

**ALIÇ (*Crataegus aronia L.*)  
MEYVESİNİN KURUMA  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Serdar ARAL**

**Yüksek Lisans Tezi  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı  
Doç. Dr. A. Vildan BEŞE**

**2014**

**Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİÇ (*Crataegus aronia L.*) MEYVESİNİN KURUMA  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Serdar ARAL

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı

ERZURUM  
2014

Her Hakkı Saklıdır



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ALIÇ (*Crataegus aronia L.*) MEYVESİNİN KURUMA  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Doç. Dr. A. Vildan BEŞE danışmanlığında, Serdar ARAL tarafından hazırlanan bu çalışma 23/07/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı – Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (+3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. İsak KOTCIOĞLU

İmza :

Üye : Doç. Dr. A. Vildan BEŞE

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Jale NAKTİYOK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 21/08/2014 tarih ve 33/1050 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ALIÇ (*Crataegus aronia L.*) MEYVESİNİN KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Serdar ARAL

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. A. Vildan BEŞE

Bu çalışmada, tıbbi bitki olarak kullanılan ve önemli bir C vitamini kaynağı olan alıç (*Crataegus aronia L.*) meyvesinin kurutma davranışı incelenmiştir. Deneysel laboratuvar tipi konvektif bir kurutucuda 50, 60 ve 70°C kuruma hava sıcaklıkları ve 0,50, 0,90 ve 1,30 m/s kuruma hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan kurutma işlemleri sonunda; en kısa kurutma süresi, kurutma hava sıcaklığı 70°C ve kurutma hava hızı 1,30 m/s olduğu şartlarda 17 saat, en uzun kurutma süresi ise hava sıcaklığı 50°C ve hava hızı 0,50 m/s olduğu şartlarda 140 saat olarak belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler, literatürde yer alan 12 farklı matematiksel modellere uygulanarak kurutma kinetiği tanımlanmıştır. Regrasyon analizi ( $R^2$ ), tahmini standart hatası (RMSE) ve khikare ( $\chi^2$ ) değerleri uygun modelin seçimi için kriter olarak kullanılmıştır. Alıç meyvesinin farklı sıcaklık ve hava hızlarında kuruma davranışını tanımlayan en uygun model, Midilli *et al.* (2002) modeli olmuştur. Nemin materyal içinde hareketini tanımlayan etkin difüzyon katsayısı ( $D_{eff}$ ) değerleri  $2,315 \cdot 10^{-10}$ -  $2,034 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s aralığında bulunmuştur. Buharlaşma için gerekli olan aktivasyon enerji ( $E_a$ ) değerleri; 0,5, 0,9 ve 1,3 m/s hava hızlarında sırası ile 81,62, 87,12 ve 91,71 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler literatürdeki diğer çalışmalarla da uygunluk göstermektedir.

**2014, 93 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Konvektif kurutma, matematik modelleme, alıç, kinetik, etkin difüzyon katsayısı

## ABSTRACT

Master Thesis

### INVESTIGATION OF DRYING BEHAVIOUR OF HAWTHORN FRUIT (*Crataegus aronia L.*)

Serdar ARAL

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemical Engineering  
Division of Chemical Technologies

Supervisor: Doç. Dr. A. Vildan BEŞE

In this study, medical plant used as and an important source of vitamin C of hawthorn fruit (*Crataegus aronia L.*), behavior is examined. The experiments have been carried out on a laboratory-type convective dryer with 50, 60 and 70°C drying air temperature and 0.5, 0.9 and 1.3m/s drying air flow. At the end of the drying process; the short drying time, drying air temperature of 70°C and drying air velocity of 1.30 m/s under the conditions of 17 hours, the longest drying time the air temperature is 50°C and air velocity of 0.50 m/s under the conditions of 140 hours under the conditions was determined as. The experimental data obtained was modeled with 12 different mathematical models. Regression analysis ( $R^2$ ), the estimated standard error (RMSE) and khi-kare values are used as criteria for selecting the appropriate model. Hawthorn fruit drying behavior in different temperature and air velocity that defines the most appropriate model, Midilli *et al.* (2002) has been. Describing the motion of moisture in the material of the effective diffusivity ( $D_{eff}$ ) values  $2,315 \times 10^{-10}$ - $2.034 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s it has been found in the range. The activation energy which is necessary for evaporation ( $E_a$ ) values; 0.5, 0.9 and 1.3 m/s in air velocities 81.62, 87.12 and 91.71 kJ/mol, respectively. These calculated values are demonstrate suitability with other work in the literature.

**2014, 93 pages**

**Keywords:** Convective drying, mathematical models, hawthorn, kinetic, effective diffusivity coefficient

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. A. Vildan BEŞE'ye en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Sayın Gökhan SERCAN, Sayın Emine TEKE, Sayın Ceyhun YÜKSEL ve Sayın Arş. Gör. Hakan KIZILTAŐ'a tüm yardımları ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Maddi manevi her türlü konuda en büyük destekçim olan anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

**Serdar ARAL**

**Temmuz, 2014**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>2</b>
2.1. Kurutmanın Tarihçesi.....	2
2.2. Temel Kavramlar.....	3
2.2.1. Ürün nem miktarı.....	3
2.2.2. Ürün denge nemi.....	4
2.2.3. Ürün sorpsiyon izotermi.....	5
2.2.4. Nemli havanın termodinamik özellikleri.....	7
2.2.4.a. Özgül nem.....	7
2.2.4.b. Buhar basıncı.....	7
2.2.4.c. Mutlak nem.....	7
2.2.4.d. Bağlı nem.....	7
2.2.4.e. Kuru termometre sıcaklığı.....	8
2.2.4.f. Yaş termometre sıcaklığı.....	8
2.2.4.g. Çiğ noktası sıcaklığı.....	9
2.2.4.h. Entalpi.....	9
2.2.4.1. Nemli havanın özgül ısısı.....	10
2.3. Su Aktivitesi ve Önemi.....	10
2.4. Kuruma Evreleri.....	11
2.4.1. Kurumanın statığı.....	12
2.4.2. Kurumanın kinetiği.....	13
2.5. Kurutma Sürecinde Isı ve Kütle Transferi.....	18
2.6. Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler.....	19

2.6.1. Sıcaklık.....	20
2.6.2. Havanın nemi .....	20
2.6.3. Havanın hızı .....	21
2.6.4. Yüzey alanı.....	21
2.6.5. Ortamın basıncı .....	22
2.6.6. Kurutulan gıdanın özellikleri.....	22
2.7. Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri.....	23
2.7.1. Kararma reaksiyonları .....	23
2.7.2. Lipid oksidasyonu .....	23
2.7.3. Rehidrasyon ve büzülme .....	24
2.7.4. Çözünebilme kapasitesi .....	24
2.7.5. Aroma ve tat .....	24
2.7.6. C vitamini kayıpları .....	24
2.8. Kurutma Yöntemleri.....	25
2.9. Endüstriyel Kurutma Sistemleri .....	26
2.9.1. Fırın tipi kurutucular .....	26
2.9.2. Kabin (dolap veya oda) tipi kurutucular.....	27
2.9.3. Tünel kurutucular .....	28
2.9.4. Konveyör (bantlı) kurutucular.....	29
2.9.5. Akışkan yatak kurutucular.....	30
2.9.6. Sandık kurutucular .....	31
2.9.7. Püskürtmeli (siprey) kurutucular.....	31
2.9.8. Valsli kurutucular .....	32
2.9.9. Vakum kurutucular.....	33
2.9.10. Dondurarak kurutucular .....	34
2.9.11. Mikrodalgalı kurutucular.....	35
2.10. Alıç Meyvesi .....	35
2.11. Literatür Çalışmaları.....	37
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>48</b>
3.1. Materyal.....	48
3.2. Yöntem .....	48
3.2.1. Meyve boyutları ve şekli .....	48



3.2.2. Meyve ağırlığı .....	49
3.2.3. Materyal renk ölçümleri .....	49
3.2.4. Kuru madde tayini .....	52
3.2.5. Kurutma deneyleri .....	53
3.2.6. Rehidrasyon kapasitelerinin ölçülmesi .....	55
3.2.7. Kuruma hızı .....	56
3.2.8. Kurumanın matematiksel modellemesi .....	57
3.2.9. Difüzyon katsayısının hesaplanması .....	58
3.2.10. Aktivasyon enerjisinin hesabı .....	60
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>62</b>
4.1. Materyalin Fiziksel Özellikleri.....	62
4.2. Kurutma Hava Hızı ve Sıcaklığının Kurumaya Etkisi .....	62
4.2. Kuruma Hızı .....	67
4.3. Matematiksel Modellenme .....	71
4.4. Difüzyon Katsayısının Hesaplanması .....	81
4.5. Aktivasyon Enerjisi Hesaplanması.....	82
4.6. Renk Değerleri .....	83
4.7. Rehidrasyon Kapasitesi .....	86
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>88</b>
5.1. Kuruma Hızı .....	88
5.2. Matematiksel Model.....	88
5.3. Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi .....	89
5.4. Renk Değişimleri.....	89
5.5. Rehidrasyon Kapasitesi .....	89
KAYNAKLAR .....	91
ÖZGEÇMİŞ .....	97

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$a$	Model sabiti
$\pm a$	Renk sıklık değeri (kırmızı-yeşil)
$a_w$	Su aktivitesi
$b$	Model sabiti
$\pm b$	Renk sıklık değeri (sarı-mavi)
$c$	Model sabiti
$D_0$	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit ( $m^2/s$ )
$D_{eff}$	Etkin difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ )
$E_a$	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
$K$	Kelvin
$k$	Model sabiti
$L$	Dilim kalınlığı (m)
$L$	Renk parlaklığı
$M$	Nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
$M_t$	$t$ anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	$t+\Delta t$ anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
$M_e$	Denge anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
$M_0$	$t=0$ anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
$M_{yb}$	Yaş baza göre nem içeriği (kg su/kg toplam madde)
$M_{kb}$	Kuru baza göre nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$m_0$	Başlangıç madde miktarı (kg)
$m_k$	Kuru madde miktarı (kg)
$MR$	Nem oranı
$MR_{exp,i}$	Deneysel nem oranı
$MR_{pre,i}$	Tahmini nem oranı
$n$	Model sabiti

N	Deneysel veri sayısı
$N_d$	Denge durumunda materyalin ulaştığı nem
$N_{ds}$	Yüksek denge nemi
$N_{dk}$	En küçük denge nemi
$P^o$	Saf suyun buhar basıncı (atm)
$P_w$	Gıdanın içerdıği suyun buhar basıncı (atm)
$P_{\ddot{u}}$	Ürünün yüzeyinde bulunan suyun kısmi basıncı
$P_b$	Havada bulunan su buharının kısmi basıncı
$P_{bs}$	Doymuş buhar basıncı
r	Yarıçap (m)
R	Üniversal gaz sabiti (kJ/(mol. K))
$R^2$	Regresyon katsayısı
RC	Rehidrasyon kapasitesi
R	Kurutma hızı (g su /s m <sup>2</sup> )
RMSE	Tahminin standart hatası
t	Süre (s)
$W_1$	Rehidrasyon işleminden önceki madde miktarı (kg)
$W_2$	Rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarı (kg)
Z	Parametre sayısı
$\chi^2$	khi-kare
$\Phi$	Bağıl nem

### Kısaltmalar

DBN	Denge bağıl nemi
BKN	Birinci kritik nokta
İKN	İkinci kritik nokta
IE	Isınma evresi
SHE	Sabit hız evresi
AHE	Azalan hız evresi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sorpsiyon izotermi.....	6
Şekil 2.2. Adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri .....	6
Şekil 2.3. Kuru ve yaş termometre yöntemi ile havanın nem içeriğinin tayini .....	8
Şekil 2.4. Nem grafiği (basitleştirilmiş psikrometrik grafik).....	9
Şekil 2.5. Su aktivitesine bağlı mikroorganizma gelişimi .....	11
Şekil 2.6. Sorpsiyon eğrisinin, kurutmanın statüğü açısından anlamı .....	13
Şekil 2.7. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri.....	15
Şekil 2.8. Kuruma hızı eğrileri.....	18
Şekil 2.9. Kuruma esnasında ısı ve kütle geçişi.....	19
Şekil 2.10. Kabin tipi kurutucu .....	27
Şekil 2.11. Paralel akışlı tünel kurutucu .....	28
Şekil 2.12. İki aşamalı konveyör kurutucu .....	29
Şekil 2.13. Akışkan yatak kurutucu .....	31
Şekil 2.14. Püskürtmeli (siprey) kurutucu .....	32
Şekil 2.15. Dondurarak kurutma sistemi .....	34
Şekil 2.16. Alıç meyvesi genel görünümü.....	37
Şekil 3.1. Dijital kumpas cihazının görünümü .....	48
Şekil 3.2. Konica Minolta Chroma Meter CR-400 cihazın genel görünümü .....	50
Şekil 3.3. Hunter Lab renk skalası .....	51
Şekil 3.4. Kurutulmada kullanılan kurutucu genel görünümü.....	53
Şekil 3.5. Anemometre cihazı.....	54
Şekil 3.6. Kurutulan alıç meyvelerinin görünümü.....	55
Şekil 4.1. 0,50 m/s hava hızında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	63
Şekil 4.2. 0,90 m/s hava hızında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	64
Şekil 4.3. 1,30 m/s hava hızında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	65
Şekil 4.4. 0,50 m/s hava hızında kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi .....	68
Şekil 4.5. 0,90 m/s hava hızında kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi .....	69
Şekil 4.6. 1,30 m/s hava hızında kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi .....	70
Şekil 4.7. $\ln(D_{eff}) - (1/(T+273,15))$ arasındaki ilişki .....	82

<b>Şekil 4.8.</b> Kurutulmuş alıç meyvelerinin rehidrasyon sıcaklıklarına göre rehidrasyon kapasiteleri.....	87
---	----

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Şekil indeksine ait değer aralıkları .....	49
Çizelge 3.2. Alıç Meyvelerinin kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler .....	57
Çizelge 4.1. Alıç meyvesi örneklerine ait fiziksel özellikler .....	62
Çizelge 4.2. Alıç meyveleri kurutma deneyleri kuruma süreleri değişimi .....	66
Çizelge 4.3. 50°C ve 0,50 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	72
Çizelge 4.4. 50°C ve 0,90 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	73
Çizelge 4.5. 50°C ve 1,30 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	74
Çizelge 4.6. 60°C ve 0,50 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	75
Çizelge 4.7. 60°C ve 0,90 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	76
Çizelge 4.8. 60°C ve 1,30 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	77
Çizelge 4.9. 70°C ve 0,50 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	78
Çizelge 4.10. 70°C ve 0,90 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	79
Çizelge 4.11. 70°C ve 1,30 m/s deki $R^2$ , $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri .....	80
Çizelge 4.12. Farklı sıcaklık ve hava hızları için etkin difüzyon katsayısı değerleri .....	81
Çizelge 4.13. Bazı sebze ve meyvelerin etkin difüzyon katsayıları .....	82
Çizelge 4.14. Bazı sebze ve meyvelerin aktivasyon enerjileri değerleri .....	83
Çizelge 4.15. Taze alıç meyveleri renk değerleri .....	84
Çizelge 4.16. Kurutulmuş alıç meyvelerinin renk değerleri .....	84
Çizelge 4.17. Hesaplanan renk değişim değerleri .....	84
Çizelge 4.18. 20°C’de Rehidrasyon kapasiteleri .....	86
Çizelge 4.19. 50°C’de Rehidrasyon kapasiteleri .....	86
Çizelge 4.20. 80°C’de Rehidrasyon kapasiteleri .....	86

## 1. GİRİŞ

Tarım ürünleri belirgin özelliklerinden biri, yılın belirli dönemlerinde elde edilmeleridir. Bu dönemde yoğun olarak üretilen ürünlerin, genellikle çok azı kısa bir zaman içerisinde taze olarak tüketilebilir (Darıcı ve Şen 2011). Böyle özelliğe sahip ürünlerin daha uzun süre muhafaza ve tüketilebilmelerini sağlamanın yollarından biri de kurutma ile muhafazadır.

Kurutma; tahıl, sebze ve meyvelerin bünyelerindeki suyun belirli yöntemler kullanarak uzaklaştırılma işlemi olarak tanımlanabilir. Gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre dayandırılmaları öteden beri insanların uğraştıkları bir konu olmuştur. Tarımsal ürünlerin yaş olarak tüketilmelerinin yanı sıra kurutularak değişik amaçlarla kullanılmaları, saklama koşullarının daha kolay olması ve ekonomik kazanımları nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Bu nedenle tarımsal ürünlerin kurutulması tüm dünyada en yaygın kullanım alanı bulmuş uygulamadır.

Ülkemizin iklim koşullarının uygun olması nedeniyle, her çeşit meyve ve sebzenin kurutulması işlemi büyük çapta doğal koşullar altında güneşe sererek yapılmaktadır. Bu yolla kurutulmuş ürünler ülke ekonomisine katkısı büyüktür. Ancak ülkemizin dünya kurutulmuş ürün piyasasındaki payını arttırabilmesi için daha hijyenik koşullarda ve kaliteli kuru ürün üretilmesine önem verilmesi gerekmektedir. Dünya ticareti yapılan kurutulmuş sebzelerin büyük bir oranı kontrollü şartlarda sıcak hava ile kurutulmaktadır. Sıcak hava ile kurutulan ürünler daha üstün kalitede ve tüketilmeye hazır duruma gelebilmektedir.

Bu çalışmada mevsimsel bir meyve türü olan alıç meyvesinin, konvektif bir kurutucuda değişik hava sıcaklıkları ve hava hızında kurutulmuştur. Kurutma işlemleri sonunda kurutma hızı, etkin difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, modelleme kinetiği, rehidrasyon kapasitesi ve ren üzerindeki değişimler incelenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Kurutmanın Tarihçesi

Genel bir ifadeyle kurutma; ürünlerin içerdiği nemin, belirli bir sınır değere kadar buharlaştırılarak üründen uzaklaştırılmasına denir (Karaaslan ve Tunçer 2009).

Birçok gıda muhafaza yöntemi arasında kurutmanın yeri ve ayrıcalıkları değişik açılardan irdelenebilir.

- Gıdadaki mevcut su, onun bozulmasına olanak vermeyecek bir düzeye kadar azaltıldığı için kesin bir muhafaza olanağı doğmaktadır.
- Kurutulmuş gıdalar, diğer yöntemlerden farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmıştır.
- Kurutma en ucuz muhafaza yöntemidir. Kurutulmuş gıda üretiminde, daha az işçilik ve daha az ekipman gerektiği gibi bunların depolanması ve taşınmasında da daha az masraf yapılır.
- Kurutulmuş ürünlerin çoğunun özel kullanım alanları vardır. Örneğin, birçok ülkede büyük bir endüstri halinde gelişmiş olan kuru çorba üretiminin hammaddesi, çeşitli kurutulmuş sebzelerdir (Saldamlı 1990).

İnsanoğlu yıllarca değişik amaçlar doğrultusunda sürekli bir şeyleri kurutma ile uğraşmışlardır. Kurutma temelde çok eskilere dayanmasına karşın, esas olarak teknolojinin de gelişmesine paralel olarak 20. yüzyıldan sonra endüstriyel anlamda ortaya çıkmış bir süreçtir. Hızla gelişmekte olan kurutma prosesleri, 1960'lı ve 1970'li yıllardaki Ortadoğu krizi ile birlikte fırlayan enerji maliyetleri yüzünden durağan bir hale girmiş ve endüstriyel prosesler arasındaki liderliğini kaybetmiştir. Artan enerji maliyetleri endüstriyel süreçlerin maliyet analizlerinin yapılmasına yol açmıştır (Traub 2004).



Bugün kurutulmuş ürünler taze ürün pazarına etkili bir alternatif olmuştur. Ülkemizde kurutularak değerlendirilen ürünlerin %63'ü yurtdışına ihraç edilmektedir ve tüm ihracat gelirimizin %80'ini oluşturmaktadır. Kurutulmuş ürünler gerek kurutulmuş olarak tüketilmekte, gerekse hazır çorba, bebek maması, hazır yemekler gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Dünyada kurutulmuş ürün üretimi her geçen gün artmakta olup, bu üretimin büyük bölümü ABD (297,557 ton) ve Türkiye'de (190,000 ton) gerçekleşmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebze pazarı Japonya'da 7.6 milyar dolar (1998'den bu yana) ve Çin'de 800 milyon dolar (1990'ların başından bu yana) olarak belirlenmiştir. Bu eğilimin tüm ülkeler için gelecek yüzyılda da artması ve ekonomik değerini artırarak koruması beklenmektedir (Erbay ve Küçüköner 2008).

## 2.2. Temel Kavramlar

### 2.2.1. Ürün nem miktarı

Tarım ürünlerinde nem miktarı, ürün içerisinde bulunan su ağırlığı olarak ele alınır. Su miktarı, % olarak oransal biçimde tanımlanır. Nem miktarının belirlenmesinde “Yaş baz” (yb) ve “Kuru baz” (kb) olmak üzere iki tanımdan biri kullanılmaktadır (ASAE 1983).

Yaş baza göre nem, üründeki su ağırlığının ürünün toplam ağırlığına oranı olarak tanımlanır.

$$\%N_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \times 100 \quad (2.1)$$

Kuru baza göre nem ise, üründeki su ağırlığının ürünün kuru ağırlığına oranıdır.

$$\%N_{kb} = \frac{M_s}{M_k} \times 100 \quad (2.2)$$

Kuru ve yas baza göre nem oranları aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile birbirine çevrilebilir.

$$\% N_{kb} = \frac{N_{yb}}{100 - N_{yb}} \times 100 \quad (2.3)$$

Kuruma sırasında herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının  $N - N_d$ , üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına  $N_o - N_d$  oranına nem oranı (MR) denir (Demir ve Günhan 2002).

$$MR = \frac{N - N_d}{N_o - N_d} \quad (2.4)$$

Kuruma hızı ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$\frac{dN_{kb}}{dt} = \left[ \frac{N_{t+\Delta t} - N_t}{dt} \right]_{kb} \quad (2.5)$$

### 2.2.2. Ürün denge nemi

Su daima bulunduğu koşullara bağlı olarak faz değiştirme eğilimindedir. Bu, suyun çevresindeki havaya buhar olarak karışması, havada serbest bulunan su moleküllerinin bir kısmı da yoğuşarak sıvı hale geçmesini ifade eder. Bu dönüşümün hızı çevre koşullarına ve sıcaklığına bağlıdır. Su hangi fazda olursa olsun özellikle sıcaklığa ve bulunduğu çevre şartlarına bağlı olarak belirli bir buhar basıncına sahiptir. Bir ortamdan diğerine suyun transfer hızında buhar basıncı etkilidir. Basınç farkı ortadan kalktığında ortamlar arasında denge kurulmuş ve iki ortam arasında su miktarları eşitlenmiş olur. Tarım ürünleri ile çevresi arasındaki nem transfer şekli şu şekilde açıklanabilir:

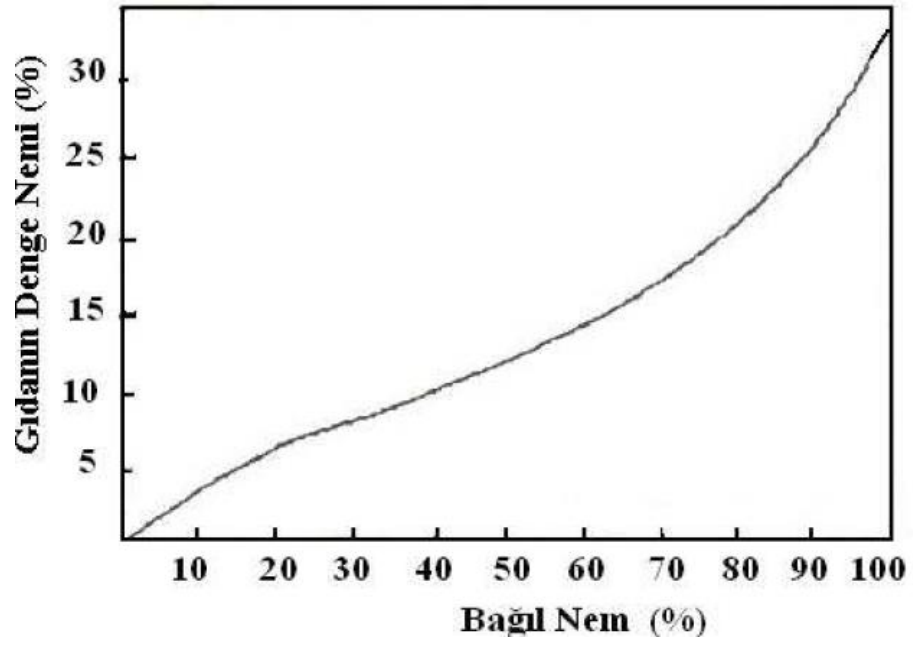
- Ürünün içerisindeki suyun buhar basıncı, çevre havasında bulunan su buharının kısmi buhar basıncından büyükse, nem üründen çevreye taşınır.
- Ürünün içerisindeki suyun buhar basıncı, çevre havasında bulunan su buharının kısmi basıncından daha küçük ise, nem çevreden ürüne taşınır (Yağcıoğlu 1999).

### 2.2.3. Ürün sorpsiyon izotermi

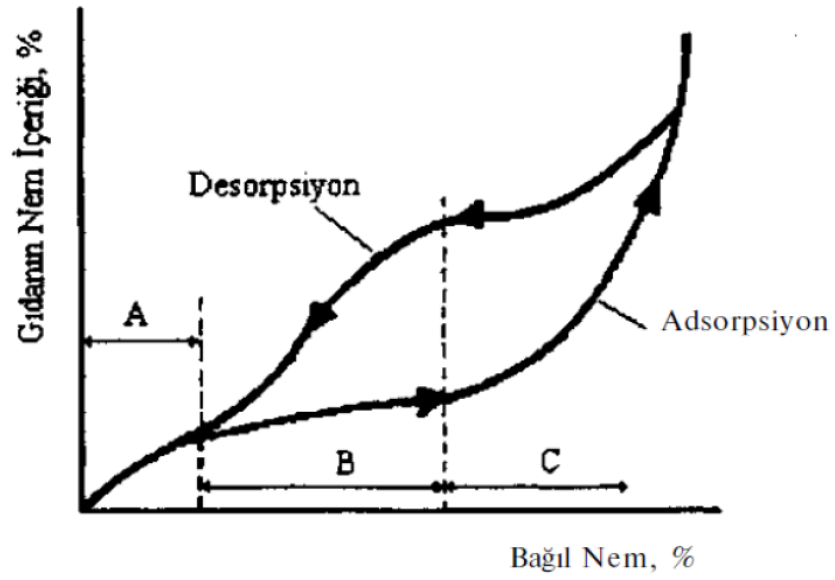
Sabit sıcaklıkta gıdanın su içeriğinin su aktivitesi ile değişimini gösteren grafiğe sorpsiyon izotermi denir (Erbaş 2008).

