

**VIŞNE VE KİRAZIN KURUMASI SİRASINDA
BÜZÜLMENİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İBRAHİM ARISOY

**DANIŞMAN
Doç. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**VIŞNE VE KİRAZIN KURUMASI SIRASINDA
BÜZÜLMENİN İNCELENMESİ**

İBRAHİM ARISOY

**DANIŞMAN
Doç. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2010

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL danışmanlığında

İbrahim ARISOY tarafından hazırlanan

KİRAZ VE VIŞNENİN KURUMASI SIRASINDA BÜZÜLMENİN İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili

maddeleri uyarınca

18/01/2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, Soyadı

İmza

Başkan Prof. Dr. Abdullah ÇAĞLAR

Üye Doç. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL (Danışman)

Üye Yrd. Doç. Dr Tuncer MUTLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1 Kurutma ve Kurutmanın Amacı	3
2.2 Kurutmanın Bilimsel Temelleri	4
2.3 Kuruma Hızı	5
2.4 Kurumada Meydana Gelen Başlıca Değişmeler	10
2.4.1 Fiziksel Değişmeler	10
2.4.2 Kimyasal Ve Diğer Değişmeler	13
2.5 Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler	16
2.6 Literatürde Kullanılan Kurutma Modelleri	19
3. GIDA MADDELERİNDE MEYDANA GELEN BÜZÜLME	22
3.1 Büzülme Mekanizması	23
3.2 Büzülmeye Etki Eden Faktörler	24
3.2.1 Uzaklaştırılan Suyun Hacmi	24
3.2.2 Katı Matrisin Hareketi	24
3.2.3 Kuruma Hızı	25
3.2.4 Diğer Çalışma Şartları	26
3.3 Konvektif Kurutma Sürecinde Büzülmenin Modellenmesi	26
4. KİRAZ ve VIŞNE	28
4.1 Türkiye’de ve Dünya’da Kiraz Üretimi	28
4.2 Türkiye ve Afyon’da Vişne Üretimi Ve Pazarlaması	30
4.2.1 Üretim ve Üretim Trendi	30
4.3. Kiraz ve Vişne Çeşitleri	31

5. MATERYAL ve METOD	32
5.1. Materyal	32
5.2. Metot	32
6.BULGULAR	35
6.1 Vişne ve Kirazın Kurutulması	35
6.2 Kurutmanın Modellenmesi	41
6.3 Kuruma Sırasında Büzülmenin İncelenmesi	44
6.4 Büzülmenin Modellenmesi	52
6.5 Difüzyon Katsayıları Ve Aktivasyon Enerjisi	61
6.6 Kiraz ve Vişnenin Rehidrasyonu	63
7. SONUÇLAR	74
8. KAYNAKLAR	78
8.1 İnternet Kaynaklar	88
9. ÖZGEÇMİŞ	89

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

VİŞNE ve KIRAZIN KURUMASI SIRASINDA BÜZÜLMENİN İNCELENMESİ

İbrahim ARISOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İnci Türk TOĞRUL

Bu çalışmada Afyonkarahisar-Sultandağı bölgesinde yetişen kiraz ve vişnenin kuruma ve rehidrasyon kinetiği ile kuruma sırasında meydana gelen büzülme davranışı incelendi. Meyvenin kuruması ve kurutulması literatürde yer alan eşitlikler kullanılarak modellendi. Modellerin deneysel veriye uygunluğu t-test, R^2 ve chi square (χ^2) gibi çeşitli istatistiksel testler kullanılarak incelendi.

Ön işlemsiz ve 3 farklı ön işlem uygulanarak yapılan kurutuma işlemi 45-75 °C sıcaklık aralığında 4 farklı sıcaklıkta yürütüldü. Kuruma sırasında çap ve hacim ölçümleri yapılarak büzülme davranışı incelendi. %2 Etil oleat, %5 NaOH çözeltisiyle ön işlem gören kirazın ve %2 Etil oleat, %5 K_2CO_3 ile ön işlem gören vişnenin daha hızlı kuruduğu görüldü. Tüm sıcaklık ve ön işlemlerde kurma olayı azalan kuruma olayı döneminde gerçekleştiğinden, büzülmenin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için difüzyon katsayıları hesaplandı ve kuruma aktivasyon enerjileri belirlendi. Büzülmenin dikkate alınmasıyla daha düşük difüzyon katsayıları ve daha düşük aktivasyon enerjileri elde edildi.

Kurutma sırasında her iki meyvenin çapında % 40 oranında hacminde ise % 80 oranında azalmanın meydana geldiği, sıcaklığın artmasıyla büzülmenin arttığı görüldü. Kurutma sırasında meyvelerin hacmindeki azalma kütledeki azalmadan daha fazla olduğundan kurutma boyunca meyve yoğunluklarında artış gözlemlendi. Ön işlem uygulamasının kirazın büzülme davranışını olumsuz etkilediği vişnede ise büzülmeyi azalttığı görüldü.

Kirazın kuruma davranışını açıklamada, Henderson - Pabis modeli ile Newton modelinin, vişnenin kuruma davranışını açıklamada ise logaritmik modeli ile Henderson-Pabis modelinin uygun olduğu görüldü.

Yüksek sıcaklıkta kuruyan maddelerin daha hızlı nem kazanması, nem alımında difüzyon mekanizmasının etkin olması ve çap değişiminin dikkate alınmasıyla daha düşük difüzyon katsayılarının elde edilmesi rehidrasyon deneylerinden elde edilen en önemli sonuçlar olarak söylenebilir. Ayrıca ön işlem uygulanarak yapılan kurutma işleminin meyvelerin rehidrasyon yeteneğine olumlu katkısının olmadığı görülmektedir.

