünyada ve ülkemizde yaygın tüketime sahip bir meyvedir. Çilek meyvesi, üzümsü meyveler grubuna giren türlerden en önemlisidir. Çilek meyvesi gerçek bir meyve olmayıp yenen kısmı 40-60 kadar pistilin birleştiği çiçek tablasıdır. Çilek yüzeysel kök yapan otsu bir bitkidir. Çileğin özellikle son yıllarda dünyada ve ülkemizde giderek önem kazanmasında en büyük etken değişik iklim ve toprak koşullarında ekonomik olarak yetiştirilmesi olmuştur [3].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, çilek meyvesinin farklı kurutucu tipi ve farklı sıcaklıklarda kurutulması incelenecektir. Sıcak havalı kabin ve kızılötesi kurutuculardа farklı parametrelerle ön işlemli (potasyum karbonat ve sitrik asit+askorbik asit) ve ön işlemsiz kurutulacak çilek örneklerinin kurutma karakteristikleri belirlenecektir. Kurutma işlemi sonrası elde edilecek verilerden yararlanarak kurutma eğrileri (nem içeriği-kurutma süresi ve kurutma hızı-nem içeriği) oluşturulacaktır. Kurutma işlemi çeşitli matematiksel modellerle test edilecektir. Ayrıca, elde edilen verilerden yararlanılarak efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi de hesaplanacaktır. Bunlara ek olarak kurutma koşullarının, örneklerin rengi üzerindeki etkisi incelenecektir.

1.3 Hipotez

Çilek meyveleri farklı sıcaklıklarda sıcak havalı kurutucu ve kızılötesi kurutucuda kurutulmuştur. Deneysel verilerden yararlanılarak çilek meyvesinin kurutma eğrileri, efektif difüzyon katsayıları, aktivasyon enerji tespit edilmiştir. Renk analizi yapılarak kurutmanın meyvenin fiziksel görüntüsüne etkisi incelenmiştir. Matematiksel modellemelerle en uygun kurutma modeli seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar çilek kurutma alanında yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı beklenmektedir. Sonuç olarak, yapılan çalışma literatürde yer alan çalışmalara katkı sağlayacağı beklenmektedir.

BÖLÜM 2

KURUTMA

2.1 Kurutma İşlemi

Gıdaların kurutulması en eski işlemlerden biridir. Gıdaların kurutulup korunması için genelde güneş kaynağından yararlanılmıştır [4]. Gıdanın içindeki canlıların yaşamını sürdürmesi için için belli seviyede su bulunmalıdır. Gıdaların kurutulmasındaki temel sebep içindeki su miktarını azaltacak seviyeye düşürmektir. Kurutma sisteminde suyun uzaklaştırılması sıcaklıkla etkili olur [3]. Doğal kurutma metodlarında kurutma işlemi sırasında gıdanın dışından içine doğru sıcaklık değişimi gerçekleşmektedir. Bu sayede gıdada düzgün bir nem dağılımı gerçekleşir. Gıdaların bozulmaması ve morfolojisinin değişmemesi için kurutma işlemi uygundur. Bunun yanında nemin azaltılması, aroma, koku ve besin kalitesi de muhafaza edilir [5]. Birçok durumlarda kurutma gıdada suyun uzaklaşmasıyla gerçekleşir.

Gıda maddeleri kuru madde ağırlıklarının birkaç katı nem tutma özelliğine sahip higroskopik maddeler olup, kılcal-gözenekli yapıya sahiptirler. Gıda maddelerinin kurutulmasındaki en önemli konulardan biri gıda maddesindeki suyun rolüdür [6].

Gıda maddeleri üretildikleri andan itibaren, tüketime kadar geçen süre içerisinde, birçok enzimatik, mikrobiyolojik ve kimyasal olaylar sonucu hızla bozulma eğilimindedir. Bu bozulmada yapılarında %98'lere kadar değişen oranlarda bulunan su en önemli rolü oynamaktadır. Kurutulmuş son üründe, hammaddenin ve son ürünün karakterine,

ambalajlama ve depolama şartlarına göre değişmekle birlikte, %3 ile %20 seviyelerinde su bulunabilmektedir. Gıdanın başlangıçta sahip olduğu yüksek miktardaki suyun bu seviyelere kadar azaltılabilmesi için farklı kurutma teknikleri uygulanmaktadır [7].

Türkiye'de kurutulan gıdaların bir kısmı yurt dışına ihraç edilir. Kurutulan gıdalardan %63'ü yurtdışına ihraç edilmektedir ve ihracat gelirinin %80'nini oluşturmaktadır [8]. Kurutulmuş gıdalar diğer yöntemlerle dayandırılanlardan farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmıştırlar.

Ayrıca kurutma birçok metoda nazaran daha ucuz bir muhafaza yöntemi olup, daha az işçilik, daha az donanım, ürünlerin depolanma ve taşınmasında da daha az masraf gerekmektedir. Kurutulmuş gıdalar birçok alanda kullanılır [9].

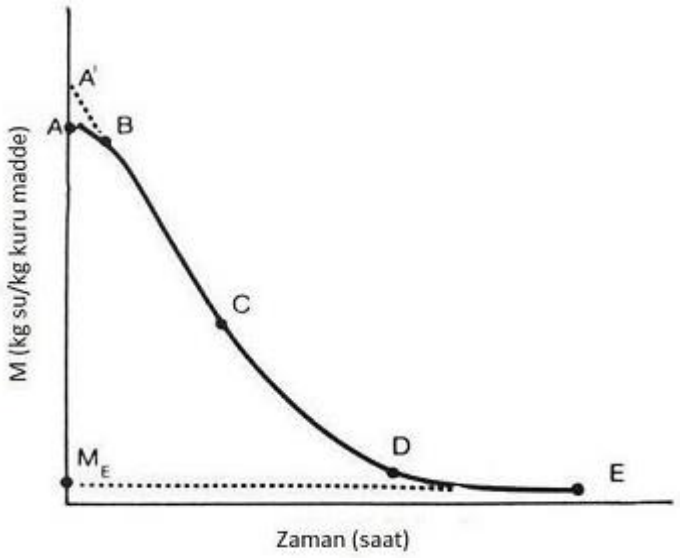
Dünyada kurutulmuş gıdaların büyük çoğunluğu Türkiye'den ihraç edilmektedir. Gelecek yüzyılda da verilerin artması beklenmektedir [4].

2.2 Kurutma Mekanizması

Katılardaki nem bağlı nem ve bağlı olmayan nem olarak ayrılmaktadır. Bağlı olmayan nem iki yöntemle uzaklaştırılmaktadır. Bunlar evaporasyon ve vaporizasyon yöntemleridir. Her iki yöntemde buharlaştırma prensibine dayanır ve fakat arada bazı farklılıklar barındırır. Evaporasyon; katı yüzeyindeki buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olduğunda gerçekleşen buharlaşma işlemidir. Eğer maddenin kurutulması, ısıya duyarlı ise evaporasyon olayındaki sıcaklık, kaynama sıcaklığı, basıncın düşürülmesiyle azaltılabilir. Eğer basınç üçlü noktanın altına düşürülürse, sıvı faz yok olur ve materyaldeki nem donmuştur. Bu halde bir maddenin ısıya maruz kalması buzun doğrudan su buharına süblimleşmesine neden olur ve dondurarak kurutma işlemi gerçekleşmiş olur. İkinci yöntemde, vaporizasyon, kurutma konveksiyonla gerçekleşir ve bu sıcak havanın doğrudan ürüne iletilmesidir. Hava ürün tarafından soğutulur ve nem üründen havaya transfer olur. Bu takdirde katı üzerindeki nemin doygun buhar basıncı atmosferik basınçtan daha azdır.

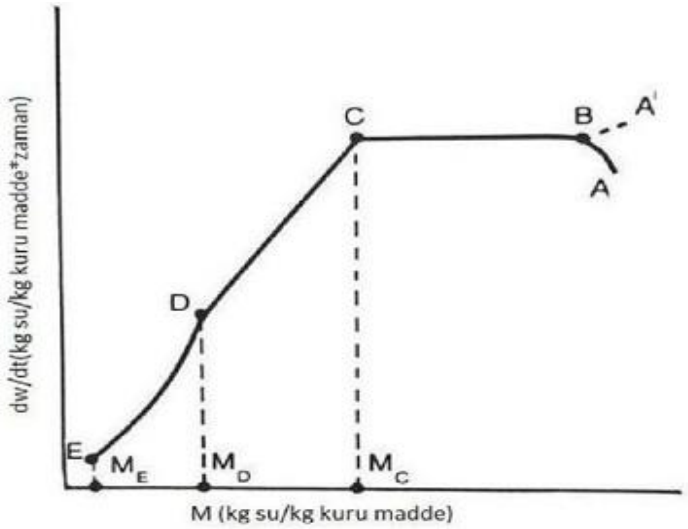
Katının kuruma davranışı nem içeriği kaybının zamana oranlanmasıyla karakterize edilebilir. Şekil 2.1 tipik bir higroskopik ürünün kuruma zaman eğrisini betimlemektedir. Su içeren

ürünler nem içeriklerine göre farklı kuruma davranışları gösterir [10]. Hava kurutma proseslerinde, sabit debi periyodu ve azalan debi periyodu olmak üzere genellikle iki periyod vardır.



Şekil 2.1 Nem içeriği – zaman değişim grafiği [10]

AB eğrisi başlangıçta sabit olmayan, ısınma periyodunu gösterir. Bu sabit olmayan ayarlama periyodu genellikle çok kısadır ve bazen kurutma zamanı analizlerinde ihmal edilmektedir. BC sabit debi periyodudur. Kuruma hızının nem içeriğine karşı çizilen Şekil 2.2'de aynı noktalar işaret edilmiştir. Sabit debi periyodu esnasında, katının yüzeyi başlangıçta çok ıslak ve sürekli bir film tabakası mevcuttur [11]. Su katı yüzeyini uçma ve buharlaşma yolu ile terk eder. Bu esnada kapiler kuvvetler sayesinde katı içerisinden yüzeye nem iletilir. Bu periyotta kuruma katı yüzeyinden hava akımı içerisine kütle transferi şeklinde olur.



Şekil 2. 2 Kuruma oranı nem içeriği değişimi [11]

Havadan katıya olan ısı transferi, taşınımla olup iletim ve radyasyon ihmal edilebilir [12]. Bu bilgilere göre suyun daha kolay uzaklaşması söz konusudur. Gıda ürünlerinde suyun uzaklaştığı dönem, sabit kuruma hızı periyodu olarak geçer. Periyot sabit olarak kalır. Gıdadan su azaldıkça, güç kapasitesi artar.

Kuruma eğrisinde dikkati çeken en önemli nokta kritik nem düzeyini gösteren noktadır. Gıdada kritik nem dengeye ulaştığında su miktarı eşitlenir [13].

2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

2.3.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi

Gıdanın kimyasal oranı kuruma periyodunda değişmektedir. İçerisinde mineral oranı fazla olan gıdaların kurutması zorlaşır. Çözünme oranı da kurutmayı olumsuz etkiler. Üründe yağ içermesi de kurutmayı etkiler. Meyvelerde hücreler arası uzaklık kurutmayı etkilemektedir. Ürününün haşlanmış olması da kuruma süresini kolaylaşır [14].

2.3.2 Ürünün Boyutları

Kurutma hızı ürünün boyutuyla ters orantılıdır. Bundan dolayı kurutma hızını da etkiler. Böylece kuruma hızı olumlu yönde etkilenir. Bazı ürünlerde boyutun küçültülmesi zordur. O yüzden tüketici isteği ve uygunluğu açısından uygun boyuta karar verilmelidir [15].

2.3.3 Sıcaklık

Sıcaklık kurutma için en önemli parametrelerdendir. Ürünün sıcaklığı kurutma hızını nem oranı süresini etkilemektedir. Ortamdaki sıcaklık artıkça su uzaklaştırma oranı artar. Kurutmada kullanılan ısıtıcı ortamın sıcaklık derecesi, ısıya duyarlı gıdalar söz konusu olduğunda süre ile ilişkili önemli bir değişken olmaktadır. Kısa süreli yüksek sıcaklık kurutma yöntemleri ürünlere, uzun süreli düşük sıcaklık kurutma yöntemlerinden daha az zarar vermektedir [3].

2.3.4 Havanın Hızı

Havanın hızı kurutmayı etkileyen parametrelerden biridir. Havanın hızı arttmasıyla birlikte kurutma hızı da artar. Ancak bu artış belli bir değere kadar devam eder.

2.3.5 Havanın Kuruluğu

Havanın kuruluğu kurutma sıcaklığını etkiler. Kurutulmakta olan gıdayla hava nemi arasında bir denge oluşuncaya kadar kurutma işlemi devam eder.

2.3.6 Atmosfer Basıncı

Ortamdaki basınç azaldıkça kurutmayla birlikte buharlaşma hızlanır [15].

2.4 Kurutmada Meydana Gelen Başlıca Değişmeler

2.4.1 Fiziksel Değişmeler

2.4.1.1 Yöresel Kuru Madde Birikimi

Gıdaların kurutulmasında kuru madde birikimi önemlidir. Ürünün dışından içine doğru madde kaybı olur. Suyun uzaklaşmasıyla kuru madde oranı artar iç kısımlarla dengeye ulaşması gerekir. Bu nedenle dış kısımda veya ürünün iç kısmında madde birikebilir. Ürünün içinde madde biirkirse çeperlerine basınç uygular ve yarık oluşturarak ürünün uzaklaşmasına sebep olur. Böylece ürünün yüzeyinde yapışkan madde oluşur [5].

2.4.1.2 Kabuk Bağlama

Kabuk bağlanması kurutma şartlarının yanlış seçilmesi sonucu gerçekleşir. Ürünün yüksek miktarda sıcaklığa marız kalmasıyla oluşabilir. Yüzeyde oluşan kabuk ürün içine basınç uygular ve gerilmesini sağlar. Ürünün üzerinde sert tabaka kurutma boyunca yüzeyi kaplar [5].

2.4.1.3 Kurutulmuş Ürünün Rehidrasyon Yeteneği

Rehidrasyon kurutulmuş ürünün su alarak eski haline dönme yeteneğidir. Ürün ne kadar su alıp eski haline dönerse yüksek kaliteye sahip olduğu tespit edilir. Rehidrasyon yeteneği güneşte kurutmaya göre dondurarak kurutmada daha iyi sonuç verir.

Rehidrasyon özelliği bütün ürün dışında toz halindeki gıdalar için de uygulanabilir [5].

2.4.2 Kimyasal ve Diğer Değişmeler

Kurutulmuş gıdalarda kimyasal ve diğer değişimler gözlemlenebilir. Ürünün renginin koyulaşması, tadında ve aromasında değişim, akışkanlığının değişmesi, madde birikimi değerleri değişebilir. Renginin koyulaşması gerçekleşen kimyasal tepkimeler sonucu olabilmektedir. Rengin koyulaşmasını engellemek için SO_2 gazı kullanılabilinir. SO_2 ürünün

rengini korur ancak açık renkli ürünlerde uygulanmaz. Kurutulmuş ürünlerde madde kayıpları meydana gelebilir. Örnek olarakl gıdada vitamin ve bazı çözeltilerilerin kaybına yol açabilir. Kurutulmuş gıdaların madde kaybı kurutma şartları ve kurutma metoduna bağlıdır [5].

2. 5 Kurutma Yöntemleri

2.5.1 Güneşte Kurutma

Güneşte kurutma doğal bir şekilde basit bir kurutma yöntemidir. Bu metod çoğu meyve ve sebzenin kurutulmasında kullanılır. Güneş enerjisinden faydalanarak ortmalama 8–10 günde tamamlanmaktadır. Gıda yapısına bağlı olarak beton branda ve beze serilmiş şekilde kurutulur. Güneşte kurutulmuş gıdaların fiziksek görüntüsünde olumsuzluklar gözlemlenebilir**.** Çizelge 2.1'de güneşte kurutulmuş bazı meyvelerin özellikleri belirtilmiştir [15].

Çizelge 2.1 Güneşte kurutulmuş ürünlerin özellikleri

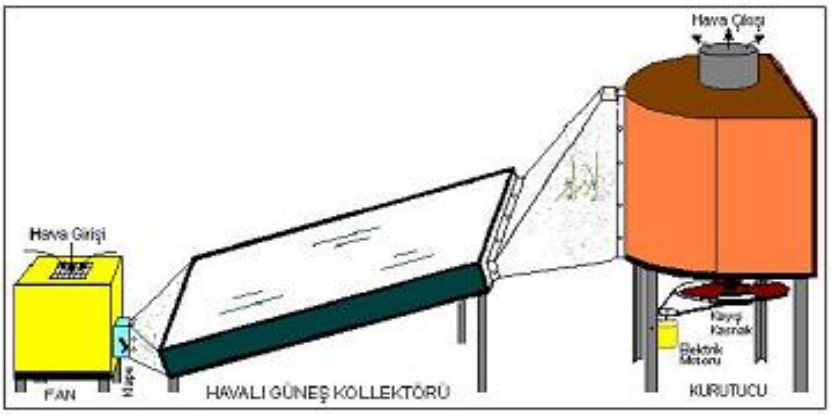
Meyve	**Verim (%)**	**Nem Oranı (%)**	**Kuruma Süresi (gün)**
Çekirdeksiz üzüm	25-28	12-15	8-10
Kayısı	20-30	15-20	5-6
Erik	25-30	16-19	7
Elma	11-12	3-5	15-18

Ürünler güneşte kuruduğunda zararlı canlılardan hasara uğramakta ve kalitesi düşmektedir. Kötü koşullara karşı:

- Kurutulmuş gıdalar uygun zamanda hasat edilmelidir.
- Hasadı doğru şartlarda yapılmalıdır.
- Ürünün sapı, çöpü, yaprağı, taşı uzaklaştırılmalıdır.
- Ürün temiz olması ve ilaçtan uzaklaştırılmak için yıkanmalıdır.
- Bütün, parça ve dilim ürünlere ayrı işlemler yapılmalıdır.
- SO_2 işlemi yapılarak muhafaza edilmelidir.

- SO_2 işlemi yapılmayan ürünler zararlı böceklere karşı korunmalıdır.
- Ürünün kalitesine uygun paketleme yapılmalıdır.
- Depo koşullarının uygun olmasın önem verilmelidir [15].

Şekil 2.3'te görülen havalı güneş kollektörlü kurutma sistemi; güneşten faydalanılarak oluşturulan bir kurutma çeşididir. Sıcak havalarda güneşten, güneş olmadığında katı, sıvı veya gaz yakıtların oluşturduğu sıcaklıklardan faydalaranak oluşturulur. Maliyeti ucuz olduğu için ve yüksek kalitede ürün elde imkânı sağladığı güneşten sonra tercih edilebilir [16].