Şekil 2.1'de gösterilen sorpsiyon izotermine ait eğrilerin saptanmasında gıdanın yaş ve kuru olması farklı sonuçlar verir. Çünkü yaş gıdanın nem kaybetmesi (desorpsiyon) ile kuru gıdanın nem kazanması (adsorpsiyon) tam olarak aynı yolu izleyen bir dönüşüm değildir. Buna göre, ıslak maddenin farklı bağıl nemli atmosferlerde tutulup dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak, ağırlık kaybının saptanmasıyla bulunan eğriye "desorpsiyon" izotermi denir (Kavak vd 1999). Buna karşın, başlangıçta tam anlamıyla kuru olan aynı materyalin, yine değişik bağıl nemli ortamlarda tutularak dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak ağırlık artısının saptanması ile elde edilen eğriye "adsorpsiyon " izotermi denir. Her iki işleme genel olarak, "sorpsiyon izotermi" denir. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi Şekil 2.2'de görülmektedir.

Desorpsiyon izotermi, adsorpsiyon izotermi ile aynı yolu izlemeyerek bir bombe yapması olayına "histeresis" denir. Sorpsiyon izotermi, ürünlerin kurutulma işlemini izleme ve incelemede yararlı bilgiler vermektedir. Buna karşın adsorpsiyon izotermi kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleri ile bunların depolanma şartlarını ortaya koymaktadır (Cemeroğlu ve Acar 1986).



Şekil 2.1. Sorpsiyon izotermi (Cemeroğlu ve Acar 1986)



Şekil 2.2. Adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri (Kavak vd 1999)

## 2.2.4. Nemli havanın termodinamik özellikleri

### 2.2.4.a. Özgül nem

Havadaki 1 kg kuru havaya karşılık, kg olarak su buharı miktarına özgül nem denir. Özgül nem, su buharı kısmi basıncı ile suyun moleküler ağırlığının çarpımının, kuru havanın kısmi basıncı ile molekül ağırlığının çarpımına oranıdır.

### 2.2.4.b. Buhar basıncı

Nemli havanın içinde bulunan su buharı moleküllerinin kısmi basıncıdır ( $P_b$ ). Hava, içinde bulundurabileceği su buharının tamamını içerdiğinde, sahip olduğu buhar basıncı, doymuş buhar basıncı olarak tanımlanır ( $P_{bs}$ ).

### 2.2.4.c. Mutlak nem

Herhangi bir durumda, incelenen  $1 \text{ m}^3$  hava içindeki su buharının kg olarak ağırlığına mutlak nem denir.

### 2.2.4.d. Bağlı nem

Bağlı nem, herhangi bir sıcaklık ve basınçta 1 kg kuru hava içinde bulunan su buharı miktarının, aynı sıcaklık ve basınç şartlarında, havanın su buharıyla doymuş hale gelmesi durumunda taşıyabileceği su buharına oranıdır.

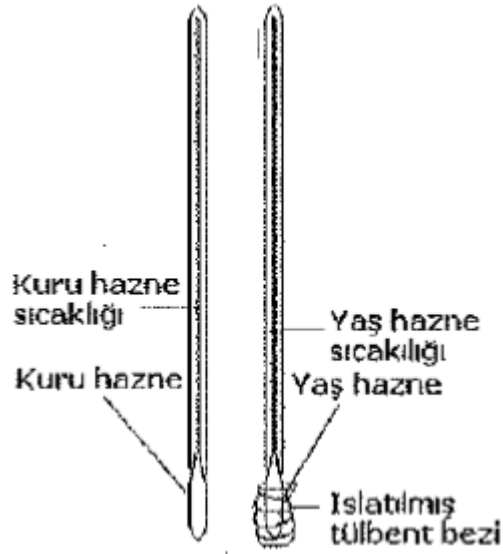
$$\phi = \frac{P_b}{P_{bs}} \times 100 \quad (2.6)$$

#### 2.2.4.e. Kuru termometre sıcaklığı

Havanın içindeki nemin ve güneş radyasyonunun etkisi olmaksızın herhangi bir termometre, termo eleman veya bir sıcaklık ölçerle ölçülen sıcaklıktır.

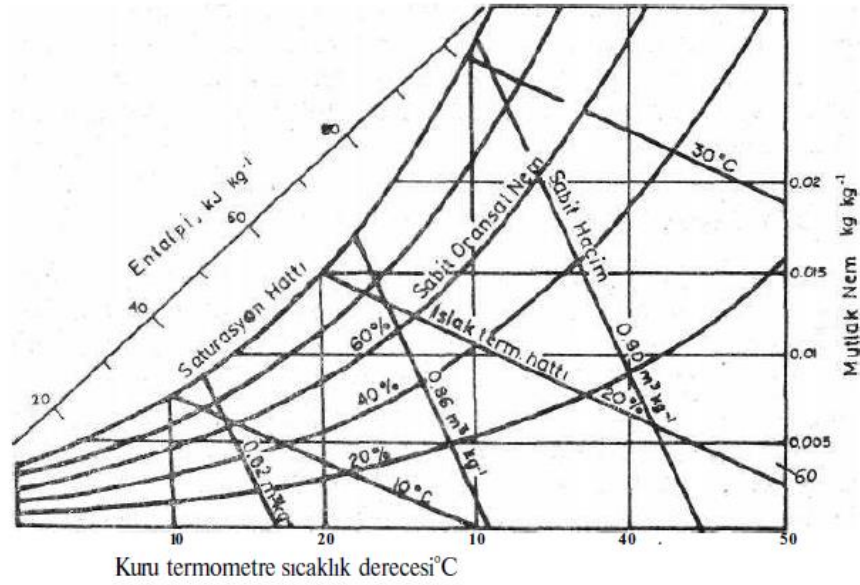
#### 2.2.4.f. Yaş termometre sıcaklığı

Atmosfere açık bir su yüzeyinin, havadan suya verilen ısı miktarının, buharlaşan su tarafından (suyun gizli ısı yoluyla) havaya geri verilen ısı miktarına eşit olduğu anda ulaştığı dinamik denge sıcaklığına yaş termometre sıcaklığı denir.



**Şekil 2.3.** Kuru ve yaş termometre yöntemi ile havanın nem içeriğinin tayini

Yaş hazne sıcaklığı ile kuru hazne sıcaklığı arasındaki ilişkiden ve nem grafiğinden yararlanılarak havanın bağıl nemi ve mutlak nemi kolaylıkla bulunabilir.



**Şekil 2.4.** Nem grafiği (basitleştirilmiş psikrometrik grafik) (Gürses 1986)

#### 2.2.4.g. Çiğ noktası sıcaklığı

Nemli havanın sabit mutlak nem ve sabit atmosfer basıncı koşullarında soğutulması durumunda, belirli bir sıcaklık değerinden sonra hava, içinde bulunan su buharının hepsini taşıyamaz hale gelir ve su buharının bir miktarı yoğuşarak havadan ayrılır. Yoğuşmanın başladığı andaki sıcaklığa çiğlenme sıcaklığı denir.

#### 2.2.4.h. Entalpi

1 kg kuru havanın duyulur ısısı, hava içerisindeki su buharının enerjisi ve eğer kızgın buhar ise onun kısmi buhar basıncından oluşan toplam enerjidir. Değerlendirmeye alınan nokta doyma eğrisi üzerinde ise, buharın kızgın olması söz konusu değildir. Kolaylık açısından, genellikle psikrometrik diyagramlarda doymuş havanın toplam enerjisine ait değerler, yaş termometre sıcaklık doğrularına paralel doğrular halinde gösterilmiştir. Örneğin 45°C'nin altındaki değerler için bu durum büyük hatalar oluşturmamaktadır, ama pek çok kurutma probleminde yüksek sıcaklıklar söz konusu olduğundan gerçek ve doğru toplam enerji doğrularının belirtilmesi gereklidir.

#### 2.2.4.1. Nemli havanın özgül ısısı

Bir maddenin sıcaklığındaki artış miktarına göre içinde depoladığı ısı enerjisi, özgül ısı olarak tanımlanır. Kuru havanın özgül ısısı ile 1 kg kuru havanın içerdiği su buharı miktarının özgül ısıları toplanarak nemli havanın özgül ısısı bulunur.

#### 2.3. Su Aktivitesi ve Önemi

Kurutulmuş gıdaların mikrobiyal stabilitesi, mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerinin engellenmesi neticesinde elde edilir. Gıda kurutmasında önemli bir parametre su aktivitesidir ve gıdanın buhar basıncının (P), saf suyun buhar basıncına (P<sub>0</sub>) oranı olarak tanımlanır. Ayrıca su aktivitesi, gıdayı çevreleyen ortamın denge bağıl nemine oranı olarak da tanımlanır.

Su aktivitesi serbest suyun mikroorganizmalar tarafından kullanılabilirliğinin bir ölçüsüdür. Tüm mikroorganizmalar için optimum ve minimum bir su aktivitesi değeri vardır. Su aktivitesinin optimum seviyenin altına indirilmesi spor oluşumu ve bakteri gelişimini yavaşlatırken, minimumun altına indirilmesi bakteri gelişimini durdurmaktadır. Taze sebze, meyve, et ve sütün su aktivitesi değeri 0,97 ile 0,99 arasında iken, kurutulmuş gıdaların su aktivitesi değeri genellikle 0,70 ve altındadır.

Kurutma ile gıdaların korunması iki şekilde gerçekleşir:

- Mikroorganizmaların gelişmesi ve enzimlerin aktivitesi için gerekli olan su uzaklaştırılır.
- Suyun uzaklaşması ile gıdada bulunan tuzların, şekerlerin ve asitlerin konsantrasyonunda artış meydana gelerek mikroorganizmaların gelişmesine elverişsiz kimyasal bir ortam oluşturulur.

Şekil 2.5'te su aktivitesi ve mikroorganizma gelişimi arasındaki ilişki verilmiştir.





**Şekil 2.5.** Su aktivitesine bağlı mikroorganizma gelişimi (Karel 1975)

Mikrobiyal gelişimi su aktivitesinin yanında, sıcaklık, pH, gıdanın besin içeriği, koruyucular, oksijen içeriği ve diğer gıda bileşenleri gibi birçok faktör etkilemektedir. Aynı nem içeriğinde farklı gıdalar için farklı su aktivitesi değerleri elde edilebileceği unutulmamalıdır (Ramaswamy and Marcott 2006).

#### 2.4. Kuruma Evreleri

Kuruma, nemli materyal ile çevresi arasında geçen karmaşık bir nem alma verme işlemidir. Bu işlem sırasında materyalin nemi, çevresindeki katı veya akışkan (sıvı veya gaz) fazındaki ortama geçer. Kurutma işlemlerinde çevre ortamı olarak genelde hava kullanılır. Bu nedenle kurutma, nemli materyal ile hava arasındaki ilişki olarak ele alınabilir. Kurutma sırasında materyal neminde meydana gelen değişimler ve etkili unsurlar, statik ve kinetik açılarından incelenebilir (Yağcıoğlu 1999).

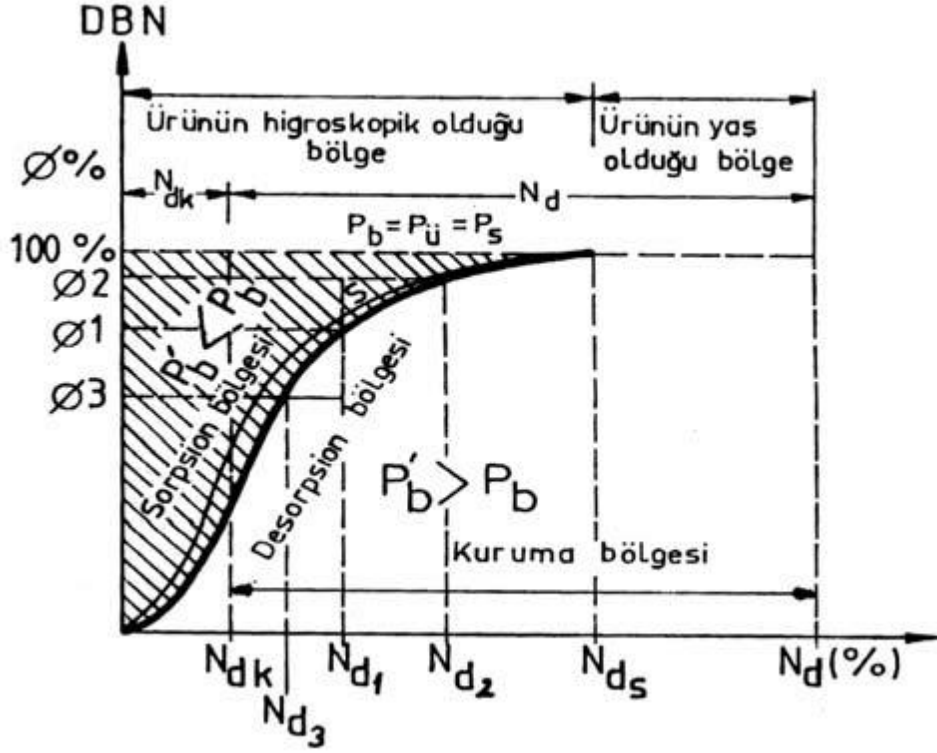
### 2.4.1. Kurumanın statığı

Statik açıdan kurumanın incelenmesi sırasında hava ile materyal arasındaki nem dengesi, zaman dikkate alınmadan irdelenmektedir. Denge, materyalin çevre havasına nem vermesi (desorpsiyon) veya çevreden nem alması (sorpsiyon) sonucunda oluşur. Denge oluştuğunda, havada bulunan su buharının kısmi basıncı ( $P_b$ ) ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ( $P_u$ ) birbirine eşittir. Materyalin yüzey sıcaklığı yaklaşık çevre havası yaş termometre havası sıcaklığına eşit olduğundan ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ile ( $P_u$ ),havanın yaş termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı ( $P_b = P_u$ ) eşit alınabilmektedir. Bu nedenle denge durumunda materyalin ulaştığı nem ( $N_d$ ), havanın kısmi buhar basıncına bağıl nemine ( $\phi$ ) bağlıdır.

Kurutmakta olan bir materyalin hava ile arasındaki nem alışverişi sonucunda ulaşabileceği üst nem sınırı, o materyalin higroskopik limiti olarak tanımlanır. Higroskopik limit, bağıl nemin %100 olduğu şartlarda, bir materyalin ulaşabileceği en yüksek denge nemi değerindedir ( $N_{ds}$ ). Materyalin higroskopik limitinden fazla nem alması, ancak serbest suyla doğrudan doğruya temasa etmesiyle söz konusu olabilir. Herhangi bir materyalin sorpsiyon izoterm eğrisi kurutma açısından incelendiğinde, sorpsiyon ve desorpsiyon bölgeleri Şekil 2.6’da belirtilebilir.

Şekilde 2.6’da görüldüğü gibi izoterm ile denge bağıl nemi (DBN) ekseni arasında kalan bölge içindeki her noktada ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı havada bulunan suyun buhar basıncından daha küçük olduğundan bu bölge, materyalin bünyesine nem aldığı şartları belirtmektedir. İzoterm ile denge nemi ekseni arasında kalan bölge içinde ise durum tam ters olduğundan bu bölge materyalin çevreye nem verdiği şartları belirtmektedir. Kurutma sırasında nemin üründen tamamen uzaklaşmadığı gerçek kuruma bölgesi şekilde görülen alandan daha küçüktür. Bu nedenle kuruma bölgesi ürünün ulaşabileceği en küçük denge nemi ( $N_{dk}$ ) değerinden geçen bir eksenden başlatılarak gösterilmektedir. Şekil 2.6’da görülen “ürünün higroskopik olduğu bölge”, bağıl nem bölgesi; “ürünün yaş olduğu bölge”, bağımsız nem

bölgesini ve “kuruma bölgesi” de serbest nem bölgesini belirtmektedir (Yağcıoğlu 1999).



Şekil 2.6. Sorpsiyon eğrisinin, kurutmanın statığı açısından anlamı

#### 2.4.2. Kurumanın kinetiği

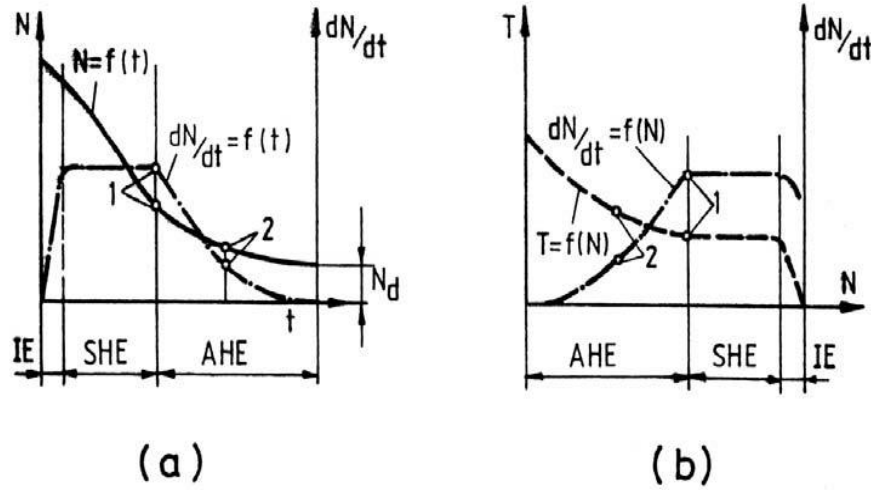
Kurumanın kinetiğinde, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma sürecinde geçen zaman dikkate alınarak incelenir. Kuruma olayının kinetik olarak incelenmesi sırasında aşağıdaki ilişkiler dikkate alınmaktadır.

- Materyalin nemi ile kuruma süresi :  $N=f(t)$
- Kuruma hızı ile materyal nemi :  $dN/dt=f(N)$
- Kuruma hızı ile kuruma süresi :  $dN/dt=f(t)$
- Materyal sıcaklığı ile nemi :  $T=f(N)$



Şekil 2.7, kuruma sürecinin üç karakteristik evre içerdiğini göstermektedir. Bu evreler;

- Materyalin ısınması evresi (IE)
- Sabit hızla kuruma evresi (SHE)
- Azalan hızla kuruma evresi (AHE)



Şekil 2.7. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri ((a) Kuruma hızı-zamana grafiği, (b) Kuruma hızı-nem içeriği grafiği) (Demir ve Günhan 2002)

Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi (IE), kurutulacak ürünün sıcaklığı, kurutma ortamının sıcaklığı ile dengeye gelinceye kadar devam etmektedir. Bu evrede kuruma hızı giderek artarak bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşmaktadır. IE süresi, toplam kurutma süresine göre çok kısa olduğundan kuruma eğrilerinde gösterilmemektedir (Yağcıoğlu 1981; Güner 1991).

Sabit hızla kuruma evresinde (SHE), kurutulacak materyalin yüzeyi başlangıçta ince bir su tabakası ile kaplıdır. Öncelikle bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Ürünün özelliklerine bağlı olmayan bu buharlaşma tamamen dış hava koşullarınca belirlenmekte ve nem materyalin yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan su ile aynı davranışı göstererek buharlaşmaktadır. Yüzeydeki serbest su

tabakası sabit bir kuruma hızı ile buharlaşır. Buharlaşma devam ederken sıvı filmi de devamlı olarak hücre aralarındaki hava boşluklarının meydana getirdiği kılcal borularla beslenmektedir, diğer bir ifadeyle, sabit hızla kuruma evresi (SHE) boyunca, suyun materyal yüzeyine iletim hızı ile yüzeyden buharlaşan suyun hızı birbirine eşit olmaktadır (Akyurt vd 1971; Yağcıoğlu 1999).

Sabit hızla kuruma evresi (SHE) boyunca, materyalden yüzeye doğru bir nem taşınması söz konusu olduğundan, materyalin iç katmanlarındaki nem miktarı giderek azalmaktadır. Bu durum nedeniyle, kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda su, artık iç kısımlardan yüzeye taşınmamaktadır. Bunun sonucunda, materyalin yüzeyinin tamamen serbest su ile kaplı olması durumu sona ermektedir. Bu anda materyalin sahip olduğu nem düzeyine birinci kritik nem ve kuruma eğrilerinde bu durumu belirleyen noktaya ise birinci kritik nokta (BKN) adı verilmektedir.

Birinci kritik nokta (BKN) değerinden sonra, kuruma eğrisinin eğimi azalan yönde hızla değişim göstermektedir. Bu noktadan itibaren kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı başka bir evre başlamaktadır. Bu evre, birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarının bir önceki zaman dilimine göre azalma göstermesi nedeniyle, azalan hızla kuruma evresi (AHE) olarak tarif edilmektedir.

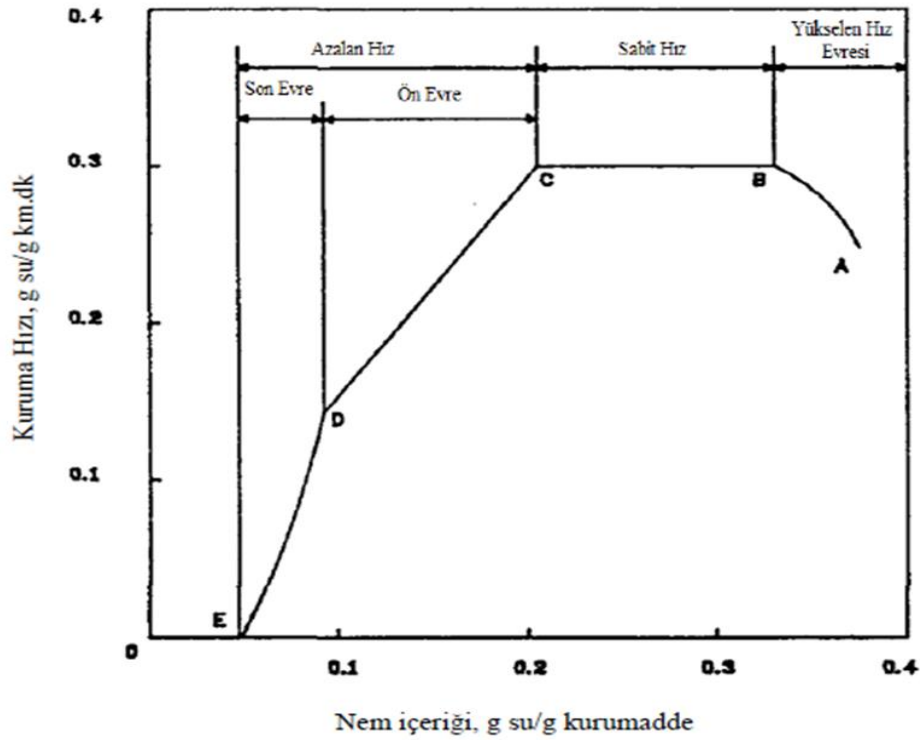
Bu evre kendi içerisinde, iki aşamada gerçekleşmektedir. Materyalin yüzeyindeki su filmi kaybolmaya başlayınca, kuruma hızı da ıslak alan miktarı ile orantılı olarak azalma göstermektedir. Bu evreye “1. azalan hızla kuruma evresi” denilmektedir. Bu evre sonunda, suyun materyalin iç kısımlarından yüzeye iletim hızı, yüzeyden meydana gelen buharlaşma hızında daha küçük olduğundan, materyalin yüzeyinin tamamen ince su tabakası ile kaplanması durumu ortadan kalkmaktadır. Bu andan itibaren kuruma hızı daha da yavaşlamakta ve bu noktadan itibaren “2. azalan hızla kuruma evresi” başlamaktadır. Bu evre sonunda, materyal ile çevrenin sıcaklığı eşit duruma gelerek,  $N=f(t)$  eğrisi  $N_d$  değerine,  $dN/dt=f(N)$  eğrisi ise sıfır değerine ulaşarak birbirlerine asimptot olmaktadır.

Azalan hızla kuruma evresi (AHE) sırasında, kuruma hızı değişiminin doğrusallıktan sapmaya başladığı noktaya, ikinci kritik nokta (İKN) ve materyalin bu andaki nem değerine ise “ikinci kritik nem” adı verilmektedir. Bu evre sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla; teorik, yarı teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür.

Teorik modeller her türlü madde ve koşul için uygulanabilmektedirler. Ancak çözümü için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi bu tür modellerin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Yarı teorik modeller daha az karmaşık olmakla birlikte içerdikleri parametrelerin yalnızca ele alınan ürünlerle ilgili olması, kullanımını kısıtlamaktadır. Deneysel yollarla elde edilen verilere dayanarak kuruma hızının belirlenmesinde, karmaşık matematiksel eşitlikler yoktur. Ancak elde edilen eşitlikler deneme yapılan materyal ve deneme koşulları için geçerli olmaktadır. Yarı teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulunan eşitlik “logaritmik kurutma” denklemi olarak bilinmektedir.

$$\frac{M_t - M_d}{M_o - M_d} = \exp(-kt) \quad (2.7)$$

Eşitlikte ( $M_o$ ) başlangıç nemini, ( $M_t$ ) t anındaki nemi, ( $M_d$ ) denge nemini ifade etmektedir. Eşitliğin sol tarafında yer alan kısım, kurutmanın farklı t anlarındaki MR değerlerini vermektedir. k, ise kuruma sabiti olarak adlandırılmakta ve kurutulacak ürün ve kurutma şartlarına göre deneysel verilerden yararlanılarak belirlenmektedir (Tiris *et al.* 1994; Ayensu 1997; Liu and Bakker-Arkema 1997).