2010, 89 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kiraz, vişne, kurutma, rehidrasyon, büzülme, ön işlem.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF SHRINKAGE OF CHERRY AND SOUR CHERRY DURING DRYING

İbrahim ARISOY

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İnci Türk TOĞRUL

In this study, drying, rehydration and shrinkage of cherry and sour cherry grown in Sultandağı location of Afyonkarahisar province were investigated. Empirical drying models, given in literature for describing time dependence of the moisture ratio change, were fitted to experimental drying and rehydration data and model parameters in equations were determined by multiple regression analysis. The performance of models was evaluated using various statistical parameters such as t-test, chi-square (χ^2), and the regression coefficient (R^2). Drying characteristic of fresh and pretreatment fruits were investigated for four different temperatures in the temperature range of 45–75 °C. The shrinkage behaviors of both fruits were investigated during drying by measuring volumes and diameters of fruits in regular time interval. It was determined that drying of cherry and sour cherry, pretreated with 2 % Ethyl oleate and 5 % sodium hydroxyl and 2 % ethyl oleate and 5 % potassium carbonate, respectively, was faster than in the other experimental conditions. Diffusion coefficients were calculated for both shrinkage taken into consideration and not consideration, owing to drying of both fruits occurred as the first falling period in all drying temperature and pretreatments. The shrinkage results showed that diameter and volumes of cherry and sour cherry during drying decrease nearly 40 % and 80 % according to fresh fruits, respectively and shrinkage was increase with increasing temperature. The decrease in the volume of fruit was higher than the decrease in the weight of fruit while drying, therefore, an increase was seen in the density of the fruits. When pretreatment was negatively effected shrinkage behavior of cherry, the shrinkage of sour cherry was decrease with pretreatment. Henderson – Pabis, Newton Model and Henderson – Pabis, Logarithmic Model could be proposed respectively to evaluate the moisture ratio of cherry and sour cherry with drying time. The most important result of rehydration experiments can be given as efficiency of diffusion mechanism on moisture uptake, obtaining lower moisture diffusion coefficient in case of taking into consideration the change in fruits diameter and faster moisture uptake of dried fruits in high temperature.

2010, 89 pages

Keywords: Cherry, sour cherry, drying, rehydration, shrinkage, pretreatment

TEŞEKKÜR

Araştırmamın her aşamasında değerli fikirleri, bilgileri ve deneyimleri ile alışmalarına yon veren, bana destek olan, danışman hocam Sayın Doç. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL' a; Tez çalışmamda örneklerin temini hususunda yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Arzu ENGİN' e; çalışmalarım boyunca bütün konularda gösterdikleri her türlü yardımlardan dolayı hocalarım Sayın Doç. Dr. Hasan TOĞRUL' a; çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma; Bütün yaşamım boyunca, maddi manevi her türlü desteklerini esirgemeyen babam Mevlüt ARISOY ve annem Perihan ARISOY' a

Sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim ARISOY
Afyonkarahisar, Ocak 2010

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

- h, Kurutulan madde yüzeyindeki koşullara bağlı bir ısı transfer katsayısı (konvektif ısı transfer katsayısı kcal/m²saat°C)
- A, kurutulan maddenin toplam yüzey alanı,m²
- T_a, Havanın kuru termometre sıcaklığı °C
- T_w, Havanın yaş termometre sıcaklığı , °C
- λ, Suyun buharlaşma gizli ısısı kcal/kg
- k_m, Gıda maddesindeki rutubetin, ortamdaki havaya geçişini tamamlayan kütle transfer katsayısı (kg kuru hava /m²saat)
- H_w, Havanın yaş termometre sıcaklığında (T_w) doymuş haldeki mutlak nemi kg su buharı/kg kuru hava
- H_a, Havanın bulunduğu koşullarda (T_a) mutlak nemi kg su buharı/kg kuru hava
- L , Kurutulan ürün kalınlığının yarısı
- M_e Kurutulan ürünün denge bağlı nemi(ERH)
- M_c Ürünün kritik nem oranı (kg su / kg kuru madde)
- β Dt/L²
- a (π/2)²
- M t anındaki nem içeriği
- t kuruma zamanı
- k kuruma sabiti
- MR nem oranı
- M_o başlangıç nem içeriği
- r yarıçap, m
- T_g camsı geçişsıcaklığı