Şekil 2.3 Havalı güneş kollektörlü kurutucu [16]

2.5.2 Solar Kurutma Yöntemi

Solar kurutma son zamanlarda gelişen teknolojiyle birlikte uygun bir yöntem olmaya başlamıştır [17]. Bu yöntemde elektrik enerjisi yerine güneş enerjisi kullanılırak hava sıcaklığı arttırılır ve suyun uzaklaştırılması sağlanır. Ürün maliyeti az ve kullanımı kolaydır. Olumsuz yönü ise sıcaklık kontrol edilemez bu da kurutulmuş ürünün kalitesini olumsuz etkiler [18].

2.5.3 Vakum ile Kurutma Yöntemi

Kurutma süresi uzun olan gıdalarda vakum ile kurutma işlemi uygulanır [19]. Bu yöntemle kuruma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir [20]. Vakum ürünün içindeki su miktarını kolay

uzaklaştırmaya yarar. En önemli özelliği ise kimyasal reaksiyonlara engel olduğu için ürünün kalitesinin korunmasını sağlar [19].

2.5.4 Mikrodalga ile Kurutma Yöntemi

Mikrodalgayla kurutmada elektrik enerjisinden yararlanarak direkt kurutulmak istenen su hedeflenen bölgeden uzaklaştırılır [5]. Ürünün içerisindeki nem ısınır ve basıç farkıyla merkezden dışarıya doğru sıvı transferi gerçekleşir. Bu yöntemle ısı iletimi kolay gerçekleşir. Mikrodalgayla kurutmanın faydaları dışında olumsuz yanları da vardır. Ürün maliyetinin fazla olması, ürünün morfolojik olarak zarar görmesi ve ortamda yanlış kullanımın getirdiği güçlükler sayılabilir. Bu nedenle mikrodalga kurutma metodu diğer metodlarla birlikte uygulanmaya başlamıştır [4].

2.5.5 Dondurarak Kurutma Yöntemi

Bu yöntemle kurutulacak ürün önce dondurulur. Üründeki su miktarı buz formuna dönüştürülür. Buz katı formdan buhar formuna geçirilir. Kurutma işlemi dondurarak ve kurutularak iki kısımdan oluşmakta olup sıcaklık eksilere kadar düşmektedir. Dondurarak kurutmada vakum işlemiyle soğuma gerçekleşir. Bu gıdalarda nem oranı az ve saklama süreleri oldukça yüksektir. Güneş enerjisiyle kurutmaya oranla oldukça dezavantajları olmasına rağmen maliyet olarak uygundur [6]. Dondurarak kurutmanın avantajları:

- Ağırlığı ve hacmi düştüğü için taşınma maliyeti de azalır.
- Ürün hacminin azalmasından dolayı paket tasarrufu sağlanır.
- Başka kurutma işlemlerine oranla yüksek kalitede ürün sağlar.
- Ambalajın deformelerine karşın bozulma imkânı azdır.
- Maliyetleri daha uygundur.
- Besin miktarı açısından yoğundurlar.
- Tazelik ve besin miktarı korunur [6].

2.5.6 İnfrared Kurutma Yöntemi

İnfrared (kızılötesi) kurutma işlemi basit kurutmaya oranla daha kıza zamanda, yüksek verimde ve yüksek kalitede ürün sağlar. Kızılötesi kurutmada dalga boyu görünür ışıkla yayılım sağlar. Kızılötesi ısıtma dalga boyuyla gerçekleşip bir ürünü ısıtmada, kurutmada ve muhafaza etmede kullanılır. Isıl verimliliği yüksek olduğu için kurutma için eleverişlidir [21].

2.6 Kurutucular

Kurutma işlemlerinde uygun kurutucular uygun sıcaklık ve basınca göre belirlenir.

2.6.1 Kabin Kurutucular

Şekil 2.4'de gösterilen kabin tipi kurutuculardа uygun tepsilerden oluşan bölmeler yer almaktadır. Kabindeki tepsiler sıcak havayla temas ettirilip kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kabin kurutucular basıncı azalmasını sağlar ve nemin ısınma sıcaklığını düşürür ve ürünün kalitesini arttırır. Kabin tipli kurutucular kesintili çalıştığı için yüksek verim sağlanamaz [22].

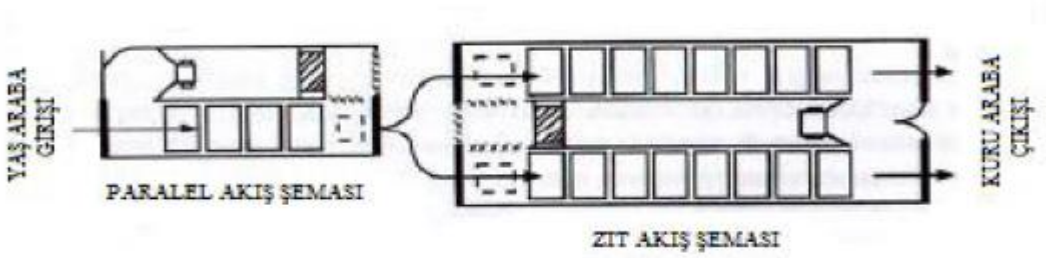


Şekil 2.4 Kabin kurutucu [22]

2.6.2 Tünel Kurutucular

Tünel kurutucu sistemi durmadan devam eden kurutucu tipidir. Kurutulması gereken gıdanın madde birikimi yüksek homojen yapıda su içerdiği zaman tünel kurutucu uygundur. Kurutulma hızı yavaş olması gereken gıdalar bu kurutucuda kurutulması gerekir. Tünel kurutucular tavalardan oluşur ve tavalar tekerlekli araba üzerine konulur. Ürün tavanın üzerine yerleştirilir. Isıtılma ve buharlaştırılma işlemi tünelin içinde gerçekleşir. Gıda

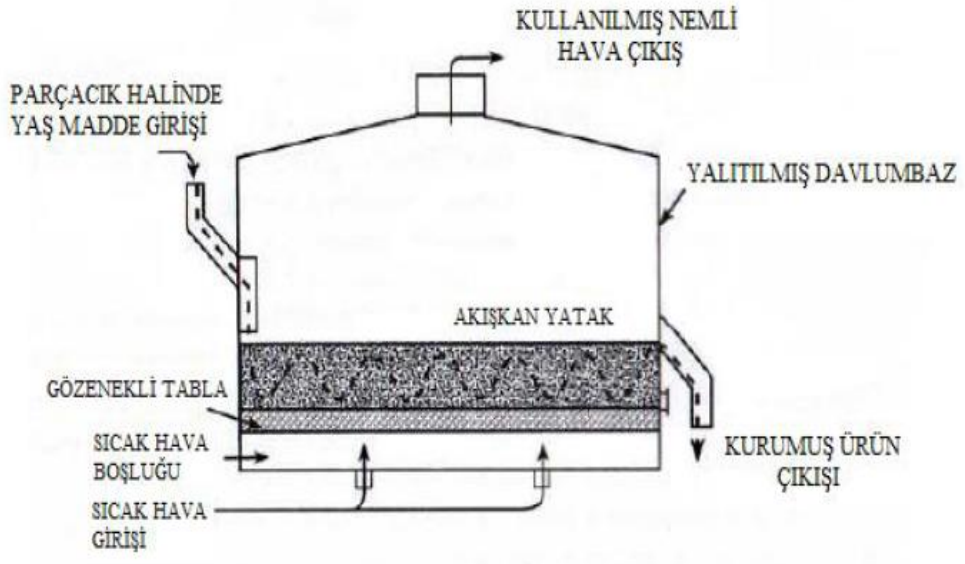
kurutucunun içinde havayla aynı yönde veya zıt yönde gider [23]. Şekil 2.5'de tünel kurutucuya örnek verilmiştir.



Şekil 2.5 Tünel kurutucu [23]

2.6.3 Akışkan Yataklı Kurutucu

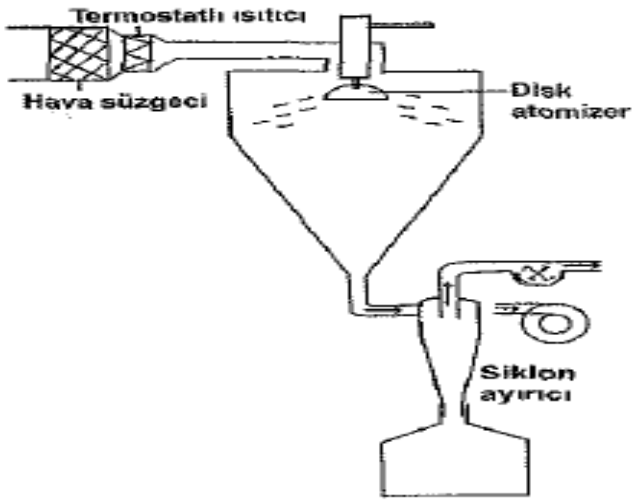
Akışkan yataklı kurutucu sisteminde ürün sıcak hava akımıyla asılı şekilde duracak posizyonda yerleştirilir. Gıda ürünün kurutucuda taşınması için yatay durumda hava da yer alabilir. Üründe ısıl iletimle kurutma gerçekleşir. Şekil 2.6'daki akışkan yataklı kurutucular, sebzelerin, şekerin ve kakaonun kurutulmasında yararlanılır [6].



Şekil 2.6 Akışkan yataklı kurutucu [23]

2.6.4 Sprey Kurutucular

Bu kurutuculardа sıvı formda veya çok ince katı zerrecikler ürünler ısınmış havanın içerisine püskürtülür. Kurutma işlemı kısa sürede gerçekleşir. Bu sebeple bu yöntem uzun süreli kurutmaya dayanıklı olmayann gıdalar için oldukça elverişlidir. Şekil 2.7'deki sprey kurutucular süt, peynir altı suyu tozlarında, süt, tereyağ ve peynirle yapılan bebek ürünlerinde, çay, kahve, meyve ve sebze sularında kullanılan kurutucudur [6].



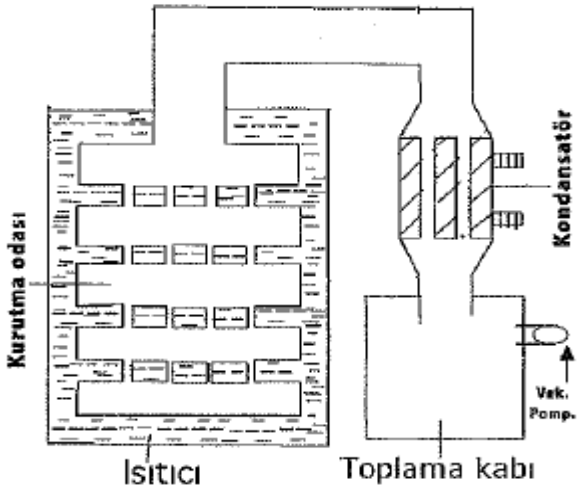
Şekil 2.7 Sprey kurutucu [6]

Atomize edilmiş ürünle sıcak hava, kurutma ünitesine üstten veya alttan beraber veya ayrı ayrı girebilirler. Damlacıklar düz bir yol izlediği gibi spiral bir yol da izleyebilirler. Kurutma hücresi dik veya yatık olabilir. Tünel kurutuculardа olduğu gibi paralel veya zıt akışlı sprey kurutucularda vardır [16].

2.6.5 Vakum Bölmeli Kurutucu

Vakum bölmesinden oluşan kurutucular vakumla çalışır ve ısı iletim veya radyasyon yöntemiyle gerçekleştirilir. Kurutucuda yer alan vakum havanın uzaklaşmasını sağlar. Isınmayla birlikte üründeki su buharı yoğunlaştırılır ve yoğunlaşmayanlar ise vakum pompasına doğru gider. Vakum bölmeli kurutucuların maliyeti yüksek olup sadece

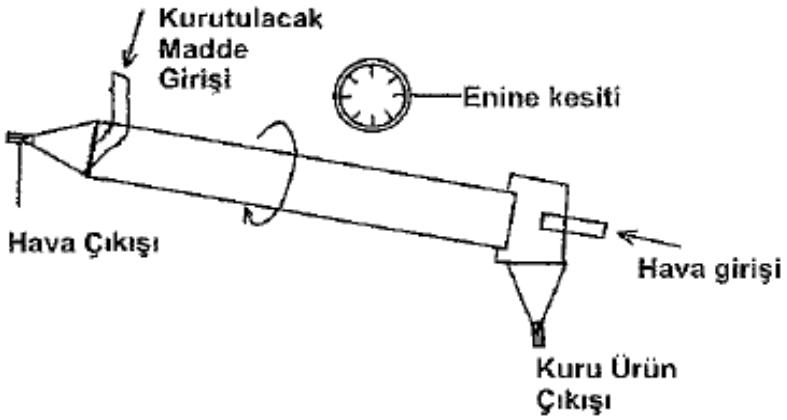
hassasiyete sahip ürünleri kurutmada kullanılır. Şekil 2.8'deki vakum bölmeli kurutucular konsantre meyve sularının kurutulmasında faydalanılır [6].



Şekil 2.8 Vakumlu bölmeli kurutucu [23]

2.6.6 Döner Kurutucu

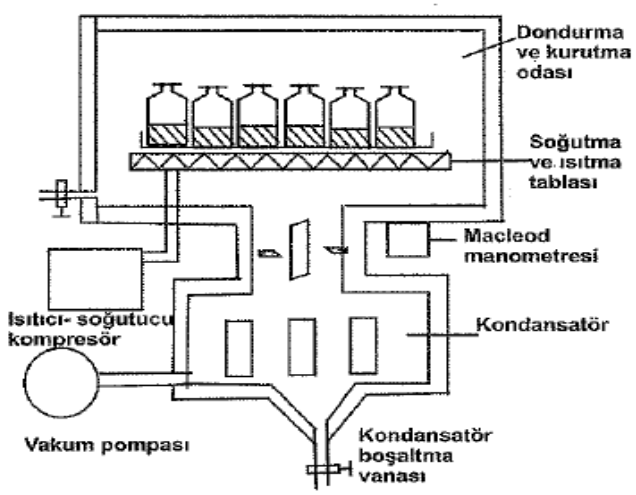
Döner kurutucukar hareketli şekilde silindir yatağa sahip üzerindeki ayarlanabilen bölmelerle 8 tane bölmesi olan bir kurutucu tipidir. Silindirin uzunluğu 1-30 m arasında, çapı 4-10 kat seviyesindedir. Silindirin yukarısından kurutulucak gıdalar yerleştirilir, rafta dönen sistemle birlikte ters yönlü hava ile kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kurutulmuş ürün, silindirin uç kısmından altta doğru uzaklaştırılır. Şekil 2.9'daki döner kurutucu mekanızması gösterilmiştir [24].



Şekil 2.9 Döner kurutucu [24]

2.6.7 Dondurarak Kurutucular

Dondurulma işlemiyle kurutmada ürün raflardan oluşan bölmelere yerleştirilir. Ürün kurutucu sisteme yerleştirilmeden önce donmuş halde bulunur. Dondurarak kurutmada belli bir basınç işlemi uygulanır. Üründe oluşan buhar vakumla uzaklaştırılır. Su buharını uzaklaştırmak için metal levha yerleştirilip iyi temas etmesi sağlanır. Temas yüzeyinin genişliği kurutmayı etkiler. Gıdadan uzaklaştırılan buhar soğutucuyla temas edilir. Şekil 2.10'daki kurutucular küçük tanelimeyve ve sebzelerin kurutulmasındayla birlikte, kahv ve çay yapımında da yararlanılır [6].



Şekil 2.10 Dondurarak kurutucu [6]

2.7 Meyvelerin Kurutulması

Meyveden yaş meyvelerin kurutulmasıyla su uzaklaştırılır. Kurutmayla C vitamini dışında diğer tüm besin kaynakları korunur. Türkiye'de meyvelerin kurutulmasıyla genellikle komposto yapılır. Avrupada da kurutulmuş meyveler tüketilmektedir. Ülkemizden çok fazla kurutulmuş meyve ihraç edilmekle birlikte üzüm ve incir en üst sırada ihraç edilen meyvedir. Meyvelere göre kurutulmuş meyveler ihracat olarak daha yüksek orana sahiptir [25].

2.7.1 Kurutulması Yapılacak Meyvelerin Özellikleri

Kurutma işlemi uygulanacak olan meyveler olgun olmalı, sağlam yapıda olmalı, çürüğü olmayıp, hasarlı olmamalı, zararlı canlıların izi olmamalıdır. Doğru mevsimde hasat edilmeli uygun renge sahip olmalıdır.

2.7.2 Meyve Kurutulmasındaki Ön işlemler

Meyveler ön işlem uygulanarak da kurutulmaktadır. Meyveler genellikle ön işlem, ayıklama, gruplandırma, kabuğunu soyma, bölme-dilimleme-doğrama ve çekirdeğin çıkarılması yöntemleri uygulanabilir. Bununla birlikte haşlama, kükürtlenme, daldırma yöntemleri de uygulanabilir [26].

BÖLÜM 3

ÇİLEK

3.1 Çileğin Tarihi ve Özellikleri

Çilek meyvesi ilk Avusturya'da görülmüş daha sonra Avrupa'ya yayılmıştır. İlk çilek türü orman çileği olarak geçmektedir [27]. Şekil 3.1'de görülen çilek meyvesi en önemli meyvelerin başında gelmektedir. Çilek meyvesi kolay yetişen bir üründür. Çilek otsu bitki çeşidine girmektedir. Kökleri iyi uzanan, toprakta yatay çekilde büyüyen özelliğe sahiptir. Çileğin üst yüzeyince tutan gövdeye sahiptir. Çilek ilkbaharda yetişmeye başlar. Olgunlaşma süresi 1 ay sürmektedir [28].



Şekil 3.1 Çilek meyvesi [28]

Çileğin ülkemizde ve dünyada güçlü bir yere sahip olmasında temel etken ekonomik olması ve uygun yetiştirilmesidir. Bunun yanı sıra çilek, tazeliğini uzun süre koruması da önemli bir artıdır. Tüketilmesi kolay ve vitamin açısından zengindir. Ülkemizde çilek üretimi her yıl giderek artmakta, en çok da Marmara bölgesinde yetiştirilmnektedir [29].

3.2 Çileğin Bileşimi ve Aromatik Özellikleri

Çileğin antioksidan özelliğiyle birlikte vitamin ve fenolik açıdan verimli bir meyvedir [30]. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda çilek antioksidan miktarının artması kansere karşı duyarlı bir meyve olduğunu güçlendirmiştir [31]. Çilek meyvesinde içeriğindeki bileşimden ötürü koruyucu özellik gösterir. Bunun yanı sıra stres v.b etkileri azalttığı gözlemlenmiştir [32]. Çilek meyvesinin soğukta muhafaza edilmesi tavsiye edilir [33].

3.3 Çileğin Yararları

Çileğin en önemli faydası vücuda kuvvet verir ve direnci artırır. Karaciğer ve romatizma rahatsızlıklarına faydalıdır. Tansiyonu ve ateşi düşürür. Sindirim sisteminin düzenli çalışmasını sağlar. Vücuttaki kanı temizler ve idrar söktürücü özelliğe sahiptir. Bağırsak kurtlarını temizler. Vücudu kanserden korur. Bağışıklık sistemini güçlendirir. Diş eti hastalıklarına iyi gelir ağız kokusunu giderir. Damar tıkanıklığını önler. Kolesterolü düşürmek için kullanılır. İştahı açar ve vücudun demir eksikliğini karşılar [34].