Şekil 2.8. Kuruma hızı eğrileri (Treybal 1980)

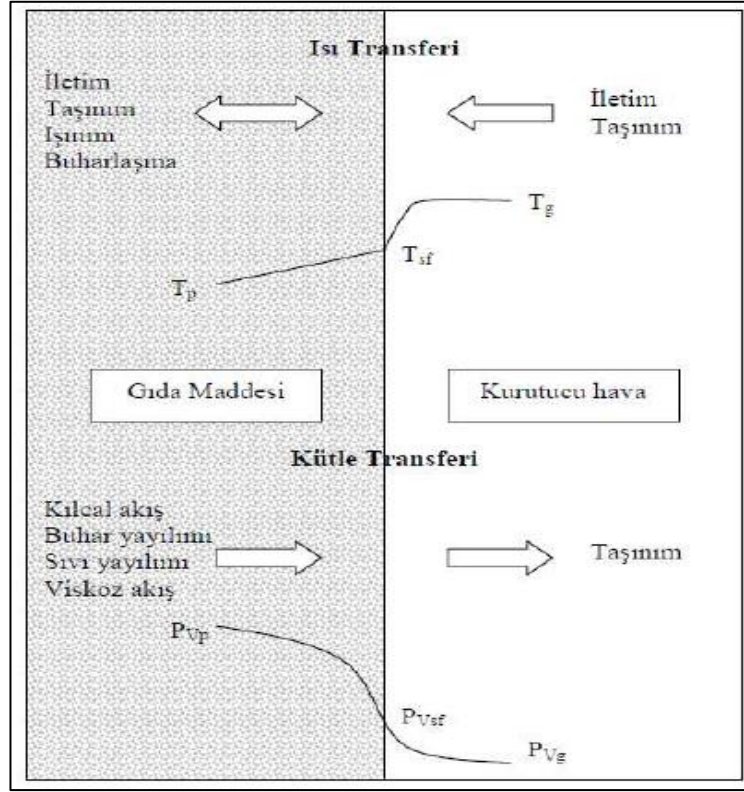
## 2.5. Kurutma Sürecinde Isı ve Kütle Transferi

Kurutma sırasında kurutulacak malzemenin içindeki suyu buhar haline getirip sonrada bu buharı uzaklaştırmak için, buharlaştırma gizli ısı kadar bir ısı vermek gerekir. Kurutma esnasında iki geçiş işlemi aynı anda gerçekleşir (Şekil 2.9). Bunlardan birincisi dış çevreden kurutulacak ürünün yüzeyine ısı geçişi ile birlikte malzeme içine ısı transferi, ikincisi ise ürünün içinden yüzeye doğru olan ve yüzeye gelen nemin ürünü çevreleyen atmosfere yayılması ile devam eden kütle transferidir. Kurutulan ürüne ve kuruma şartlarına bağlı olan buharlaşma, yüzeyde ya da ürünün içinde olabilir. Ürün içine ısı geçişi, malzeme içindeki sıcaklık dağılımından dolayı iletimle ve daha az miktarda da nem hareketinden dolayı taşınım ile olur. Gıda maddelerindeki nem hareketi farklı aktarım mekanizmaları ile olabilir. Bunlar;

- Kılcal emme basınçlarının farklılığından kaynaklanan kılcal akışlar,
- Yoğunluk farklılığından kaynaklanan sıvı yayılımı,



- Kısmi buhar basıncı farklılıklarından kaynaklanan buhar yayılımı,
- Dış basınç veya yüksek sıcaklığın neden olduğu toplam basınç farklılığından kaynaklanan viskoz akış (Erçetin 2007).



Şekil 2.9. Kuruma esnasında ısı ve kütle geçişi (Erçetin 2007)

## 2.6. Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

Suyun gıdanın yapısından kurutma yöntemi ile uzaklaştırılmasında “ısı ve kütle aktarımı” ile ilgili iki temel olayın gerçekleşmesi gerekir. Bunlar;

- Ürünün ısıtılması
- Üründen su alınmasıdır.

Ürün kurutmada bütün çabalar ısı ve kütle aktarımı hızını arttırmak üzerinde birleşmelidir. Isı ve kütle atarım hızını etkileyen değişkenler; sıcaklık derecesi, kurutucu havanın nemi ve hızı, üründe maksimum yüzey alanı sağlayan geometrik şekil (parça büyüklüğü, şekli, kalınlığı), kurutma ortamının basıncı gibi fiziksel faktörler ve ürünün kendine özgü diğer özellikleridir.

### **2.6.1. Sıcaklık**

Kurutma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, kullanılan sıcak havanın kuru ve yaş termometre dereceleri arasındaki farktır. Bu fark arttıkça kurutma hızı da artar. Ancak, kurutmanın başlangıcında dereceler arasındaki farkın hıza etkisi çok belirginse de kurutma ilerledikçe yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki farkın artmasına karşın kurutma hızının aynı oranda artmadığı görülür. Diğer taraftan, yaş ve kuru termometre dereceleri farkı sabit kalmak koşulu ile kuru termometre derecesi daha yüksek olan havanın kullanılması halinde kurutma başlangıcında kuruma hızında herhangi bir değişme görülmemesine karşın, kurutma ilerledikçe kuruma hızında bir artış oluşur.

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. Örneğin, doğru olarak tasarlanmış bir kurutucuda dört saat süre ile kurutulan sebze parçalarının, iki gün süreli güneşte kurutma işlemine kıyasla daha kaliteli oldukları saptanmıştır. Ürün yeterli büyüklükte parçalara bölünebilir nitelikte ise bir ya da birkaç dakika içinde kuruluğa ulaşabilmektedir (Saldamlı 1990).

### **2.6.2. Havanın nemi**

Kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişiklik göstermektedir. Ortamın nemi arttırıldığında ve azaltıldığında maddedeki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Maddenin içinde bulunduğu

havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin içerdęi nem miktarındaki değişimi gösteren sorpsiyon izotermi kullanılırlar (UNIDO 2004a).

### **2.6.3. Havanın hızı**

Isı ve kütle aktarımı hızını etkileyen bir diğer değişken kurutucu havanın hızıdır. Hareket halinde ya da yüksek hızlı hava, nemin kurumakta olan yüzeyden uzaklaşmasını ve ürün yüzeyindeki atmosferin doygun hale gelerek kurutmayı yavaşlatması olayını ortadan kaldırır.

Havanın hızı arttıkça, kurutma hızı da artar. Ancak bu etki belli bir değere kadardır. Nitekim 300 m/d'dan daha fazla hava hızının kurutma hızı üzerinde etkili olmadığı saptanmıştır. Diğer taraftan, kurutma başlangıcında hava hızının etkisinin yüksek olmasına karşın, kurutmanın ileri aşamalarında, suyun ürün parçacığının iç tabakalarından yüzeye taşınma hızı ile ilgili olduğundan hava hızının etkisi düşmektedir (Saldamlı 1990).

### **2.6.4. Yüzey alanı**

Kurutulacak gıdanın birim yüzey alanı, ısı ve kütle aktarım hızını etkileyen bir diğer değişkendir. Daha büyük yüzey alanı elde ederek daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini sağlayabilmek için, ürün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir. Böylece nemin uzaklaşacağı alan arttırılmış olur. Çok ince dilimlerin sečilmesinin gıdanın yanmasına neden olma ihtimali olduğundan, kullanılabilir optimum dilim kalınlığı seçilmelidir.

Küçük parçacıklar ya da ince dilimler, ısının kurutulmuş gıdanın merkezine ilerleme süresini kısaltarak daha kısa zamanda gıdanın neminin uzaklaştırılmasını sağlar. Gıdanın kuruma hızı, ürün dilim kalınlıkları ile ters orantılı olarak, gıdanın yüzey alanı ile doğru orantılı olarak değişir (Heldman and Hartel 1997).

### 2.6.5. Ortamın basıncı

Bilindiği gibi su, 760 mm atmosfer basıncında 100°C’de kaynar. Bu değerin altındaki basınçlarda kaynama olayı daha düşük derecelerde oluşur. Bir başka deyişle, kaynama derecesi sabit tutularak basınç düşürüldüğü sürece kaynama işlemi hızlanacaktır. Ürünü atmosfere kapalı bir ortama koyarsak üründeki su daha düşük sıcaklık derecelerinde uzaklaştırılabilir. Bu olay, ısıya duyarlı ürünlerde düşük kurutma dereceleri ve kısa süreli kurutma yönünden önem taşır (Saldamlı 1990).

### 2.6.6. Kurutulan gıdanın özellikleri

Kurutma işlemine etki eden faktörlerden birisi de kurutulan ürünün kendine özgü nitelikleridir. Üstelik bu nitelikler kuruma boyunca değişip durur. Bu hususta ürünün kimyasal bileşimi özellikle önem taşır. Eğer şeker, tuz ve benzerleri gibi küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin bir materyal, bu maddelerce daha fakir bir materyalle kuruma açısından kıyaslanırsa, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür. Bilindiği gibi çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte dolayısı ile suyun buharlaşmasını güçleştirmektedir.

Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı önemli bir faktördür. Yağın sürekli bir faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından adeta izole edilmiş bulunduğundan, böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması çok güçtür.

Diğer taraftan materyalin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Nitekim serbest su, gıdada öncelikle ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olduğu halde, katı parçacıklarla adsorpsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Nişasta, pektin ve diğer gam maddelerince oluşturulan kolloidal jel içinde tutulan su ise daha da zor uzaklaşmaktadır. Bu nedenle nişasta ve pektin bakımından zengin maddelerin kurutulması oldukça zordur. En zor uzaklaştırılan su ise, glikoz monohidrata olduğu gibi, hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece materyalin bileşiminin, suyu

bağlama şekli üzerinden kuruma hızına etki ettiği görülmektedir (Cemeroğlu ve Acar 1986).

## **2.7. Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri**

### **2.7.1. Kararma reaksiyonları**

Kararma reaksiyonları ürünün rengini değiştirmenin yansıra çözünürlüğünü ve besinsel değerlerini azaltmakta; tat istenmeyen şekilde değiştirmekte ve geri dönüşümlü olmayan yapısal değişimlere de neden olmaktadır. Enzimatik olmayan iki ana kararma reaksiyonları, maillard ve karamelizasyondur. Kararma reaksiyonları orta seviyeli nem miktarında hızlanmakta, çok düşük ve yüksek nem oranlarında ise yavaşlamaktadır. Kararma reaksiyonlarının engellenmesi için literatürde farklı tavsiyeler bulunmakla beraber, hemen hemen hepsi kurutma sırasında ürünün gereksiz yüksek sıcaklıklara maruz kalmamasını önermektedir (Okos *et al.* 2007).

### **2.7.2. Lipid oksidasyonu**

Lipid oksidasyonu birçok gıdada acılaşıma, istenmeyen tat değişimlerinden, yağda çözünen vitamin ve pigmentlerin kaybindan sorumludur. Ürünün nem miktarı, substrat tipi (yağ asitleri) ve enzim aktivitesi, reaksiyon uzunluğu, oksijen içeriği, sıcaklık, metallerin varlığı, doğal antioksidanların varlığı, UV ışığı, protein ve serbest aminoasit içeriği oksidasyonu etkileyen faktörler arasında sayılabilmektedir. Saguy ve Karel'e göre özellikle nem içeriği oksidasyon reaksiyon hızı üzerinde etkili olmakta ve su aktivitesinin 0,3 civarlarına indirgenmesi oksidasyon reaksiyonları önemli ölçüde azaltmaktadır. Oksijen varlığının oldukça düşük seviyelere indirgenmesi de reaksiyon hızını önemli ölçüde düşürmektedir (Okos *et al.* 2007).

### **2.7.3. Rehidrasyon ve büzülme**

Rehidrasyon kurutulmuş bir ürünün tekrardan su alma kapasitesi olarak tanımlanabilmektedir. Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon özellikleri kurutma esnasında meydana gelen kimyasal ve yapısal değişimler, kurutma koşulları, ürüne kurutma öncesi uygulanan önişlemler ve ürün kompozisyonu ile doğrudan ilişkilidir. Yapısal ve hücresel bozulmalar minimize edildiğinde rehidrasyon miktarı en yüksek seviyeye ulaşabilmektedir (Okos *et al.* 2007).

### **2.7.4. znebilme kapasitesi**

Özellikle süt tozu gibi kurutulmuş taneli yapıdaki gıdaların kalite kriterleri arasında yer almaktadır. İşlem koşulları, muhafaza şartları; ürünün kompozisyonu, pH'sı ve tane büyüklüğü çözünebilme kapasitesini etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklarda kurutulan gıdalarda protein denatürasyonu gerekleyebileceğinden çözünürlük önemli ölçüde azalmaktadır (Okos *et al.* 2007).

### **2.7.5. Aroma ve tat**

Aroma ve tadı sağlayan uçucu bileşikler sudan daha düşük kaynama noktasına sahip olduğundan, kurutma esnasında buharlaşma yoluyla üründen uzaklaşabilmektedir. Fakat kurutmanın ilk aşamalarında ürün yüzeyi üzerinde epe evre ince kuru bir tabaka oluşturulabilirse bu bileşikler muhafaza edilebilmektedir (Okos *et al.* 2007).

### **2.7.6. C vitamini kayıpları**

C-Vitamini (askorbik asit) yüksek nem içeriğinde yüksek sıcaklıklara duyarlıdır. Kurutma esnasında askorbik asit kayıplarını minimize edebilmek için, yüksek nem içeriğinde düşük sıcaklık uygulanmaları ve ürünün nem içeriği azaldığı zaman askorbik

asit daha stabil bir yapıya sahip olduğundan, sıcaklık kademeli olarak arttırılabilmektedir (Mishkin *et al.* 1982; Okos *et al.* 2007).

## 2.8. Kurutma Yöntemleri

Kurutma, yöntem olarak “güneşte kurutma” ve “yapay kurutma” olarak iki gruba ayrılabilir (Cemeroğlu 1986). Gıdaların güneş altında kurutularak dayanıklı hale getirilebilmesi, bilinen en eski saklama yöntemidir (Demirci 2010). Ucuz kolay ve popüler bir metottur. Bitkisel malzemenin, doğrudan doğruya güneşe serilerek kurutulması yöntemiyle yapılan kurutma, malzemenin taşıdığı su miktarına bağlı olarak; birkaç saat ile birkaç hafta arasında tamamlanır (Doymaz 2004; Doymaz 2008).

Yapay kurutma yönteminin esasını, kurutmaya tabi tutulan üründeki nemin uzaklaştırılması amacı ile sağlanan ısının transfer şekli oluşturmaktadır. Kurutmada üç şekilde ısı geçişi olmaktadır:

- İletimle ısı aktarımı
- Taşınım ile ısı aktarımı
- Işınım ile ısı aktarımı

İletimle ısı aktarımında, kurutma için gerekli ısı enerjisi, kurutulacak materyale, ısıtılmış yüzeylerden kondüksiyon yoluyla iletilir. Kurutulan ürüne iletilen ısı, sıcak yüzeye değen yaş materyalin ısıl kondüktivitesine ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlıdır (Yağcıoğlu 1999).

Taşınım ile ısı aktarımı, kurutucu ortamdan (genellikle sıcak hava kullanılır) yaş materyale konveksiyon yoluyla iletilir. Sıcak hava, kurutulan ürün tabakasının üzerinden, ya da içinden geçirilir. Bu yöntemin ısıl etkinliği kondüksiyon ile kurutmaya göre daha düşüktür (Yağcıoğlu 1999).

Işınımla ısı aktarımı ile kurutmada ise gerekli ısı enerjisi, yaş materyale, kırmızı ötesi bölgesinde yer alan ışınlarla iletilir. Bu ışınlar, içinden geçtikleri ortamı ısıtmaz; kendilerini absorbe eden cisimleri ısıtırlar. Kızılötesi ışınların, yaş materyalin yüzeyinden itibaren etkilediği derinlik oldukça az olduğundan, bu yöntem ince film şeklinde serili tabakaların kurutulmasında kullanılır (Yağcıoğlu 1999).

## **2.9. Endüstriyel Kurutma Sistemleri**

Kurutulan gıdalardan istenilen niteliklerin istenilen anlamda oluşmasını sağlamak için makine, takım ve tesislerin tasarımı, seçimi, kurulumu ve işletilmesi sırasında kurutma konusu ile ilgili tüm ilkeler göz önüne alınmalı ve değişkenler arasında optimum seçimler yapılmalıdır. Tüm çabalar, en az ürün zararı ile maksimum kurutma oranını en ekonomik koşullarda gerçekleştiren ve sonuçta rehidre özelliği üstün olan ürünü çıkarabilen sistem üzerinde yoğunlaştırılmalıdır.

Sıvı, yarı sıvı ve katı gıdaların kurutulması amacıyla yapılmış olan kurutucular birkaç temel yönteme dayanan makine ve ekipmanlardır. Buna karşın son üründen istenilen nitelikler; en az ürün zararı, üstün rehidrasyon özelliği, ekonomik koşulların çeşitli ve farklı olmaları gibi faktörler, kurutucuların tasarım ve çalışma ilkeleri yönünden çok çeşitli tiplerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Saldamlı ve Saldamlı 1990).

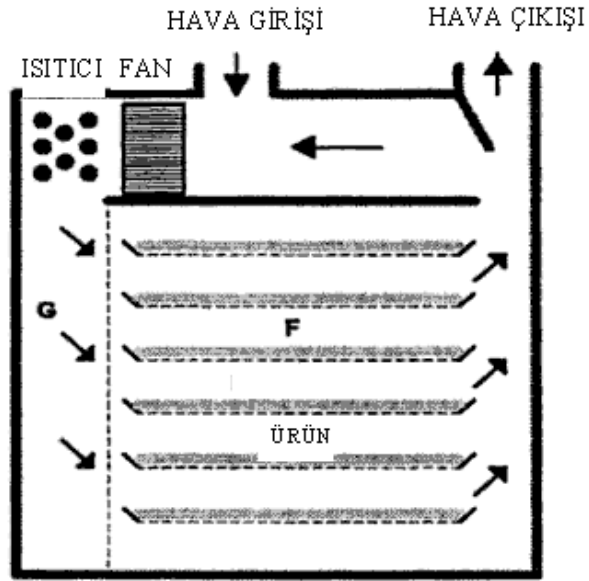
### **2.9.1. Fırın tipi kurutucular**

Fırın kurutucular, hava taşınımlı kurutucuların en basit tipidir. İki katlı kurutucuda, altta bir fırın ya da brülör ile ısıtılan hava, tabanı ızgaralı olan ikinci kata yükselir. Izgaralar üzerine serilmiş olan ürün ara sıra karıştırılır. Genellikle elma dilimlerinin kurutulmasında kullanılan bu kurutucularda nem oranı %10'un altına düşürülemez (Saldamlı ve Saldamlı 1990).



### 2.9.2. Kabin (dolap veya oda) tipi kurutucular

Kurutma kabininde kurutulacak olan maddeler kurutma havası ile temas yüzeyini arttıracak şekilde tepsilere yerleştirilmektedir. Tepsiler, ürünün kurutma havasıyla temas ettiği, kurutucu bölüme sürülmektedir (UNIDO 2004b).



**Şekil 2.10.** Kabin tipi kurutucu (Tang and Yang 2003)

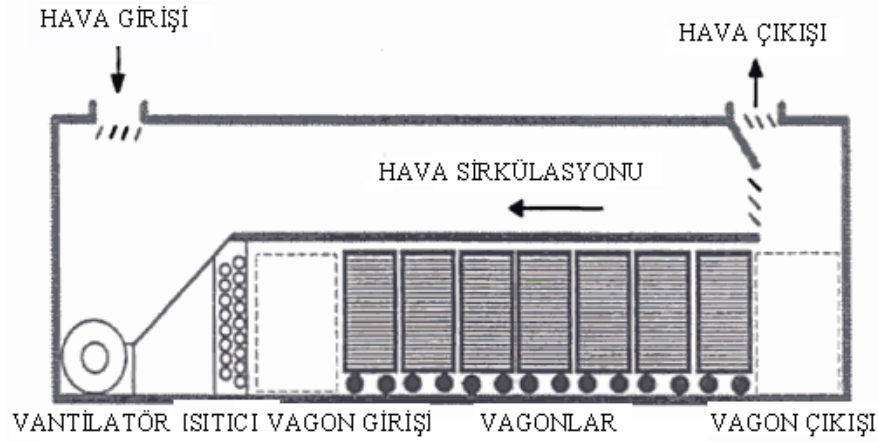
Kurutulacak ürün, alt tarafı ızgara şeklinde bir tür tepsi olan “kerevet”lere yerleştirilir. Kerevetler üst üste istif edilerek önce bir arabaya sonra peş peşe arabalara vagon haline getirilip, kurutma kabinine alınır. Tüm kurutma boyunca kerevetler olduğu gibi hareketsiz kalır. Sıcak hava, kabinin ayarlanabilen panjur şeklinde olan yan duvarlarından girerek kerevetler arasından geçer ve yine aynı şekilde yan duvardan kabin dışına çıkarak ısıtıcıya ulaşır.

Kabin kurutucular çoğunlukla az miktarda, örneğin birkaç ton meyve ve sebze kurutacak kapasitede yapılırlar. Sabit yatırımı nispeten az, çalıştırılmaları kolaydır. 25 kereveti üst üste alacak kadar büyük tipleri de vardır. Isıtıcılar, içerisinde buhar

dolaştırılan, yüzeyi genişletilmiş serpantinler şeklinde yapılmaktadır. Ancak içerisinde doğrudan yanmış gaz dolaştıran ısıtıcılar da kullanılabilir (Cemeroğlu 2004).

### 2.9.3. Tünel kurutucular

Bu kurutucular da kurutma kabini, uzun bir tünel şeklinde yapılır. Tünelin içine tepsilerin yerleştirildiği arabalı raflar sırayla sokulur. Bu arabalı raf düzeni, zaman zaman ileri doğru hareket ettirilir. Tünelin bir ucundan kurumuş ürünleri içeren raf arabası çıktığında, diğer uçtan yaş ürünle yüklenmiş yeni bir araba tünele sokulur. Raflarla tünelin iç yüzeyleri arasındaki boşluğun 5 cm den fazla olmamasına dikkat etmek gerekir. Aksi takdirde, kurutma havası rafların arasından geçmeyip bu boşluklardan akar (Yağcıoğlu 1999).



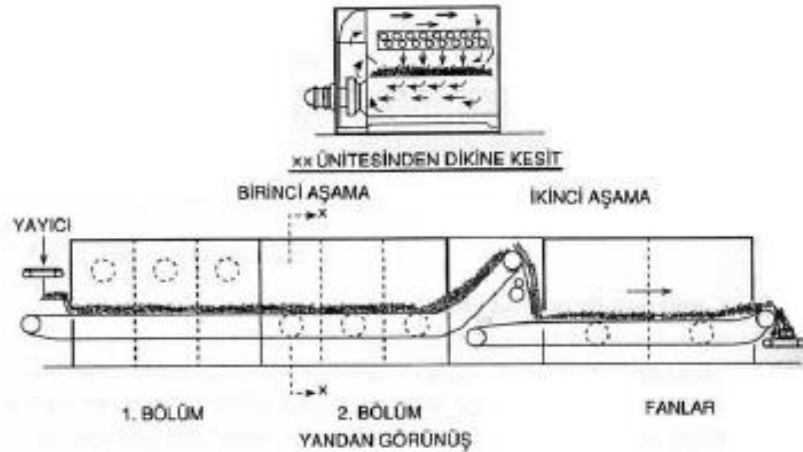
**Şekil 2.11.** Paralel akışlı tünel kurutucu (Tang and Yang 2003)

Çeşitli tipteki tünel kurutucularda hava ve ürünün birbirlerine göre hareket yönleri farklıdır. Eğer, arabalarla sıcak hava aynı yönde hareket ederse bu tip tünellere “paralel akış tüneli” denir. Başka bir tanımlama ile paralel akış tüneline sıcak hava ile kurutulacak ürün, aynı yerden girer. Basit bir paralel akış tüneli Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Sıcak hava ile arabaların hareketi birbirine zıt yönde ise, bu tip tünellere “zıt akış tüneli” denir. Bu tip tünellerde sıcak ve kuru hava, ilk önce en fazla kurumuş

olan ürünle temas eder. Daha sonra, gittikçe soğuyarak nemi artarken, son defa en ıslak ürünle temas eder (Cemeroğlu 2004).

#### 2.9.4. Konveyör (bantlı) kurutucular

“Sürekli bant kurutucular” da denen bu sistemlerin ilkesi, gerçekte tünel kurutuculardan önemli bir farklılık göstermez. Tünel kurutuculardaki kerevet ve vagonların yerini sürekli çalışan bir bant almıştır. Paslanmaz çelikten yapılmış elek şeklindeki bir bantla taşınan ürüne, alttan veya üstten sıcak hava verilmektedir. Konveyör kurutucular çok aşamalı ve genellikle iki aşamalı bir çalışmaya elverişli olarak yapılmaktadır. Şekil 2.12’de böyle bir konveyör kurutucu görülmektedir (Cemeroğlu 2004).



**Şekil 2.12.** İki aşamalı konveyör kurutucu (Cemeroğlu 2004)

Bu sistemlerin en önemli özelliği, kurutulacak maddenin fazla hırpalanmadan kurutulması ve proses koşullarının kolayca ayarlanabilmesidir. Kuruma süresi uzun olan maddeler söz konusu olduğu durumlarda, üst üste konuşlandırılmış bir dizi bant içeren kurutucular kullanılmaktadır.

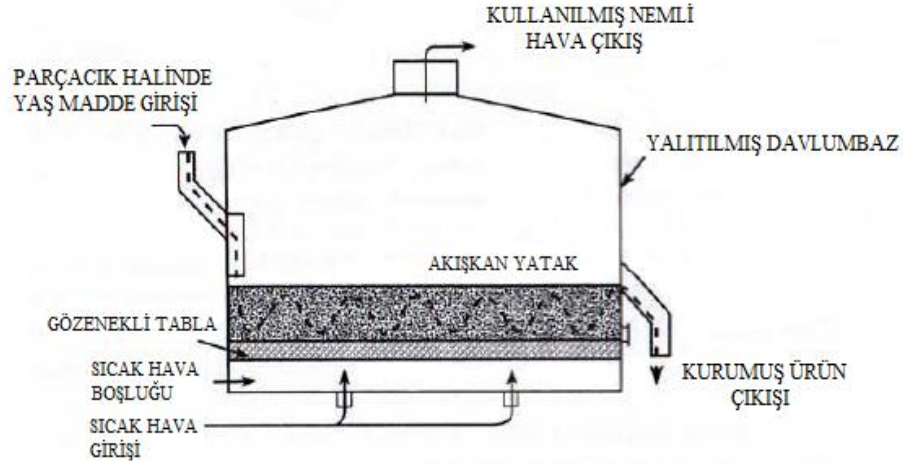
Bu kurutucularda, malzeme üst banttan bir alttaki banda akarak kurutucu içinde yol alır. Sıcak gazlar ise bantlara paralel ve/veya dik yönde hareket eder. Bu kurutucularda,

bantların üstündeki tipik malzeme tabakasının kalınlığı 100 mm civarındadır. Ancak bu kalınlık, koşullara bağılı olarak 1 m'ye kadar çıkabilmektedir. Bantların kapasitesi ise  $600 \text{ kg/m}^2$ , değerlerine kadar ulaşmaktadır. Bu kurutucular, granüler ve pasta şeklindeki çok sayıda maddenin kurutulması için kullanılmaktadır (Kocayığit 2010).

### **2.9.5. Akışkan yatak kurutucular**

Akışkan yatak kurutucular gerçekte, tekne şeklindeki bantlı kurutucuların geliştirilmiş tipleridir. Tekne şeklindeki bantlı kurutucularda, tekneyi oluşturan elek şeklindeki bant, yavaş bir hızla sonsuz bir dönüş yaparken, tekne içinde kurumakta olan materyal sürekli hareket halinde kalır. Böylelikle parçacıklar hızla kururlar. Bu kurutucularda  $135^\circ\text{C}$ 'ye kadar sıcak hava kullanılarak sebzelerin nem düzeyi hemen hemen 1 saat gibi bir sürede %5–7'ye düşürülebilmektedir. Bu kurutucularda meyveler suyunu vererek birbirlerine yapışıp kitle haline dönüştüğünden, bu sistem meyve kurutmaya elverişli değildir.