2. Kısaltmalar

- K₂CO₃ Potasyum Karbonat
- NaOH Sodyum hidroksit
- ERH Denge bağlı nemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>SayfaNo</u>
Şekil 6.1. Kirazın kuruması sırasında zamanla nem içeriğindeki değişime sıcaklığın ve ön işlemin etkisi	36
Şekil 6.2. Vişnenin kuruması sırasında zamanla nem içeriğindeki değişime sıcaklığın ve ön işlemin etkisi	37
Şekil 6.3. Kirazın kuruma hızına sıcaklık ve ön işlemin etkisi	39
Şekil 6.4. Vişnenin kuruma hızına sıcaklık ve ön işlemin etkisi	40
Şekil 6.5. Kirazın kuruması sırasında çapında meydana gelen değişim	45
Şekil 6.6. Kirazın kuruması sırasında hacminde meydana gelen değişim	46
Şekil 6.7. Kirazın kuruması sırasında yoğunluğunda meydana gelen değişim	47
Şekil 6.8. Vişnenin kuruması sırasında çapında meydana gelen değişim	48
Şekil 6.9. Vişnenin kuruması sırasında hacminde meydana gelen değişim	49
Şekil 6.10. Vişnenin kuruması sırasında yoğunluğunda meydana gelen değişim	50
Şekil 6.11. Kiraz ve vişnede doğrusal denklemin eğim ve kayma değerlerinin sıcaklıkla değişimi (a - kayma, b - eğim)	51
Şekil 6.12. Ön işlem uygulanmadan kurutulmuş kiraz ve vişnenin rehidrasyonu süresince brix değişimi	64
Şekil 6.13. Farklı ön işlem uygulanmış kiraz ve vişnenin rehidrasyonu süresince brix değişimi	65
Şekil 6.14. Kirazın rehidrasyon sürecinde zamanla nem içeriğindeki değişim	65
Şekil 6.15. Vişnenin rehidrasyon sürecinde zamanla nem içeriğindeki değişim	66
Şekil 6.16. Kirazın rehidrasyon sürecinde zamanla rehidrasyon hızındaki değişim	68
Şekil 6.17. Vişnenin rehidrasyon sürecinde zamanla rehidrasyon hızındaki değişim	69
Şekil 6.18. Kirazın rehidrasyonu sırasında çapındaki değişim	71
Şekil 6.19. Vişnenin rehidrasyonu sırasında çapındaki değişim	72
Şekil 6.20. Kiraz ve vişnenin rehidrasyonu sırasında suyun meyve içine transferi için hesaplanan difüzyon katsayıları	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Kurutma Modelleri	21
Çizelge 4.1. Yıllara Göre Dünya Kiraz Üretimi	29
Çizelge 4.2. Yıllara Göre Dünya Kiraz İhracatı	29
Çizelge 4.3. Türkiye ve Afyon'da Yıllara Göre Vişne Üretimi	31
Çizelge 5.1. Kullanılan kuruma ve büzülme modeller	34
Çizelge 6.1. Vişne ve Kirazın başlangıçtaki nem, briks, kül ve toplam asitlik değerleri.	35
Çizelge 6.2. Vişne ve kirazın çap, hacim ve nem değerlerindeki rölatif sapmaları	35
Çizelge 6.3. Kirazın Kurumasının Modellenmesi	42
Çizelge 6.4. Vişnenin Kurumasının Modellenmesi	43
Çizelge 6.5. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan Ön İşlemsiz Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi	53
Çizelge 6.6. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 1. ön işlem uygulanmış Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi	54
Çizelge.6.7. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 2. ön işlem uygulanmış Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi	55
Çizelge 6.8. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 3. ön işlem uygulanmış Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi	56
Çizelge 6.9. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan ön işlemsiz Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi	57
Çizelge 6.10. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 1. ön işlem uygulanmış Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi	58
Çizelge 6.11. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 2. ön işlem uygulanmış Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi	59
Çizelge 6.12. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 3. ön işlem uygulanmış Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi	60
Çizelge 6.13. Kirazın kuruması sırasında hesaplanan difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri	61
Çizelge 6.14. Vişnenin kuruması sırasında hesaplanan difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri	62

1.GİRİŞ

Kurutma, genel olarak bir maddenin (katı, sıvı veya gaz) içerdği nemin kısmen veya tamamen giderilmesi olarak tanımlanmaktadır. Buradaki nem kavramı, su içeriği anlamında kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalar açısından bakıldığında kurutma, sıvı bir maddenin katı bir maddeden uzaklaştırılması olayıdır. Sıvı, su veya başka bir madde olabilmektedir.

Kurutma işleminin tarihi çok eski çağlara dayanmaktadır. İnsanlar yerleşik düzene geçtikleri tarihten beri tarım ürünlerini güneş enerjisinden yararlanarak kurutmaya başlamışlardır. O tarihten beri, kurutma işlemi insanların bütün üretim ve endüstriyel faaliyetlerinde kullanılmaya devam etmektedir. Kurutmanın en yaygın şekilde kullanıldığı endüstriler arasında kimya, gıda, toprak - seramik, tarım, tekstil ve ilaç sayılabilir.

Kurutma, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı bir işlemdir. Bu nedenle endüstriyel kurutma işlemlerinde tüketilen enerjinin mümkün olduğu kadar düşük tutulması için önlem alınmalıdır. Kurutma en uygun şekilde ve gerektiği ölçülerde yapılmalıdır. Enerji giderleri ve kurutmanın getirisi göz önüne alınarak, kurutma işleminin optimize edilmesi gerekmektedir. Mümkünse az enerji harcayan ve etkinliği yüksek olan yeni kurutma teknolojilerinin kullanılması yoluna gidilmelidir.

Meyve ve sebzelerin sadece sezonunda değil üretiminin yapılamadığı ve ya taze olarak bulunamadığı zamanlarda da tüketilebilmeleri için kullanılan en yaygın dayandırma işlemi kurutmadır. Kurutma sırasında çoğu gıda maddesinin boyutlarında önemli oranda küçülme gözlenmektedir. Büzülme adı verilen bu şekilsel deformasyonun büyüklüğü ve ürünün rehidre edilmesi sırasında tekrar eski şekline dönebilmesi ise incelenmesi gereken önemli bir konudur.

Bu çalışmada Afyonkarahisar ilinin en ticari ürünlerinden olan, Sultandağı yöresinde yetişen kiraz ve vişnenin, farklı ön işlemler uygulanarak kuruma kinetikleri incelendi. Farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemi sırasında meyvelerde meydana gelen

büzülme, çap, hacim ve yoğunluk değişimleriyle incelendi. Meyveler oda sıcaklığında destile su ile rehidre edilerek farklı sıcaklıkta kurutma ve ön işlem uygulamasının rehidrasyon kinetiğine etkisi incelendi.