3.4 Çilek Kurutulması ile İlgili Çalışmalar

Akpınar ve Biçer [35], tarafından yapılan çalışmada, ince tabakalı çileğin konvektif kurutulması ve elde edilen verileri kullanılarak prosesin matematiksel modellemesi incelenmiştir. Kurutma işlemi sadece azalan kuruma hızı periyodunda gerçekleşmiştir. Kurutma hızını kontrol eden ana faktörün kuru hava sıcaklığı olduğu bulundu. Ayrıca, deneysel olarak elde edilen sonuçlar matematiksel modellemeyle hesaplanmıştır. Modified Page kurutma modeli deneysel veriler en iyi temsil ettiği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, efektif difüzyon katsayısı da hesaplanmıştır.

Aktaş vd. [36] tarafından yapılan çalışmada, ön işlemsiz etil oleatlı sıcak su kullanılarak koca yemiş meyvelerinin farklı sıcaklıklarda yapılan sıcak havalı kurutmada kurutma değerleri ve renk değerleri incelenmiştir. Renk parametreleri incelendiğinde yarım kesilmiş numunelerin sonuçları bütün halindekilere göre iyi sonuçlanmıştır. Yüksek sıcaklıkta kuruma süresinin az olduğu bulunmuştur. Koca memişl meyvesi için en uygun sıcaklığın 60°C'deki sıcak havalı kurutmada olduğu gözlemlenmiştir.

Al-Hilphy ve Al Rikabi [37], çalışmasında, çileğin kurutma deneyleri (60, 70 ve 80°C) üç farklı kurutma sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma hızına kurutma sıcaklığı etkisi, kurutma katsayısı, verimlilik, çileğin yayınım etkisi ve antioksidan aktivitesi ölçülmüştür. Efektif difüzyon katsayısı, Fick difüzyon denkleminin sonsuz çözümü kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak artan kurutma sıcaklığının kurutma sürecini hızlandırdığını göstermektedir. Bütün kurutma işlemi sadece azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. En iyi sonuçlar 70 ve 80°C'de kurutulan örnekler için Modified Page modeli uygunluk göstermiştir. Efektif difüzyon katsayısı değerleri $7{,}53\times10^{-9}$ ile $2{,}52\times10^{-8}$ m^2/dakika arasında değişmektedir.

Bruijn ve Bórquez [38], kurutma yöntemlerinin etkinliğini vakum-mikrodalga kurutma, sıcak hava kurutma, konvektif hava kurutma, kombineli vakum mikrodalga kurutma ve vakum mikrodalga kurutmayla ozmotik dehidrasyonda ölçmüşlerdir. Kurutma performansı kurutma hızı, nem içeriği ve su aktivitesiyle ölçülürken; çileğin kalite özellikleri değişimi ise renk ölçüsü, doku, mikroyapı, çekme ve rehidrasyon oranıyla tanımlanmıştır. Mikrodalga destekli kurutma için maksimum kurutma hızı $6{,}74\times10^{-4}$ m/s bulunmuştur.

Ertekin vd. [39], iki çilek çeşidini (*Camarosa ve Festival*) kızılötesi kurutucuda kurutmuşlardır. Çilek örnekleri dört parçaya ayrıldıktan sonra 60, 70 ve 80°C'de laboratuvar ölçekli kızılötesi kurutucuda kurutulmuştur. 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarda kurutulan Camarosa çeşitleri için kurutma süreleri sırasıyla 508, 280 ve 246 dakika ve festival çeşit çilekler için 536, 304 ve 290 dakikada gerçekleşmiştir. Camarosa çeşit çileğin kurutma süresi festival çeşit çilekten uzundur. En yüksek kurutma hızı 80°C kurutma sıcaklığında belirlenmiştir. Her iki çeşit çilek için toplam fenolik en fazla 80°C kurutma sıcaklığında elde edilmiştir. Her iki çeşit çilek için en düşük titrasyon asitliği 80 °C kurutma sıcaklığında olduğu gözlemlenmiştir.

Gamboa vd. [40], çileğin kurutulması sonuçlarını ultrasonik araçla incelemişlerdir. Deneylerde (0, 30 ve 60 W) güç uygulanmış ve hava sıcaklığı (40, 50, 60 ve 70°C) ile ayarlanarak yapılmıştır. Kurutma kinetiği için, difüzyon modeli hem konvektif iletim dikkate alınarak kullanılmıştır. Uygulanan güç ve sıcaklık artışı kuruma süresinde önemli bir azalma meydana getirmiştir (%13-44). Ultrasonik cihazda güç seviyeleri yükseldikçe efektif difüzyon katsayısı ve kütle transfer katsayısı yükseldiği hesaplanmıştır. Çilek kurutmada umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

Morales vd. [41], çileğin konvektif kurutulmasının toplam antosiyanin içeriğine ve antioksidan kapasitesine etkisini gözlemlemişlerdir. Hücredeki morfolojik değişiklikler ve parankimal dokulu hücrelerin alan(A), çevre(P), feret yarıçapı (Fe) ve fraktal boyut (FD) değişimleri tanımlandı. 60,70, 80 ve 90°C sıcaklıkta kurutma nedeniyle antosiyanin bileşiminde azalma gözlemlenmiştir. 60°C'de susuz ACyTot ve A, P, Fe ve FD değerlerinde bu sıcaklıkta kurutulmuş numunelerinde düşüş olduğu gözlemlenmiş olup 70-90°C sıcaklıktaki kurumuş numunelerde A, P ve Fe değerlerinin değişmediği gözlemlenmiştir.

Orak vd. [42], çilek ağacının meyvesi (*Arbutus unedo* L.) sıcak hava ve dondurulmuş kurutulmasıyla antioksidan aktivite, renk ve bazı beslenme özelliklerini incelemişlerdir. Buna ek olarak, ön işlemli, yani etil oleat ve su soluklaşmanın etkileri, kurutma özellikleri açısından karşılaştırmışlardır. Etanol ekstrelerinde antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi için iki farklı analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bunun bir sonucu olarak, etil oleat ön işlemli sıcak hava yöntemiyle kuruma süresi azalmıştır. Dondurularak kurutulmuş meyvelerde yüksek askorbik asit bileşim (368,63 ± 17,15 mg/100g) daha fazla taze meyve (231,33 ± 19,51 mg/100g) ve hemen hemen 1,1-difenil-2-picryl- hidrazil aktiviteye (93,52 ± %0,41) karşı taze meyve (94,0 ± %1,18) bulunmuştur. Renk özellikleri, şeker içeriği ve meyve mineral içerikleri önemli ölçüde ön işlem ve kurutma yöntemlerinden etkilenmiştir. Çilek meyvesinin kurutma nedeniyle zengin besin bileşenleri, antioksidan aktivisi ve renk özellikleri gıda endüstrisi için değerli ve çekici gıda maddesi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, bir başka sonuç, dondurarak kurutmanın besin değeri, antioksidan aktivitesi ve meyve kalitesel özelliklerini muhafaza etmek için en uygun kurutma yöntemidir.

Agnieszka ve Andrzej [43], çalışmalarında, dondurularak kurutulmuş çileğin seçilen fiziksel özelliklerine göre ozmotik dehidrasyon ve ozmotik çözelti tipinde etkisini araştırmışlardır. Donmuş Senga Sengana çilekleri ozmotik çözeltide su aktivesi yaklaşık 0,9 olarak (sükroz ve glikoz çözeltileri ve nişasta şurubu) kurutulmuştur. Ozmotik meyveler dondurulmuş ve 24 saat süreyle 30°C ısıtma raf sıcaklığında dondurularak kurutulmuştur. Rehidrasyon, emme izotermleri ve adsorpsiyon oranı, dondurularak kurutulmuş çilek için belirlenmiştir. Dondurularak kurutulmuş çilek durumunda sukroz ve glikoz çözeltileri osmotik olarak kurutulduğu için rehidrasyon kapasitesi ve adsopsiyon hızında azalma gözlemlenmiştir. Glikoz çözeltisinin osmotik kurutulması, sükroz ve nişasta şurup çözeltisi osmatik kurutulmasından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

El-Beltagy vd. [44], çilek çeşitleri (*Fragaria xananassa*) için ince taba halinde güneşte kuruma deneyleri yapmışlardır. Farklı çilek şekilleri (bütün, çeyrek, yarım ve 3 mm disk) farklı çözeltilerde hazırlanmıştır. Açık havada güneş ısıtıcısı tarafından ısıtılan ürün ile elektrikli bir fan tarafından kurutulmuştur. Newton modeliyle çeşitli çilek şekillerinde iyi deneysel sonuçlar elde edilmiş olup, yüksek korelasyon katsayısı (r) 0,97 ile 0,98 ve düşük χ^2 değerleri ise 0,0102 -0,0046 arasında olmuştur. Kurutma sabiti (k) büyük ölçüde ürün kütlesinin hava sıcaklığı, kurutma oranından ve ürün yüzey alanından etkilenmiştir. Gerekli kurutma süresi sırasıyla bütün, yarım, çeyrek ve disk halindeki çilek için 28, 26, 20 ve 24 saat olarak hesaplanmıştır.

Contreras vd. [45], mikrodalga kurutmanın ve sıcaklığın etkisiyle konvektif kurutma üzerine elma ve çileğin kurutma kinetiği üzerine çalışmışlardır. Ayrıca, kurutulmuş numunelerin optik ve mekanik özellikleri üzerinde ön işlemler etkisi de incelenmiştir. Mikrodalga kurutmada hava sıcaklığı arttıkça kurutma süresi azalmıştır. Yüksek hava sıcaklığında daha az renk değişimi, daha sert ve daha sağlam bir yapı elde edilmiştir. Ancak, mikrodalga işlem sırasında yüksek sıcaklıktan dolayı pigment bozulması artmıştır. Bununla birlikte, deformasyon ve susuz ürünün kırılma direnci arttığı gözlemlenmiştir.

Gamboa vd. [46], 40-70°C sıcaklık ve 30 ile 60 W gücündeki ultrason yardımıyla konveksiyon ile çilek kalite parametreleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Genel olarak işlem örneklerinin kalitesi, ticari numunelerinkinden daha yüksektir. Hatta en ağır şartlarda kullanılan (US 70^{o}C ve 60 W), yüksek değerde C vitamini tutma tespit edilmiştir. Rehidrasyon oranı farklı güç uygulamalarında değişmedi. Burada sunulan sonuçlara göre, ultrasyonda (US) güç seviyesi arttıkça konvektif kurutmayı hızlandırır, üstün kalite ile kurutulmuş çilek alınmasını sağlar ayrıca gelişmekte olan ve çevre dostu bir teknolojiye uygun bir örnek olduğu saptanmıştır.

Wojdylo vd. [47], tarafından yapılan çalışmada, çileklerin (240, 360 ve 480 W) güç seviyelerinde vakum tipli mikrodalgayla kurutmasını incelemişlerdir. Böylece, çileğin antioksidan aktivitesi üzerine vakum mikrodalga kurutma ve diğer kurutma yöntemleri etkisi değerlendirilmiştir. Bütün taze ve kuru meyveler (antosiyaninler, lida, hidroksikinamik asitler ve flavonols) fenolik (tüm parametreler kuru madde olarak hesaplanmıştır), askorbik asit ve antioksidan aktivitesi değerlendirilmiştir. Verilerin analizi kurutma teknikleri ve çeşidi tarafından etkilendiğini göstermektedir. Kurutmayla antosiyaninler, lida ve askorbik asit parçalandı ve antioksidan aktivitesinde önemli bir azalma olmuştur. Bu çalışmada çarpıcı sonuç vakumlu kurutmada antioksidan aktivitesi azalırken vakumlu mikrodalga kurutmada artmıştır. Bu çalışma, vakum mikrodalga kurutmayla özellikle 240 W'de, örneğin dondurarak-kurutma gibi diğer işlemlere kıyasla, daha az işlem süresi gibi ek bir avantaj ve yüksek kaliteli ürünler üretildiği gözlemlenmiştir.

Doymaz [48], tarafından yapılan çalışmada bir laboratuvar kurutucuda kurutulan çilek örneklerin kurutma kinetiğini incelemiştir. Alkali etil oleat çözeltisi ile muamele edilen kontrol örnekler 2 m/s sabit hava hızında ve 50, 55 ve 65°C'de kurutulmuştur. Kurutma sırasında elde edilen veriler Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Wang ve Singh modellerine uyarlanmıştır. Modellerin uygunluğu yüksek regrasyon katsayısı (R^2) ve düşük ki-kare (χ^2) ile belirlenmiştir. Yapılan istatiksel analizler sonucunda 50 ve 55°C'de kurutulan örnekler için logaritmik ve 65°C'de kurutulan örnekler içinde Wang & Singh modelleri uygun olduğu tespit

edilmiştir. Efektif difüzyon katsayısı değerleri Fick denkleminden yararlanılarak $4,95\times10^{-10}$ ile $1,42\times10^{-9}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır.

Çam ve Ersus [49] çalışmalarında, çilek meyvesinin, insan plazmasındaki antioksidan değerini arttırdığı ve LDL üzerine antioksidan değeri gösterdiğini ve antikanserojenik etkileri olduğunu gözlemlemiştir. Kurutulmuş gıdaların fenolik madde miktarı ve antioksidan oranı hesaplanmıştır.

Alibaş [50], çilek numunelerini farklı güç seviyelerindeki mikrodalga fırınında kurutmuştur. Kurutma işlemleri numunelerin nem oranı azalana kadar sürmüştür. Renk, asit değerleri ve rehidrasyon oranları açısından en uygun modelin hangi güç seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

Karaaslan ve Balta [51], 100 g ağırlığında ve %91,62 nem yüzdesine sahip olan çilek dilimleriyle çalışmışlardır. Mikrodalga kurutma işlemlerinin çilek dilimlerinin kuruma süresi ve nem oranı üzerine etkileri incelenmiştir. Newton, Page, Henderson & Pabis, Midilli & Küçük, Wang & Singh, iki terimli, iki terimli üssel olmak üzere yedi farklı matematiksel model kıyaslanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında Midilli & Küçük modeli en uygun model olduğu gözlemlenmiştir.

Tan vd. [52] çalışmasında, çileğin kurutulmasını nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. 1 cm kalınlığındaki çilek numuneleri 70°C'lik sıcaklıkta 3 farklı hızlarda kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. 0,5, 1 ve 2 m/s'lik kurutma hızları arttıkça kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Elde edilen verilerle sonuçların uyumlu olduğu gözlemlenmiş ve ürün kalınlığının etkisi nümerik olarak incelenmiştir.

Johnson vd. [53], şeftali ve çilek dilimlerinin 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulmasını incelemiştir. Numunelerin boyutları 30 cm $\times$ 30 cm $\times$ 20 cm olup hava akış hızları 0,188, 0,22 ve 0,26 m/s'dir. Fick'in ikinci yasasına göre difüzyon katsayıları şeftali için 3,99, 5,37 ve 7 10^{-10} m^2/s çilek için ise 5,39, 7,41 ve 8,59 10^{-10} m^2/s hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjileri ise şeftali için 25,92 kJ / mol ve çilek için 21,49 kJ hesaplanmıştır.

Ozturk ve Pawan [54], kurutma koşullarının çileklerin fiziksel ve viskoelastik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Kurutma hızı değişimiyle süresinin değişimi gözlemlenmiştir. Artan kurutma sıcaklığı ve süresi daha düşük renk değerlerine, nem içeriğine ve hacimlere yol açtığı gözlemlenmiştir. Çileğin viskoelastik davranış gösterdiği bulunmuştur. Araştırmayla birlikte çileğin sıcaklık etkisiyle kurutma, sertlik ve yapısal deformasyon kaybına neden olduğunu saptamışlardır.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEMLER

4.1 Materyal

Kurutma işlemleri için deneylerde çilek kullanılmış ve çilek işlemlerde kullanılana kadar buzdolabında (+4°C'de) saklanmıştır. Potasyum karbonat, sitrik asit ve askorbik asit kimyasal maddeleri Merck Firması'ndan satın alınmıştır.

4.2 Yöntemler

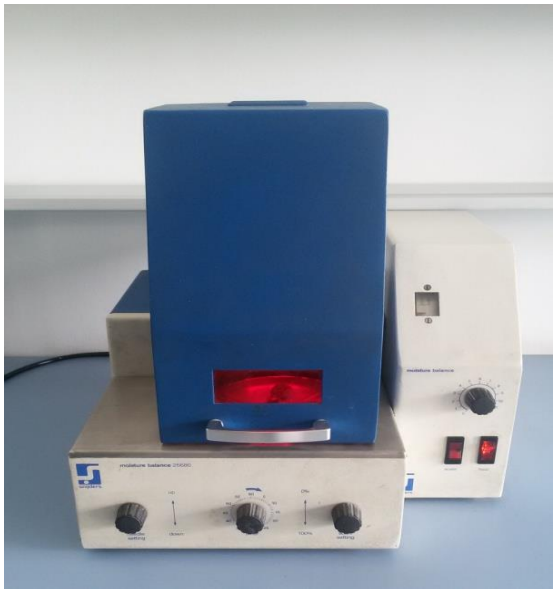
4.2.1 Kurutma Sistemi

Çilek kurutması ilk olarak APV & PASILAC firması (APV ve PASILAC Limited of Carlisle, Cumbria, İngiltere) yapımı Şekil 4.1'de gösterilen kabin tipli kurutucu cihazda yapılmıştır. Kurutma sistemi, içinde tepsiler bulunan, çeşitli ürünlerin kurutulmasına uygun sıcaklıklar sağlayan kurutucu tipidir. Kabinin ana kurutma bölümündekitepsi 21 cm çap ve 7 cm derinlik boyutlarındadır. Kurutucu çelikten imal edilmiş ve 50 mm kalınlığında yarı yassı yalıtkan maddeyle kaplanmıştır. Kabin içerisinde sirkülasyon halinde bulunan havanın debisi, bir anemometre kullanılarak ölçülmüştür. Sirkülasyon fanı 0,37 kW gücünde bir elektrik motoruyla çalışmaktadır. Kullanılacak olan havanın ısıtılması ise, dolaşım anının karşısında bulunan 14 adet şerit halindeki ısıtıcılar ile sağlanmaktadır. Kurutucuda, 200°C sıcaklığa kadar çalışmak mümkündür.



Şekil 4.1 Çilek kurutulmasında kullanılan kurutucu cihazı

Ayrıca, çilek numuneleri Şekil 4.2'deki Snijders Moisture Balance 26680 marka (Snijders b.v., Tilburg, Hollanda) infrared (kızılötesi) kurutucuyla da kurutulmuştur. Farklı infrared güç seviyesi ile çileğin kurutulması sağlanmıştır.