Akışkan yatak kurutucular, kısaca tanımlanan bu tekne şeklindeki bantlı kurutucuların geliştirilmiş bir tipidir. Bunların yapı ve ilkeleri aynen gıdaların dondurulmalarında kullanılan akışkan yatağa benzer. Bunlarda; kurutulacak ürün, alttan yüksek bir hızla verilen sıcak hava ile adeta askıda kalır, akışkan bir yatak halinde bulunur (Şekil 2.13). Bu durumda parçacıkların akışkan kalabilmesi için, havanın belli bir hızda verilmesi gerekmektedir. Nitekim 1 cm boyutlarında küp şeklinde doğranmış elma ve patateslerin havada akışkanlık kazanabilmesi için hava hızının 19 m/s kadar yüksek olmasının zorunlu olduğu saptanmıştır. Hızlı bir kurumanın sağlandığı bu kurutucularda; tahıllar, bezelye ve diğer parça halinde sebzeler başarı ile kurutulabilmektedir (Cemeroğlu ve Acar 1986).



**Şekil 2.13.** Akışkan yatak kurutucu (Cemeroğlu 2004)

### 2.9.6. Sandık kurutucular

Özellikle sebzelerde, kurutmanın son aşamasında tünel ve bantlı kurutucularda kurutulmuş ürünün son nem oranına düşürülmesi amacıyla kullanılırlar. Ana kurutucudan genellikle %10–15 nemli çıkan ürün, sandık kurutucularda %3–6 nem düzeyine kurutulur.

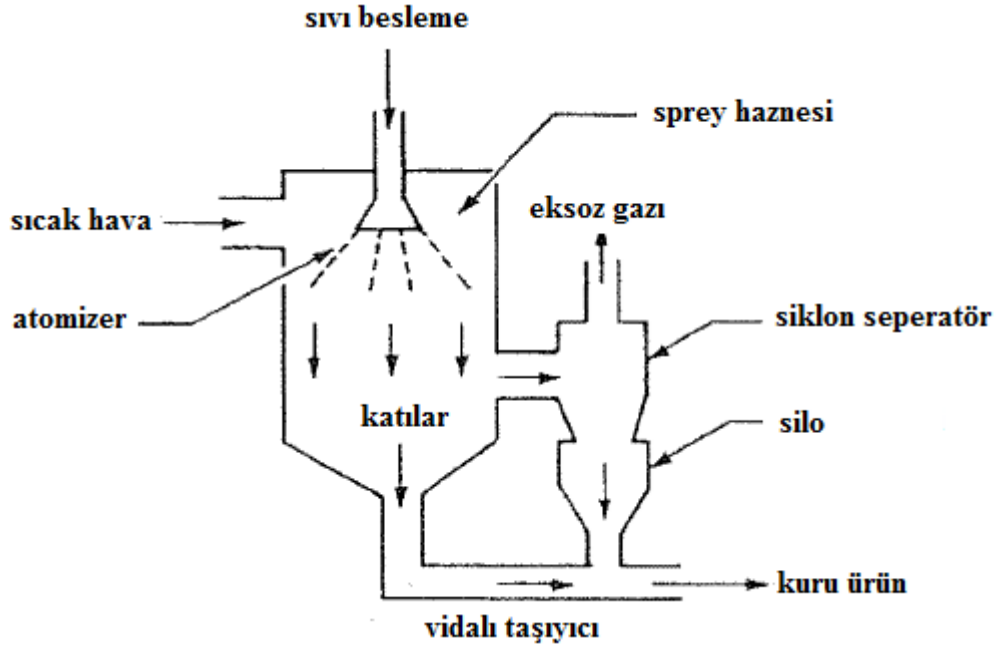
Sandık kurutucularda çalışmada önemli olan, verilen havanın sıcaklık derecesi ve bağıl nemin doğru seçimidir. Sıcaklık genel olarak 40–45°C'dir. Bağıl nem ise; havanın bulunduğu sıcaklık derecesindeki su buharı basıncı, kurutulan üründe ulaşılan nem düzeyinde iken göstereceği su buharı basıncından daima düşük olacak bir nem düzeyinde olmalıdır. Aksi halde kurutma gerçekleşmez (Saldamlı ve Saldamlı 1990).

### 2.9.7. Püskürtmeli (siprey) kurutucular

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Şekil 2.14'de bir püskürtmeli kurutucu görülmektedir. Kurutulan ürünler uniformdur ve kuruma süreleri (5 ile 15 saniye arasında) değişir. Bu sistemlerde sıcak

kurutma ortamına, malzeme bir püskürtücü yardımıyla gönderilir. Giriş gaz sıcaklığı 93°C ile 760°C arasında değişir. Isıl verimlilik kurutma ortamı giriş sıcaklığı ile arttığından, yüksek sıcaklıklar tercih edilir.

Kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle ısıya duyarlı malzemelerin kurutulması için de uygundur. Kurutma ortamı, besleme akımı ile paralel veya zıt yönde sistemden geçirilebilir. Çıkış gazı ile sürüklenebilen toz halindeki malzeme siklon seperatör veya torba filtrelerde tutulur. Kurutulan ürünün tanecik büyüklüğü, yoğunluğu gibi kitlesel özellikleri kurutma gazının sıcaklığı ve püskürtme karakteristiklerinden etkilenir. Ürünün son nemliliği çıkış gaz akımının sıcaklık ve nemi ile kontrol edilir (Özbalta ve Güngör 1997).



**Şekil 2.14.** Püskürtmeli (siprey) kurutucu (Geankoplis 2011)

### 2.9.8. Valsli kurutucular

Bu kurutucularda ilke, içten ısıtılan bir silindirin (vals) sıcak bir yüzeyinde ince bir tabaka halinde yayılan sıvı veya lapa halindeki gıdanın, silindirin yaklaşık 300°C'lik

dönüşü sırasında yüzeyde kuruması ve buradan kazınıp alınmasıdır. Silindirler; içeri verilen buhar, sıcak su veya ısı iletimi yüksek bir sıvı ile ısıtılabilir. Valsli kurutucularda daha çok patates püresi gibi sebze püreleriyle, domates salçası kurutulur. Çeşitli tipte valsli kurutucular vardır. Ancak genellikle tek valsli kurutucular ve çift valsli kurutucular olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Tek valsli kurutucularda vals hafifçe kurutulacak sıvıya değmekte olup, vals üzerinde ince bir film bu yolla oluşmaktadır. Bazı tek valsli kurutucularda ise, kurutulacak ezme veya sıvı haldeki madde, ikinci ve fakat küçük bir vals ile kurutucu vals üzerine yayılmaktadır.

Çift valsli kurutucularda ise, iki vals yan yana paralel olarak yerleştirilmiş olup, valsler birbirlerine doğru dönerler. Beslenme yukarıdan iki vals arasına yapılır. İki valsın birbirine olan aralığı aralanmak suretiyle, sıcak yüzeydeki film kalınlığı kontrol altında tutulabilmektedir. Eğer çift valsli kurutucularda valsler zıt yönde dönerlerse, bu tip çift valsli kurutuculara “ikiz vals” denir. Bu durumda beslenme şüphesiz alttan yapılır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

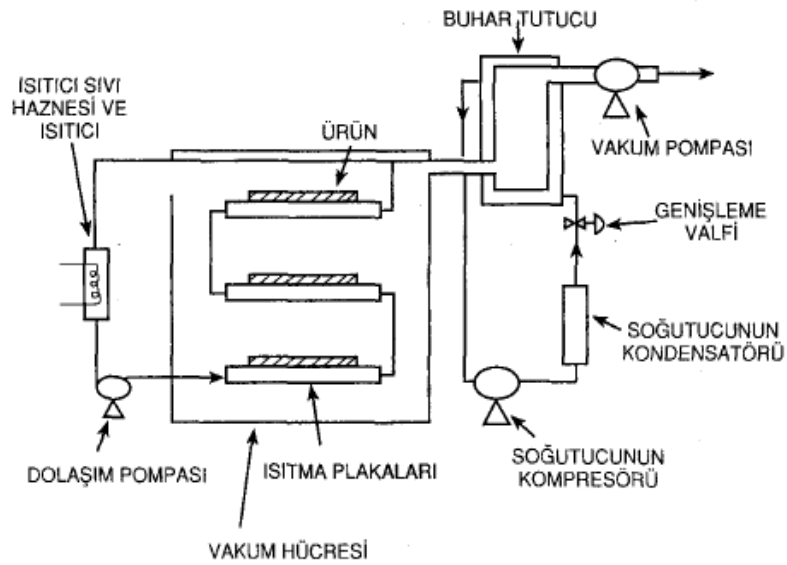
### **2.9.9. Vakum kurutucular**

Vakum kurutma alternatif bir kurutma metodu olup, özellikle meyveler gibi uzun sürede kuruyan gıda ürünleri için kullanılan önemli bir yöntemdir. Yapılan çalışmalar bu metodun, kurutma işlem süresini diğer metotlara nazaran çok kısalttığını göstermiştir. Vakum, gıdada bulunan suyun düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullardan daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha da önemli olan bir diğer nokta, suyun uzaklaştırılması esnasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonlarını azaltmaktadır. Vakum kurutucularda kurutulmuş olan ürünlerde renk, tekstür ve aroma iyi bir şekilde korunabilmektedir (Erbay ve Küçüköner 2008).

### 2.9.10. Dondurarak kurutucular

Dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde uygulanabilir. Malzeme önce dondurulur. Ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğunlaştırıcısı ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır. Bu esnada uçucu element genellikle su süblimleşir ve yoğunlaşır, ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır. Dondurarak kurutma genellikle  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $-40^{\circ}\text{C}$  arasında uygulanır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı malzemeler için uygundur (Güngör ve Özbalta 1997).

Dondurarak kurutulmuş gıda ve biyolojik maddelerin diğer bir avantajı da kurutma işlemi sırasında çok az tat ve aroma kaybına uğramalarıdır. Sıcaklığın çok düşük olması, bağıl nemin düşük olması, lokal olarak su kaybının çok hızlı olması, diğer geleneksel kurutma yöntemlerine göre enzimatik olmayan kararırma; gıdanın yapısındaki proteinlerin bozulmasını ve enzimatik reaksiyonları minimuma indirir (Kayhan 2008).



Şekil 2.15. Dondurarak kurutma sistemi (Cemeroğlu 2004)



### 2.9.11. Mikrodalgalı kurutucular

Mikrodalga kurutma tekniğinin esası ürün içerisindeki su moleküllerinin polarize edilerek, hızla hareket etmelerini sağlamak ve bu suretle ortaya çıkan moleküler sürtünmeyle ısının ortaya çıkmasını sağlamaktır. Mikrodalga kurutmada enerji, materyalin derinliklerine kadar inebilmelidir. Aksi durumda kurutulacak ürünün sadece yüzeyi ısınır. Işınmının etkileyebildiği derinlik, dalga boyuna, dielektrik sabitine ve kayıp faktörüne bağlıdır. Dalga boyu küçüldükçe ve frekans artıkça ürüne girme derinliği azalmaktadır.

Kurutma sırasında doğrudan su moleküllerinin ısıtılıp buharlaşmasıyla kurutma etkinliğinin yüksek olması, kurutmanın normal atmosfer basıncı altında yapılması sebebiyle üründe yapısal bozulmalar olmadan kurutma homojenliğinin sağlanır. Suyun ürün içerisinde buharlaşıp, yüzeye kadar buhar fazında taşınması, erimiş maddelerin taşınmadan oldukları yerde kalmaları gibi avantajlar mikrodalga kurutma yöntemini giderek daha çok tercih edilen sistem haline getirmiştir (Erdem 2007).

### 2.10. Alıç Meyvesi

Meyve yetiştiriciliği bakımından dünya ülkeleri arasında Türkiye önemli bir konuma sahiptir. Kültüre alınmış meyve türlerinin önemli bir kısmı ülkemizde ticari olarak yetiştirilebilmektedir. Ayrıca, kültüre alınıp yetiştirilen meyve türlerinin yanında, ülkemizin farklı bölgelerinde birçok yabani meyve türü doğal olarak yetişmektedir. Bu yabani meyve türlerinin çoğu halkımız tarafından farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Değişik kullanım alanlarına sahip bu meyve türlerinden birisi alıçtır.

Alıç, sistematik olarak, *Rosaceae* familyasının *Crataegus* cinsi altında yer almaktadır (Ağaoğlu vd 1995). Alıcın kuzey yarım kürede yayılış gösteren 50, ülkemizde ise 17 türü bulunmaktadır. Doğal olarak en fazla yayılış gösteren tür *Crataegus monogyna* olmaktadır. *Crataegus orientalis*, *Crataegus oxyacantha*, ve *Crataegus aronia* türleri de

yaygın olarak bulunmaktadır. Alıç, ülkemizde halk arasında, yemişen, alıç, alıç veya ekşi muşmula gibi farklı isimlerle bilinmektedir (Karadeniz 2004).

Alıç, kışın yaprağını döken, dikenli ağaç veya çalı formunda bir meyve türüdür. Yaprakları basit veya loplulu, meyveleri sarı, kırmızı, mor veya siyah renkli olabilmektedir (Seçmen vd 1989).

Alıç aynı zamanda önemli tıbbi bitkiler arasında yer almaktadır. Alıcın meyve ve çiçeklerinde antioksidant özellikteki flavonoidler (flavanlar), vitaminler (özellikle C vitamini), saponin, organik asitler, eter yağı ve şekerler başta olmak üzere insan sağlığı bakımından faydalı birçok madde bulunmaktadır. Alıç ağacının yaprak, çiçek ve meyveleri kalbin düzenli çalışmasını desteklemek ve kalp-damar sistemi fonksiyonlarını normalize etmek için kullanılmaktadır (Karadeniz 2004).

Alıç meyvesinin içerdiği antioksidanlar serbest radikal oluşumunu engelleyerek kalbin düzenli çalışmasını olumlu yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra kalp ve beyne olan kan akışını artırarak kalbi düzensiz atışlara karşı korumakta, kalbin kasılma gücünü ve kalp basıncını dengelemektedir. Alıcın kurutulmuş çiçek ve meyveleri çay gibi hazırlanarak boğaz iltihabına, öksürüğe, kalp faaliyeti zayıflığına, kalp ağrılarına, kalp çarpıntısına, böbrek hastalıklarına, damar sertliğine ve karaciğer ağrılarına karşı kullanılmaktadır (Karadeniz 2004).

Alıç meyvesinin en önemli özelliklerinden birisi de oldukça yüksek miktarlarda mineral madde içermesidir. Meyveler başta Ca, P, K, Mg ve Fe olmak üzere yüksek miktarda mineral madde içermektedir. Ayrıca, meyveler karbonhidrat, şeker ve vitamin (özellikle C vitamini) bakımından oldukça zengindir (Özcan vd 2005).



**Şekil 2.16.** Alıç meyvesi genel görünümü

### **2.11. Literatür Çalışmaları**

Gıdaların kurutma çalışmaları çeşitli şekillerde değerlendirilmiştir. Bunlardan bazıları kurutma sırasında kurutmanın yapıldığı ortam koşulları (hava sıcaklığı, hava hızı ve havanın bağıl nemi) ile kurutulan materyale ait özelliklerin ele alınarak (boyut vb.) kuruma hızına etkilerinin incelendiği araştırmalardır ve kurutulan materyale ait kalite kayıplarının incelendiği araştırmalar yer almaktadır.

Yaldız (2001), çalışmasında havuç ve pırasanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesini ve kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bu ürünler 30, 40, 50, 60 ve 70°C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s kurutma havası

hızlarında kurutularak kurutma süreleri belirlemiştir. Elde edilen veriler Newton, Page, Modifiye Page, Henderson and Pabis, Logaritmik, Two Term, Two Term Exponential, Wang ve Singh, Thompson, Difüzyon Aproach, Verma *et al.*, modifiye Henderson ve Pabis matematiksel modellerine uygulayarak en uygun model belirlemiştir.

Akpınar ve Biçer (2003a), kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel olarak, 60, 70 ve 80°C'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları ve kurutma havası hızları 1 ve 1,5 m/s kullanmışlardır. Araştırmacılar deneysel sonuçlardan elde edilen kuruma hızı-nem içeriği eğrilerini regresyon analiz kullanılarak matematiksel olarak modellemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, siklon tipi kurutucuda dönel akış ortamında kurutulan kabak örneklerinin kuruma hızını yüksek bulmuşlar. En yüksek kuruma hızı 80°C ve 1,5 m/s'de, en düşük kuruma hızı ise 60°C ve 1,0 m/s şartlarında elde etmişlerdir. Farklı giriş sıcaklıklarında ve hızlarında kurutulan örneklerde kuruma hızında, hava hızından ziyade hava sıcaklığının etkisinin daha fazla olduğu ifade etmişlerdir.

Lahsasni *et al.* (2004), çalışmalarında konvektif bir güneş enerjili kurutucuda Frenk incirinin kuruma kinetiğini incelemişlerdir. Marakkes'te yapılan deneyde ortam hava sıcaklığı 32-36°C ve bağıl nem %23-34 olarak ölçmüşlerdir. Deneyler 50, 55 ve 60°C hava sıcaklığında, 0,0227, 0,0556 ve 0,0833 m/s hava debisinde ve 0,5667, 1,1333 ve 1,7 m/s hava hızlarında 9 adet varyasyon denenerak yapılmışlardır. İncirler kurutulmadan önce 1 g ağırlığında ve 0,5x2 cm çap ve yüksekliğinde parçalara ayrılmıştır. Marquardt-Levenberg lineer olmayan optimizasyon yöntemi kullanılarak "Curve Expert 3.1" bilgisayar programı ile eğriler elde edilmiştir. Hava hızı ve sıcaklığının kurutmaya etki eden en önemli faktörler olduğu ifade etmişlerdir.

Doymaz (2005), çalışmasında bamyanın kurutma kinetiği ve karakteristiğini incelemiştir. Kurutma havası sıcaklığını 50 ve 70°C kurutma havası bağıl nemini %8 ve %25 seçerek konveksiyonel bir deney sisteminde bamyanın kuruma karakteristiğini incelemiş ve grafikler elde etmiştir. Deneyler 1 m/s kurutma havası hızında ve 30x30 cm deney düzeneği haznesine yerleştirilmiş olan 100 gr bamya ile yapılmıştır. Deney

sonucunda kuruma eğrilerinin zamanla azaldığı görmüştür. Bamyanın nem transferi Fick'in difüzyon modeli uygulanarak tanımlanmış ve etkili difüzyon hesaplanmaya çalışmıştır.

Toğrul vd (2005), 0,5, 1,0 ve 1,5 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş mantarların infrared kurutucuda 50, 60 ve 80°C kurutma havası sıcaklığında kuruma davranışlarını incelemiştir. Sıcaklığın 50°C'den 80°C'ye çıkarılmasıyla 0,5, 1,0 ve 1,5 cm dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 170, 140, 104 dakikalık azalma olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca mantar kalınlığının difüzyon katsayısına etkini araştırmışlar ve sonuçta sıcaklık ve et kalınlığındaki artışın difüzyon katsayısı artışına sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

Doymaz (2007), sıcak hava akımı ile kurutulan kabak dilimlerinin (0,7 cm kalınlığında) kinetiğini incelemiştir. Üç farklı sıcaklık 50, 55 ve 60°C ve 1 m/sn hava hızında, %15 ve %25 bağıl nem şartlarında deneyleri yapmış. En yüksek zamanı 50°C'de en az kuruma zamanını ise 50°C olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçları Fick'in difüzyon modelini uygulayarak grafikler çizmiş ve difüzyon katsayısını hesaplamıştır.

İzli (2007), mısırın sıcak hava akımı ile kurutulmasını deneysel olarak incelemesini çalışmıştır. Laboratuvar tipi sıcak hava kurutma düzeneği kullanarak mısırın bağıl nemini %16,4 den %10 değerine indirmiştir. Deneyler 1 m/s sabit hava hızında, farklı sıcaklıklarda 45, 55, 65, 75°C, karıştırıcılı (37 dev/dk) ve karıştırıcısız olarak yapılmıştır. En kısa süreli kurutma karıştırıcısız olarak 75°C sıcaklıkta ve 375 dakikada, karıştırıcılı olarak is 300 dakikada elde etmiştir. En uzun kurutma süresi ise karıştırıcısız olarak 3120 dakika ve karıştırıcılı olarak 2520 dakika süren ısıtılmada işlemiyle elde etmiştir.

Koyuncu *et al.* (2007), kırmızı ve sarı alıç meyvesinin iki farklı genotipinin kurutması için kurutma karakteristikleri ve enerji gereksinimleri incelenmiştir. Alıç meyveleri bir

bilgisayar bağlantılı konvektif sıcak havalı kurutucuda kurutulmuştur. Taze toplanmış iki farklı genotipli alıç meyvesinin 60 ve 70°C sıcaklıklarda ve her iki sıcaklık dereceleri için seçilen kurutucu hava hızı 0,25 m/s 'de kurutulmuştur. Sarı ve kırmızı alıç meyveleri için sırasıyla %211 ve %273 (yüzde kuru bazda) ilk nem içeriğinden %8-9 son nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Deney boyunca, kuru ürün her 10 dk da otomatik terazi ile ağırlık ölçülmüştür. Sonuçlar alıç meyvelerinin her iki genotipinin kuruması için kuruma havası sıcaklığı, gerekli toplam enerji ve toplam kurutma zamanına önemli şekilde tesir etmektedir. Kırmızı ve sarı alıç meyveleri kurutması için minimum enerji tüketimi 70°C ve 60°C için sırasıyla, 42,80 kWh/kg ve 27,68 kWh/kg hesaplanmıştır. Kurutma enerji tüketimini düşürmek ve bu uygulama için kurutma sıcaklığının 70°C'den daha az olmaması gerektiğini savunmuştur.

Mengeş ve Ertekin (2007), çalışmalarında 60, 70, 80°C hava sıcaklığında, 1,0, 2,0 ve 3,0 m/s kurutma havası hızında vişnenin kuruma davranışlarını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek için kullanılan Newton, Page, Modifiye Page, Henderson and Papis, Logaritmik, Two Term, Two Term Exponantiel, Wang and Sing, Thompson, Difüzyon Aproach, Modifiye Henderson and Papis, Verma *et al.* ve Midilli *et al.* (2002) modellerinin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Tahmini standart hatası (RMSE) ve khi-kare ( $\chi^2$ ) değerleri kullanılarak vişnenin kuruma davranışını açıklayan en uygun modelin Midilli *et al.* (2002) modeli olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca, Fick'in II. Yasası kullanılarak yapılan hesapta her bir sıcaklık için difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisinin sıcaklıkla arttığı tespit belirlenmişler.

Nasıroğlu (2007), kırmızıbiber, elma ve pırasayı kızılötesi bir kurutucuda kurutma çalışmasını incelemiştir. Deneyde ısı kaynağı olarak 250 W gücünde 2 adet kızılötesi lamba kullanılmış ve deneyler 300, 400, 500 W güçlerinde ve 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s hava hızlarında yapmıştır. Deneylerde elma ve kırmızıbiberi 20x20 mm pırasa ise 6 mm olarak dilimlere ayrılarak kurutmuştur. Deneyler sonucunda nem-kurutma süresi, kuruma hızı-nem içeriği grafikleri çizmiştir. Kırmızıbiberin 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s hava hızlarında 300 W kızılötesi lamba gücünde 315-455 dakika arasında, 400 W infrared

lamba gücünde 213-297 dakika arasında, 500 W infrared lamba gücünde 196-230dk arasında kuruduğu göstermiştir. Elmanın ise yine aynı hız ve sırası ile aynı infrared lamba gücünde 198-274 dk., 171-261 dk, 137-170 dk kuruduğunu ve en son pırasa için bu değerlerin sırası ile 305-341 dk., 195-244 dk., 183-241 dk kuruduğu göstermiştir. Deneyde ürünün kuruma süresi hava hızının artırılması ile artış gösterirken infrared lamba gücünün artırılması ile de azaldığını belirtmiştir.

Sacılık (2007), çalışmasında ince dilimlenmiş domateslerin kurutma prensibini incelemiştir. Kurutma çeşidi olarak konveksiyonel bir kurutucuda çalışmıştır. Konveksiyonla kurutmada kurutma havası hızı 0,8 m/s ve sıcaklığı 50–70°C arası seçilerek domatesin kuruma karakteristiği incelemiştir. Bu deneyde Page, Henderson and Pabis, Logaritmik ve Two Term modellerinden faydalanılmış ve Logaritmik modelin domateslerin kurutma karakteristiği için en iyi sonucu verdiği tespit etmiştir.

Ceylan ve Aktaş (2008), çalışmalarında ısı pompası destekli bir kurutucuda fındığın kurumasını incelemişlerdir. Deneye başlamadan önce fındıkların tam kuru ağırlığı etüv fırınında nem kaybı sonucu ürünün ağırlığındaki değişim ele alınarak tespit etmiştir. Daha sonra 1000 gram fındık ısı pompalı kurutucuda kurutma kabineye yerleştirilerek, 40°C sıcaklıkta ve 0,3 m/s hızındaki kurutma havası ile kurutmuşlardır. Fındıklar 40°C kuru termometre sıcaklığında, ortalama %25 bağıl nemde ve 0,38 m/s hava hızında, %35 nem (kuru bazda) miktarından %5 nem (kb) miktarına 30 saatte indirmişlerdir. Deneyler neticesinde nem miktarı- kuruma süresi; su aktivitesi-kurutma süresi grafiklerini çizmişlerdir.

Kocabıyık ve Demirtürk (2008), nane yapraklarının infrared enerji ile kurutulmasında nanenin kuruma karakteristikleri, kuruma süresi, kuruma hızı incelenmiş ve özgül enerji tüketimi ile kurutulmuş nane yapraklarının renk özellikleri araştırmıştır. Denemeler 1080 W/m<sup>2</sup> infrared radyasyon yoğunluğunda dört farklı hava hızında (0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s) gerçekleştirmiştir. Bütün kuruma koşullarında kuruma süresi 64 -180dk arasında değişmiştir. Kuruma hızı hava hızının azalmasıyla artış göstermiştir. Özgül enerji tüketimi tüm kuruma koşulları için 37,04 ile 106,58 MJ/kg buharlaşan su arasında

değişmiştir. Kuru nanenin renk özellikleri işlem değişkenlerinden etkilendiğini belirtmiştir.