Ayrıca çalışma şartlarında gerek kurutma ve gerekse büzülme davranışını en iyi ortaya koyacak model denklemler geliştirildi. Modellerin anlamlılığı ve deneysel veriye uygunluğu t-test, R^2 ve χ^2 gibi istatistiksel yardımıyla incelendi.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kurutma ve Kurutmanın Amacı

Kurutma işlemi çeşitli amaçlarla uygulanmaktadır. Bunları aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür (Kaya 2004).

a) Hacim veya Ağırlığı Düşürmek: Hacim ve ağırlığı düşürerek maddelerin taşınma, depolanma ve kullanılma işlemlerini daha kolay ve ekonomik hale getirmek mümkündür. Taşıma maliyeti, maddenin içerdiği nem miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, uzak mesafelere taşınan maddelerin nem oranlarının mümkün olduğu kadar düşük olması gerekmektedir. Kurutma işleminde yoğun enerji tüketimi yüksek olduğundan, enerji maliyetleri ile taşıma maliyetleri arasında bir dengenin kurulması gerekmektedir.

b) İstenen Özelliklerde Ürün Elde Etmek: Kurutma ve nem içeriğini ayarlamamanın en önemli amaçlarından biri de istenen özelliklere sahip hammadde veya ürün elde etmektir. Örneğin çimento sanayisinde kullanılan kömürü daha kolay öğütülebilmesi için kurutulmaktadır. Seramik endüstrisinde hammadde olarak kullanılan kaolinin kullanılmadan önce kurutulması gerekmektedir. Gıda sanayisinde meyve ve sebzeler kurutularak hem daha uzun ömürlü, hem de daha kolay taşınır ürünlere dönüştürülmektedir. Yine bazı kimyasal maddeler, tablet haline getirilmek amacıyla kurutulmaktadır.

c) Ürünleri Sterilize Etmek ve Korumak: Özellikle ilaç ve gıda endüstrilerinde, ürünleri sterilize etmek veya korumak amacıyla ürünlerin nem içeriği ayarlanmaktadır. Böylece, nemin neden olduğu küflenme, çürüme ve bozulmaları önlemek mümkün olmaktadır.

d) Çözelti ve Sulu Atık Çözeltilerden Yan Ürün Elde Etmek: Bazı endüstriyel proseslerde, çözelti halinde bulunan ara ürünlerden son ürüne geçmek için kurutma uygulanmaktadır. Örneğin, deterjan bir sıvı çözelti halinde üretilmekte ve bu ara ürün sprey kurutucularda kurutularak toz deterjanlara dönüştürülmektedir. Bunun gibi süt tozu, üretilirken de benzer bir uygulama söz konusu olmaktadır.

2.2. Kurutmanın Bilimsel Temelleri

Gıdaların kurutularak muhafaza edilmesi yöntemi insanoğlunun kullandığı en eski dayandırma yöntemidir. Gıdalar, ya güneş ısısından faydalanarak veya başka kaynaklardan elde edilen ısı yardımı ile kurutulur. Kurutma yöntemi, kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması amacıyla ısının taşınma şekline göre sınıflandırılabilir. Konveksiyon kurutma, kontakt kurutma ve radyasyon kurutma olmak üzere üç farklı kurutma yöntemi vardır (Keey 1972; Porter ve ark., 1985).

Konveksiyon kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından genellikle hava tarafından taşınır. Sıcak hava kurutulacak maddenin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak sıcak hava kurutma tekniği olarak bilinir. Kontakt kurutma yönteminde ise evaporasyon için gerekli ısı kondüksiyonla taşınır. Yani kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Radyasyon kurutmada kurutulacak maddeye ısı, herhangi maddi bir taşıyıcı gereksizdir civardaki bir radyasyon alanından ulaştırılır.

Bu üç yöntem ek olarak iki ayrı yöntem daha vardır. Bunlardan birisi dielektrik kurutma diğeri vakum kurutmadır. Dielektrik kurutmada ısı, yüksek frekanslı alternatif alanda bulunan materyal içinde sürtünme ile oluşturulmaktadır. Vakum kurutmada ise ısı, madde içindeki saklı enerjinin ortaya çıkarılmasıyla sağlanır. Bu

amaçla ürün, basıncı gittikçe düşen (vakum altında) bir hücrede tutulur ve bu sırada ayrıca ısıtmaya gerek kalmaksızın suyu kolayca buharlaşması sağlanır.

Kurutulacak maddeye hangi kurutma yönteminin uygulanacağı, materyalin niteliklerine ve kurutulmuş ürünün kullanılma alanı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Meyve sebzeler veya genel olarak çeşitli ürünler güneşte veya yapay kurutucularda kurutulabilmektedir. Ancak her ürünün güneşte kurutulması hem olanaklı değil ve hem de doğru değildir. Ayrıca her bölge güneşte kurutma uygulamasına elverişli olmayabilir. Aynı şekilde güneşte kurutmada hijyenik koşulları kontrol etmek mümkün olamamakta ve kurutulan ürün açık alanda, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların zararına uğramakta ve ayrıca ürün tozlanmaktadır. Bunun gibi, güneşte kurutulan meyvelerde solunumun bir süre devam etmesi ve hatta çoğu kez hafif bir fermantasyon belirmesi nedeniyle, madde kayıpları oluşmakta ve sonuçta verim yapay kurutmaya göre biraz daha düşmektedir. Ancak güneşte kurutulmuş bazı meyvelerin renginin yapay yolla kurutulanlardan daha iyi olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni ise güneşte kurutmada, tam olgunlaşmamış bazı meyvelerde kurutma başlangıcında, renkte bir gelişme oluşmasıdır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