Şekil 4.2 Çilek kurutulmasında kullanılan infrared kurutucu cihazı

4.2.2 Kuru Madde Tayini

Çileklerin kurutulması işleminden önce nem içeriklerinin belirlenmesi için etüvde kurutulma işlemi yapılmıştır. Yaklaşık 5 g ağırlığındaki örnek 24 saat süreyle 105°C'ye ayarlanmış Şekil 4.3'teki Selecta (İspanya) marka etüvde kurutulmuştur.



Şekil 4.3 Etüv

Etüvden alınan numunelerden suyun uzaklaşması ve ürünün kuruluğunu koruması ağzı sıkı çekilde kapanan Şekil 4.4'teki desikatör cihazına numuneler konulmuş ve belli bir süre soğuması için bekletilmiştir.



Şekil 4.4 Desikatör

Desikatörden alınan numuneler Şekil 4.5'teki Precisa (XB 220 A model, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) marka hassas terazide tartılıp numunelerle işlemler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Hassas terazi

4.2.3 Renk Ölçümleri

Renk ölçüm işlemleri Şekil 4.6'daki Minolta (CR-400 Model Colorimeter, Konica Minolta, Japonya) cihazıyla ölçülmüştür. Çilek numunelerinin, renk ölçüm cihazıyla 5'er kez ölçüm yapılıp değerlerin ortalaması alınmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 4.7'de gösterilen Hunter lab skalasıyla yorumlanmıştır. Ölçüm değerlerinde ''L'' değeri parlaklığı ifade eder ve 0-100 değeri arasındadır. ''L'' değeri 0 olduğunda yansıma olmaz ve siyah renktir, 100 olduğunda ise yansıma olur ve beyaz rengi ifade etmektedir. ''+a'' değeri kırmızılığı, ''-a'' değeri ise yeşilliği; ''+b'' değeri sarılığı ve ''-b'' değeri ise maviliği ifade eder.



Şekil 4.6 Renk ölçüm cihazı



Şekil 4.7 Hunter Lab renk skalası

4.2.4 Çilek Kurutma

Kurutma deneylerinde Şekil 4.8'de gösterilen çilek meyvesi kullanılmıştır. Çileğin kurutulmasında kabin tip kurutucu ve infrared kurutucu cihazında; sıcaklık etkisi, kesit boyutu etkisi, ön işlem etkisi ve kurutucu tipi etkisi incelenmiştir. Böylece kurutma işlemine sıcaklık etkisi, ön işlem etkisi, boyut etkisi ve kurutucu tipi etkisi gözlemlenmiştir. Çileğe uygulanan ön işlem ve boyutunun yarım hale getirilmesi kurutma süresini etkilemektedir. Çoğu meyve ve sebze gibi çileğin de yüzeyi mumsu tabakayla kaplıdır. Bu tabaka kurutma işleminde suyun uzaklaştırılmasının süresini etkiler, ön işlemleli çözeltilerin kuruma süresi azalmaktadır. Ayrıca normal kurutmaya oranla numunenin rengini de daha iyi hale getirir.

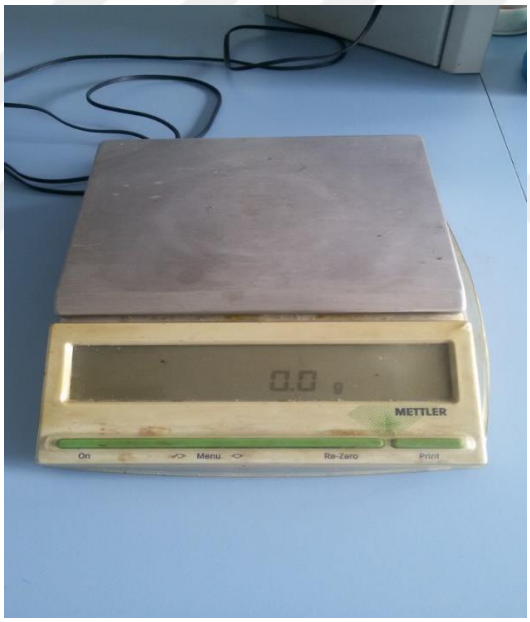
Ön işlemli kurutma işleminde kullanılan çözeltiler:

- Potasyum Çözeltisi (Potas): %3'lük K_2CO_3 çözeltisi üzerine %0,5 zeytinyağı çözeltisini hazırlamak için 15 g K_2CO_3 ve 2,5 g zeytinyağı eklendikten sonra saf suyla 500 ml'ye tamamlandı.
- Sitrik + Askorbik Asit Çözeltisi (Sitrik): %1 sitrik asit + %1 askorbik asit çözeltisi. 5 g sitrik asit üzerine 5 g askorbik asit ilave edilip çözelti 500 ml'ye tamamlandı.



Şekil 4.8 Kurutulma işlemi yapılmadan önceki çileklerin görüntüsü

İlk olarak kabin kurutucu sistemdeki işlemler için çilekler 100'er gramlık 4 farklı tepsinin içerisine yerleştirilmiştir. İlk iki tepsi hazırlanan potas ve sitrik çözeltisine 1'er dakika batırılıp daha sonra çıkarılıp kurulanmıştır. Üçüncü tepsideki çilekler doğal olarak bırakılıp son tepsideki çilekler ise yarım şekilde dilimlenmiştir. Bu şekilde çilekler sırasıyla 45, 50, 55, 60 ve 65^{o}C sıcaklığa ayarlanmış kabin kurutucuda her yarım saatte tartım yapılarak nem oranı %10 olana kadar kurutulmuştur. Kurutulan çileklerin ağırlıkları Mettler marka (model BB3000, Grefensee, İsviçre) terazi ile ölçülmüştür. Şekil 4.9'daki terazi 3 kg'a kadar olan ağırlıklı maddeleri 0,1 g hassasiyetle ölçmektedir.



Şekil 4.9 Terazi

Ağırlıkları ölçülen numuneler oda sıcaklığında 10 dakika bekletildikten sonra düşük yoğunluklu polietilen torbalara konulup Şekil 4.10'da görülen KRUPS firması (Fransa) yapımı Vacupak 2 Plus cihazı kullanılarak ısıl yöntemle torbaların ağzı sıkıca kapatılarak muhafaza altına alınmıştır.



Şekil 4.10 Plastik Gıda Paketleyici Cihaz

İnfrared kurutucu cihazı ile yapılan işlemler için ise 50 g çilek kullanılmıştır. Ön işlemli ve önişlemiz çilek örnekleri infrared kurutucuda 50, 62, 74, 88 ve 104 W güçlerinde kurutulmuştur. Ayrıca 74 W gücündeki infrared kurutucuda 1 ve 2 saat süreyle kurutulan çilek örnekleri daha sonra kurutma işlemine 55 ^{o}C'de kabin kurutucuda devam edilmiştir. Deneyler sırasında örnekler her yarım saatte ağırlıkları nem oranı %10'a düşünceye dek kaydedilmiştir. Örnekler oda sıcaklığında 10 dakika süre ile soğutulduktan sonra düşük yoğunluklu polietilen torbalarda konulmuş ve muhafaza altına alınmıştır.

4.3 Matematiksel Modelleme

Kurutma işlemlerinde yararlanılan nem içeriği denklemi aşağıdaki gibidir:

$$M=\frac{M_w}{M_d} \tag{4.1}$$

Denklemde; M: nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), m_w: su miktarını (kg), m_d: kuru madde miktarını (kg) göstermektedir.

Kurutma hızı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır [52], [53].

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (4.2)$$

Denklemde $\frac{\Delta M}{\Delta t}$: 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), ve t, Δt: süre (dakika) olarak ifade edilmektedir.

Nem oranı (MR) ise aşağıdaki gibidir:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4.3)$$

Denklemde; M: Herhangi bir andaki su miktarını (kg su/kg kuru madde), M_0: kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde), M_e: kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde) göstermektedir. M_e değeri M ve M_0 değerleri ile kıyaslandığında çok küçük bir değer olduğundan ihmal edilir [55], [56].

Deneysel sonuçlardan faydalanarak nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki aracılığıyla Çizelge 4.1'de gösterilen Lewis, Henderson & Pabis, Logaritmik, Midilli & Küçük, Wang & Singh, Weibull ve Aghbashlo vd. olmak üzere toplam yedi adet denklem test edilmiş ve istatistiksel olarak kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.1 Çilek kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler

Denklem adı	**Denklem**	**Kaynak**
Lewis	MR= exp (-kt)	Roberts vd. [57]
Henderson & Pabis	MR = a exp (-kt)	Ghodake vd. [58]
Logaritmik	MR = a exp (-kt) + c	Wang vd. [59]
Midilli & Küçük	MR = a exp (-kt^n)+bt	Mundada vd. [60]
Wang & Singh	MR = 1 + at + bt^2	Wang ve Singh [61]
Weibull	MR = exp [-(t/b)^a]	Corzo vd. [62]
Aghbashlo vd.	$MR = \left(-\frac{k_1 t}{1 + k_2 t} \right)$	Aghbashlo vd. [63]

4.4 Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Gıdaların ince tabaka kurutma işleminde araştırma sonucunda teorik model, Fick'in ikinci yasasının çözümüdür [61].

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla.(D_{eff}.\nabla M) \tag{4.4}$$

(4.4) denklemi difüzyon katsayısı sabit alınarak küresel koordinatlarda çözülüp uygun sınır koşulları ile sadeleştirilme yapılırsa:

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 D_{eff}\, t}{r^2} \right) \tag{4.5}$$

Burada; D_{eff}: efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), r: kurutulan maddenin yarıçapı (m) ve t: süre (s) olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma süreleri için, (4.5) eşitliği sadece ilk kısmı daha da basitleştirilebilir [62] ve eşitlik (4.6) yazılır.

$$MR = \frac{6}{\pi^2} exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}\ t}{r^2} \right) \quad (4.6)$$

Efektif difüzyon katsayısı değerleri, (4.6) eşitliğinin logaritmik forma çevrilerek ln MR değerlerinin kurutma süresine grafiğe geçirilerek elde edilen düz çizgiler yardımıyla eğimleri tespit edilmiş ve eşitlik (4.7)'de yerine yazılmasıyla bulunmuştur.

$$ln\ MR = ln\frac{6}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}\ t}{r^2} \quad (4.7)$$

Kurutma süresine karşı ln (MR) grafiklerinin eğimleri:

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (4.8)$$

4.5 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır [64], [65];

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{(T + 273{,}15)} \right) \quad (4.9)$$

Bu eşitlikte D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s), Ea aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R üniversal gaz sabiti (8.314 kJ/(mol×K)) ve T kurutma sıcaklığıdır (°C). Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısı üzerine etkisi incelendiği zaman doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisinin eğerleri hesaplanır [64].

Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içindeki nem transferi olduğunda, enerji engelini aşan su molekülleridir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma işleminde daha yüksek nem difüzyon ucu verir [61].

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Sıcak Havalı Kabin Kurutucuda Elde Edilen Bulgular

5.1.1 Ön İşlemin, Sıcaklığın Çileğin Kurutma Süresine Etkisi

Deneylerde sıcak havalı kabinde kurutma işleminde çilekler kullanılmış ve işlemlerde kullanılıncaya kadar buzdolabında (4°C) depolanmıştır. Çilekte ilk nem içeriği fırın yöntemi kullanılarak 105°C'de 5 saat süreyle belirlendi. Nem içeriğinin tespiti için dört örnek kullanılmış ve ortalama nem değeri %89,8 olarak hesaplanmıştır.

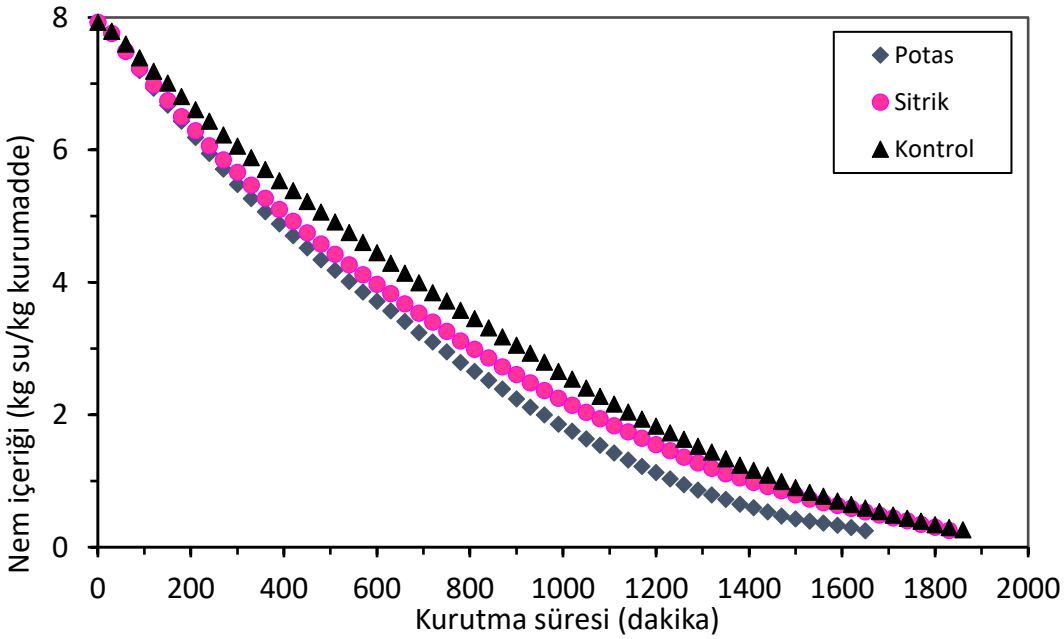
Çilek numuneleri farklı ön işlem çözeltileri (potasyum karbonat ve sitrik asit+askorbik asit) ile ön işlemden geçirildi. Kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda (45, 50, 55, 60 ve 65°C) kurutuldu. Çizelge 5.1'de ön işlemli ve ön işlemsiz çilek numunelerinin kabin kurutucuda kurutma süreleri görülmektedir.

Çizelge 5.1 Çilek numunelerinin kuruma süreleri (dakika)

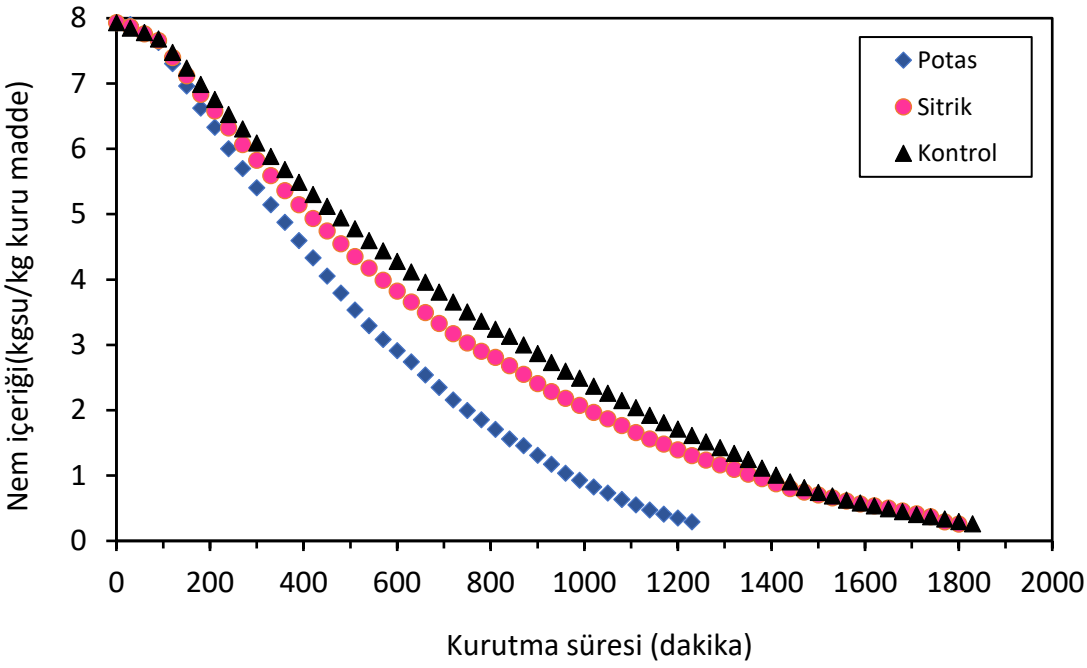
Sıcaklık(°C)	Potas	Sitrik	Kontrol
45	1470	1620	1650
50	1080	1560	1590
55	960	1050	1230
60	840	1020	1050
65	510	900	930

Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi, kurutma süreleri sıcaklık artıkça azalmıştır. Ön işlemli ve ön işlemsiz çilek numunelerinde en hızlı kuruma sıcaklığı 65°C olup, en yavaş kuruma sıcaklığı 45°C'dir. Potas Kodlu çilek numunesinin kuruma süreleri, Sitrik ve Kontrol örneklerin kuruma sürelerinde daha küçüktür. Bir başka ifade ile Potas kodlu örneklerin kurutma işlemi diğer örneklere göre dah hızlıdır. Sitrik kodlu numuneler ise kontrol numunesine göre daha hızlı kurumaktadır.

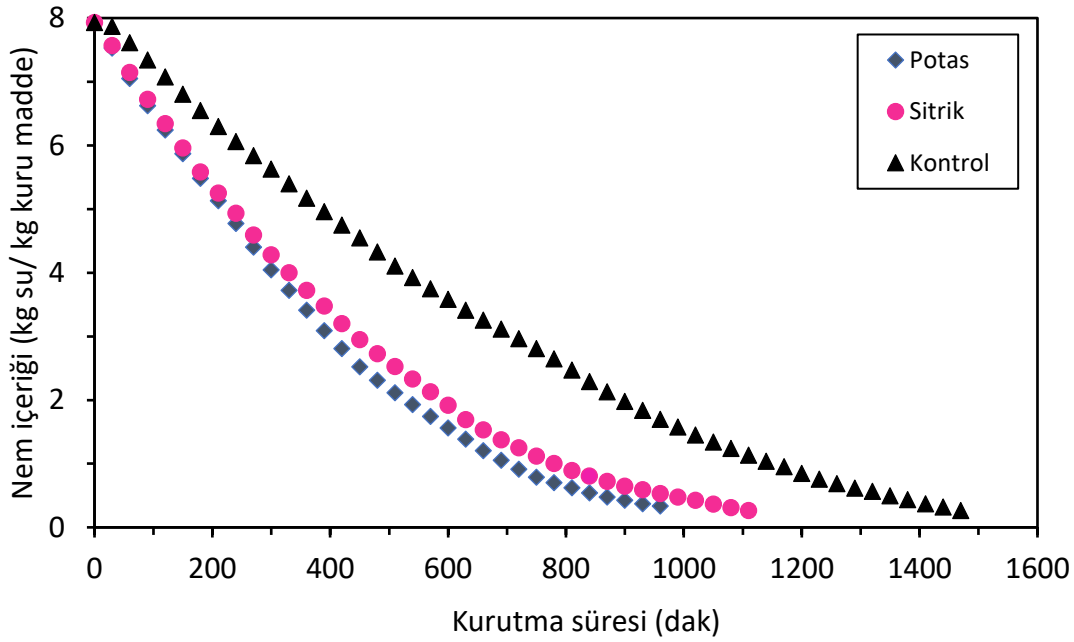
Potas kodlu çilek numunelerinde 45°C'den 65°C'ye doğru sıcaklık artıkça kuruma süresi 2,8 kat azalmıştır. Sitrik kodlu numunelerde 45°C'den 65°C'ye doğru sıcaklık artıkça kuruma süresi 1,8 kat azalmıştır. Kontrol numunelerinde ise 45°C'den 65°C'ye doğru sıcaklık artıkça kuruma süresi 1,7 kat azalmıştır. Sonuç olarak Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5'de görüldüğü gibi örneklerin kuruma süreleri kuruma sıcaklığından etkilenmekte olup sıcaklığın artışına göre nem kaybı hızlanıp, kuruma süresi azalmaktadır. Ayrıca, kuruma hızı yüksek sıcaklıklarda daha yüksek değerlere sahiptir. Bunun sonucu olarak, yüksek sıcaklıklarda maddedeki suyun daha yüksek buhar basıncı göstermesi ve buharlaşma derecesinin artması, yüksek sıcaklıkta daha yüksek kuruma hızının görülmesine neden olmaktadır.