Mirzaee *et al.* (2009), çalışmalarında kaysının kurutulmasında nem difüzyonunu ve enerji aktivasyonunu incelemişlerdir. 40, 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıkta ve 1, 1,5 ve 2 m/s hava hızlarında deneyler yapmışlardır. Elde edilen sonuçları grafikler halinde vermişlerdir. İkinci Fick yasasına göre denklem katsayıları hesaplamışlardır. Nem difüzyonu  $1,7 \times 10^{-10}$  ve  $1,15 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s arasında değişmiş ve enerji aktivasyonu ise farklı hızlarda 29,35-33,78 kJ/mol arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

Aktaş (2010), güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir kurutucuda kırmızıbiber kurutulması deneysel olarak incelemiştir. Kurutma sisteminde kırmızıbiberler başlangıç nem miktarından (0,914 g su/g yaş madde) son nem miktarına (0,11 g su/g yaş madde) kadar kurutmuştur. PID (oransal, integral ve türevsel) kontrollü kurutucuda güneş kolektörü ön ısıtıcı olarak kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre tüm sistem için ortalama ısıtma tesir katsayısı ( $COP_{wh}$ ) 2,1, tüm sistem için özgül nem çekme oranı ( $SMER_{ws}$ ) 0,18 kg/kWh olarak hesaplamıştır.

Mota *et al.* (2010), çalışmalarında, 30, 50 ve 60°C hava sıcaklıklarında soğanın kurutulmasını kurutma kinetiği açısından çalışmayı amaçlamışlardır. Deneysel verileri, farklı kinetik modellere uygulamışlar ve bu kinetik çalışmalarını, difüzyon katsayılarını tahmini için Fick'in difüzyon yasasına uygulamışlar. Öte yandan taze ve kurutulmuş soğanların kimyasal karakterizasyonuna ve ürünün kimyasal kompozisyonu üzerine kurutma ve kurutma sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Bu yolla nem miktarı, şeker miktarı, protein miktarı, yağ, ham lif, asitlik ve C vitamini analizlerini yapmışlardır. Elde edilen sonuçlardan soğanın, bazı kimyasal bileşenleri (kül, yağ, protein ve fiber) kurutma ile sıcaklıktan etkilenmediğini, buna karşın bazı özelliklerinin (şeker, asitlik ve C vitamini) kurutmaya önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarını, kurutma kinetiğini en iyi ifade eden üç ampirik modele (Newton, Modified Page ve Logarithmic) uygulayarak hesaplamışlardır. Ayrıca deneysel verilerden, Difüzyon



katsayısının tahminin de mümkün olduğunu ve 30 ve 60°C için sırasıyla  $3,33 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s ile  $8,55 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s değerlerini bulduklarını belirtmişlerdir.

Darıcı ve Şener (2011), kurutma havası hızının kurumaya etkisini incelemek amacıyla 4 mm ve 6 mm dilim kalınlığındaki kivi örneklerine kurutma havasının 60°C sıcaklığı ve %10 bağıl neminde 0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s hızları için deneyler yapmışlardır. Kurutma havası hızı 0,5 m/s'den 1,0 m/s'ye yükseltildiğinde kuruma süresi yaklaşık yarı yarıya azaldığını, kuruma hızının ise arttığını belirlemişlerdir. Kurutma havası hızının 1,0 m/s'ye kadar olan değerlerinde kuruma süresinin artan hız ile azaldığı, 1,0 m/s'den daha büyük değerlerinde ise, kuruma süresinde önemli bir değişimin olmadığı belirlemişlerdir. Bu nedenle, yüksek hızlarda kurutma yapmanın ekonomik olmadığı belirtmişlerdir.

Şahin vd (2012), bu çalışmada, farklı önışlemlerin ve iki farklı sıcaklık derecesinde, vakum altında kurutmanın dilimlenmiş domatesin kurutma karakteristiklerine ve bazı kalite kriterlerine etkisi araştırmışlardır. Tüm kurutma yöntemlerinde önışlem uygulaması olarak domatesler önce bütün halde %2 etil oleat + %4 potasyum karbonat karışımına daldırılmış, daha sonra dilimlenen domatesler iki gruba ayrılmış, bir grup %1 sitrik asit + %1 askorbik asit karışımına, diğer grup ise %2 sodyum metabisülfite çözültisine daldırılmışlardır. Kurutma 10 kPa vakum basınç altında, 65 ve 75°C sıcaklık şartlarında yürütülmüştür. Kalite kriterleri olarak, önışlemlerin ve farklı kurutma sıcaklıklarının renk, kuru madde, indirgen şeker, toplam şeker, pH, titrasyon asitliği, askorbik asit, likopen, sodyum ve potasyum içeriğine etkileri belirlemişlerdir. Sonuç olarak da önışlem uygulamalarının kuruma sürelerini kısalttığı belirlemişlerdir. Önışlem uygulamaları tüm renk kriterleri üzerine olumlu etkiler meydana getirmiştir. Önışlem uygulamalarıyla kurutulan domateslerin şeker içerikleri, önışlemsiz kurutulanlara göre daha düşük düzeyde kaldığını belirtmişlerdir. Sitrik+askorbik asit uygulaması pH değerlerinde düşme meydana getirmiş, aynı uygulama titrasyon asitliği değerlerini yükseltmiş. Kurutulmuş domateslerde, artan kuru madde içeriği ile birlikte sodyum, potasyum ve likopen miktarlarında artışlar olmuştur. Tüm uygulamalarda domateslerin askorbik asit değerleri düştüğünü ifade etmişlerdir.

Darvishi *et al.* (2013), Bu çalışma, kurutma kinetiğinde mikro dalga gücünün etkisini, enerji tüketimi ve 180, 240, 300, 360, 420, 480 ve 540 W güçlerinde yeşilbiberin kurutma esnasında verimliliği incelenmiştir. İnce katmanlı kuruma davranışları incelenmek için biber örneklerini için yedi matematiksel model uygulanmıştır. Modelleri,  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  deneysel ve tahmini nem oranları arasında değerlere göre karşılaştırılmıştır. Mikrodalga çıkış güçleri (180-540W) arasında arttırılmasıyla, kuruma süresi 9 dan 2,5 dakikaya düşmüştür. Kurutma işlemi azalan hız periyodunda yer görülmüştür. Sonuçlar ince tabaka biber numunelerinin kurutulması davranışı için en uygun Midilli *et al.* (2002) modeli olduğunu göstermektedir. Bir üçüncü dereceden polinom ilişkisi nem içeriği ile etkin nem difüzyonu arasındaki ilişki olduğunu belirlemiştirler. Etkili bir nem difüzyonu biber örneklerinin nem içeriğinde bir azalma ile artmıştır. Ortalama etkin difüzyon  $8,315 \times 10^{-8}$  den  $2.363 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye arasında, 14,19 W/g olan bir aktivasyon enerji ile çalışılan mikrodalga güç aralığında değişmiştir. Enerji verimliliği mikrodalga gücü ve nem içeriğindeki artış ile artmıştır. En az seviyede enerji tüketimi (240 W) 4,99 MJ/kg su ve en yüksek (180 W) ise 6,80 MJ /kg su olmuştur.

Özgen (2013), kızılciğın kurutulmasında kurutma hava hızının etkilerini incelenmiştir. Kızılciğın kuruma karakteristikleri konvektif bir kurutucuda, 45°C kuruma havası sıcaklığı ve 0,5, 1 ve 1,5 m/s kurutma havası hızında çalışmıştır. Elde edilen sonuçlar kurutma zamanının fonksiyonu olarak sunmuştur. Deneysel sonuçlardan, kurutma hava hızının toplam kuruma zamanı üzerinde önemli rol oynadığı görülmüştür. En düşük kuruma zamanı (53 saat) 1,5 m/s'de elde etmiştir. En yüksek kuruma zamanı (60 saat) ise 0,5 m/s için bulmuştur. Taze olarak toplanmış ürünler, farklı hızlarda konvektif kurutucuda başarılı bir şekilde kurutmuştur. Konvektif kurutucuda farklı hızlarda çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunmasında avantajlı olduğunu belirtmiştir.

Silva *et al.* (2013), silindirik parçalar halinde kesilmiş muzun kurumasını tanımlamak için üç difüzyon modeli kullanmışlardır. Difüzyon denkleminin analitik çözümlerini tanımlamak birinci ve üçüncü tür sınır koşulları kullanılmıştır. Sıcak havalı kurutma deneylerinde, örnekler yaklaşık olarak yarıçapı 15 mm ve uzunluğu 21mm boyutlarında silindirik parçalardır. Kurutma hava sıcaklıkları 40, 50, 60 ve 70°C'dir. İşlem

parametreleri belirlemek için analitik çözümlere bir optimizer bağlanmıştır. En iyi model için, etkin kütle difüzyon  $2,53 \times 10^{-8}$ ;  $3,12 \times 10^{-8}$ ;  $6,19 \times 10^{-8}$  ve  $7,32 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/dk iken konvektif kütle transfer katsayıları  $1,93 \times 10^{-5}$ ;  $3,04 \times 10^{-5}$ ;  $3,18 \times 10^{-5}$  ve  $4,97 \times 10^{-5}$  m/dk. Bütün deneysel simülasyonlarda determinasyon katsayıları 0,9990 daha yüksek ve kare  $5,3 \times 10^{-3}$  daha az olmuştur.

Aktaş ve Gönen (2014), kapalı devre ısı pompalı bir kurutucuda defneyaprağı kurutulması ve sistem analizi yapmışlardır. Kurutma havası bağıl nemi, sıcaklığı ve hızı programlanabilir mantıksal kontrolör (PLC) ekranından girilmiş ve set değerlerine göre kontrol etmişlerdir. Isı pompalı kurutma sisteminde 6 farklı deney 40, 45 ve 50°C kurutma havası sıcaklıklarında 1 ve 1,5 m/s kurutma havası hızlarında yapılmıştır. Nem alma ünitesi kullanılarak deneyler esnasında kurutma havası bağıl nemi % 4-11 aralığında tutmuşlardır. Deneyler sonucunda tüm sistem için en yüksek performans katsayısı (COP<sub>ts</sub>) değeri 45°C ve 1,5 m/s için 3,02 olarak hesaplanmış ve kurutulmuş defne yapraklarının su aktivitesi değerleri 0,49-0,55 aralığında ölçülmüştür.

Kurozawa *et al.* (2014), Bu çalışmada, kavun ağacı meyvesi küplerinin sıcak hava kurutma sırasında askorbik asit bozulmasını incelemek ve cam geçişi ile ilişkisini tanımlamışlardır. Bir konvektif tepsi kurutucu kullanılarak taşıyıcı hava sıcaklıkları (T<sub>air</sub>) 40, 50, 60 ve 70°C ve hava akış hızlarına 1,0 ve 1,32 m/s'de kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Düşük T<sub>air</sub>'de kurutma sonunda besinleri yüksek değerinde tutmaya neden olmuştur. 70°C'de kavun ağacı meyvesi örneği, ürün sıcaklığı (T<sub>p</sub>) süreç boyunca cam geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) üzerinde olduğu için kurutmanın sonuna kadar lastik halde kalmıştır. Bu durum bozulmayı kolaylaştıran, gıda içinde büyük moleküler hareketliliği ile karakterizedir. 40°C'de, besin bozulması oranı T<sub>g</sub>'de çok yavaş, T<sub>p</sub>' ye yakın gibidir ve kavun ağacı meyvesi lastiksi yapıdan camsı duruma faz geçişinde zarar gördüğünü belirtmişlerdir.

Pacheco-Aguirre *et al.* (2014), Bu çalışmada, anizotropik silindirik katıların kuruma esnasında aksenal, radyal ve açısız yönde suyun difüzyonunu tahmin etmek için bir metot önermişlerdir. Yöntem sınırlı boylam kesitleri şeklinde anizotropik silindir

ürünlerde durgun halde kütle transferi denklemi için analitik çözüme dayanmaktadırlar. Açısal yayınım kesim açısını değiştirerek yüksekliği sabit silindir, boylam bölümleri ile yürütülen kurutma deneylerden sonra elde edilirken, radyal ve eksenel difüzyon katsayıları birinci, artan yüksekliği ile tüm silindir kurutma eğrileri tahmin nerede sıralı bir yaklaşım uygulanır. Havuç geliştirilen teori ile 80°C'de 2 m/s'lik bir hava hızında elde edilen konvektif kurutma, iki veri kümesi analizi uygulanmıştır. İlk deney seti, 2,2 cm çapında ve 1,2, ....10 cm yükseklikleri havuç silindir ile yapılmıştır. İkinci sette silindirler boyuna 10 cm yüksekliği sabit yarısı, çeyrek, altılılar ve sekizde gibi kesilir iken. Bu deneysel koşullar altında, su difüzyonu  $0,53-2,93 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s aralığında tespit edilmiştir. Suyun farklı difüzyon yayılımları önceden çalışılmış kütle transfer tanımları için SEM görüntüleri ile böylece daha fazla sayısal sonuçları destekleyen, boyuna ve enine ürün kesimler arasındaki yapısal farklılıklar ortaya koyarak ( $p < 0.05$ ) önemli bulunmuştur. Mevcut bulgular, ürüne bağlı olarak, anizotropik difüzyonun doğru bir süreç tanımı elde etmek için kurutma modellemeye dahil edilmesi gerektiğini düşünmektedirler.

Parlak (2014), zencefilin akışkan yataklı kurutucuda kuruma kinetiği incelemiştir. Yaş baza göre başlangıç nemi %88-89 olan zencefil kökleri, 2 mm kalınlığında dilimlenmiş ve %4-5 nem içeriğine kadar kurutmuştur. Kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve bağlı neminin kuruma kinetiğine olan etkisini incelemek için deneyler farklı kurutma havası (40, 50, 60°C) sıcaklıklarında ve farklı (3 ve 4 m/s) hava hızlarında gerçekleştirmiştir. Kurutma esnasında belli zaman aralıklarında alınan numunelerin kuru baza göre nem değerleri ölçülmüş ve daha sonra belirlenen nem oranları kullanılarak difüzyon katsayıları hesaplamıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, kurutma havası sıcaklığının, hızının ve neminin kuruma hızında oldukça etkili bir parametre olduğunu belirlemiştir. Ayrıca deneysel veriler literatürde yer alan ince tabaka kuruma kinetiği modelleri ile karşılaştırmış ve verilerin Page modeli ile uyumlu olduğu ifade etmiştir.

Yoğurtçu (2014), mikrodalga fırında limonun ince tabaka kuruma kinetiği incelemiştir. 8 mm kalınlıktaki limon dilimleri 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga (2450 MHz) çıkış güçlerinde kurutmuş ve zamanla limon kütlelerinin değişimi takip etmiştir. Mikrodalga

gücündeki artma ile kuruma hızının arttığı görülmüş. 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga güçlerinde son nem içeriklerine sırasıyla 52, 16, 8 ve 5,5 dk sonunda ulaşmıştır. Deneysel verileri değerlendirmek için literatürde önerilmiş olan Page, Henderson and Pabis ve Logaritmic ince tabak kuruma modelleri kullanılmış. Modeller arasındaki kıyaslama  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve RMSE istatistik parametreleri kullanılarak Page modelinin limonun mikrodalga kuruma davranışını temsil eden en iyi model olduğu belirlenmiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak Malatya yöresinden Ekim 2013'te temin edilen alıç (*Crataegus aronia L.*) meyveleri kullanılmıştır. Yaklaşık aynı boyut ve olgunluğa sahip olacak şekilde meyveler seçilmiş ve yüzey kirliliklerinden kurtarılmak üzere yıkanıp, kurulanmıştır. Meyvelerin bir kısmı analizleri yapılmak üzere ayrılmış, geriye kalan kısmı ise kullanılacağı zamana kadar havası alınmış polietilen torbalar içinde  $-18^{\circ}\text{C}$ 'de (Uğur ++A) derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Meyve boyutları ve şekli

Tesadüfi olarak seçilen 50 meyvenin eni ve boyu, dijital bir kumpasla (Baytas Electronic Digital Caliper) ölçülerek belirlenmiştir. Mataryelin şeklinin belirlenmesi, meyve boyunun meyve enine bölünmesi ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.1. Dijital kumpas cihazının görünümü

Meyve şeklinin indeksi, meyve boyutunun, meyve enine bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Pıllak 1993;Tükoğlu vd 1999). Bu indeksten Çizelge 3.1'den yararlanılarak meyvenin geometrik şekline karar verilir.

**Çizelge 3.1.** Şekil indeksine ait değer aralıkları (Pıllak 1993;Tükoğlu vd 1999)

Uzunluk/ Genişlik	Şekil
1,220'den küçük	Yuvarlak
1,221-1,136 arası	Oval
1,317-1,412 arası	Konik
1,413-1,508 arası	Silidirik
1,508'den büyük	Eliptik

### 3.2.2. Meyve ağırlığı

Meyve ağırlıkları, rastgele seçilen 50 meyvenin ortalama olarak ağırlıkları hesaplanmıştır.

### 3.2.3. Materyal renk ölçümleri

Renk ölçümleri Konica Minolta Chroma Meter CR-400 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan renk ölçüm cihazın genel görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir. Alıç meyvelerinin taze ve kurumadan sonraki örneklerin renk ölçümleri yapılarak bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

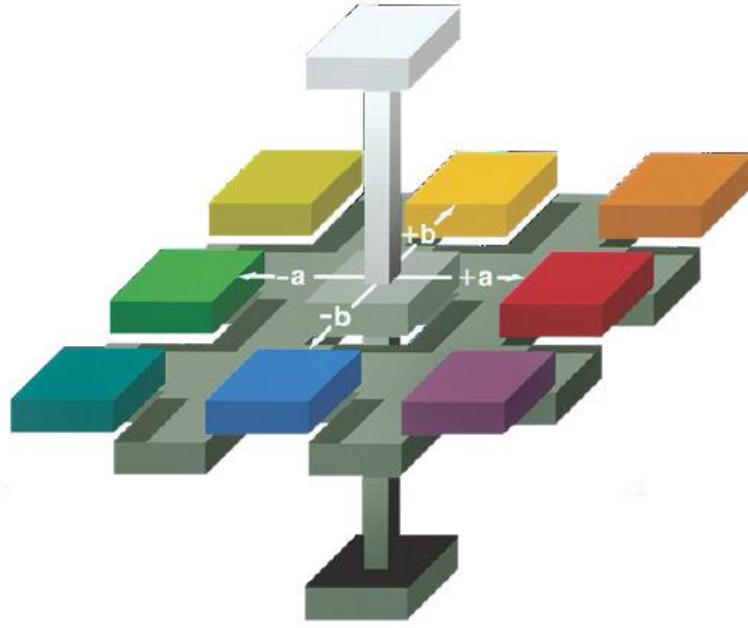


**Şekil 3.2.** Konica Minolta Chroma Meter CR-400 cihazın genel görünümü

Kurutulmuş tarımsal ürünlerinin renk ölçümleri Hunter Lab skalasına göre L, a ve b değerleri tespit edilmiştir (Şahin vd 2012). Hunter Lab skalasının görünümü Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

CIE (Commission Internationale d'Eclairage) göre L, a, b renk koordinat sisteminde L değeri renk parlaklığını göstermekte olup değeri 0 ile 100 arasında değişmektedir. L=0 değerini siyah renkte hiçbir yansımanın olmadığı durumda alırken 100 değerini tam yansımanın olduğu beyaz renkte almaktadır. Renk koordinatları a değeri pozitif olduğunda kırmızı, negatif olduğunda yeşil rengi ifade ederken, b değeri pozitif olduğunda sarı, negatif olduğunda ise mavi rengi belirtmektedir. Sıfır kesim noktasında (a=0 ve b=0) renksizlik yani grilik olmaktadır ( Polatçı ve Tarhan 2009; Anonymous 1996a; Anonymous 1996b).





**Şekil 3.3.** Hunter Lab renk skalası (Hunter Lab 2012)

Kurutulmuş ve taze alıç örneklerinin renk ölçümlerine yönelik saptamalar sonucunda elde edilen değerlerden; toplam renk sapması ( $\Delta E$ ) (Denklem (3.1)), metrik renk kroması ( $C$ ) (Denklem (3.2)), Hue açısı ( $\alpha$ ) (Denklem (3.3)), esmerleşme indisi (BI) (Denklem (3.4)) ve renk parlaklığı sapması ( $\Delta L$ ), kırmızı renk sapması ( $\Delta a$ ), sarı renk sapması ( $\Delta b$ ) gibi kurutma sonunda çeşitli renk kriterleri hesaplanmıştır. Denklemlerde ‘‘<sub>o</sub>’’ indisi taze örnek değerlerini gösterir (Maskan 2000; Anonymous 1996a).

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L)^2 + (a_o - a)^2 + (b_o - b)^2} \quad (3.1)$$

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (3.2)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3.3)$$

$$BI = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17} \quad (3.4)$$

$$x = \frac{(a+1.75L)}{(5.645L+a-3.012b)} \quad (3.5)$$

### 3.2.4. Kuru madde tayini

Ürünlerin nem içeriklerinin belirlenmesi için, darası alınmış kaba 100 gram örnek yerleştirilerek 105 °C 'ye ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelene kadar (24 saat) kurutulmuştur. Kurutulan maddenin nem içeriğini kuru bazda nem içeriği ve yaş bazda nem içeriği olarak iki farklı terimle tanımlanabilir. Kurutma deneylerinde genellikle kuru temele göre hesaplamalar yapılır. Toplam kuru madde sabit olduğundan dolayı, ürün içerisinde uzaklaşan nemin değişimi de kolaylıkla belirlenir.

Yaş baza göre kuru madde tayini:

$$M_{yb} = \frac{m_o - m_k}{m_o} \quad (3.6)$$

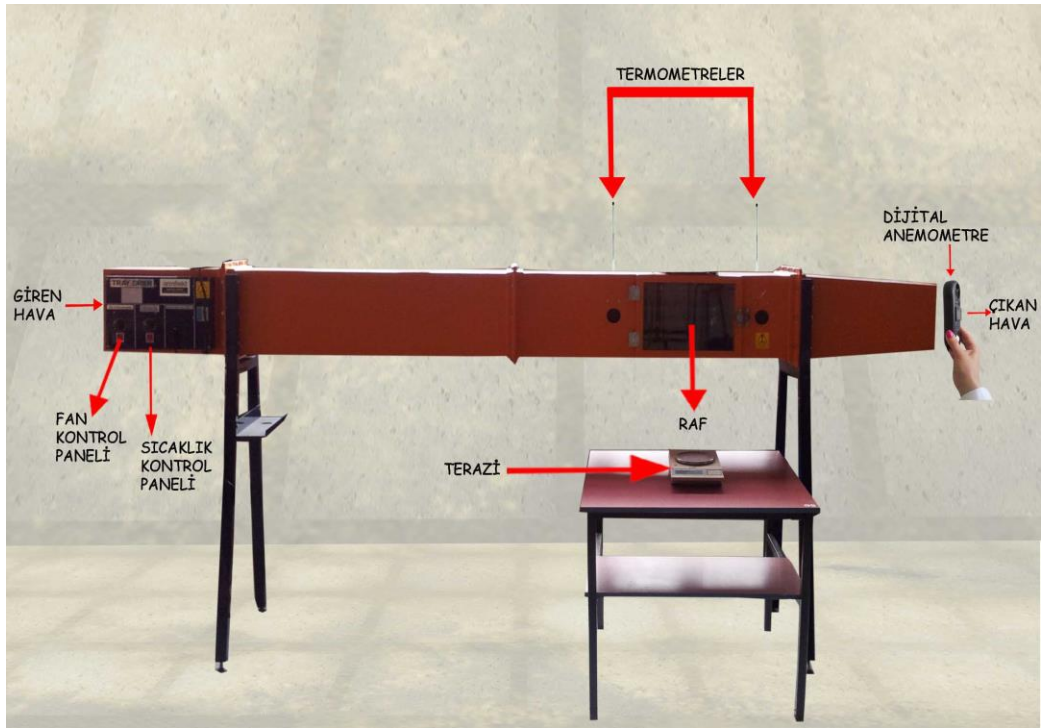
Kuru baza göre kuru madde tayini:

$$M_{kb} = \frac{m_o - m_k}{m_k} \quad (3.7)$$

Denklemden:  $M_{yb}$ : Yaş baza göre nem içeriği (kg su/kg toplam madde),  $m_o$ : Başlangıçtaki madde miktarı (kg),  $m_k$ : Kuru madde miktarı (kg),  $M_{kb}$ : Kuru baza göre nem içeriği (kg su/kg kuru madde) olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.5. Kurutma deneyleri

Alıç meyvelerinin kurutulması deneyleri, Kimya Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan 20x20x220 cm boyutlarında raflı tünel kurutucuda gerçekleştirilmiştir (Armfield Limited Ringwood Hampshire England). Deneylerde kullanılan kurutucunun genel görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Kurutulmada kullanılan kurutucu genel görünümü (Polatoğlu ve Beşe 2012)



**Şekil 3.5.** Anemometre cihazı

Kurutma kabini, uzun bir tünel şeklinde tünel ucunda çeşitli maddelerin kurutulmasına uygun delikli rafın olduğu istenilen sıcaklıkta ve hava akımı sağlayabilen pilot ölçekli laboratuvar kurutucudur. Kurutucu içerisinde geçen havanın hızını ise fan kontrol paneli ile kontrol edilmektedir. Kurutucu içerisinde geçen havanın akış hızı LCA 6000 Anemometre ile  $\pm 0,3$  m/s ile ölçülmüştür.

Havanın ısıtılması, fanın ön tarafında bulunan ısıtıcı rezistanslarla sağlanmaktadır. İstenilen sıcaklık ayarı cihaz üzerindeki sıcaklık kontrol paneli yardımıyla ayarlanabilmektedir. Sıcaklık ölçümleri, cihaz üzerine yerleştirilmiş termometreler yardımıyla ölçülmektedir. Kurutucuda ısı kaybını önlemek için etrafı yalıtkan malzeme straporla kaplanmıştır.

Deneyler üç farklı hava hızında (0,50, 0,90 ve 1,30 m/s) ve üç farklı kuruma havası sıcaklığında (50, 60 ve 70 °C) yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce istenilen sıcaklık ve hava hızına ayarlanan kurutma sistemi, kararlı hale ulaşılan kadar çalıştırılmıştır. Kararlı hale ulaşıldıktan sonra, darası alınmış 15x20 boyutlarında ızgara tepsiye 100 gr örnek AND FX3000 marka elektronik terazide tartılarak kabin içerisindeki 24x22 boyutlarındaki sabit tepsi üzerine yerleştirilmiştir. Birer saat aralıklarla ızgara tepsi çıkarılarak tartımlar alınmıştır. Kurutma işlemi sabit tartıma gelindiğinde

sonlandırılmıştır. Kurutulan numuneler, polietilen ağız kapaklı saklama kaplarında muhafaza edilmiştir.