2.3. Kuruma Hızı

Kuruma olayı ıslak materyalden suyun uzaklaştırılmasıdır. Kuruma olgusunun tam olarak ifade edilebilmesi için önce higroskopik nitelikte olmayan katı bir maddenin kurumasının izlenmesi gerekir. Buna göre sadece üstü açık bir sandık içine doldurulmuş, higroskopik nitelik taşımayan bir madde olan ıslak kumun kuruması iyi bir örnektir. Sandığın üstünden belli bir hızla geçirilen sıcak hava, yüzeydeki suyun buharlaşmasına neden olur. Islak yüzeyden buharlaşan su, kumdan bir miktar ısı absorbe eder. Sıcak havadan ıslak ve serin kuma akan ısı, kumun soğumasını engeller ve böylece kumun sıcaklık derecesi belli bir dengeye ulaşır. Eğer hava hızı yeterli bir

düzyeyle ve kum bir radyasyon kaynağından ayrıca ısı almıyorsa, kumun sıcaklık derecesi, sıcak havanın ıslak termometre sıcaklığına eşit hale gelir. Olay bu şekilde havanın ıslak termometre derecesinde devam eder ve sandığın yüzeyinde belli sürede, sabit miktarda su buharı uzaklaşır. Yüzeydeki su bitince, alt tabakalardaki su kum tanecikleri arasında oluşan kapiller kuvvetle yüzeye taşınır ve buradan buharlaşır. Kumdaki kapiller kuvvet alt tabakalardaki suyu yüzeye, yüzeyden uzaklaşan miktardaki kadar taşımaya yeterli geldiği sürece kumun yüzeyindeki buharlaşma hızı, yani kuruma hızı sabit kalır. Kuruma hızının sabit kalması demek, belli sürede, belli alandan aynı suyun uzaklaşması demektir. Bu süreye kurumanın “*sabit kuruma hızı dönemi*” denir. Sabit kuruma hızı dönemi devam ederken, sandıktaki kumun su içeriği alt tabakalardan üst tabakalara doğru gittikçe aşamalı olarak azalır. Nihayet kumun kapiller kuvveti artık suyu daha alt tabakalardan yüzeye ulaştırmaya yeterli gelmez, yani su artık derinlerde kalmıştır. Öyle bir an gelir ki, yüzeydeki su oranı sıfır olur. Artık bu andan itibaren, suyun buharlaşma hızı yavaşlar. Sabit kuruma hızı döneminden sonra başlayan bu döneme, “*azalan kuruma hızı dönemi*” denir. Bu dönem boyunca geçen her sürede belli bir alandan belli bir sürede uzaklaşan su miktarı, bir önceki süreye göre gittikçe azalmaktadır. Bu dönem boyunca kurumuş kum tabakası yüzeyden itibaren aşağıya doğru gelişir, kalınlaşır, yani kurumuş tabaka gittikçe derinlere iner. Üstteki kurumuş tabaka kalınlaştıkça, suyun buharlaşma hızı da aynı oranda yavaşlar. Bunun nedeni ise suyun sabit kuruma döneminde olduğu gibi kapiller kuvvetle yüzeye taşınıp buradan kolaylıkla buharlaşma olanağını kaybetmesidir. Su artık alt tabakalardaki gözeneklerde buhara dönüşmekte ve suya göre daha zor bir hareketle buradan yüzeye ulaşmaktadır. Ayrıca buharın kurumuş tabaka içinde kat etmek zorunda kaldığı yol gittikçe daha uzamaktadır (Treybal 1981 , Coulsan ve Richardson 1991).

Kum higroskopik nitelikte değildir ve kumda bulunan suyun tamamı serbest sudur. Bu nedenle kuruma, su oranı sıfıra düşene kadar devam eder. Buna karşılık higroskopik nitelikteki bir madde örneğin gıdalarda kuruma olayı daha farklı bir şekilde gelişir.

Gıda maddelerindeki su “serbest su” dan “kimyasal bağılı su” ya kadar değişik şekillerde bulunur. Bu bakımdan tamamen serbest sudan ibaret olan kumdaki suyun uzaklaşmasıyla, bir gıda maddesindeki suyun uzaklaşma mekanizmaları arasında önemli farklılıklar vardır. Diğer taraftan, kumda olduğu gibi granül haldeki bir suyun, alt tabakalarda buharlaşarak yüzeye su buharı halinde ulaşabilmesi gözenekli yapı nedeniyle son derece kolaydır. Gıda maddeleri genellikle böyle bir granül yapıda olmadıklarından alt tabakalardan yüzeye su ve buhar hareketi zor ve sınırlıdır. Gıda maddelerinde bulunan suyun, materyal tarafından gevşek olarak tutulan kısmı yani kapiller su daha kolay uzaklaşabilir. Bu bakımdan gıdalardaki suyun büyük bir kısmını oluşturan zayıf bir şekilde bağılı suya, kuruma olayı bakımından , herhangi bir materyalin yüzeyindeki serbest halde bulunan su olarak bakılabilir. Gıda maddelerindeki bu suyun uzaklaştığı dönem sabit kuruma hızı dönemidir, Bu dönem boyunca birim zamanda uzaklaşan su miktarı sabit kalmaktadır. Gıda maddesindeki su miktarı azaldıkça geride kalan suyu materyale bağlayan güç artmaktadır. Bu nedenle, gıda maddesindeki su oranı belli bir düzeye inince sabit kuruma hızı dönemi sona erer ve kuruma hızının gittikçe düştüğü azalan kuruma hızı dönemi başlar. Diğer bir deyişle gıdalarda sabit kuruma hızı dönemi gıda içindeki suyun, buharlaşmanın meydana geldiği yüzeye ulaşma hızı, yüzeydeki buharlaşmayı karşıladığı sürece devam eder. Bu dönemde, kuruyan gıda maddesinin dışında ısıya az yada çok yalıtkan özellik gösteren bir tabaka oluşmakta ve bu tabaka ısının iç kısımlara yeterince iletilmesini engellemektedir (Geonkoplis, 1993). Kuruma hızındaki değişimin meydana geldiği andaki gıdanın nem düzeyine kritik nem denir. Kuruma hızının değiştiği bu noktaya dönme noktası denir. Bir çok gıda maddesinin kurutulmasında iki hatta üç dönme noktası görülmektedir. Kritik nem her gıda maddesi için farklı düzeyde olup o gıda maddesinin bileşimi ile ilişkili bir değerdir. Ancak bir genelleme yapılırsa, bir çok gıda maddesinin kritik nemi, bu gıdaların %58-65 bağılı nemli hava ile dengeye eriştiği zaman içerdiği su miktarına eşittir. Sabit ve azalan kuruma dönemlerindeki kuruma hızları bu amaçla geliştirilmiş eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Sabit kuruma hızı dönemindeki kuruma hızı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (McCabe ve Smith 1976).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{hA(T_a - T_w)}{\lambda} = k_m A(H_w - H_a) \quad (2.1)$$