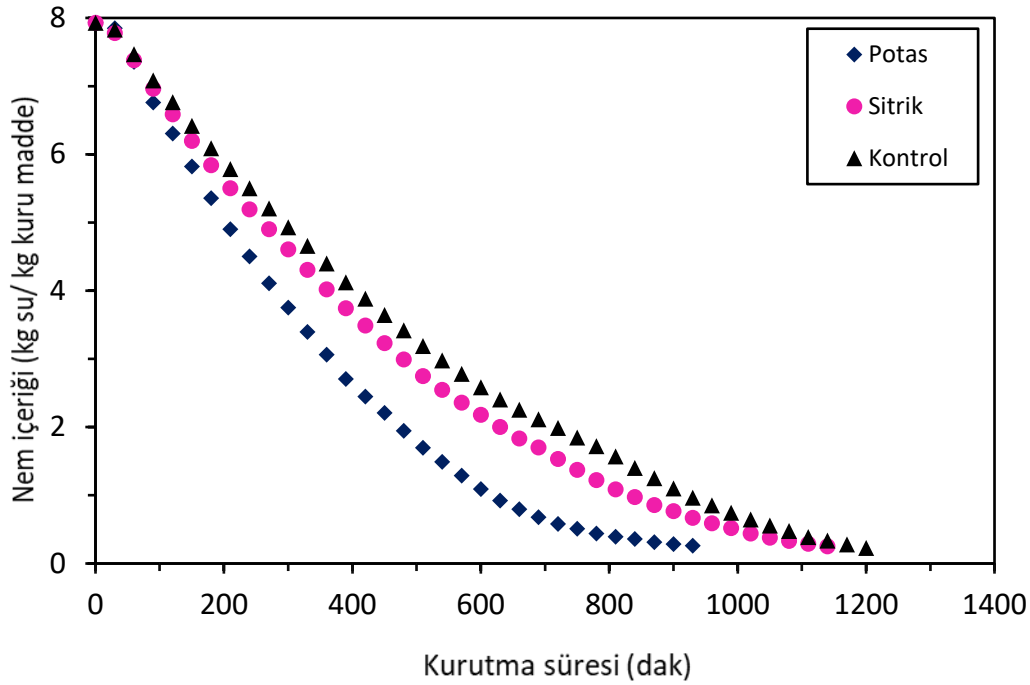
Şekil 5.1 45°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi



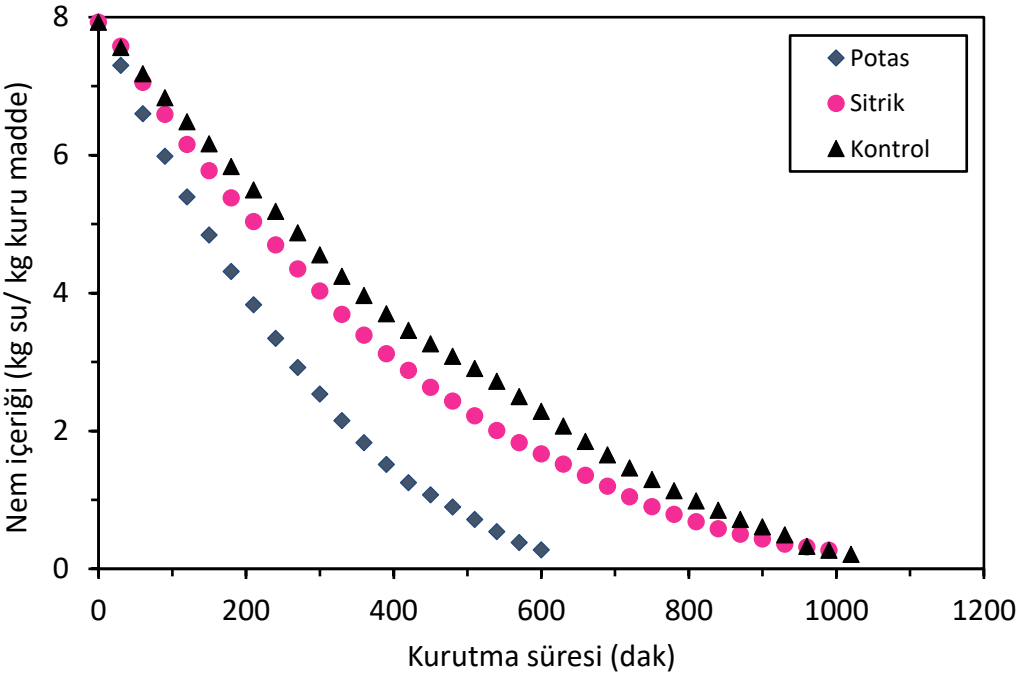
Şekil 5.2 50°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi



Şekil 5.3 55°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi



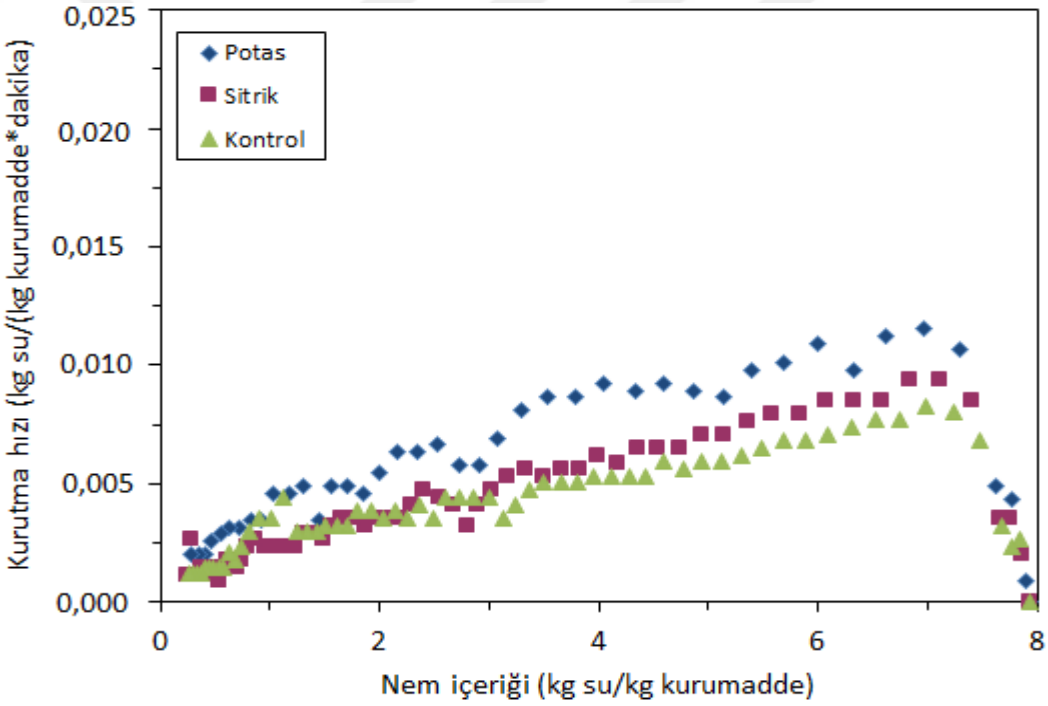
Şekil 5.4 60°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi



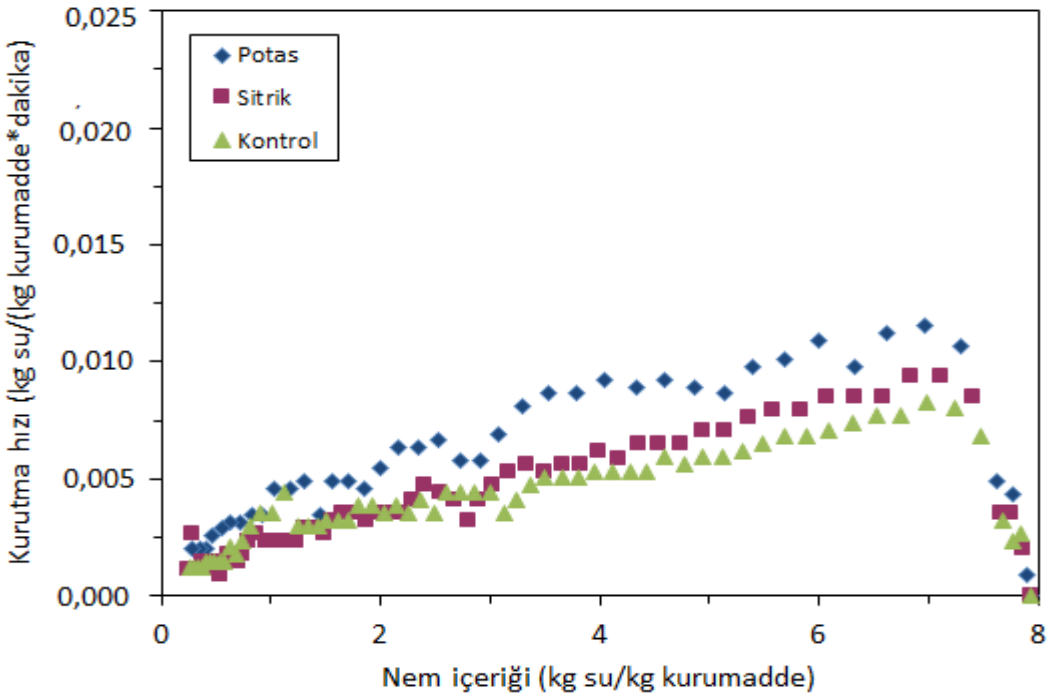
Şekil 5.5 65°C'de kurutulan çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi

5.1.2 Kuruma Hızı ile Nem Değişimi

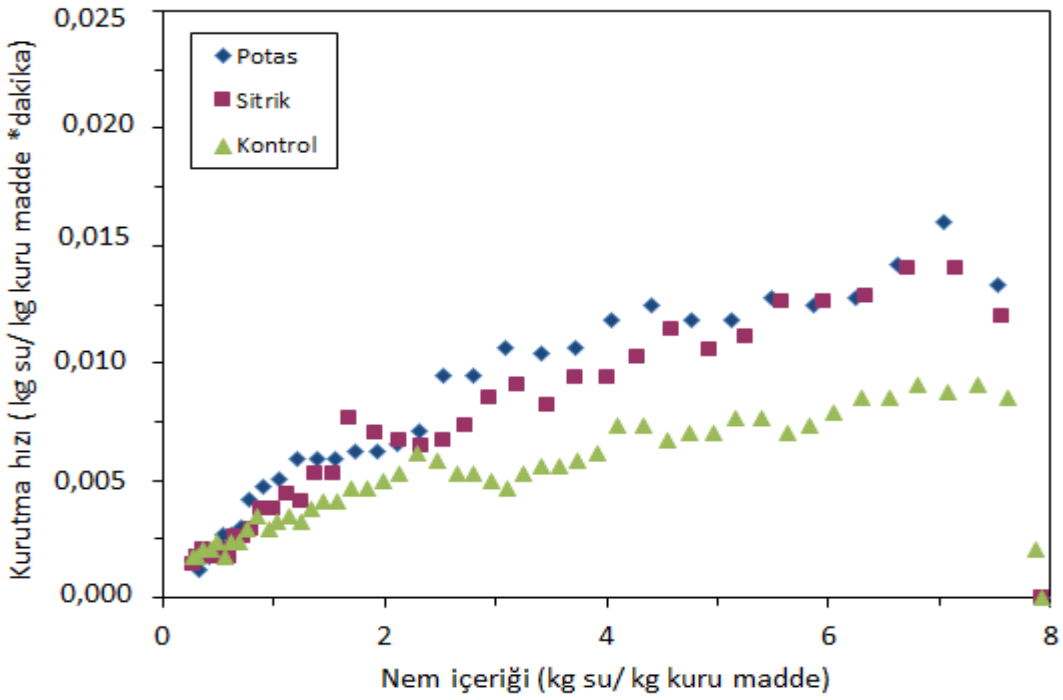
Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanan kuruma hız değerlerinin nem oran değerleri ile değişimi Şekil 5.6–5.10'da görülmektedir. Bu grafiklere bakıldığında kurutma havası sıcaklığı arttıkça kuruma hızı artmakta ve bunun sonucu olarak da nem içeriği giderek azalmaktadır. Ön işlemli numunelerin kurutma hızları kontrol numunesine göre daha fazladır. Ön işlemli numunelerden potas kodlu numunelerin kurutma hızları sitrik asit kodlu numunelerin kurutma hızlarına göre daha yüksektir. 65°C'deki potasyum karbonat ön işlemli çilek numunelerinin kurutma hızı en fazladır.



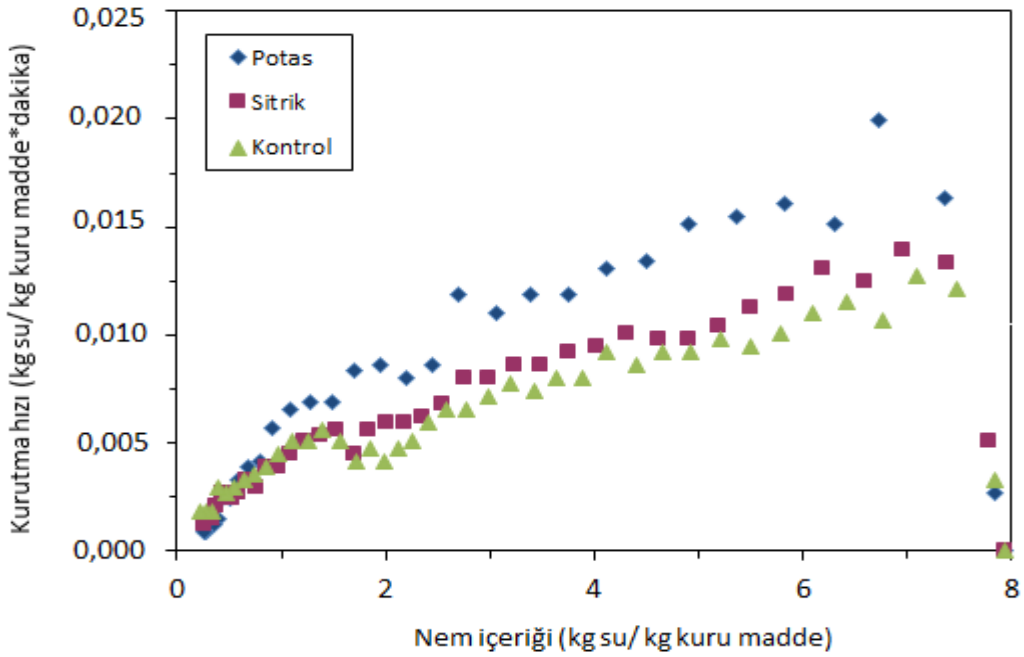
Şekil 5.6 45°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



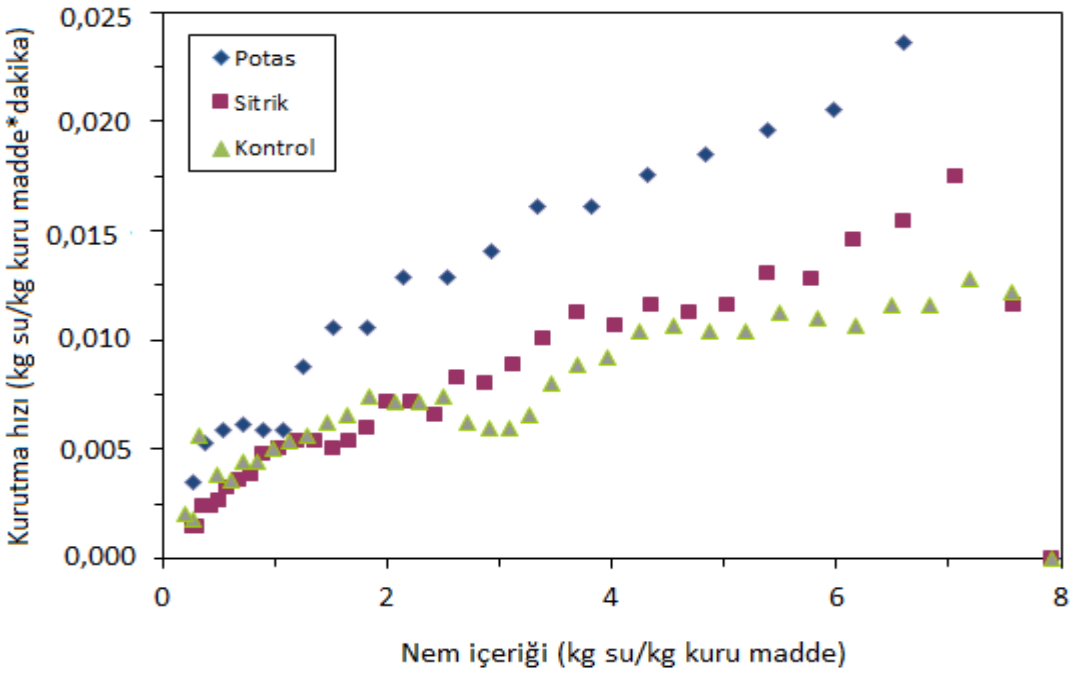
Şekil 5.7 50°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 5.8 55°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 5.9 60°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 5.10 65°C'de kurutulan çilek numunelerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

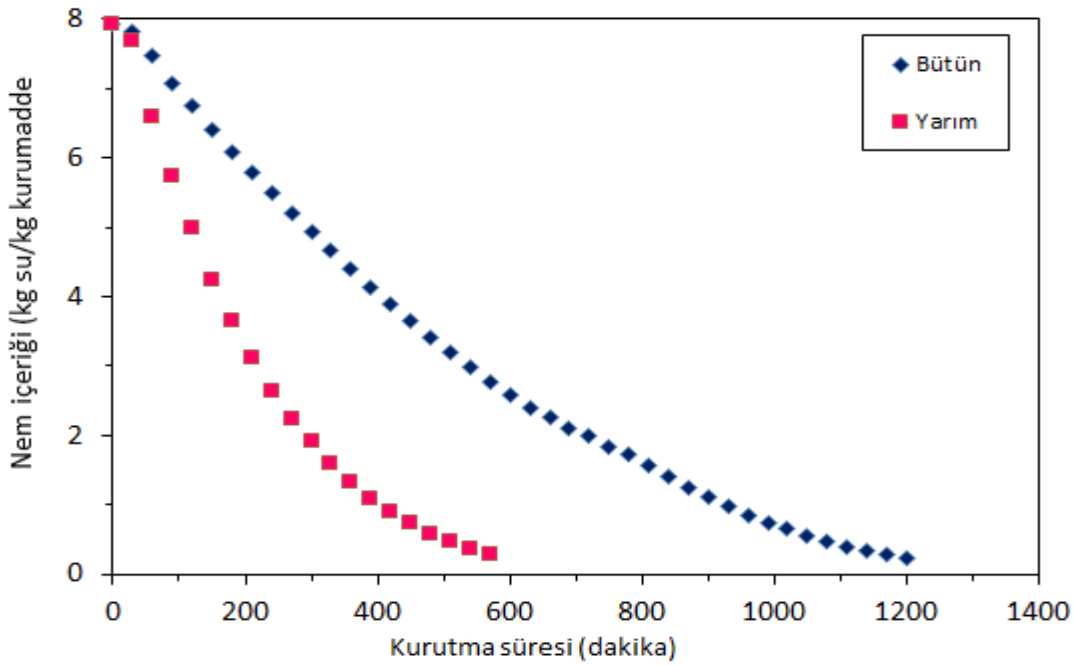
5.1.3 Numune boyutunun Kurutmaya Etkisi

Çilek numunelerinin boyutunun kurutma süresine etkisini incelemek için aynı sıcaklıklarda ön işlem uygulanmamış bütün ve yarım şekilde kesilmiş çilekler kabin kurutucuda kurutulmuştur. Çizelge 5.2'de ön işlemsiz bütün ve yarım çilek numunelerinin kabin kurutucuda kurutma süreleri görülmektedir.