**Şekil 3.6.** Kurutulan alıç meyvelerinin görünümü

### **3.2.6. Rehidrasyon kapasitelerinin ölçülmesi**

Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun belli sıcaklıktaki suda bekletilmesi sonucunda kazandığı su miktarının bir ölçüsüdür. Rehidrasyon sırasındaki koşullar, özellikle suyun sıcaklığı ve süresi, rehidrasyon yeteneği üzerinde son derece etkilidir. Bu nedenle, bir ürünün rehidrasyon yeteneğine ilişkin sayısal bir değer verilirken, bunun nasıl saptandığına ait yöntemin ve koşulların da ayrıntılı olarak tanımlanması gerekir (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Rehidrasyon deneyleri 20, 50 ve 80°C sıcaklıklarında yapılmıştır. 250 ml'lik beherlere yaklaşık 5 gram kurutulmuş alıç örnekleri alınarak üzerine saf su ilave edilmiş ve çalışılacak rehidrasyon sıcaklığında dengeye getirilen su banyosuna yerleştirilmiştir. Her Birer saat aralıklarla alıç örnekleri çıkarılıp kurulama kâğıdı ile kurulandıktan sonra tartımlar yapılmıştır. Rehidrasyon deneyleri sabit tartıma gelindiğinde sonuçlandırılmıştır. Bu süre yaklaşık olarak 9 saat olarak belirlenmiştir. Rehidrasyon kapasitesi (RC) aşağıda gösterilen formül ile hesaplanmıştır.

$$RC = \frac{W_2}{W_1} - 1 \quad (3.8)$$

Burada  $W_1$  ve  $W_2$  simgeleri sırasıyla rehidrasyon işleminden önceki madde miktarı (kg) ve rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarı (kg) göstermektedir.

### 3.2.7. Kuruma hızı

Kurutma deneylerinde kullanılan ürünlerin kuru baza göre nem içeriği:

$$M = \frac{M_s}{M_k} \quad (3.9)$$

Denklemden; M: Nem içeriğini (kg su/kg kuru madde),  $M_s$ : Su miktarını (kg),  $M_k$ : Kuru madde miktarını (kg) göstermektedir. Kurutma hızını ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (Doymaz 2006a; Karaaslan ve Tunçer 2009).

$$R = \frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (3.10)$$

Denklemden; R: Kurutma hızı ((kg su/(kg kuru madde \* s)),  $M_t$ : t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde),  $M_{t+\Delta t}$ : t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), t, Δt: süre (s) olarak ifade edilmektedir. Nem oranı (MR) ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Karaaslan ve Tunçer 2009).

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} \quad (3.11)$$

Denklemden; 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),  $M_t$ :

t süre sonunda kurumuş ürünün içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde)  $M_d$ : Kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde) belirler. Bu ya bir higrometre ile ya da kurutma sırasında ölçülen yaş ve kuru termometre sıcaklıkları yardımıyla psikometri diyagramından bulunur. Kurutma deneyleri sırasında yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ölçülerek psikrometrik diyagramdan hava nemi 0,006 kg su/kg kuru hava olarak bulunmuştur.

### 3.2.8. Kurumanın matematiksel modellemesi

Deney verilerinden yararlanılarak, nem içeriği ile kuruma süresi arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Çizelge 3.2’de gösterilen toplam on iki adet model kullanılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak kıyaslanmıştır.

**Çizelge 3.2.** Alıç Meyvelerinin kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler

Denklem Adı	Denklem	Kaynaklar
Newton	$MR = \exp(-kt)$	(Doymaz and Ismail 2011)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Jangam <i>et al.</i> 2008)
Modifiye Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	(Arslan and Ozcan 2010)
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + b$	(Kingsly <i>et al.</i> 2007)
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(Figiel 2010)
Midilli <i>et.al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(Midilli <i>et al.</i> 2002)
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(Wang <i>et al.</i> 2007)
Geometric	$MR = a t^{-n}$	(Sarimeşeli ve Banı 2013)
Two Term	$MR = a_1 \exp(-k_1t) + a_2 \exp(-k_2t)$	(Madamba <i>et al.</i> 1996)
TwoTerm Exponantial	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	(Yaldız vd 2000)
Diffision Approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	(Kassem 1998)
Logistic	$MR = b / (1 + a \exp(kt))$	(Sarimeşeli ve Banı 2013)

Regresyon analizlerinde IBM SPSS Statistics 20 programı kullanılmıştır. Regresyon katsayısı ( $R^2$ ), (1'e en yakın değeri) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Ayrıca tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare ( $\chi^2$ ) değerleriyle de (0'a en yakın değerleri) kullanılan denklemin uygunluğu saptanır (Akpınar ve Biçer 2003b; Sacilik ve Elicin 2006; Erbay ve İçier 2008; Sobukola *et al.* 2008; Tunde-Akintunde and Ajala 2010).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (3.12)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.13)$$

Burada  $MR_{exp}$  ve  $MR_{pre}$  deneysel ve tahmin edilen nem oranlarını, N deneysel veri sayısı ve z kullanılan denklemdeki parametre sayısı olarak ifade edilmektedir.

Tahminin standart hatası, ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değer in sıfıra yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca uyumun derecesini gösteren khi-kare değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir (Akpınar ve Biçer 2003a).

### 3.2.9. Difüzyon katsayısının hesaplanması

Çeşitli gıdaların ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan teorik model, Fick'in ikinci yasasının çözümü, çeşitli geometriler için belli başlangıç ve sınır şartları kullanılarak çözülür.



Çözüm için başlangıçta nemin ürün içerisinde üniform olarak dağıldığı, aktarımın tek boyutlu olduğu, kurutma süresince büzülmenin olmadığı, iç ve dış ısı transferlerinin de ihmal edildiği kabul edilir (Mengeş ve Ertekin 2007).

$$\frac{\delta M}{\delta t} = \nabla \cdot (D_{eff} \cdot \nabla M) \quad (3.14)$$

Denklemden difüzyon katsayısı sabit alınıp çözülüp uygun sınır koşullarıyla basitleştirme işlemi yapılırsa;

Kartezyen koordinatlarda:

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{eff}}{4 \cdot L^2} t\right) \quad (3.15)$$

Küresel koordinatlarda:

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{eff}}{r^2} t\right) \quad (3.16)$$

Burada;  $D_{eff}$ : Etkin difüzyon katsayısı (m<sup>2</sup>/s),  $L$ : Dilim yarı kalınlığı (m),  $r$ : Yarıçap (m),  $t$ : süre (s) olarak ifade edilmektedir.

Uzun kurutma süreleri için, (3.16) ve (3.17) denklemlerinin ilk terimleri çözüm için kullanılır.

$$MR = \frac{M_t}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot D_{eff}}{4 \cdot L^2} t\right) \quad (3.17)$$

$$MR = \frac{M_t}{M_0} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot D_{eff}}{r^2} t\right) \quad (3.18)$$

Etkin difüzyon katsayısının hesabı için (3.19) denkleminin her iki tarafının  $\ln$ 'li ifadesi alınır kurutma süresine karşı  $\ln(MR)$  grafiklerinin eğimli belirlenir.

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 \cdot D_{eff}}{r^2} t\right) \quad (3.19)$$

(3.19) denklemlerinin eğim değerinden etkin difüzyon ( $D_{eff}$ ) katsayısı belirlenir (Sharma and Prasad 2004; Sharma *et al.* 2005).

### 3.2.10. Aktivasyon enerjisinin hesabı

Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma işleminde daha yüksek nem difüzyon değerleri verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerinde artıştan meydana gelir (Devahastin 2000).

Etkin difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır (Dadali *et al.* 2007);

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (3.20)$$

Burada  $D_{eff}$  etkin difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ ),  $D_0$  sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit ( $m^2/s$ ),  $E_a$  aktivasyon enerjisi (kJ/mol),  $R$  üniversal gaz sabiti (8,314 J/(mol.K)) ve  $T$  kurutma sıcaklığıdır ( $^{\circ}C$ ).

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_0) - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T(K)} \quad (3.21)$$

Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisinin incelenmesinde  $1/T$ 'ye karşılık  $\ln(D_{eff})$  değerlerinin grafik edilmesi sonucu oluşturulan doğruların eğiminden aktivasyon enerjisi hesaplanır (Mengeş ve Ertekin 2006; Doymaz 2006b).

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. Materyalin Fiziksel Özellikleri

Araştırmada kullanılan alıç meyvesinin belirlenen fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Alıç meyvesi örneklerine ait fiziksel özellikler

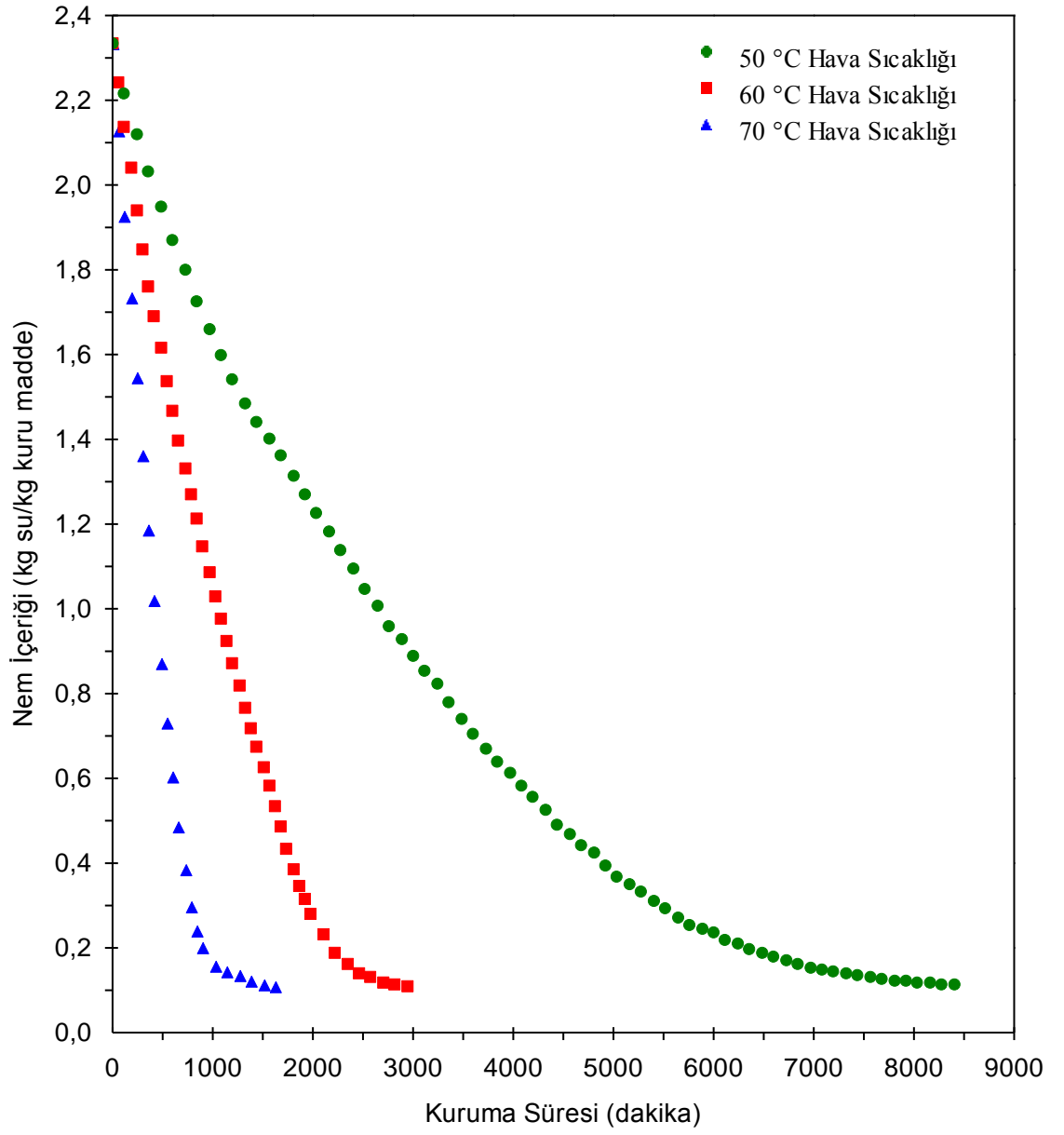
En	19,07 ± 0,3 mm
Boy	18,78 ± 0,3 mm
Ağırlık	4,52 gr
Uzunluk/ Genişlik	1,015
Şekli	Küre
Ortalama yüzey alan	1102,17 mm <sup>2</sup>

Meyvenin boyu ve eninin ölçülerinden (uzunluk/genilik = 1,015) indeksine göre 1,220’den düşük olduğundan şeklinin küre olduğunu belirlenmiştir ve hesaplamalarda bu özelliğe göre yapılmıştır.

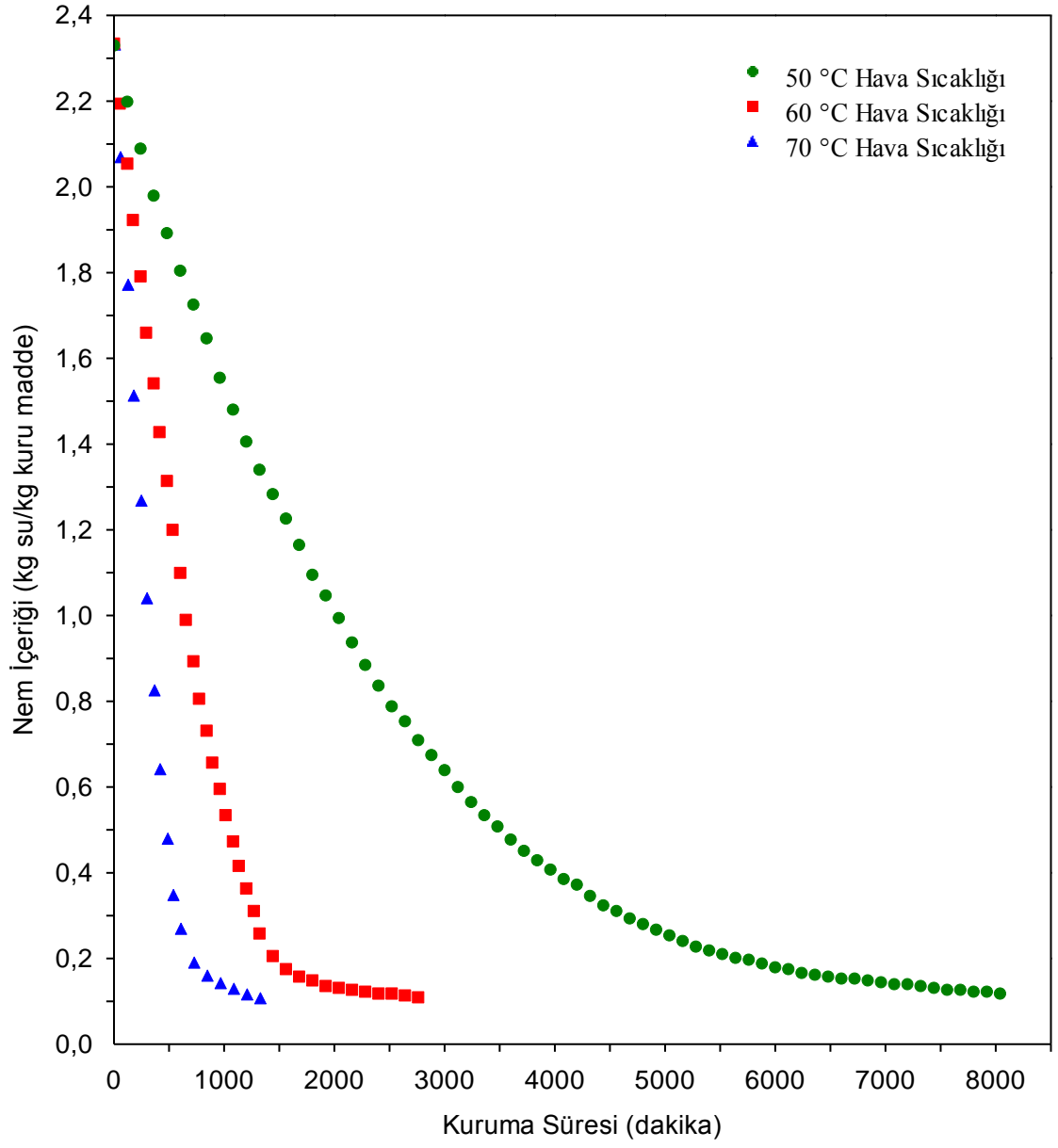
### 4.2. Kurutma Hava Hızı ve Sıcaklığının Kurumaya Etkisi

Deneylerde, ortalama çapı 18,6 mm olan alıç meyvelerinin kuruma kinetiğini 50, 60 ve 70°C hava sıcaklıkları ve 0,50, 0,90 ve 1,30 m/s hava hızlarında incelenmiştir. Alıç meyvesinin kuru madde içeriği %30 olarak belirlenmiştir. Kurutulan örnekler sabit tartıma yaklaşık olarak %11 nem içeriğinde ulaşmıştır.

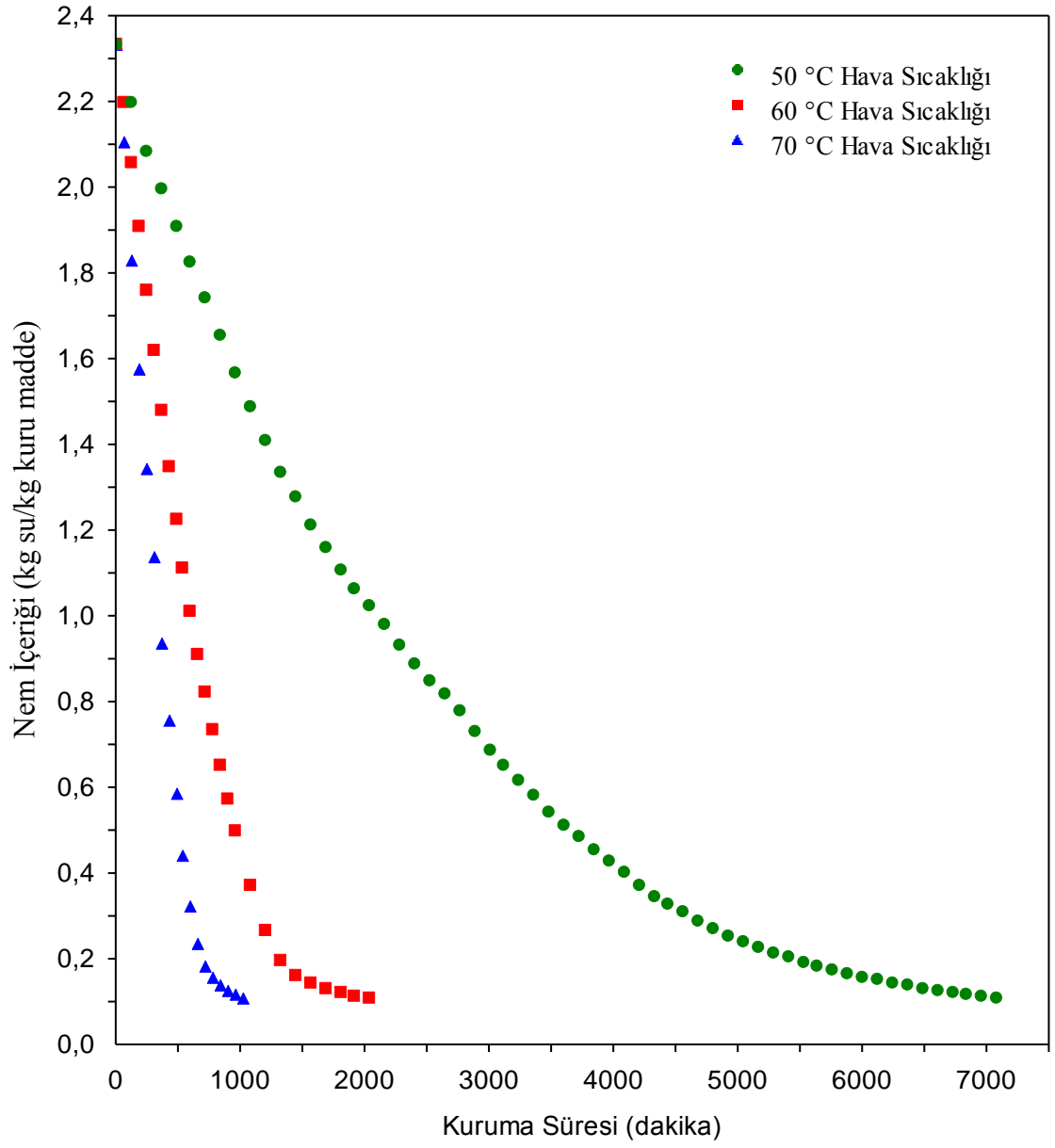
Alıç meyvelerinin kurutma deneylerinin hava sıcaklığı ve hava hızına göre kuruma sürelerine göre değişimi grafikleri Şekil 4.1- Şekil 4.3 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 0,50 m/s hava hızında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 4.2. 0,90 m/s hava hızında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 4.3. 1,30 m/s hava hızında nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Şekil 4.1–4.3'ten de görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığının artması ile nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır. Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etkiyi, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesine bağlanabilir. Dolayısıyla sıcaklık artışıyla bağıl nemi düşen ve daha yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan kurutma havası kurutmada çok daha etkin bir rol üstlenmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda maddedeki suyun daha yüksek buhar basıncı göstermesi ve buharlaşma derecesinin artması, yüksek sıcaklıkta daha yüksek kuruma hızının görülmesine neden olmaktadır (Mengeş ve Ertekin 2007). Aynı hava hızlarında kuruma sıcaklığı için 20°C'deki artış sonucu zamanda yedi katı bir azalma saptanmıştır.

Kurutma havası sıcaklığının yükselmesiyle hem difüzyon hem de kütle transferinin hızlandığı bilinmektedir (Kaya 2008). Bu etkiler, ürünün daha çabuk kurumasına sebep olmaktadır. Çizelge 4.2'de kuruma süreleri değişimi verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Alıç meyveleri kurutma deneyleri kuruma süreleri değişimi

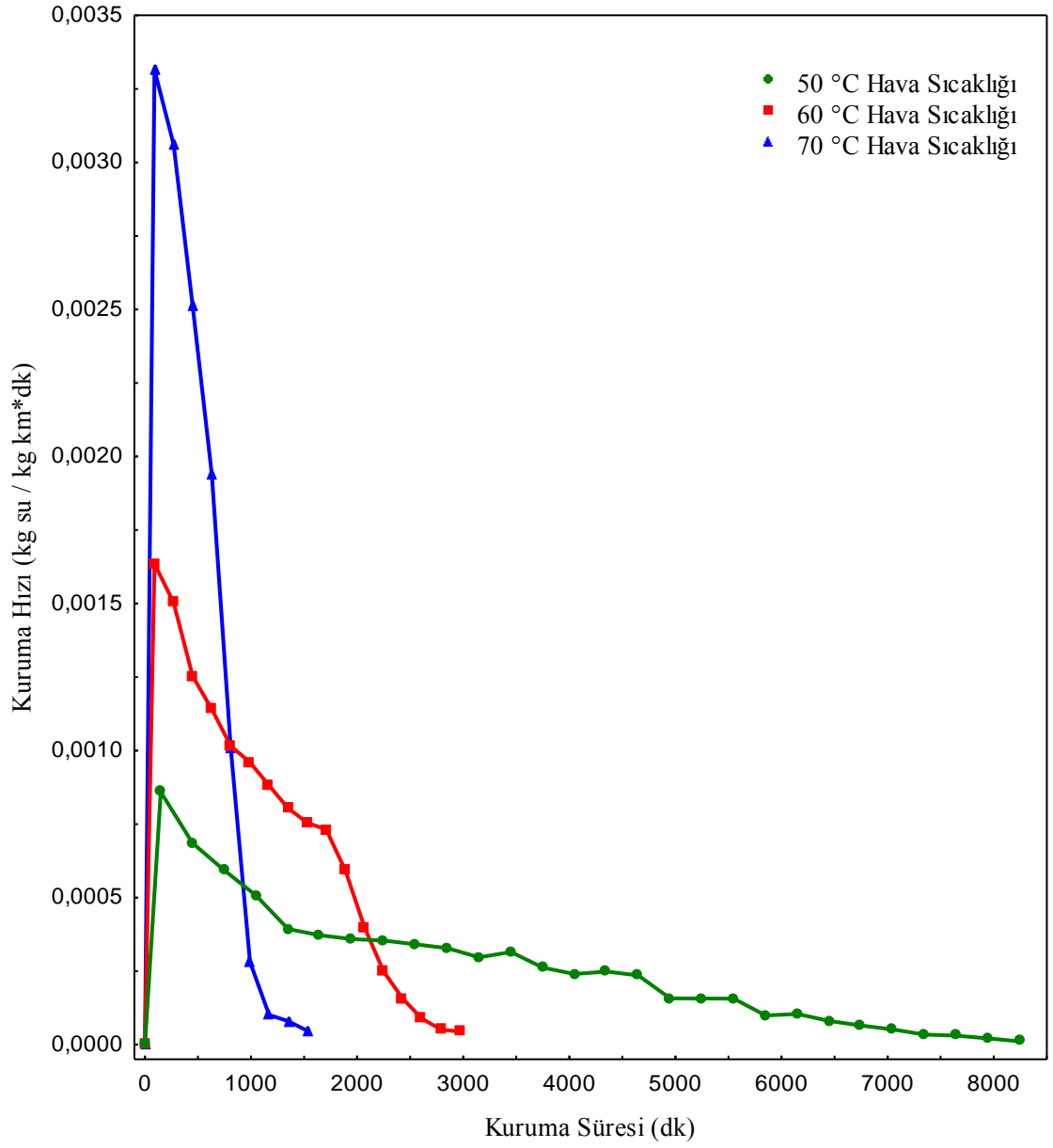
Hava Sıcaklığı (°C)	Hava Hızı (m/s)	Kurutma Süresi (dk)
50	0,50	8400
	0,90	8100
	1,30	7080
60	0,50	2940
	0,90	2760
	1,30	2040
70	0,50	1620
	0,90	1320
	1,30	1020



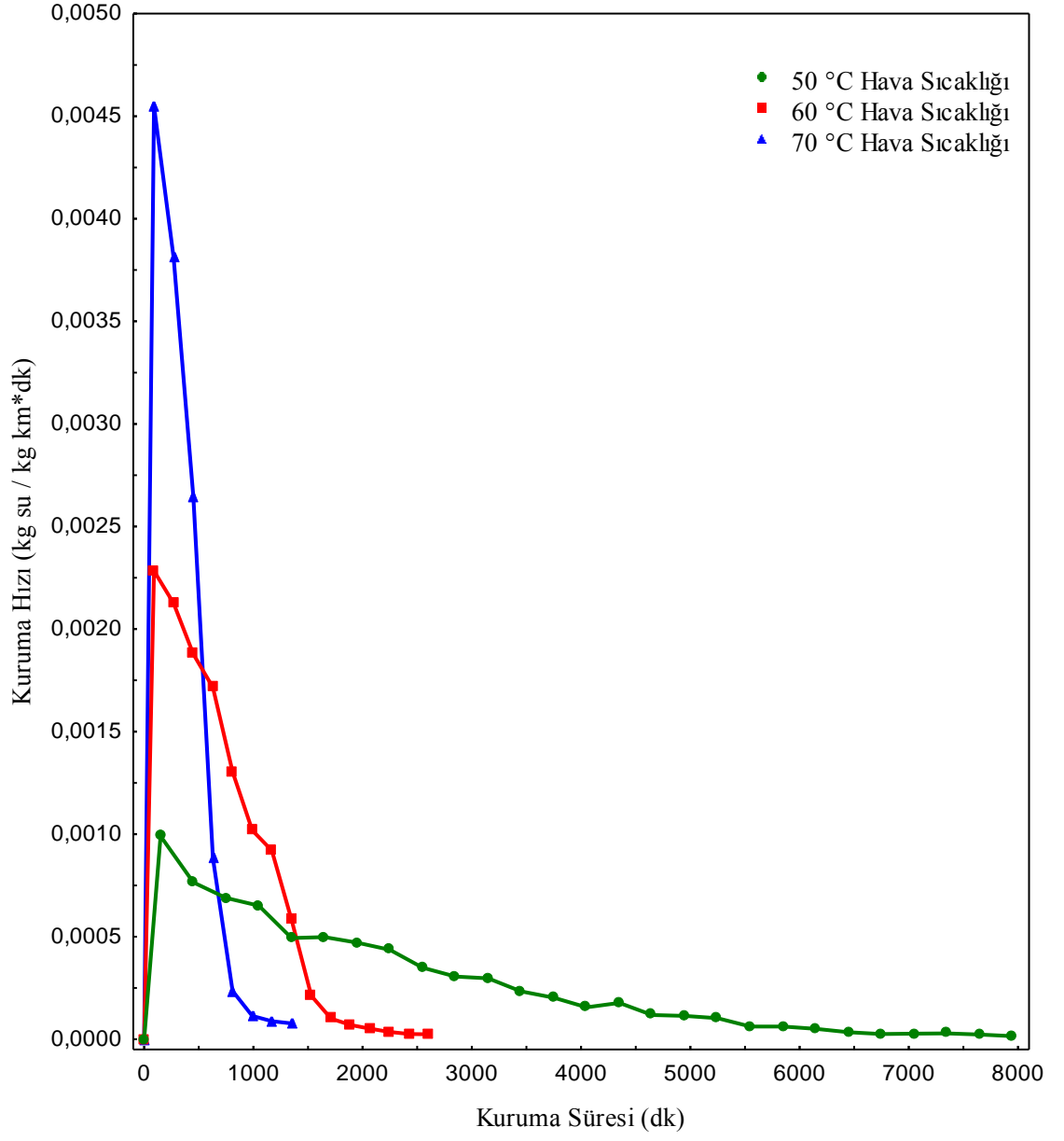
Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi, kurutma hava hızının ve sıcaklığının artması kuruma süresini kısaltmıştır. Bu sonuçlara göre en kısa kuruma süresi 70°C hava sıcaklığı ve 1.30 m/s hava hızında elde edilmiştir.