Burada ,

h, Kurutulan madde yüzeyindeki koşullara bağlı bir ısı transfer katsayısı (konvektif ısı transfer katsayısı kcal/m²saat°C)

A, kurutulan maddenin toplam yüzey alanı,m²

T_a, Havanın kuru termometre sıcaklığı °C

T_w, Havanın yaş termometre sıcaklığı , °C

λ, Suyun buharlaşma gizli ısı kcal/kg

k_m, Gıda maddesindeki rutubetin, ortamdaki havaya geçişini tamamlayan kütle transfer katsayısı (kg kuru hava /m²saat)

H_w, Havanın yaş termometre sıcaklığında (T_w) doymuş haldeki mutlak nemi kg su buharı/kg kuru hava

H_a, Havanın bulunduğu koşullarda (T_a) mutlak nemi kg su buharı/kg kuru hava

Azalan kuruma hızı döneminde ise nem transferinde etkin mekanizma difüzyon mekanizmasıdır. Difüzyon teorisine göre katının iç kısımlarındaki suyun yüzeye hareketi katı içi difüzyonla gerçekleşir. II. Fick kanununa uyan buhar veya sıvıların transferinde bu tip difüzyon kontrollü kütle transferinin olduğu varsayılır. II. Fick kanununun tek yönlü difüzyon için matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir(McCabe ve Smith ,1976):

$$D \frac{1}{r^m} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^m \left(\frac{\partial M}{\partial r} \right) \right] = \frac{\partial M}{\partial t} \quad (2.2)$$

Burada D ,Tüm azalan kuruma dönemine ait su buharının havaya difüzyon katsayısıdır(m²/saat),

Fick' in II yasasının yassı dilim için m=0, silindir için m=1, küre için m=2 alınarak değişik geometriler için seriye açılım şeklindeki çözümü (Treybal, 1981) :

$$m=0 \text{ için } \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-a_1\beta} + \frac{1}{9} e^{-9a_1\beta} + \frac{1}{25} e^{-25a_1\beta} + \dots \right) \quad (2.3)$$

$$m=1 \text{ için } \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = 0.692.e^{-5.78\beta} + 0.131e^{-30.5\beta} + 0.0534e^{-74.9\beta} + \dots \quad (2.4)$$

$$m=2 \text{ için } \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = 0.608.e^{-9.87\beta} + 0.152.e^{-39.5\beta} + 0.067e^{-88.8\beta} \quad (2.5)$$

Burada , yassı dilim için $\beta=D.t/L^2$, silindir ve küre için $\beta=D.t/r^2$

M: Herhangi bir andaki nem içeriği

M_e : Denge nem içeriği

M_o =Başlangıç nem içeriği (t=0 anındaki)

$a = (\pi/2)^2$

L=dilimin yarı kalınlığı, m

r=yarıçap, m

D=katı içinden nem difüzyon hızı, m^2/s

Difüzyon yavaş kuruyan materyallerin karakteristik davranışıdır. Katı yüzeyinden havaya su buharının kütle transfer direnci genellikle ihmal edilir ve bütün kuruma hızını katıdaki difüzyon kontrol eder. Böylece yüzeydeki nem içeriği denge değerindedir veya denge değerine çok yakındır. Sıcaklıkla difüzyon katsayısı arttığından, katıdaki sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artar (Geankoplis, 1993).

Kuruma hızı eşitliğinde kritik nem oranı M_c yerine herhangi bir t zamanında ürünün içerdiği nem düzeyi alınırsa o andaki kuruma hızı bulunur. Kritik nem oranı M_c alınırsa azalan kuruma hızı dönemindeki ortalama kuruma hızı bulunur.

Azalan kuruma hızı dönemine ait eşitliğe göre kuruma hızı, kurutulan ürünün kalınlığı ile ters orantılıdır. Ürünün kalınlığı arttıkça kuruma hızı daha da düşecektir. Aynı eşitliğe göre kuruma hızı, ürünün içerdiği nem (veya kritik nem) ile denge nemi arasındaki farkla doğru orantılıdır. Bu fark arttıkça kuruma hızı yükselmekte, azaldıkça düşmektedir.

Azalan kuruma hızı döneminde kuruma hızı, üründe kalan nem düzeyine bağlı olarak lineer bir şekilde gittikçe azalır. Üründeki nem belirli bir düzeye ulaştınca kuruma hızı sıfıra düşer yani kuruma durur. ($M_c - M_e$) değeri sıfır olmuştur. Diğer bir deyişle, kurutucuda o sırada egemen olan koşullarda ürün ile hava arasında nem açısından denge oluşur. Bu koşullarda kurutucuda ne kadar tutulursa tutulsun, ürünün nemi artık değişmeden kalır. Bu durumda ürünün içerdiği su oranına o koşullardaki denge bağlı nemi (ERH) denir.