Çizelge 5.2 Yarım ve bütün çilek numunelerinin kuruma süreleri (dakika)

Sıcaklık	**Yarım**	**Bütün**
45°C	1470	1620
50°C	1080	1560
55°C	960	1050
60°C	840	1020
65°C	510	900

Çizelge 5.2'yi incelediğinde 45-65°C sıcaklıklarda yarım boyutlu çilek numunelerin kuruma süresi normal boyuttaki bütün numunelerine göre daha azdır. Kurutma yüzey alanı maddenin içinden dışarıya aktarım mesafesi düştükçe kurutma süresi de düşmektedir. Sonuç olarak çilek numuneleri ikiye bölünüp, yüzey alanı azaldıkça kurutma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Örnek olarak Şekil 5.11'de 60°C'deki sıcaklıkta bütün-yarım numunelerin nem içeriği-kurutma süresi grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.11 60°C'de kurutulan bütün ve yarım çilek numunelerine ait nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi

Şekil 5.11'i incelediğimizde, meyve boyutu azaldıkça kuruma süresi azalmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde numunenin boyutu arttıkça kurutma süresi de arttığı gözlenmektedir [43], [56].

5.1.4 Matematiksel Modelleme

Deneysel veriler sonucunda lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Çizelge 4.1'deki matematiksel modellerden yararlanarak elde edilen regresyon katsayıları (R^2), chi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.3–5.7'de verilmiştir. Bir denklemin uygunluğu tespitinde yüksek R^2, düşük χ^2 ve RMSE değerlerine bakılır. Regresyon katsayısı, ürünlerin kurutma eğrilerini tanımlayan en iyi modelin belirlenmesini sağlar. Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir.

Çizelge 5.3 45°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler

Kodu	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
Potas	Lewis	0,9798	0,001705	0,277314
	Henderson & Pabis	0,9857	0,001225	0,225069
	Logaritmik	0,9894	0,000052	0,041816
	Midilli & Küçük	0,9994	0,000046	0,043962
	Wang & Singh	0,9993	0,000051	0,125619
	Weibull	0,9957	0,000367	0,125619
	Aghbashlo vd.	0,9993	0,000053	0,046223
Sitrik	Lewis	0,9846	0,000997	0,208186
	Henderson & Pabis	0,9889	0,016867	0,168670
	Logaritmik	0,9987	0,000017	0,021738
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000015	0,023460
	Wang & Singh	0,9992	0,000052	0,044552
	Weibull	0,9966	0,000279	0,037038
	Aghbashlo vd.	0,9995	0,000031	0,037037
Kontrol	Lewis	0,9680	0,002765	0,373112
	Henderson & Pabis	0,9781	0,001085	0,212197
	Logaritmik	0,9992	0,000063	0,050579
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000016	0,041238
	Wang & Singh	0,9997	0,000036	0,058281
	Weibull	0,9952	0,000419	0,140775
	Aghbashlo vd.	0,9994	0,000021	0,045740

Çizelge 5.4 50°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler

Kodu	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
Potas	Lewis	0,9551	0,004325	0,369648
	Henderson & Pabis	0,9781	0,002158	0,2480202
	Logaritmik	0,9965	0,000345	0,087793
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000035	0,025284
	Wang & Singh	0,9929	0,000692	0,125815
	Weibull	0,9990	0,000089	0,0501637
	Aghbashlo vd.	0,9956	0,00042	0,096143
Sitrik	Lewis	0,9782	0,001944	0,298209
	Henderson & Pabis	0,9907	0,000844	0,184528
	Logaritmik	0,9985	0,000275	0,108084
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000036	0,031485
	Wang & Singh	0,9973	0,000237	0,073288
	Weibull	0,9974	0,000082	0,056999
	Aghbashlo vd.	0,9974	0,000229	0,072988
Kontrol	Lewis	0,9680	0,003095	0,386232
	Henderson & Pabis	0,9781	0,001716	0,270577
	Logaritmik	0,9992	0,000110	0,050683
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000053	0,044242
	Wang & Singh	0,9995	0,000190	0,065377
	Weibull	0,9952	0,000263	0,110957
	Aghbashlo vd.	0,9985	0,000139	0,060050

Çizelge 5.5 55°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler

Kodu	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
Potas	Lewis	0.9818	0.001620	0.202360
	Henderson & Pabis	0.9880	0.001103	0.160481
	Logaritmik	0,9882	0,000171	0,062612
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000039	0,027125
	Wang & Singh	0,9992	0,000022	0,029292
	Weibull	0,9987	0,000115	0,050341
	Aghbashlo vd.	0,9995	0,000033	0,025137
Sitrik	Lewis	0,9855	0,001263	0,199852
	Henderson & Pabis	0,9900	0,000847	0,159394
	Logaritmik	0,9987	0,000120	0,053462
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000019	0,033207
	Wang & Singh	0,9995	0,000039	0,034974
	Weibull	0,9987	0,000116	0,057704
	Aghbashlo vd.	0,9995	0,000025	0,040657
Kontrol	Lewis	0,9687	0,002720	0,330136
	Henderson & Pabis	0,9808	0,001687	0,247444
	Logaritmik	0,9698	0,001723	0,247444
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000035	0,032891
	Wang & Singh	0,9991	0,000076	0,046083
	Weibull	0,9970	0,000269	0,095362
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000042	0,037454

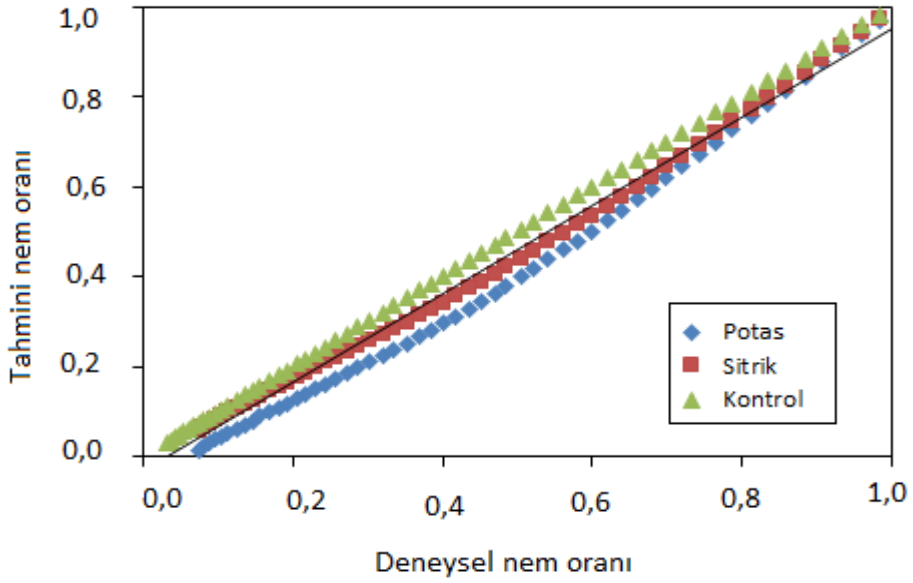
Çizelge 5.6 60°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler

Kodu	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
Potas	Lewis	0,9724	0,002748	0,260925
	Henderson & Pabis	0,9856	0,001476	0,181065
	Logaritmik	0,9958	0,000442	0,091283
	Midilli & Küçük	0,9994	0,000057	0,034874
	Wang & Singh	0,9969	0,000313	0,064854
	Weibull	0,9993	0,000063	0,035937
	Aghbashlo vd.	0,9969	0,000289	0,067356
Sitrik	Lewis	0,9788	0,001925	0,241980
	Henderson & Pabis	0,9878	0,001137	0,175062
	Logaritmik	0,9988	0,000106	0,048082
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000020	0,022340
	Wang & Singh	0,9993	0,000061	0,027705
	Weibull	0,9987	0,000121	0,059764
	Aghbashlo vd.	0,9994	0,000055	0,025842
Kontrol	Lewis	0,9752	0,002049	0,240351
	Henderson & Pabis	0,9852	0,001361	0,190179
	Logaritmik	0,9993	0,000060	0,035254
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000020	0,023703
	Wang & Singh	0,9991	0,000082	0,039533
	Weibull	0,9974	0,000238	0,082006
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000081	0,042447

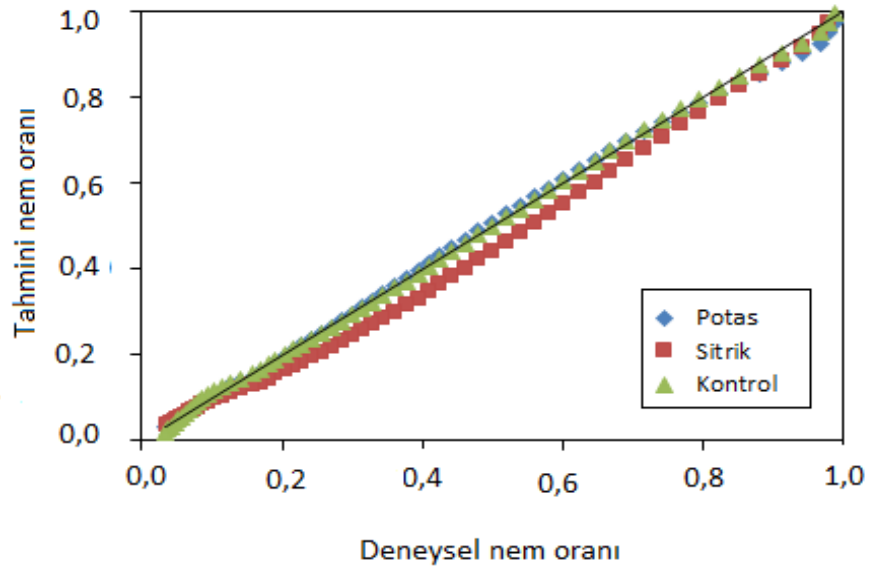
Çizelge 5.7 65°C'de kurutulan çilek örnekleri için hesaplanan istatiksel veriler

Kodu	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
Potas	Lewis	0,9815	0,001717	0,166649
	Henderson & Pabis	0,9869	0,001277	0,137182
	Logaritmik	0,9990	0,005111	0,263803
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000010	0,263190
	Wang & Singh	0,9997	0,005390	0,032990
	Weibull	0,9981	0,000181	0,048546
	Aghbashlo vd.	0,9997	0,000016	0,030471
Sitrik	Lewis	0,9863	0,001187	0,174979
	Henderson & Pabis	0,9909	0,000810	0,137242
	Logaritmik	0,9995	0,000043	0,028281
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000016	0,017593
	Wang & Singh	0,9992	0,000065	0,039731
	Weibull	0,9983	0,000149	0,060431
	Aghbashlo vd.	0,9997	0,000017	0,017659
Kontrol	Lewis	0,9749	0,002307	0,244899
	Henderson & Pabis	0,9815	0,002377	0,244899
	Logaritmik	0,9993	0,000038	0,030164
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000037	0,027324
	Wang & Singh	0,9993	0,000531	0,108938
	Weibull	0,9949	0,000531	0,108938
	Aghbashlo vd.	0,9988	0,000105	0,048348

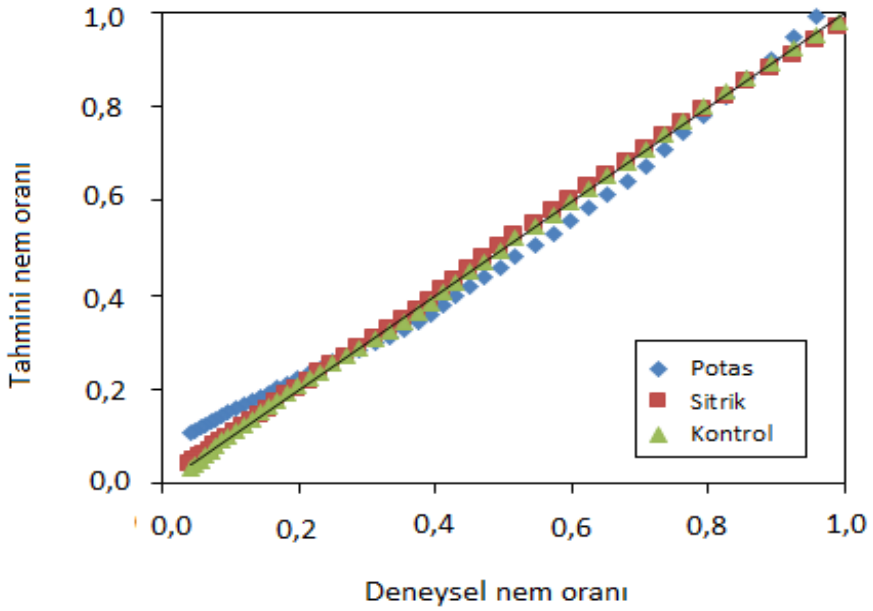
Bütün sıcaklıklarda; ön işlemli ve ön işlemsiz numunelerde uygulanan 7 kurutma modellerinin sonuçları incelendiğinde en yüksek R^2 değerinin ve en düşük RMSE ile χ^2 değerinin Midilli & Küçük modelinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle çileklerin kurutma eğrilerinin kurutma modeli için en uygun Midilli & Küçük modelidir. Şekil 5.12-5.16'da Midilli & Küçük modeli kullanılarak oluşturulan deneysel nem oranı ve tahmini nem oranı kıyaslaması yapılmışır. Bu grafiklerde de en uygun modelin Midilli & Küçük olduğu saptanmıştır.



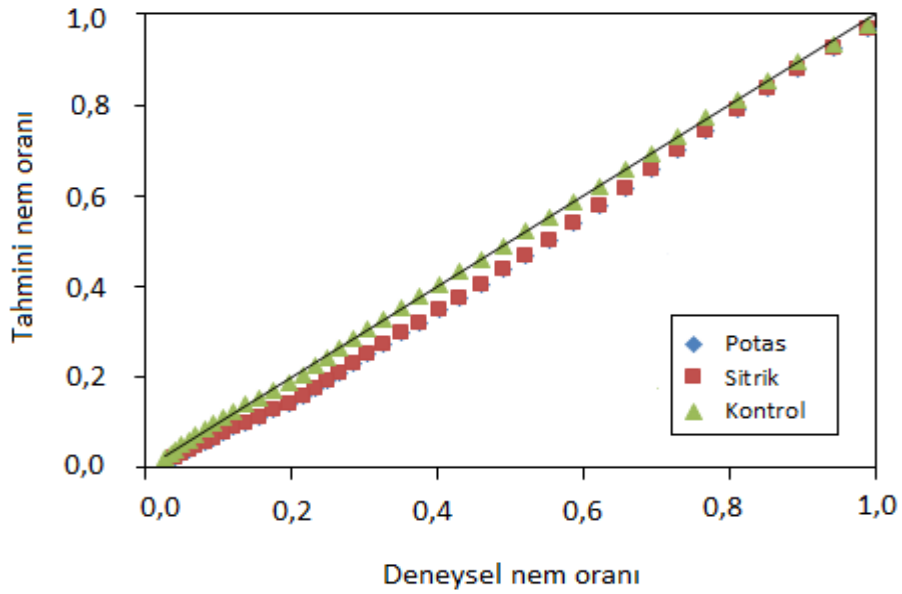
Şekil 5.12 45°C'de farklı ön işlemlerde kurutulmuş çileklerin deneysel nem oranları ile Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



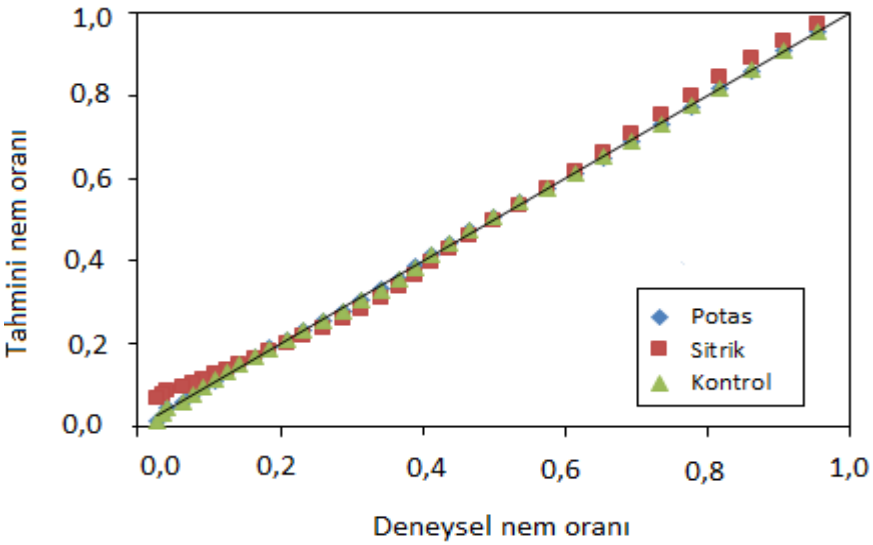
Şekil 5.13 50°C'de farklı ön işlemlerde kurutulmuş çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli ve Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



Şekil 5.14 55°C'de farklı ön işlemlerde kurutulmuş çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli ve Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



Şekil 5.15 60°C'de farklı ön işlemlerde kurutulmuş çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli ve Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



Şekil 5.16 65°C'de farklı ön işlemlerde kurutulmuş çileklerin deneysel nem oranlarının Midilli ve Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması

5.1.5. Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

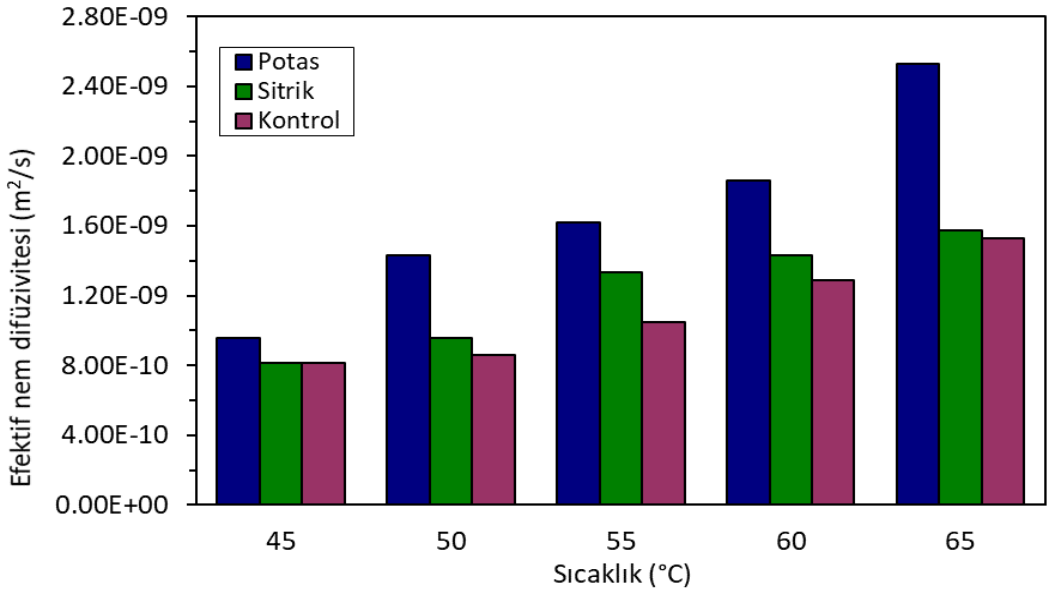
Efektif difüzyon katsayısı değerleri denklemi kullanılarak hesaplandı. Artan kuruma sıcaklığının artmasıyla D_{eff} değerlerinin büyük ölçüde arttığı kaydedilmiştir.