#### **4.2. Kuruma Hızı**

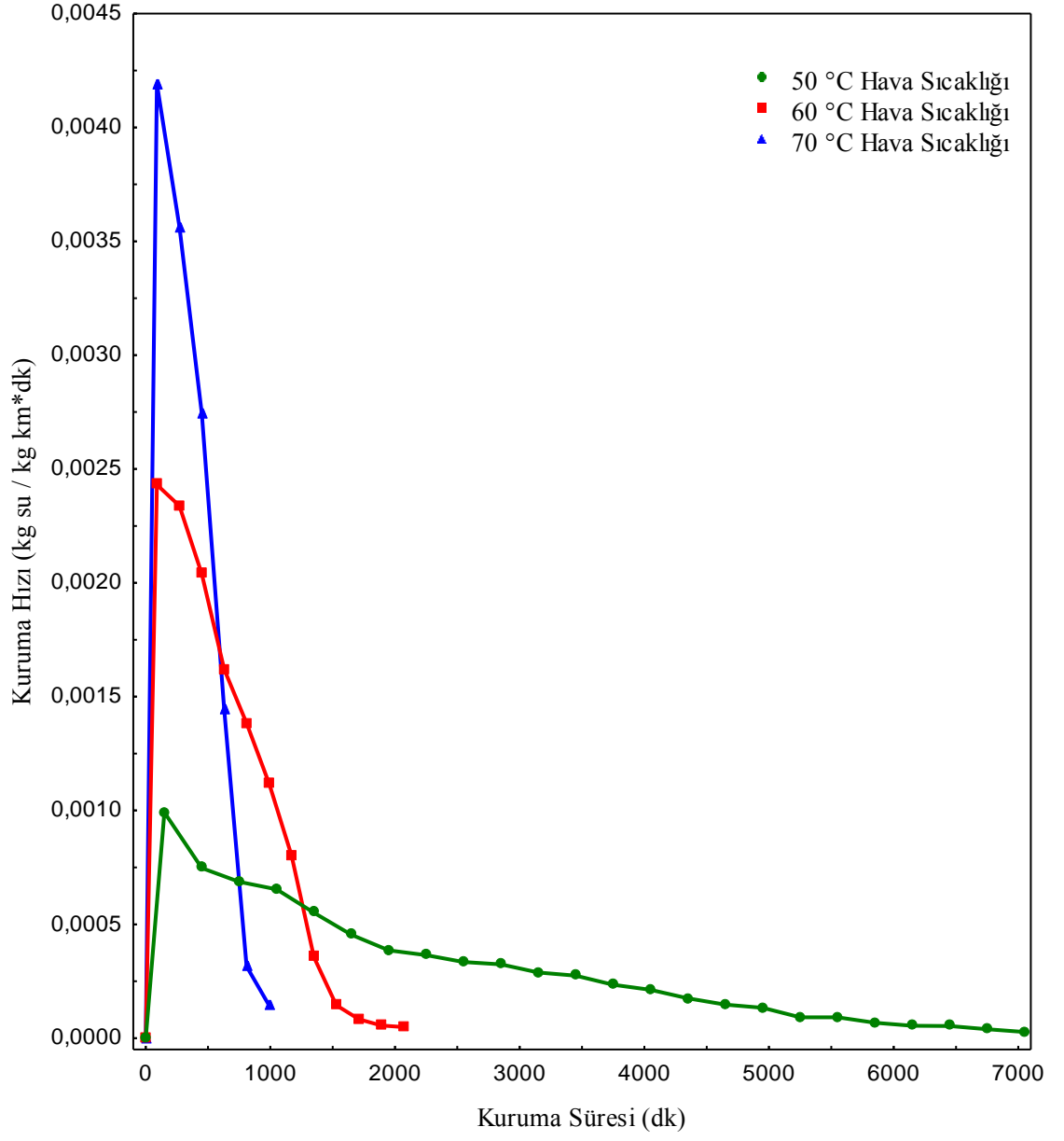
Denklem (3.10) kullanılarak hesaplanan kuruma hızlarının zaman ile değişimi Şekil 4.4–4.6’da gösterilmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi alıç meyvesinin kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiş, sabit hız periyodu gözlenmemiştir. Bu bulgu, daha önce yapılan çalışmalar ile uyum göstermektedir (Kaymak-Ertekin 2002; Sacilik ve Elicin 2006). Kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır.



Şekil 4.4. 0,50 m/s hava hızında kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi



Şekil 4.5. 0,90 m/s hava hızında kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi



Şekil 4.6. 1,30 m/s hava hızında kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi

### 4.3. Matematiksel Modellenme

Deneysel veriler, Çizelge 3.1’de verilmiş olan on iki farklı model denkleme uygulanarak verileri en iyi temsil eden model belirlenmiştir. Lineer olmayan regresyon analizi ile denklem sabitleri, regresyon katsayıları ( $R^2$ ), khikare ( $\chi^2$ ) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri Çizelge 4.3–4.11’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** 50°C ve 0,50 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,021	0,994	0,000393	0,019747
Page	k: 0,015 n: 1,071	0,996	0,000268	0,016258
Modifiye Page	k: 0,020 n: 1,071	0,996	0,000268	0,016258
Logaritmik	k: 0,017, a: 1,049 b: -0,069	0,998	0,000144	0,011880
Henderson and Pabis	k: 0,021 a: 1,011	0,994	0,000386	0,019497
<b>Midilli <i>et al.</i> (2002)</b>	<b>k: 0,009, a: 0,940 b: 0,000, n: 1,179</b>	<b>0,998</b>	<b>0,000145</b>	<b>0,011877</b>
Wang & Sing	a: 0,0001 b: -0,016	0,992	0,000532	0,022902
Geometric	a: 1,527 n: 0,412	0,696	0,021214	0,144606
Two Term	a <sub>1</sub> : -0,017, k <sub>1</sub> : 0,079 a <sub>2</sub> : 1,016, k <sub>2</sub> : 0,021	0,995	0,000366	0,018863
Two Term Exponantiel	k: 0,025 a: 1,526	0,997	0,000223	0,014815
Diffusion Approach	k: 0,072, a: -0,093 b: 0,306	0,996	0,000292	0,016899
Logistic	k: 0,034, a: 0,411 b: 1,264	0,994	0,000405	0,019915

**Çizelge 4.4.** 50°C ve 0,90 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,026	0,999	0,000077	0,008741
Page	k: 0,025 n: 1,006	0,999	0,000077	0,008690
Modifiye Page	k: 0,026 n: 1,006	0,999	0,000077	0,008690
Logaritmik	k: 0,026, a: 0,998 b: 0,010	0,999	0,000066	0,008041
Henderson and Pabis	k: 0,026 a: 1,002	0,999	0,000077	0,008732
<b>Midilli <i>et al.</i> (2002)</b>	<b>k: 0,017, a: 0,967 b: 0,000, n: 1,119</b>	<b>1,000</b>	<b>0,000014</b>	<b>0,003693</b>
Wang & Sing	a: 0,0001 b:-0,019	0,979	0,001390	0,037000
Geometric	a: 1,550 n: 0,449	0,728	0,017647	0,131854
Two Term	a <sub>1</sub> :0,0001, k <sub>1</sub> :-0,040 a <sub>2</sub> : 1,007, k <sub>2</sub> : 0,026	0,999	0,000041	0,006303
Two Term Exponantiol	k: 0,027 a: 0,810	0,999	0,000077	0,008719
Diffusion Aproach	k: 0,171, a: -0,009 b: 0,151	0,999	0,000076	0,008622
Logistic	k: 0,987, a: 0,502 b: 1,352	0,999	0,000844	0,028721

**Çizelge 4.5.** 50°C ve 1,30 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,025	0,998	0,000133	0,011501
Page	k: 0,022 n: 1,048	0,999	0,000091	0,009464
Modifiye Page	k: 0,025 n: 1,041	0,999	0,000091	0,009464
Logaritmik	k: 0,023, a: 1,026 b:-0,034	0,999	0,000056	0,007363
Henderson and Pabis	k: 0,025 a: 1,013	0,998	0,000128	0,011233
Midilli <i>et al.</i> (2002)	k: 0,017, a: 0,968 b: 0,000, n: 1,091	0,999	0,000064	0,007859
Wang & Sing	a: 0,0001 b:-0,019	0,989	0,000748	0,027119
Geometric	a: 1,523 n: 0,428	0,720	0,019081	0,136957
<b>Two Term</b>	<b>a<sub>1</sub>:-0,160, k<sub>1</sub>: 0,009</b> <b>a<sub>2</sub>: 1,149, k<sub>2</sub>: 0,022</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000051</b>	<b>0,007031</b>
Two Term Exponantiel	k: 0,029 a: 1,439	0,999	0,000075	0,008560
Diffusion Approach	k: 0,022, a: 1,160 b: 0,453	0,999	0,000058	0,007510
Logistic	k: 0,039, a: 0,499 b: 1,355	0,992	0,000550	0,023144



**Çizelge 4.6.** 60°C ve 0,50 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,054	0,981	0,001515	0,038528
Page	k: 0,027 n: 1,226	0,996	0,000360	0,018594
Modifiye Page	k: 0,052 n: 1,226	0,996	0,000360	0,018594
Logaritmik	k: 0,042, a: 1,163 b: -0,142	0,996	0,000298	0,016722
Henderson and Pabis	k: 0,058 a: 1,075	0,987	0,001063	0,031925
Midilli <i>et al.</i> (2002)	k: 0,017, a: 0,940 b: 0,000, n: 1,358	0,997	0,000227	0,014453
<b>Wang &amp; Sing</b>	<b>a: 0,000</b> <b>b:-0,040</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000074</b>	<b>0,008430</b>
Geometric	a: 1,331 n: 0,481	0,731	0,021639	0,144069
Two Term	a <sub>1</sub> : 1,450, k <sub>1</sub> : 0,070 a <sub>2</sub> :-0,509, k <sub>2</sub> : 0,176	0,995	0,000417	0,019577
Two Term Exponantıol	k: 0,073 a: 1,754	0,995	0,00381	0,019107
Diffusion Approach	k: 0,101, a: -2,969 b: 0,829	0,996	0,000339	0,017842
Logistic	k: 0,122, a: 0,141 b: 0,965	0,986	0,001122	0,032459

**Çizelge 4.7.** 60°C ve 0,90 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,083	0,986	0,000967	0,030760
Page	k: 0,052 n: 1,174	0,994	0,000421	0,020063
Modifiye Page	k: 0,081 n: 1,174	0,994	0,000421	0,020063
Logaritmik	k: 0,091, a: 1,085 b: 0,005	0,992	0,000586	0,023412
Henderson and Pabis	k: 0,090 a: 1,086	0,992	0,000578	0,023509
<b>Midilli <i>et al.</i> (2002)</b>	<b>k: 0,029, a: 0,950 b: 0,001, n: 1,402</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000057</b>	<b>0,007231</b>
Wang & Sing	a: 0,001 b: -0,058	0,984	0,001143	0,033063
Geometric	a: 1,265 n: 0,593	0,782	0,015794	0,122913
Two Term	$a_1$ : -0,328, $k_1$ : 0,337 $a_2$ : 1,291, $k_2$ : 0,101	0,995	0,000368	0,018334
Two Term Exponantiel	k: 0,112 a: 1,734	0,995	0,000384	0,019169
Diffusion Approach	k: 0,284, a: -0,314 b: 0,357	0,995	0,000371	0,018618
Logistic	k: 0,113, a: 1,394 b: 2,442	0,994	0,000413	0,019642

**Çizelge 4.8.** 60°C ve 1,30 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,091	0,983	0,001348	0,036169
Page	k: 0,050 n: 1,237	0,998	0,000162	0,012332
Modifiye Page	k: 0,088 n: 1,237	0,998	0,000162	0,012332
Logaritmik	k: 0,090, a: 1,121 b:-0,039	0,994	0,000462	0,020533
Henderson and Pabis	k: 0,100 a: 1,108	0,993	0,000601	0,023779
<b>Midilli <i>et al.</i> (2002)</b>	<b>k: 0,034, a: 0,962</b> <b>b: 0,001, n: 1,396</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000081</b>	<b>0,008464</b>
Wang & Sing	a: 0,001 b:-0,068	0,998	0,000121	0,010691
Geometric	a: 1,231 n: 0,581	0,781	0,017721	0,129145
Two Term	$a_1$ : 1,181, $k_1$ : 0,128 $a_2$ :-0,839, $k_2$ : 0,233	0,998	0,000154	0,011674
Two Term Exponantiel	k: 0,127 a: 1,796	0,998	0,000150	0,011891
Diffusion Approach	k: 1,193, a: -1,573 b: 0,710	0,998	0,000101	0,009614
Logistic	k: 0,137, a: 0,847 b: 1,860	0,998	0,000146	0,011540

**Çizelge 4.9.** 70°C ve 0,50 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,130	0,979	0,001593	0,039235
Page	k: 0,075 n: 1,251	0,994	0,000465	0,020749
Modifiye Page	k: 0,126 n: 1,251	0,994	0,000465	0,020749
Logaritmik	k: 0,142, a: 1,123 b:-0,008	0,989	0,000862	0,027678
Henderson and Pabis	k: 0,145 a: 1,122	0,988	0,000838	0,027849
<b>Midilli <i>et al.</i> (2002)</b>	<b>k: 0,040, a: 0,934 b: 0,002, n: 1,541</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000069</b>	<b>0,007681</b>
Wang & Sing	a: 0,002 b:-0,095	0,992	0,000653	0,024586
Geometric	a: 1,038 n: 0,665	0,810	0,014757	0,116891
Two Term	$a_1$ :-0,589, $k_1$ : 0,471 $a_2$ : 1,517, $k_2$ : 0,175	0,995	0,000407	0,018617
Two Term Exponantiel	k: 0,184 a: 1,823	0,995	0,000140	0,019483
Diffusion Approach	k: 0,363, a: -0,639 b: 0,482	0,995	0,000426	0,019450
Logistic	k: 0,240, a: 0,368 b: 1,316	0,993	0,000572	0,022542

**Çizelge 4.10.** 70°C ve 0,90 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,176	0,980	0,001362	0,036063
Page	k: 0,121 n: 1,200	0,990	0,000175	0,025499
Modifiye Page	k: 0,172 n: 1,200	0,990	0,000715	0,025499
Logaritmik	k: 0,210, a: 1,127 b: -0,018	0,991	0,000704	0,024660
Henderson and Pabis	k: 0,197 a: 1,124	0,989	0,000748	0,026092
<b>Midilli <i>et al.</i> (2002)</b>	<b>k: 0,073, a: 0,944</b> <b>b: 0,003, n: 1,483</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000070</b>	<b>0,007586</b>
Wang & Sing	a: 0,004 b: -0,124	0,975	0,001767	0,040075
Geometric	a: 1,050 n: 0,748	0,857	0,010040	0,095538
Two Term	$a_1$ : -0,379, $k_1$ : 0,955 $a_2$ : 1,252, $k_2$ : 0,213	0,992	0,000688	0,022850
Two Term Exponantıol	k: 0,245 a: 1,784	0,991	0,000644	0,024198
Diffusion Aproach	k: 0,720, a: -0,296 b: 0,301	0,992	0,000623	0,023118
Logistic	k: 0,283, a: 0,527 b: 1,527	0,991	0,000699	0,024565

**Çizelge 4.11.** 70°C ve 1,30 m/s deki  $R^2$ ,  $\chi^2$ , RMSE ve model sabitleri

Model Adı	Parametre Değerleri	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Newton	k: 0,165	0,972	0,002293	0,046454
Page	k: 0,090 n: 1,313	0,998	0,000206	0,013479
Modifiye Page	k: 0,160 n: 1,313	0,998	0,000206	0,013479
Logaritmik	k: 0,160, a: 1,172 b: -0,066	0,993	0,000634	0,023843
Henderson and Pabis	k: 0,190 a: 1,152	0,989	0,000951	0,028963
<b>Midilli <i>et al.</i> (2002)</b>	<b>k: 0,060, a: 0,943 b: 0,002, n: 1,516</b>	<b>0,999</b>	<b>0,000123</b>	<b>0,009710</b>
Wang & Sing	a: 0,004 b: -0,125	0,998	0,000196	0,013162
Geometric	a: 1,066 n: 0,691	0,827	0,014884	0,114598
Two Term	a <sub>1</sub> : -0,259, k <sub>1</sub> : 0,056 a <sub>2</sub> : 1,360, k <sub>2</sub> : 0,145	0,994	0,000620	0,021769
Two Term Exponantıol	k: 0,240 a: 1,867	0,997	0,000244	0,014661
Diffusion Aproach	k: 1,000, a: 0,165 b: 1,000	0,972	0,002620	0,046454
Logistic	k: 0,283, a: 0,527 b: 1,527	0,998	0,000163	0,011589

Tüm kurutma hava sıcaklıklarında ve kurutma hava hızlarında elde edilen sonuçlara göre; Midilli *et al.* (2002) modelinin alıç meyvesinin kuruma davranışını en iyi tanımlayan model olduğu belirlenmiştir.

#### 4.4. Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Farklı hava hızlarında kurutulan alıç meyvelerinin her bir kurutma havası sıcaklığı için ayrı etkin difüzyon katsayısı (3.19) denklemi kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Farklı sıcaklık ve hava hızları için etkin difüzyon katsayısı değerleri

Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/s)	Etkin Dufüzyon Katsayısı (m <sup>2</sup> /s)
50	0,50	2,341x10 <sup>-10</sup>
	0,90	2,381x10 <sup>-10</sup>
	1,30	2,708x10 <sup>-10</sup>
60	0,50	7,071x10 <sup>-10</sup>
	0,90	7,504x10 <sup>-10</sup>
	1,30	1,043x10 <sup>-9</sup>
70	0,50	1,295x10 <sup>-9</sup>
	0,90	1,486x10 <sup>-9</sup>
	1,30	2,089x10 <sup>-9</sup>

Çizelge 4.12'de de görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığı ve hızının artmasıyla birlikte etkin difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kuruma hızının artmasıyla açıklanabilir.

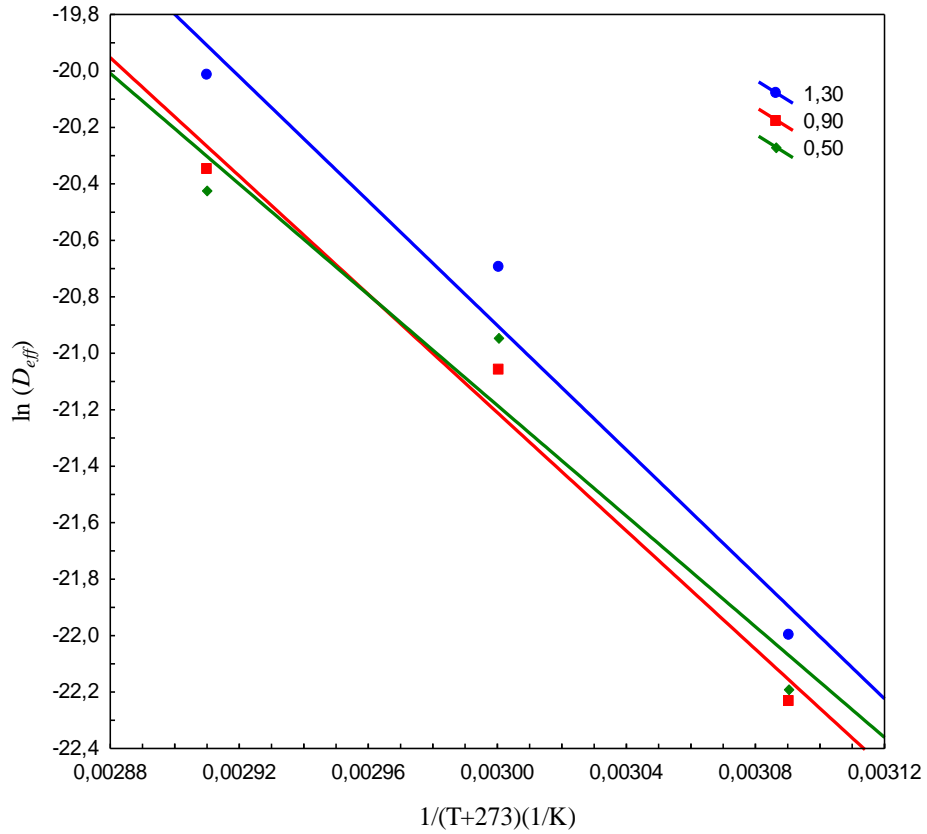
Çizelge 4.13 literatürde yer alan bazı sebze ve meyvelerin etkin difüzyon katsayılarını göstermektedir. Alıç için hesaplanan değerler literatürle paralellik göstermektedir.

**Çizelge 4.13.** Bazı sebze ve meyvelerin etkin difüzyon katsayıları

Adı	Etkin difüzyon katsayısı (m <sup>2</sup> /s)	Kaynak
Çilek	$4,95 \times 10^{-10} - 1,42 \times 10^{-9}$	(Doymaz 2008)
Kayısı	$1,7 \times 10^{-10} - 1,15 \times 10^{-9}$	(Mirzaee <i>et al.</i> 2009)
Muz	$2,53 \times 10^{-8} - 7,32 \times 10^{-8}$	(Silva <i>et al.</i> 2013)
Soğan	$3,33 \times 10^{-9} - 8,55 \times 10^{-9}$	(Mota <i>et al.</i> 2010)
Domates	$5,860 \times 10^{-9} - 2,505 \times 10^{-8}$	(Gamalı 2011)
Vişne	$1,216 \times 10^{-9} - 1,429 \times 10^{-9}$	(Mengeş ve Ertekin 2007)

#### 4.5. Aktivasyon Enerjisi Hesaplanması

Aktivasyon enerji değerleri,  $\ln(D_{eff})$ 'in  $(1/(T+273,15))$  karşı çizilen grafiğin (Şekil 4.7) eğiminden hesaplanmıştır.

**Şekil 4.7.**  $\ln(D_{eff}) - (1/(T+273,15))$  arasındaki ilişki



Aşağıdaki denklemlerde farklı hava hızları için elde edilen ürünlerde sıcaklığın etkisi gösterilirse;

$$0,50 \text{ m/s hava hızında: } D_{eff} = 2,480 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{9817}{T + 273,15}\right) \quad (R^2:0,955) \quad (4.1)$$

$$0,90 \text{ m/s hava hızında: } D_{eff} = 3,497 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{10478}{T + 273,15}\right) \quad (R^2:0,985) \quad (4.2)$$

$$1,30 \text{ m/s hava hızında: } D_{eff} = 4,901 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{11030}{T + 273,15}\right) \quad (R^2:0,974) \quad (4.3)$$

0,50, 0,90 ve 1,30 m/s hava hızlarında kurutulmuş alıç meyvelerinin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 81,62, 87,12 ve 91,71 kJ/mol olarak bulunmuştur. Artan hava hızı ile aktivasyon enerji si değerleri artmıştır.

Bazı sebze ve meyvelerin aktivasyon enerji değerleri Çizelge 4.14'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Bazı sebze ve meyvelerin aktivasyon enerjileri değerleri

Adı	E <sub>a</sub> (kJ/mol.K)	Kaynak
Kayısı	29,35 - 33,78	(Mirzaee <i>et al.</i> 2009)
Domates	17,40-32,94	(Doymaz 2007)
Vişne	100,78-103,94	(Mengeş ve Ertekin, 2007).