Azalan kuruma hızı dönemine ait iki önemli sonuç ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi, kurutulan ürünlerin belirli bir nem düzeyine erişmesinden (kritik nem) sonra kurumaları gittikçe zorlaşmakta ve kuruma süresi uzamaktadır. Bu nedenle kurutucu uzun süre işgal edilmektedir. Diğer bir sonuç ise, kurutmada uygulanan koşullara göre ürün neminin ancak belirli bir düzeye kadar düşürülebilmesidir. Hâlbuki bir çok ürünün dayanıklı kalabilmesi için bunların, kurutucularda ulaşılanın da altında nem içermesi gerekmektedir. Bazı durumlarda bunu sağlamak için kurutma işlemine başka bir kurutma sisteminde, nemi çok düşük bir düzeye indirilmiş ılık hava kullanılarak devam edilir. Böylece daha düşük bir denge nemine ulaşılır (Coulson ve Richardson, 1991).

2.4. Kurumada Meydana Gelen Başlıca Değişmeler

2.4.1 Fiziksel Değişmeler

Yöresel kuru madde birikimi , meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında çoğu geri dönüşsüz fiziksel ve kimyasal değişmeler gerçekleşmektedir. Bunlardan birisi olan yöresel kuru madde yığılımı, doğrudan doğruya kuru madde hareketine bağlıdır. Suyun dokudaki gözenekler içindeki hareketi, doğrudan doğruya bir sıvı hareketi şeklinde veya su buharı şeklinde veyahut da bireysel serbest su molekülleri şeklinde olmak üzere değişik tipte olabilmektedir. Eğer suyun hareketi kurumanın başlangıç aşamalarında olduğu gibi bir sıvı hareketi şeklindeyse, su içerisinde çözülmüş maddeler de beraberinde taşınır. Böylece alt tabakadaki kuru madde su ile yüzeye

kadar taşınır ve su uzaklaşıp gidince, yüzeyde bir kuru madde yığılımı görülür. Ancak bu yolla yüzeyde kuru madde konsantrasyonu artınca, iç kısımlarda düşmüş konsantrasyonu dengelemek amacıyla bu defa yüzeyden içeri doğru bir kuru madde akımı belirir. Şüphesiz bu da, iç tabakalarla yüzey arasında devamlı bir sıvı bağlantısı bulunması durumunda yani, suyun yüzeye 'sıvı hareketi' şeklinde hareket ettiği dönemde gerçekleşir. Kurutmada uygulanan koşullara göre, kuru maddenin tanımlanan bu hareketlerinden biri egemen olabilir ve bunun sonucu olarak yüzeyde veya merkezde aşırı bir kuru madde birikimi belirebilir. Meyve ve sebzelerde hücre suyu, hücre duvarını aşarak dışarı çıktığından hücre zarının selektif geçirgenliğine bağlı olarak, su ile hareket eden maddelerin niteliği farklıdır. Ancak genellikle bunlar küçük moleküllü maddelerdir.

Benzer bir olay da hücre sıvısının tümünden yüzeye ve hatta dışarı akmasıdır. Ancak bu, daha farklı bir şekilde gelişir. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında daha kurumanın başlangıcında dahi, yüzeyde kuru bir tabaka oluşur. Kurumuş tabakalar büzülerek iç kısımlara basınç yapar. Bu basınç ise, iç tabakalardaki hücre sıvısının gözenek ve çatlaklardan dışarı doğru akmasına neden olur. Böylece yüzeye ulaşan sıvının hücre içinde bulunan tüm maddeleri içerdiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle yüzey , yapışkan, cıvık bir sıvı ile kaplanır. Bu olgu özellikle , erik ve kayısı gibi yumuşak dokulu meyvelerin kurutulmasında kendini gösterir.

Kabuk bağlama , kurutma koşullarının hatalı seçilmesi sonucu oluşan bir olaydır. Kabuk bağlama , kurumanın ilk aşamasında yüksek sıcaklık uygulanmasından kaynaklanır. Böylece yüzeyde hızlı oluşan kuru tabaka büzülme sonucu alt tabakalara baskı yapar. Ancak alt tabakalar henüz o kadar ıslaktır ki, üstten yapılan basınca direnç gösterir. Bu durumda kuruma sonucu büzülme olanağı bulamayan üst tabaka gerilip sert bir kabuk haline dönüşür (Strumillo ve Kudra, 1986).

Kabuk bağlama şeker ve benzer maddelerce zengin materyallerde, örneğin meyvelerde, sık görülür. Nitekim bu tip materyallerde oluşan kabuk, su buharının difüzyonunu engelleyici camsı bir nitelik gösterir. Bu durumda alt tabakalardaki su, bu tabakayı aşamadığından kuruma tümünden durur ve ürün , dışı kuru ve sert, içi ıslak

bir halde kalır. Artık kurumunun tamamlanması çok zorlaşmıştır. Tanımlanan bu oluşumlara kabuk bağlama denir. Kuruma hızı, kurutulmuş ürünün kalite ve niteliklerini etkileyen en önemli faktördür. Kurutma koşulları ayarlanarak 'kabuk bağlamanın' önlenmesi olanaklıdır.

Kitle yoğunluğunda değişmeler , herhangi bir materyalin birim hacminin ağırlığına kitle yoğunluğu denir. Kurutulmuş bir ürünün kitle yoğunluğu, onun kurutulmasında uygulanan koşulların bir belirteçidir. Ayrıca kitle yoğunluğu, kurutulmuş ürünün bir kalite ölçüsüdür. Eğer kurutulan herhangi bir materyalde hiçbir büzülme olmasa ve materyal kuruma sonunda da başlangıçtaki boyutlarını korusa, bu materyalin kurutma sonundaki kitle yoğunluğu sadece kaybedilen su kadar azalır. Fakat kurutulan maddelerde, özellikle meyve ve sebzelerde daima bir büzülme ortaya çıkar.