Çizelge 5.8 Farklı sıcaklıklarda kurutulan çileklerin efektif difüzyon katsayısı değerleri

T	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)		
	Potas	**Sitrik**	**Kontrol**
45°C	$0{,}954\times10^{-9}$	$0{,}857\times10^{-9}$	$0{,}811\times10^{-9}$
50°C	$1{,}431\times10^{-9}$	$0{,}954\times10^{-9}$	$0{,}858\times10^{-9}$
55°C	$1{,}622\times10^{-9}$	$1{,}431\times10^{-9}$	$1{,}049\times10^{-9}$
60°C	$1{,}860\times10^{-9}$	$1{,}435\times10^{-9}$	$1{,}288\times10^{-9}$
65°C	$2{,}528\times10^{-9}$	$1{,}574\times10^{-9}$	$1{,}526\times10^{-9}$

Numuneler daha yüksek bir sıcaklıkta kurutulduğunda, artan ısıtma enerjisi, su moleküllerinin aktivitesini daha yüksek nem yayılımına neden olacak şekilde artıracaktır. Çizelge 5.8'de görüldüğü üzere Potas kodlu numunelerin D_{eff} değerleri diğer örneklerden daha yüksek çıkmıştır ve 45-65°C'de, $0{,}954\times10^{-9}$ m^2/s ile $2{,}528\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmiştir. Sitrik asit kodlu örneklerin D_{eff} değerleri 45-65°C'de $0{,}857\times10^{-9}$ m^2/s ile $1{,}574\times10^{-9}$ m^2/s ve Kontrol numunelerinin D_{eff} değerleri ise $0{,}811\times10^{-9}$ m^2/s ile $1{,}526\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmiştir.

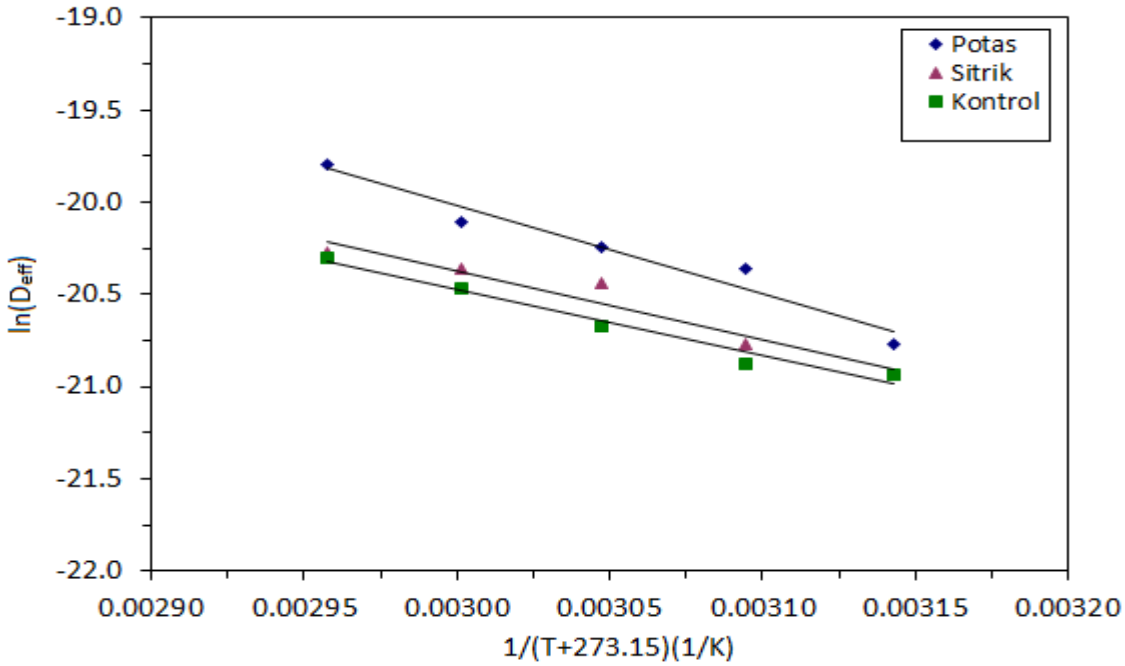
Şekil 5.17 incelendiğinde sıcaklık arttıkça çilek numunesinin içerisindeki suyun buharlaşması daha hızlı olacağından difüzyon katsayılarının da arttığı görülmektedir. Aynı sıcaklık değerlerinde farklı ön işlem uygulamaları ile yapılan çalışmalar incelendiğinde potasyum kodlu çilek numunesinin en yüksek difüzyon katsayısına sahip olup en hızlı kuruduğu görülmektedir. Deff değerleri bakımından örnekler büyükten küçüğe doğru kıyaslanırsa Potasyum kodlu > Sitrik asit kodlu > Kontrol kodlu şeklindedir.



Şekil 5.17 Farklı sıcaklıklarda kurutulan çileklerin efektif difüzyon katsayıları

5.1.6. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerji değerleri, $\ln(D_{eff})$ ile sıcaklık arasında çizilen grafikten (Şekil 5.18) yararlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.18 Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi

Aşağıdaki denklemlerde kontrol ve diğer ön işlemler ile muamele edilen örnekler için sıcaklığın etkisi gösterilmiştir:

Potas kodlu çilekler için:

$$D_{eff} = 3{,}345x10^{-3} \exp\left(-\frac{4763{,}8}{(T+273{,}15)}\right) \qquad (R^2 = 0{,}9574) \tag{5.1}$$

Sitrik kodlu çilekler için:

$$D_{eff} = 1{,}033\times 104\exp\left(-\frac{31022{,}8}{(T+273{,}15)}\right) \qquad (R^2 = 0{,}9427) \tag{5.2}$$

Kontrol kodlu çilekler için:

$$D_{eff} = 6{,}002\times 10^{-5} \exp\left(-\frac{29805{,}7}{(T+273{,}15)}\right) \qquad (R^2 = 0{,}9708) \tag{5.3}$$

Bu eşitliklerden (5.1-5.3) yararlanılarak hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri, Potas, Sitrik ve Kontrol kodlu çilekler için sırası ile 39,60 kJ/mol, 31,02 kJ/mol ve 29,80 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. En yüksek aktivasyon enerjisi Potas kodlu çilek numunesine ait olmuş olup onu sırası ile Sitrik kodlu çilek numunesi ve Kontrol kodlu çilek numuneleri takip etmiştir.

5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucudan Elde Edilen Bulgular

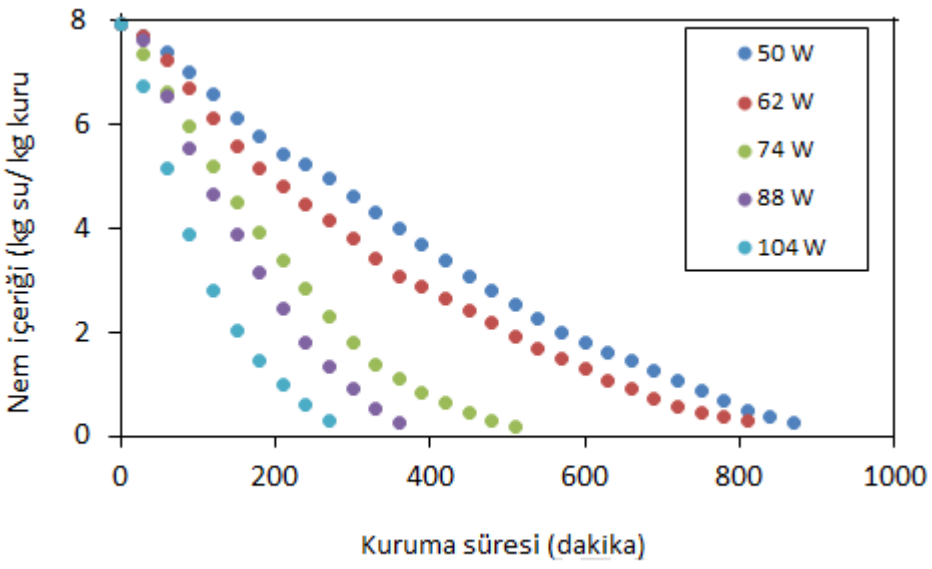
5.2.1 Infrared Güç Seviyesinin ve Ön İşlemin Kurutma Süresine Etkisi

Kızılötesi kurutucuda yapılan kurutma işlemi için yaklaşık 50'er gramlık çilek numuneleri ön işlemsiz sırasıyla 50 W, 62 W, 74 W, 88 W ve 104 W güç seviyelerinde son nem içeriği yaklaşık %10 olana kadar kurutulmuştur. Kurutma süreleri her yarım saatte tartılıp not edilmiştir. Ayrıca potasyum karbonat çözeltisi ile ön işlemi uygulanmış çilek numuneleri de sırasıyla 50 W, 62 W, 74 W, 88 W ve 104 W güç seviyelerinde son nem içeriği yaklaşık %10 olana kadar kurutulmultur.

Çizelge 5.9 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş çileklerin toplam kuruma süreleri

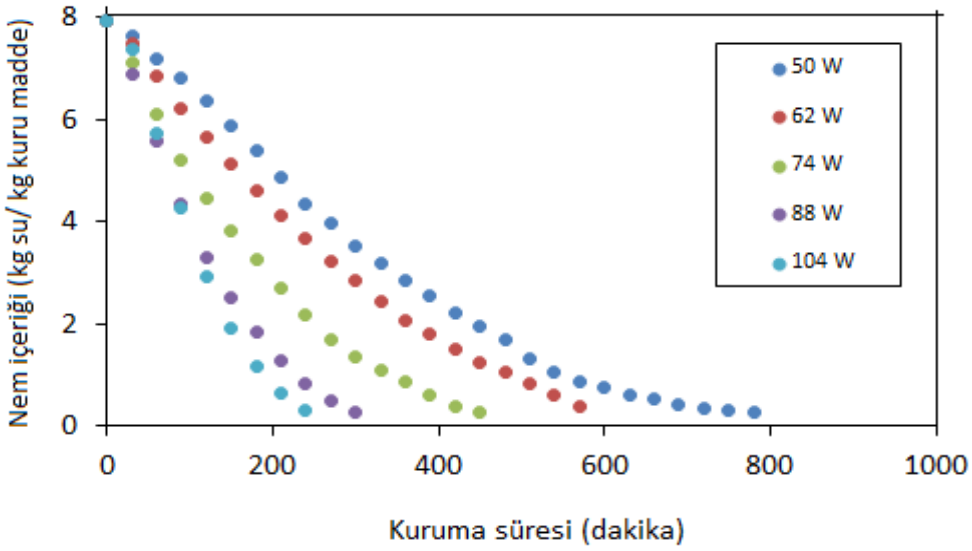
Güç Seviyesi (W)	Kurutma Süresi (dakika)	
	Kontrol	Potas
50	840	750
62	795	570
74	510	420
88	345	330
104	270	240

Çizelge 5.9'a bakıldığında kızılötesi kurutucuda kurutulan çileklerin uygulanan güç artıkça kuruma süresi azalmaktadır. Ayrıca potas ön işlem uygulanmış çilek numunelerinin ön işlem görmemiş numunelere göre daha kısa sürede kuruduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda çizilen nem içeriği-kurutma süresi grafikleri Şekil 5.19 ve 5.20'de gösterilmektedir.



Şekil 5.19 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş kontrol kodlu çileklerin nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Şekil 5.19 incelendiğinde 104 W infrared güç seviyesinde kurutulan örneklerin kuruma süresi en kısadır. Böylece uygulanan güç arttıkça kuruma süresi azalmaktadır. En yüksek kuruma süresi ise 50 W infrared güç seviyesinde kurutulan örneklerde meydana gelmiştir. Şekil 5.19 ve 5.20 birlikte incelendiğinde Potas kodlu çileklerin kurutma süreleri Kontrol kodlu örneklere göre daha azdır.



Şekil 5.20 Farklı güç seviyelerinde potas kodlu çileklerin nem içeriği-kurutma süresi grafiği

5.2.2 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Regrasyon katsayısı (R^2), ki-kare (χ^2) ve tahmini standart hata (RMSE) çilek kurutma eğrilerinin uygunluğunun belirlenmesi için belirlenmiş parametrelerdir. Bu parametrelerin karşılaştırılması için yedi farklı kurutma modeli kullanılmıştır. Bu modeller kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan çilek örneklerinden elde edilen verilere uygulanmıştır. Hesaplanan istatiksel veriler Çizelge 5.10 ve 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 50, 62 ve 74 W güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulmuş çileklerin kurutma modellerinin istatiksel sonuçları

Güç Seviyesi	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
50 W	Lewis	0,9587	0,003904	0,297762
	Henderson & Pabis	0,9715	0,002721	0,232581
	Logaritmik	0,9989	0,000105	0,043155
	Midilli & Küçük	0,9993	0,000068	0,022665
	Wang & Singh	0,9987	0,000122	0,045147
	Weibull	0,9945	0,000205	0,045155
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000083	0,036282
62 W	Lewis	0,9774	0,002042	0,204048
	Henderson & Pabis	0,9858	0,001329	0,155034
	Logaritmik	0,9990	0,000094	0,036578
	Midilli & Küçük	0,9992	0,000082	0,035774
	Wang & Singh	0,9984	0,000148	0,060147
	Weibull	0,9963	0,001835	0,245034
	Aghbashlo vd.	0,9982	0,000161	0,052267
74 W	Lewis	0,9656	0,003622	0,225477
	Henderson & Pabis	0,9763	0,002140	0,206862
	Logaritmik	0,9966	0,000274	0,062159
	Midilli & Küçük	0,9995	0,000052	0,028978
	Wang & Singh	0,9978	0,000366	0,076037
	Weibull	0,9981	0,000211	0,08272
	Aghbashlo vd.	0,9993	0,000100	0,040193

Çizelge 5.11 88 ve 104 W güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulmuş çileklerin kurutma modellerinin istatiksel sonuçları

Güç Seviyesi	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
88 W	Lewis	0,9476	0,000077	0,028583
	Henderson & Pabis	0,9656	0,003073	0,190663
	Logaritmik	0,9750	0,002297	0,144812
	Midilli & Küçük	0,9992	0,000083	0,025061
	Wang & Singh	0,9929	0,001059	0,117551
	Weibull	0,9981	0,002103	0,03892
	Aghbashlo vd.	0,9960	0,000497	0,040585
104 W	Lewis	0,9819	0,002039	0,110248
	Henderson & Pabis	0,9868	0,001274	0,050824
	Logaritmik	0,9968	0,000399	0,052891
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000045	0,018225
	Wang & Singh	0,9977	0,000399	0,052515
	Weibull	0,9990	0,000295	0,02529
	Aghbashlo vd.	0,9994	0,000269	0,031669

Çizelge 5.10 ve 5.11'deki verileri incelendiğinde en yüksek R^2 değerinin ve en düşük RMSE ile χ^2 değelerinin Midilli & Küçük modelinden elde edilmiştir. Bu nedenle kızılötesi kurutucuda kurutulan çilek örneklerinin kurutma eğrilerinin en iyi temsil eden kurutma modeli olarak seçilmiştir.

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

Kombine kurutma sisteminde hem kızılötesi kurutucu hem de kabin kurutucu birlikte kullanılmıştır. Ön işlemsiz çilek örnekleri önce 74 W infrared güç seviyesinde kızılötesi kurutucuda 1 ve 2 saat kurutulduktan sonra kurutma işlemine kabin kurutucuda ve 55°C'de devam edilmiştir. Aynı işlem potasyum karbonat çözeltisi ile ön işlemli çilekler için de uygulanmış olup Çizelge 5.12'de kurutma süreler belirtilmiştir.

Çizelge 5.12 Kombine kurutma ile kurutulan örneklerin kurutma süreleri

Kurutma Tipi	**Süre (dakika)**
Ön işlemsiz 74 W IR Kurutucu (1 saat) + 55°C Kabin Kurutucu	870
Ön işlemsiz 74 W IR Kurutucu (2 saat) + 55°C Kabin Kurutucu	810
Ön işlemli 74 W IR Kurutucu (1 saat) + 55°C Kabin Kurutucu	660
Ön işlemli 74 W IR Kurutucu (2 saat) + 55°C Kabin Kurutucu	570

Çizelge 5.12'i incelediğimizde ön işlemsiz numunelerde kızılötesi kurutucuda 74 W IR gücünde 2 saat kurutulup daha sonra kurutma işlemine kabin kurutucuda devam edilen örneklerin kurutma süresi en düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, Potas kodlu örneklerin kızılötesi kurutucuda 74 W IR gücünde 2 saat kurutulup daha sonra kurutma işlemine kabin kurutucuda 55°C'de devam edilen örneklerin kurutma süresi, 1 saat kızılötesi kurutucuda 74 W IR gücünde kurutulup ardından 55°C'de kabin kurutucuda kurutmaya devam edilen örneklere göre daha kısadır.