#### 4.6. Renk Değerleri

Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulmuş alıç meyvelerinin Konica Minolta Chroma Meter CR-400 cihazı ile ölçülen renk değerleri (L, a, b) Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Taze alıç meyveleri renk değerleri

L	a	b
55,51	-1,012	50,49

**Çizelge 4.16.** Kurutulmuş alıç meyvelerinin renk değerleri

Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/s)	L	a	b
50	0,50	32,13	13,28	20,52
	0,90	34,45	12,91	21,30
	1,30	34,87	12,27	23,02
60	0,50	39,74	11,51	28,18
	0,90	40,60	11,24	29,23
	1,30	45,22	11,13	35,48
70	0,50	44,91	10,66	37,24
	0,90	48,84	8,20	40,40
	1,30	54,98	7,56	46,23

Çizelge 4.16’de görüldüğü gibi parlaklığı ifade eden L değerinin 70°C ve 1,30 m/s hava hızında kurutulan ürünlerin, diğer ürünlerin renk değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kuruma süresinin artışına bağlı olarak parlaklığın azaldığı gözlenmiştir. Kırmızılığı ifade eden a ve yeşilliği ifade eden -a değerleri incelendiğinde taze meyvede a değeri -1,12 olması ürünün az da olsa yeşil yani taze olduğunu gösterir. Kuruma işlemi ile birlikte a değerinin kırmızılığı artmaktadır. Uzun kuruma sürelerinde kırmızılık değerlerinin yani kararmanın arttığı görülmektedir. Sarılığı gösteren +b değeri kuruma süresi uzadığı zaman bariz miktarda azalmaktadır.

Renk analizinde diğer değerlendirme işlemleri toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ), renk parlaklığı (C), Hue açısı ( $\alpha$ ) ve esmerleşme indisi (BI) değerleri (Denklem 3.1- 3.4) eşitliklerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.17.** Hesaplanan renk değişim değerleri

Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/s)	Toplam Renk Değişimi ( $\Delta E$ )	Renk Parlaklığı (C)	Hue Açısı ( $\alpha$ )	Esmerİndis. (BI)
Taze Alıç Meyvesi		0,00	50,50	-88,53	170,33
50	0,50	35,93	24,44	57,09	125,39
	0,90	33,78	24,91	58,77	118,30
	1,30	32,13	26,08	61,94	126,08
60	0,50	25,47	30,43	67,78	133,46
	0,90	24,16	31,31	68,96	135,27
	1,30	17,98	37,19	72,58	150,52
70	0,50	17,11	38,73	74,02	162,99
	0,90	11,92	41,22	78,52	157,32
	1,30	11,05	46,84	81,48	159,29

Renk parlaklığı kuruma sonunda b değerleri ile paralel olarak azalma görülmüştür. Renk parlaklığı doyma derecesini gösterir ve renk mukavemeti ile orantılıdır. Taze ve kurutulmuş meyvenin renk parlaklığında kurutma şartlarına göre değişimler görülmüştür. Bu değişimler kuruma süresine göre alıç meyvesinin sarı renginin stabil kaldığını belirtir. Çeşitli araştırmacılarda benzer gözlemler belirtmiştir (Barreiro *et al.* 1997; Lee and Coates 1999; Palou *et al.* 1999).

Hue açısı değerleri taze meyvede -88,53 olup, kuruma işlemi sonunda kuruma şartlarına bağlı olarak 57,09 - 81,48 aralığında değişmiştir. Bu, taze alıç meyvesinin hafif yeşilimsi renginin (Hue >90) kuruma sonunda kırmızımsı renge (Hue<90) doğru döndüğünü göstermektedir.

Başka bir renk parametresi olan BI, işlem süresince meydana gelen enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşmeyi ifade eder (Palou *et al.* 1999). Bu çalışmada BI değerleri, kurutma şartlarına göre 125,39 ile 185,72 arasında değişmiştir. Bu kurutma şartlarının ürünün renk kalitesi üzerine etkili olduğunu ifade eder.

#### 4.7. Rehidrasyon Kapasitesi

0,50, 0,90 ve 1,30 m/s hava hızlarında ve 50, 60 ve 70 °C hava sıcaklıklarında kurutulmuş alıç meyvelerinin rehidrasyon kapasitelerini belirlemek amacıyla 20, 50 ve 80°C rehidrasyon sıcaklıklarında deneyler yapılmış ve elde edilen değerler (3.8) denklemi ile hesaplanmıştır. Toplam dokuz saat devam eden deneyler sonunda elde edilen rehidrasyon kapasitesi sonuçları Çizelge 4.18-4.20 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.18.** 20°C’de Rehidrasyon kapasiteleri

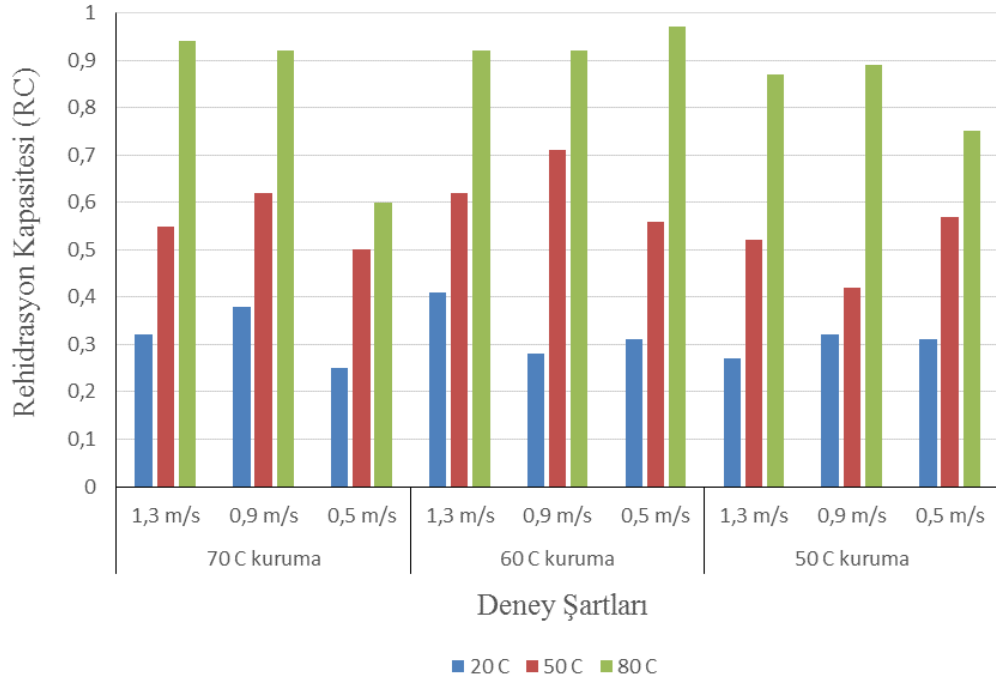
Deney Şartları	0,50 m/s	0,90 m/s	1,30 m/s
50°C	0,31	0,32	0,27
60°C	0,31	0,28	0,41
70°C	0,25	0,38	0,32

**Çizelge 4.19.** 50°C’de Rehidrasyon kapasiteleri

Deney Şartları	0,50 m/s	0,90 m/s	1,30 m/s
50°C	0,57	0,42	0,52
60°C	0,56	0,71	0,62
70°C	0,50	0,62	0,55

**Çizelge 4.20.** 80°C’de Rehidrasyon kapasiteleri

Deney Şartları	0,50 m/s	0,90 m/s	1,30 m/s
50°C	0,75	0,89	0,87
60°C	0,97	0,92	0,92
70°C	0,60	0,92	0,94



**Şekil 4.8.** Kurutulmuş alıç meyvelerinin rehidrasyon sıcaklıklarına göre rehidrasyon kapasiteleri

Şekil 4.8 incelendiğinde, rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon sıcaklığı ile arttığı, kurutma parametrelerine (hava sıcaklığı ve hava hızı) göre ise; yüksek hava hızı ve yüksek hava sıcaklıklarda rehidrasyon kapasitesinin daha fazla olduğu saptanmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, laboratuvar tipi konvektif bir kurutucuda, değişik hava hızları ve değişik hava sıcaklıklarında alıç meyvesinin kuruma karakteristiği incelenmiştir. Elde edilen veriler, literatürde yer alan on iki değişik modele uygulanarak kuruma işlemini en iyi temsil eden model belirlenmiştir. Etkin difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, ürünün kuruması ile meydana gelen renk değişimi ve değişik şartlarda kurutulan meyvelerin değişik rehidrasyon sıcaklıklarında rehidrasyon kapasiteleri belirlenmiştir.

### 5.1. Kuruma Hızı

50, 60 ve 70°C hava sıcaklıklarında yapılan deneylerde, artan sıcaklıkla kuruma süreleri azalmıştır. Kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir.

Kurutma denemelerinde üç farklı hava hızı kullanılmıştır. Aynı sıcaklık için 1,30 m/s hava hızında kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin 0,50 m/s hava hızında kurutulan örneklere göre daha kısa olduğu belirlenmiştir. Örneğin; 70°C çalışma sıcaklığında; 0,50 m/s ve 1,30 m/s hava hızlarında kurutulan örneklerin kuruma süreleri arasında 600 dakikalık bir fark olduğu gözlenmiştir. Bu olay, yüksek hava hızlarında meyvelerden buharlaşan suyun yüzeyden daha hızlı uzaklaştırılması ve meyvenin yüzeyi ile iç kısmı arasında itici güç farkının artmasından dolayı, iç kısımdaki suyun sürekli olarak yüzeye gelmesi ile açıklanabilir.

### 5.2. Matematiksel Model

Konvektif tip bir laboratuvar kurutucusunda alıç meyvelerinin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğinin değişimini belirlemek amacıyla Newton, Page, Modifiye Page, Logaritmik, Henderson, Midilli *et al.* (2002), Wang and Singh, Geometric, Two Term, Two Term Exponential, Diffision Approach ve Logistic denklem modellerinin

istatistiksel sonuçlarını birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Regresyon katsayısı ( $R^2$ ), khikare ( $\chi^2$ ) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri en iyi denklemin seçimi için kriter olarak alınmıştır. Alıç meyvesinin kuruma davranışını Midilli *et al.* (2002) denklemi en uygun denklem olarak belirlenmiştir.

### 5.3. Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi

Yüksek sıcaklık ve hava hızında kurutulan alıç meyvelerinin etkin difüzyon katsayıları, düşük sıcaklık ve hava hızında kurutulan alıç meyvelerine göre daha büyük bulunmuştur. Etkin difüzyon katsayısı; 50°C sıcaklıkta kurutulan alıçlarda  $2,341 \times 10^{-10}$ - $2,708 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s, 60°C sıcaklıkta kurutulan alıçlarda  $7,071 \times 10^{-10}$ - $1,043 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s ve 70°C kurutulan alıçlarda ise  $1,295 \times 10^{-9}$ - $2,089 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s arasında değişmiştir. Bu sonuçlar, yüksek sıcaklık ve yüksek hava hızlarında kuruma hızının daha yüksek olduğunu göstermektedir.

0,50, 0,90 ve 1,30 m/s hava hızlarında aktivasyon enerjisi değerleri sırasıyla 81,62, 87,12 ve 91,7 kJ/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi artan hava hızı ile artmıştır.

### 5.4. Renk Değişimleri

Kurutma sıcaklığının ve hava hızının kurutulan ürünlerin renk değerlerini etkilediği görülmüştür. Kısa kuruma sürelerinde kuruyan alıç örneklerinin renk değerleri, taze alıç meyvenin değerlerine yakın çıkmıştır. Düşük sıcaklık ve hava hızlarında daha uzun sürede kuruyan örneklerin renk değerlerinde esmerleşme ve koyulaşmalar görülmüştür.

### 5.5. Rehidrasyon Kapasitesi

Rehidrasyon kapasitesine kurutma hava sıcaklığı ve hava hızının etki ettiği ve rehidrasyon kapasitesinin yüksek hava hızı ve sıcaklıklarda kurutulan örneklerde daha

yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca rehidrasyon sıcaklığının artışı ile de rehidrasyon kapasitesinin arttığı görülmüştür.



**KAYNAKLAR**

- Ağaoğlu, S., Çelik, H., Çelik, M., Fidan, Y., Gülşen, Y., Günay, A., Halloran, N., Köksel, İ., Yanmaz, R. 1995. Genel Bahçe Bitkileri. A. Ü. Ziraat Fakültesi. E.A.G. Vakfı Yayın No:4, 369 s, Ankara.
- Akpınar, E.K., Biçer Y., 2003a. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi. G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16(1), 159-169.
- Akpınar, K.E., Biçer, Y., 2003b. Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Kinetiğinin Ampirik Bağıntılarla Açıklanması. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2, 28-36.
- Aktaş, M., 2010. Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Kırmızıbiber Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi, Politeknik Dergisi, 13 (1), 1-6.
- Aktaş, M., Gönen, E., 2014. Isı pompalı nem kontrollü bir kurutucuda defne yaprağı kurutulması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2), 433-441.
- Akyurt, M., Sevilir E., Söylemez, E., Selçuk, K., 1971. Güneş Enerjisi ve Bazı Yakıtlarla Meyve ve Sebze Kurutulması. TUBİTAK, 299.
- Anonymous, ASAE, 1983. Moisture Measurement-Peanuts. ASAE Standard of ASAE S.410.1. Agricultural Engineering Yearbook of Standards, 329-331.
- Anonymous, 1996a. CIE L\*a\*b\* Color Scale. Applications Note-Insight on Color, HenterLab. July 1-15, 8(7): 1-4
- Anonymous, 1996b. Hunter L\*a\*b\* Color Scale. Applications Note-Insight on Color, HunterLab. August 1-15, 8(9): 1-4
- Arslan, D., Özcan, M.M., 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. LWT – Food Sci. Technol. 43, 1121–1127.
- Ayensu, A., 1997. Dehydration of Food Crops Using A Solar Dryer With Convective Heat Flow. Solar Energy, 59 (4-6), 121-126
- Barreiro, J.A., Milano, M., Sandoval, A.J., 1997. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. Journal of Food Engineering, 33, 359-371.
- Polatoğlu, B., Beşe, A.V., 2012. Konvektif, mikrodalga ve güneşte kurutma prosesleri ile kızılıcık (*cornus mas l.*) Meyvesinin kuruma kinetiğinin incelenmesi ve matematik modellenmesi, X. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Koç Üniversitesi, İstanbul
- Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. Meyve ve sebze işleme teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın No: 6, Ankara.
- Ceylan,İ., Aktaş,M., 2008. Isı pompası destekli bir kurutucuda fındık kurutulması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(1), 215-222.
- Dadali, G., Apar, D.K., Ozbek, B., 2007. Microwave drying kinetics of okra. Drying Technology. 25, 917–924.
- Darıcı, S., Şen, S., 2011. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 130, 51-65.
- Darvishi, H., Asl, A.R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., Khodaei, J., 2013. Study of the drying kinetics of pepper, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences

- Demir V., Günhan T., 2002. Tarım ürünlerinin kurutma tekniği çalıştırılması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, Yayın No: 1, İzmir.
- Devahastin, S., 2000. Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying. Exergex Corporation, Canada.
- Doymaz, I., 2005. Drying characteristics and kinetics of okra. Journal of Food Engineering, 69, 275–279.
- Doymaz, I., 2006a. Thin-Layer Drying Behaviour of Mint Leaves. Journal of Food Engineering, 74,370-375.
- Doymaz, I., 2006b. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Engineering, 61, 359-364.
- Doymaz, I., 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. Journal of Food Engineering, 78, 1291-1297.
- Doymaz, I., 2008. Convective drying kinetics of strawberry. Chemical Engineering and Processing, 47, 914-919.
- Doymaz, I., Ismail, O., 2011. Drying characteristics of sweet cherry. Food Bioprod. Process. 89, 31–38.
- Erbaş M., Şekerci H., Gül S., 2008. Gıdaların sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi ve kullanımı. Türkiye 10. gıda kongresi, 1021-1022.
- Erbay, B., Küçüköner E., 2008. Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum.
- Erçetin Ü., 2007. Tanecikli gıda maddelerinin akışkan yatakta kurutulması. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Erdem, T., 2007. Ozonlu Su ile Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ertekin, C., Yıldız, O., Mühlbauer, W., 2001. İncirin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Ve Kuruma Davranışının Modellenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, Şanlıurfa.
- Figiel, A., 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. Journal Food Eng., 98, 461–470.
- Gamlı, Ö.F., 2011. Konveksiyonel Kurutmada domates dilimlerinin kurutma karakteristikleri ve efektif nem yayılım değeri. Gıda, 36 (4), 201-208.
- Geankoplis, C.J., 2011. Taşınma Süreçleri ve Ayrırma Süreci İlkeleri (Temel İşlemleri İçerir). IV. Baskı, Çevirmen: Sinan Yapıcı, İzmir Güven Kitabevi, 1037 s,İzmir.
- Güner, M., 1991. Kurutmanın Bilimsel Temelleri, Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1205, Derlemeler: 48, Ankara.
- Gürses, Ö.L., 1986. Gıda İşleme Mühendisliği-II. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayınları No: 963, Ankara
- Heldman, D.R., Hartel, R.W., 1997. Principles of Food Processing. Chapman & Hall Publication, New York, 142-153.
- Hunter Lab, 2012. Measuring color using Hunter L, a, b versus CIE 1976 L\*a\*b\*, Application Note, AN 1005.00. www.hunterlab.com. (2014)
- İzli N., 2007. Mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Jadhaw, D.B., Visavale, G.L., Sutar, N., Annapure, U.S. ve Thorat, B.N., 2010. Studies on Solar Cabinet Drying of Green Peas (*Pisum Sativum*). *Drying Technology*, 28, 600-607.
- Jangam, S.V., Joshi, V.S., Mujumdar, A.S., Thorat, B.N., 2008. Studies of dehydration of sapota (*Achras zapota*). *Drying Technol.* 26, 369–377.
- Karaaslan, S., 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.
- Karadeniz, T., 2004. Şifalı Meyveler. K.T.Ü. Ordu Ziraat Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü, Ordu, 34–36.
- Kassem, A.S., 1998. Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat. 13th Int. Congress on Agricultural Mechanization and Energy, Morocco.
- Kavak E., Biçer Y., Yıldız C., 1999. Kurutma ve kurutma modelleri, *Bilim Günleri Makina Mühendisleri Odası Yayınları*, Denizli, 99-105.
- Kaya, A., 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaymak-Ertekin, F., 2002. Drying and Rehydrating Kinetics of Green and Red Peppers. *Journal of Food Science*, 67, 168-175.
- Kingsly, R.P., Goyal, R.K., Manikantan, M.R., Ilyas, S.M., 2007. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behavior of peach slice. *Int. J. Food Sci. Technology*, 42, 65–69.
- Kocabıyık, H. ve Demirtürk, B. S., 2008. Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (3), 239-246.
- Kocayığit, F., 2010. Bazı sebzelerin kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koyuncu, T., Pinar, Y., Lule, F., 2007. Convective drying characteristics of azarole red (*Crataegus monogyna Jacq.*) and yellow (*Crataegus aronia Bosc.*) fruits. *Journal of Food Engineering* 78, 1471–1475
- Kurozawa, L.E., Terng, I., Hubinger, M.D., Park, K.J., 2014. Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon, *Journal of Food Engineering* 123, 157–164.
- Lahsasni S., Kouhila M., Mahrouz M., Jaouhari J.T., 2003. Drying kinetics of prickly pear fruit. *Journal of Food Engineering* 61, 173–179.
- Lee, H. S., Coates, G. A., 1999. Thermal pasteurization effects on color of red grapefruit juices. *Journal of Food Science*, 64, 663-666.
- Liu, Q., Bakker-Arkema., F.W., 1997. Stochastic Modelling Of Grain Drying: Part 2. Model Development. *Journal Of Agricultural. Engineering Research*, 66, 275-280.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A., 1996. Thin Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal Food Engineering*, 29, 75-97.
- Maskan, M., 2000. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering* 48, 169-175.
- McKetta, J.J., 1983. *Encyclopedia of Chemical Process and Design*, Marcel Dekker, New York.
- Mengeş, H.O., Ertekin, C., 2006. Havucun İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin

- İncelenmesi. Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 2(4), 353-362.
- Mengeş, H.O., Ertekin, C., 2007. Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 21 (42), 4-10.
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z., 2002. A new model for single layer drying. Drying Technology, 20 (7), 1503–1513.
- Mirzaeel E., Rafieel S., Keyhani1 A., Emam-Djomeh Z., 2009. Determining of moisture diffusivity and activation energy in drying of apricots. Research in Agricultural Engineering Agricultural Journals., 55 (3), 114–120.
- Mishkin, M., Karel, M., Saguy, I., 1982. Applications of optimization in food dehydration. Food Technology, 36, 101-109.
- Mota, C.L., Luciano, C., Dias, A., Barrocab, M.J., Guinéa R.P.F., 2010. Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. Food and Bioproducts Processing, 88, 115–123.
- Nasıroğlu Ş., 2007. Kırmızı biber, elma ve pırasanın kurutulmasında infrared kurutma tekniğinin kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, G., SingTaylor & Francis Group, LLC., Floridah, R.K. ve Weitnauer , A.C. 2007. Food Dehydration, in Handbook of Food Engineering, Eds. Valentas, K.J., Rotstein, R. ve Singh, R.P., pp. 601-744, Taylor and Francis Group, LLC, London, UK.
- Olgun, H., Rzayev, P., 2000. Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 24, 1-14.
- Özbalta, N., Güngör, A., 1997. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı. Altındağ Matbaacılık, İzmir.
- Özcan, M., Haciseferoğulları, H., Marakoğlu, T., Arslan, D., 2005. Hawthorn (*Crataegus spp.*) Fruit: Some Physical and Chemical Properties. Journal of Food Engineering 69, 409-413.
- Özgen, F., 2013. Kurutma Hava Hızının Kızılçığın Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25 (2), 99-105.
- Pacheco-Aguirre, F.M., Ladrón-González, A., Ruiz-Espinosa, H., García-Alvarado, M.A., Ruiz-López, I.I., 2014. A method to estimate anisotropic diffusion coefficients for cylindrical solids: Application to the drying of carrot, Journal of Food Engineering 125, 24-33.
- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.V., Welti-Chanes, J., Swanson, B.G., 1999. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. Journal of Food Science, 64, 42-45.
- Pardeshi, I.L., Arora, S., Borker, P.A., 2009. Thin-Layer Drying of Green Peas and Selection of a Suitable Thin-Layer Drying Model. Drying Technology, 27, 288-295.
- Parlak, N., 2014. Akışkan yataklı kurutucuda zencefilin kuruma kinetiğinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29 (2), 261-269.
- Pırlak, L., 1993. Uzundere, Tortum ve Oltu İlçeleri'nde Doğal Olarak Yetişen Kızılçıkların Seleksiyon Yoluyla Islahı Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Erzurum.

- Polatçı, H., Tarhan, S., 2009. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (*Ocimum Basilicum*) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26 (1), 61-70.
- Ramaswamy, H.S., Marcott, M., 2006. Food Dehydration, in *Food Processing: Principles and Applications*. Eds. Ramaswamy, H.S. ve Marcott, M., Taylor & Francis Group, CRC Press, USA.
- Resende, O., Correá, P.C., Jarén, C., Moure, A.J., 2007. Bean Moisture Diffusivity and Drying Kinetics: A Comparison of the Liquid Diffusion Model When Taking Into Account and Neglecting Grain Shrinkage. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5, 51-58.
- Sacılık K., 2007. The Thin-Layer Modelling of Tomato Drying Process. *Agriculturae Conspectus Scientific*, 72 (4), 343-349.
- Sacılık, K., Elicin, A.K., 2006. The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices. *Journal of Food Engineering*, 73, 281-289.
- Saldamlı, İ., Saldamlı, E., 1990. *Gıda Endüstrisi Makinaları*, Önder Matbaa, Ankara.
- Sarimeşeli, A., Banı, A., 2013. Kurutmada gerçekleşen kütle transfer olayları, Yüksek Lisans Semineri, <http://prezi.com/c1jurt1ad7vi/copy-of-kurutmada-gerceklesen-kutle-transfer-olaylar/>
- Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R., Singh, S.P., 1999. Drying Behaviour of Brined Onion Slices. *Journal of Food Engineering*, 40, 219-226.
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Leblebici, Y., Görk, G., Bekat, L., 1989. Tohumlu Bitkiler Sistematiği. *E.Ü. Fen Fak. İzmir*, No:116, 2. Baskı, 396.
- Silva, W.P., Silva, C.M.D.P.S., Gomes, J.P., 2013. Drying description of cylindrical pieces of bananas in different temperatures using diffusion models, *Journal of Food Engineering* 117, 417–424.
- Sharma, G.P., Prasad, S., 2004. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal Food Engineering*, 65, 609-617.
- Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P.B., 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal Food Engineering*, 67, 361–366.
- Sobukola, O.P., Dairo, O.U. ve Odunewu, A.V., 2008. "Convective Hot Air Drying of Blanched Yam Slices", *International Journal of Food Science and Technology*, 43:1233-1238.
- Şahin H.F., Ülger P., Aktaş T., Orak, H.H., 2012. Farklı ön işlemlerin ve vakum kurutma yönteminin domatesin kuruma karakteristikleri ve kalite kriterleri üzerine etkisi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 15-25.
- Tang, J., Yang, T., 2003. *Dehydrated Vegetables Principles and Applications*. *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*, Y.H. Hui et al. (Eds.), Marcel Dekker, New York.
- Tiris, C., Özbalta, N., Tiris, M., Dinçer, I., 1994. Experimental Testing of A New Solar Dryer Int., *Journal of Energy Research*, 18, 483-490.
- Toğrul H., Toğrul İ., İspir A., 2005. Mantarların İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya
- Traub, H., 2004. Drying-The Cinderella of the Process Industry. *Drying 2004- Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, Sao Paulo.

- Treybal, R., 1980. Mass-Transfer Operations. McGraw-Hill, New York, 3rd ed., pp. 275- 313.
- Tunde-Akintunde, T.Y. ve Ajala, A., (2010), "Air Drying Characteristics of Chili Pepper", International Journal of Food Engineering, 6(1): Article 7.
- Türkoğlu, N., Gazioğlu, R.İ., ve Kör, M., 1999. Konya'nın Derebucak İlçesi'nde yetişen kıvılcıkların (*Cornus mas L.*) seleksiyonu üzerine bir ön çalışma. Türkiye III. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 768-771, Ankara
- Unido, 2004a. Preservation of Fruits and Vegetables by Drying. III UNISWORK, Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- Unido, 2004b. Classification of Dryers. III UNISWORK, Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., Hu, X., 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal Food Engineering, 80, 536–544.
- Yağcıoğlu, A., 1981. Tavuk Gübresinin Değişik Hava Koşullarında Kuruma Özelliklerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, İzmir.
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarım ürünleri kurutma tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536, İzmir.
- Yaldız O., 2001. Havuç Ve Pırasa Kurutulmasında Kurutma Havası Özelliklerinin Kuruma Karakteristiklerine Etkisi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, 412-417, Şanlıurfa
- Yaldız,O., Ertekin, C., Uzun, H.İ., 2000. Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerjisi ile Kurutulmasının Matematiksel Modellenmesi Üzerinde Bir Araştırma. 19.Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiri Kitabı, 345-350, Erzurum.
- Yoğurtçu, H., 2014. Mikrodalga Fırında Limon Kurutma: Kinetiği ve Modellenmesi, Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26 (1), 27-33.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1990 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 2008 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Bölümünden, 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılında, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nın Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı’nda Yüksek Lisansa başladı.