Çizelge 5.1'deki Potas kodlu örneklerin 55°C'de kurutma süresi 960 dakika gerçekleşmiştir. Kombine kurutma sisteminde ise Potas kodlu örneklerin kızılötesi kurutucuda 74 W IR gücünde 1 saat kurutulup daha sonra kurutma işlemine kabin kurutucuda 55°C'de devam edilen örneklerin kurutma süresi 660 dakikadır. Kombine ile kabin kurutma sistemleri karşılaştırıldığında kurutma süresinde Kombine kurutma sistemi lehine 1,45 kat azalmıştır.

5.4. Renk Analizi

Taze çileğin renk değerleri (L, a ve b) sırası renk tayin cihazı ile ölçülmüştür. Taze ve farklı ön işlem ve sıcaklıklarda kurutulan çilek örneklerinin renk analizi sonuçları Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13 Taze ve Farklı ön işlem ve sıcaklıklarda kabin kurutucuda kurutulan çilek örneklerin renk parametreleri

Kod	**Sıcaklık (°C)**	**Renk Parametreleri**		
		L	**a**	**b**
Taze Çilek	-	35,35	26,08	5,20
Potas	45	32,94	12,40	-1,27
	50	34,67	12,33	-0,82
	55	35,80	12,23	-0,76
	60	35,87	11,43	-0,62
	65	36,46	10,48	-0,30
Sitrik	45	34,78	16,51	0,80
	50	35,48	14,84	1,20
	55	37,61	14,71	2,38
	60	38,73	14,43	2,56
	65	38,97	13,45	2,86
Kontrol	45	34,21	13,55	-1,91
	50	34,75	13,06	-1,38
	55	36,43	12,88	-1,24
	60	36,49	11,62	-0,56
	65	36,93	11,54	-0,18

Çizelge 5.13 incelendiğinde, farklı sıcaklık ve ön işlemlere tabi tutularak kurutulan çilek örneklerininin renk analiz sonuçlarına kurutma sıcaklığı ve kurutmadan önce uyguklanan ön

işlemlerinin etki ettiği görülmektedir. Çizelge 5.13'deki sonuçlara göre kurutma sıcaklığı arttıkça L ve b değerlerinin arttığı ve buna karşılık a değerlerinin azaldığı görülmektedir. En yüksek L ve b ile en düşük a değerleri, 65°C'de kurutulan örneklerde elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta kurutulan örneklerin kurutma süreleri diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerin kurutma sürelerine göre daha kısa olduğundan dolayı bu durum kurutulan örneklerin renk değerlerine olumlu yönde yansımıştır. Buna ek olarak bütün sıcaklıklarda kurutulan sitrik kodlu çilek örneklerinin renk parametreleri diğer kurutulan örneklere göre daha yüksektir. Sonuç olarak Sitrik+Askorbik asit çözeltisinin kurutulmuş çilek üretimine olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir.

Kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulan kontrol kodlu çilek örneklerinin renk analiz sonuçları Çizelge 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.14 Farklı güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulan Kontrol çilek örneklerinin renk parametreleri

İnfrared Güç Seviyesi	**Renk Parametreleri**		
	L	**a**	**b**
50 W	35,10	15,24	-1,52
62 W	35,90	13,40	-0,32
74 W	36,61	11,83	-0,21
88 W	36,79	10,83	0,54
104 W	38,31	10,74	2,01

Kızılötesi kurutucuda kurutulan kontrol kodlu çileklerin renk parametreleri incelendiğinde infrared güç seviyesinin renk parametrelerine etki ettiği görülmüştür. Infrared güç seviyesi arttıkça L ve b değerleri artarken a değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En yüksek L ve b ile en düşük a değerleri 104 W gücünde kurutulan örneklerde elde edilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, birden çok kullanım amacı olan aynı zamanda faydası olan çilek meyvesinin uygun şekilde kurutulup muhafaza edilebilmesi için uygun kurutma yöntemleri ve koşulları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Çilek örnekleri 5 farklı kurutma sıcaklığındaki (45, 50, 55, 60 ve 65°C) kabin kurutucuda ön işlem uygulanarak (potasyum karbonat ve sitrik asit + askorbik asit çözeltileri) ve ön işlemsiz kurutulmuştur. Uygulanan ön işlem çözeltilerinin kurutma süresi ve hızları üzerine olan etkileri incelenmiştir. Kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. En hızlı kurutma işlemi 65°C'de potas kodlu çilek örneklerinde olduğu saptanmıştır.
- Farklı güç seviyelerindeki (50, 62, 74, 88 ve 104 W) kızılötesi kurutucuda ön işlem uygulanarak (potas karbonat çözeltisi) ve ön işlem uygulanmadan çilek örnekleri kurutulmuştur. İnfrared güç seviyesi arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. En hızlı kurutma işlemi 104 W infrared güç seviyesinde kurutulan örneklerde elde edilmiştir.
- Her iki kurutucuda kurutulan ön işlemli örneklerin kurutma süreleri ön işlemsiz örneklere göre daha azdır. Ayrıca potasyum karbonat çözeltisi ile ön işlem uygulanan örneklerin kurutma işlemi daha kısa sürede sonuçlanmıştır.

- Kombine kurutma sisteminde (infrared + kabin) kurutulan örenklerin kurutma süreleri kabin kurutucuda kurutulan örneklere göre daha düşük bulunmuştur.
- Kabin kurutucuda değişik sıcaklıklarda (45-65°C) kurutulan potas, sitrik ve kontrol kodlu çilek örneklerin efektif difüzyon katsayıları sırası ile $0{,}954\times10^{-9}$ m^2/s ile $2{,}528\times10^{-9}$ m^2/s, $0{,}857\times10^{-9}$ m^2/s ile $1{,}574\times10^{-9}$ m^2/s ve $0{,}811\times10^{-9}$ m^2/s ile $1{,}526\times10^{-9}$ m^2/s arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aktivasyon enerjisi değerleri ise 29,80 ile 39,60 kJ/mol aralığında hesaplanmıştır.
- Kabin kurutucuda kurutulan çilek örneklerinin renk analizleri değerlendirildiğinde 65°C'de kurutulan çilek örnekleri en yüksek L ve b değerlerine, buna karşılık en düşük a değerine sahiptir. Kızıl ötesi kurutucuda kurutulan çileğin ise renk analizleri sonuçlarına göre 104 W infrared gücünde kurutulmuş çilekler en yüksek L ve b değerlerine, buna karşılık en düşük a değerine sahiptir.
- Sıcak havalı kabin kurutucuda ve kızılötesi kurutucuda yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verileri Lewis, Henderson & Pabis, Logaritmik, Midilli & Küçük, Wang & Singh, Weibull Aghbashlo vd. matematisel modellere uyarlanmıştır. Midilli & Küçük modelinin R^2 değerlerinin en yüksek, χ^2 ve RMSE değerlerinin en düşük değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle çilek örneklerinin kurutma eğrilerini en iyi temsil eden model olarak Midilli & Küçük modeli seçilmiştir.
- Dilimlenmiş çilek örneklerinin kuruma süresi bütün halde kurutulan örneklere göre daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Kurutma yüzey alanı arttıkça kurutma hızı artmış ve bunun sonucu olarak kurutma süresi de düşmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Cemeroğlu, B. S.,(2004). Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. cilt. ISBN 975-98578-2-0.

[2] Demirtaş, C., (1996). Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[3] Saldamlı, İ. ve Saldamlı,E.,(2004). Gıda Endüstrisi Makineleri, Savaş Yayınları, Ankara.

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

[5] Soysal, Y., Ayhan, Z. ve Eştürk, O., (2009). "Mikrodalga ile Meyve ve Sebze Kurutmada Enerji kullanım Verimliliği ve Ürün Kalitesinin Arttırılmasında İleri Kurutma Tekniklerinin Uygulanması Üzerine Araştırmalar", Tübitak-Tovag Proje No: 105 O 547.

[6] Rockland, L.B., (1969). "Water Activity and Storage Stability", Food Technology, 23: 1241.

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

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

[9] Cemeroğlu, B. S., (2004). Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. cilt. ISBN 975-98578-2-0.

[10] Zhang, M., Tang, J., Majumdar, A.J. ve Wang S., (2006). "Trends in Microwave Related Drying of Fruits and Vegetables", Trends in Food Science and Technology, 17: 524-534.

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

[12] Dikbasan, T., (2007). Determination of Effective Parameters For Drying of Apples, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Institue of Technology, İzmir.

[13] Demirtaş, C., (1996). Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[14] Cemeroğlu, B., (1986). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği, Ankara

[15] Cemeroğlu, B. S., (2010). Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler, Gıda Teknoloji Derneği Yayınları.

[16] Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/541GI0137.pdf, 28 Mayıs 2016.

[17] Ertekin, Y. O., (2001). "Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables", Drying Technology, 19: 583–597.

[18] Al-Juamily, K.I.J., Khalifa, A.J.N. ve Yassen T.A., (2007). "Testing of the Performance of a Fruit and Vegetable Solar Drying System in Iraq", Desalination, 209: 163–170.

[19] Yongsawatdigul, J. ve Gunasekaran, S., (1997). "Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Part II. Quality Evaluation", Journal of Food Processing and Preservation, 20: 145-156.

[20] Zhong, T. ve Lima M., (2003). "The Effect of Ohmic Heating on Vacuum Drying Rate of Sweet Potato Tissue", Bioresource Technology, 87: 215–220.

[21] Nasıroğlu, Ş., (2007). Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında Infrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

[22] Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., (1990). Gıda Endüstrisi Makinaları, Birinci Baskı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.

[23] Gürses, Ö. L., (1986). Gıda İşleme Mühendisliği, Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.

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

[25] Cemeroğlu, B. ve Karadeniz, F., (2003). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Ankara.

[26] Başoğlu, F., Çopur, U. ve Kılıç, O.,(1987). Meyve ve Sebze İşlemeTeknolojisi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

[27] Bahçe Bitkileri, Çilek Yetiştiriliciğinin Tarihçesi, http://bahcebitkilerim.blogspot.com.tr/2013/07/cilek-yetistiriciliginintarihcesi.html, 28 Mayıs 2016.

[28] Antalya Tarım, Çilek Yetiştiriciliği, http://antalya.tarim.gov.tr/Belgeler/Yeti%C5%9Ftirici%20Bilgileri/%C3%87ilek%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi.pdf, 28 Mayıs 2016.

[29] Tarım Kütüphanesi, Çilek Yetistiriciliği, http://arastirma.tarim.gov.tr/alata/Belgeler/brosurler/%C3%87ilekYeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi%C3%87Nacar.pdf, 28 Mayıs 2016.

[30] Wang, H., Cao, G. ve Prior, R.L., (1996). "Total Antioxidant Capacity of Fruits", Food Chemistry, 44: 701–705.

[31] Heinonen, I.M., Meyer, A.S. ve Frankel, E.N., (1998). "Antioxidant Activity Of Berry Phenolics on Human Low-Density Lipoprotein and Liposome Oxidation", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46:4107–4112.

[32] Cao, G.H., Russell, R.M., Lischner, N. ve Prior, R.L., (1998). "Serum Antioxidant Capacity is Increased by Consumption of Strawberries, Spinach, Red Wine or Vitamin C in Elderly Women", Journal of Nutrition, 128: 2383–2390.

[33] Smith, S.H., Tate, P.L., Huang, G., Magee, J.B., Meepagala, K.M., Wedge. D.E. ve Larcom, L.L., (2004). "Antimutagenic Activity of Berry Extracts", Journal of Medicinal Food, 7: 450–455.

[34] Şifalı Bitkiler Listesi, Çileğin Faydaları, http://sifalibitkilerlistesi.com/cilegin-kimyasal ozellikleri/ , 28 Mayıs 2016.

[35] Akpınar, E.K. ve Biçer, Y., (2006). "Mathematical Modelling and Experimental Study on Thin Layer Drying of Strawberry", International Journal of Food Engineering, 2:1**.**

[36] Aktaş, T., Orak, H.H., Şahin, F.H. ve Ekinci, N., (2013). "Farklı Kurutma Metodlarının Kocayemiş Meyvesinin (Arbutus unedo L.) Kuruma Kinetikleri ve Renk Parametreleri Üzerine Etkileri", Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 10 (2):1-12.

[37] Al-Hilphy, A. Ş. R., AlRikabi A. K. J., (2013). "Mathematical Modeling and Experimental Study on thin Layer Halogen Dryer of Strawberry and Study its Effect on Antioxidant Activity", American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 8 (4): 268-281.

[38] Bruijn J., Bórquez R, (2014). "Quality Retention in Strawberries Dried by Emerging Dehydration Methods", Food Research International, 63: 42–48.

[39] Ertekin, C., Gözlekci E.C., Heybeli N., Gencer A., Adak N. ve Oksal B. S., (2014). "Drying of Strawberries with Infrared Dryer", International Conference of Agricultural Engineering, 6-10 Haziran, Zürih.

[40] Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J. A., Villamiel, M. ve Garcia-Perez, J. V., (2014). "Air-borne Ultrasound Application in the Convective Drying of Strawberry", International Journal of Food Engineering, 128: 132–139.

[41] Morales-Delgado, D.Y., Tellez-Medinai D.I., Rivero-Ramırez, N. L., Arellano-Cardenas, S., Lopez-Cortez, S., Hernandez-Sanchez H., Gutierrez-Lopez, G. ve Cornejo-Mazon M., (2014). "Effect of Convective Drying on Total Anthocyanin Contenti Antioxidant Activitity and Cell Morphometric Parameters of Strawberry Parenchymal Tissue (Fragaria x ananassa Dutch)", Revista Mexicana de Ingeniería Química, 13: 179-187.

[42] Orak, H.H., Aktas T., YagarH., İşbilir S. S., Ekinci N. ve Şahin H., (2012). "Effects of Hot Air and Freeze Drying Methods on Antioxidant Activity, Colour and Some Nutritional Characteristics of Strawberry Tree (*Arbutus unedo*) Fruit", International Food Science and Technology, 18: 391-402.

[43] Agnieszka, C. S. Ve Andrzej, L., (2010). "Rehydration and Sorption Properties of Osmotically Pretreated Freeze-dried Strawberries", Journal of Food Engineering, 97: 267–274.

[44] El-Beltagy, A., Gamea G.R. ve Essa, A.H.A., (2005). “Solar Drying Characteristics of Strawberry”, Journal of Food Engineering, 78: 456–464.

[45] Contreras, C., Martın-Esparza, M.E., Chiralt, A. ve Martinez-Navarrete N., (2008). “Influence of Microwave Application on Convective Drying Effects on Drying Kinetics, and Optical and Mechanical Properties of Apple and Strawberry”, Journal of Food Engineering, 88: 55–64.

[46] Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J.A., Villamiel, M. ve Garcia-Perez, J.V., (2014). “Impact of Power Ultrasound on Chemical And Physicochemical Quality Indicators of Strawberries Dried by Convection”, Food Chemistry, 161: 40-46.

[47] Wojdylo, D., Figiel, A. ve Oszmianski, J., (2009). “Effect of Drying Methods with the Application of Vacuum Microwaves on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Activity of Strawberry Fruits”, Journal of Agriculture and Food Chemistry, 57: 1337–1343.

[48] Doymaz, İ., (2008). “Convective Drying Kinetics of Strawberry”, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 47: 914–919.

[49] Çam, M. ve Ersus S., (2008). “Dondurularak Kurutulmuş Çilek Meyvesinin Toplam Fenolik Madde İçeriğinin ve Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi “, Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.

[50] Alibaş, İ., (2012). “Çilek Dilimlerinin Mikrodalga ile Kurutulmasıve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi”, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 8: 161-170.

[51] Karaaslan, S. ve Balta, A., (2014). “Çileğin Mikrodalga- Fan Destekli Konveksiyon Kombinasyonuyla Kurumasına Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi”, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 2062-2067.

[52] Tan, F., Canpolat, A.S., Yüce, B.E ve Türkan, B., (2016). “Experimantel and Numerical Investisgation of Strawberry Drying”, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 21(1): 205-217.

[53] Johnson, A.C. ve Mukhaini, E.M.A., (2016). “Drying Studies on Peach and Strawberry Slices”, Cogent Food & Agriculture, 2: 1141654.

[54] Ozturk, O.K., ve Takhar, P.S., (2019). “Selected Physical and Viscoelastic Properties of Strawberries as a Function of Heated-air Drying Conditions”, Drying Technology, 37: 1833-1843.

[55] Karaaslan, S. ve Tunçer, İ.K., (2009). “Kırmızı Biberin Fan Destekli Mikrodalga ile Kurutulmasında Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ile Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 12(2): 9-16.

[56] Wang, Z.F., Fang, S.Z., ve Hu, X.S., (2009). “Effective Diffusivities and Energy Consumption of Whole Fruit Jujube (Zizyphus jujuba Miller) in Microwave Drying”, Drying Technology, 27: 1097-1104

[57] Mundada, M., Hathan, B.S. ve Maske, S., (2010). "Convective Dehydration Kinetics of Osmotically Pretreated Pomegranate Arils", Journal of Biosystems Engineering, 107: 307-316.

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

[59] Ghodake, H.M., Goswami, T.K. ve Chakraverty, A., (2006). "Mathematical Modeling of Withering Characteristics of Tea Leaves", Drying Technology, 24: 159-164.

[60] Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. ve Hu, X., (2007). "Mathematical Modelling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace", Food Research International, 40: 39-46.

[61] Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H, Khani, S. ve Ghasemi, M., (2009). "Mathematical Modeling of Carrot Thin-layer Drying using New Model". International Agrophysics, 23: 313-317.

[62] Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A. ve Vásquez, A., (2008). "Weibull Distribution for Modelling Air Drying of Coroba Slices", LWT-Food Science and Technology, 41: 2023-2028.

[63] Sobukola, O.P., Dairo, O.U. ve Odunewu, A.V., (2008). "Convective Hot Air Drying of Blanched Yam Slices", International Journal of Food Sicence and Technology, 43: 1233-1238.

[64] Hutchinson, D. ve Otten L., (1983). "Thin Layer Air Drying of Soybeans and White Beans", Journal of Food Technology, 18: 507-522.

[65] Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X. ve Hu, X., (2006). "Mathematical Modelling on Thin Layer Microwave Drying of Apple Pomace With and Without Hot Air Pre-Drying", Journal of Food Engineering, 80: 536-544.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Elif Özenç Koluaçık

Doğum Tarihi ve Yeri : 26.01.1991, İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : eliff.ozenc@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Kimya Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2017-Halen	TÜV Rheinland Uluslararasi Standartlar Sertifikasyon ve Denetim A.Ş.	Proje Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Koluaçık, E.Ö. ve Doymaz, İ., (2018), “Effect of Pretreatment on Drying Time and Quality of Strawberry”, 4th Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME), December 19-21, 2018, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, pp. 613-623.