Gıda maddeleri genelde elastik özellik gösteren materyallerdir. Elastik maddeden su uzaklaşınca büzülme miktarı ile kaybedilen su arasında doğrusal bir ilişki vardır. Her ürün kurutmada uygulanan koşullara bağlı olarak kendine özgü bir büzülme niteliği gösterir. Buna göre kurutulan materyalin hacmi az veya çok düşerek kurutulmuş ürünün kitle yoğunluğu değişir. Kurutma koşulları eğer, iç kısımlarına göre materyal yüzeyinin daha fazla ve hızlı kurummasına neden olmayacak kadar ılımlıysa, tüm kitle beraberce kurur ve muntazam bir büzülme belirterek materyal, şeklini kaybeder ve hacmi son derece küçülür. Böyle bir ürünün kitle yoğunluğu çok yüksektir (Geankoplis, 1993).

Kitle yoğunluğu, bir ürünün kurutma koşulları hakkında bilgi veren önemli bir değerdir. Aynı ürünün, düşük kitle yoğunluğunda veya yüksek kitle yoğunluğunda olmasının olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Kitle yoğunluğu düşük olanlar tüketici tarafından tercih edilir. Çünkü her şeyden önce aynı kütledeki mal, daha fazla görülür. Kurumuş ürün orijinale daha fazla benzer. Ancak bunların ambalaj, depo ve taşıma masrafları daha fazladır.

Kurumuş ürünün rehidrasyon yeteneği , kurutulmuş bir üründe aranan en önemli nitelik, bunun kullanılması sırasında verilen su ile eski haline dönüşebilme düzeyidir.

Yani kurutulmuş bir ürün suda tutulunca, taze halinde içerdiği kadar su alarak eski haline ve şekline dönüşürse, mükemmel niteliklerde olduğu kabul edilir. Bu özellik dondurularak kurutulmuş ürünlerde önemli ölçüde sağlanabilse de, geleneksel kurutma yöntemiyle kurutulanlarda önemli ölçüde kaybedilmiş olur. Rehidrasyon yeteneği sadece parça halinde kurutulan ürünlerde değil, aynı zamanda sıvı halde kurutulup toz haline getirilen, meyve tozu, domates tozu ve süt tozu gibi ürünler için de geçerlidir. Özellikle toz halindeki bu ürünlerin suda tümünden ve hızla eriyip dağılması istenir. Bu niteliğe 'instant özellik' denir. Ürünlerin rehidrasyon yeteneği veya instant özelliği kuruma koşulları ile yakından ilgilidir. (Mujumdar, 1995,2000).

Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon yeteneği bizzat fiziksel bir olgu gibi görünse de, bunun kurutma sırasında değişmesi, materyaldeki kimyasal, fiziko-kimyasal ve fiziksel değişmelerle ilgilidir. Nitekim kurutma koşullarına bağlı olarak büzülme ve parçalanma sonucu, hücreler ve dokunun kapılar yapısının bozulması, rehidrasyonu olumsuz yönde etkileyen fiziksel faktörlerdir. Buna karşın rehidrasyon yeteneği daha çok kimyasal ve fizikokimyasal nedenlerle etkilenmektedir. Gerçekten kurutmada uygulanan ısı etkisiyle ve kuruma sonucu hücredeki tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak proteinler denatüre olmaktadır. Denatüre olan proteinler artık suyu tekrar absorbe etme ve bağlama yeteneğini büyük ölçüde kaybeder. Aynı nedenlerle nişasta ve gliko maddeleri de daha az hidrofilik bir nitelik kazanır. Bütün bunlara ek olarak artık hücre duvarı eskisi gibi esnek değildir. Ayrıca rehidrasyon suyuna hücre içinden tuz ve şeker geçmesi hücrenin turgor özelliğini kaybetmesine sebep olur (Mujumdar, 2000).

Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun suda belli koşullarda ıslatılması sonucu kazandığı su miktarıyla ölçülür. Ancak rehidrasyon sırasındaki koşullar, özellikle suyun sıcaklığı ve süre rehidrasyon yeteneği üzerine son derece etkilidir. Bu yüzden bir ürünün rehidrasyon yeteneğine ilişkin sayısal bir değer verilirken, bunun nasıl saptandığına ait yöntemin ve koşullarının da ayrıntıyla tanımlanması gerekir.(Cemeroğlu ve Acar 1986)

2.4.2. Kimyasal ve Diğer Değişmeler

Kimyasal değişmeler kendisini, kurutulmuş ürünün veya rehidre edilmiş ürünün, renginde, lezzetinde, tekstüründe, viskozitesinde, besleme değeri ve depolama stabilitesinde gösterir. Bu değişimlerin oluşumu veya düzeyi her üründe kendine özgü bir şekilde gelişir. Ayrıca, kurutma işleminde uygulanan ısıнын şiddeti, bu değişimlerin düzeyini etkileyen en önemli faktördür (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Ancak her kurutulan üründe daima ortaya çıkan en önemli olumsuzluk rengin esmerleşmesidir. Renk esmerleşmesi kurutmadan önce, kurutma sırasında ve/veya depolama süresinde oluşur. Renk esmerleşmesi enzimatik veya enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucu olabilir. Meyveler başta olmak üzere haşlanmadan kurutulan ürünlerde oksidasyon enzimlerinin faaliyetiyle, başta polifenoller olmak üzere birçok maddenin oksidasyonuna dayalı renk esmerleşmesi kendini gösterir. Kurutmada uygulanan havanın sıcaklık derecesi, materyaldeki enzimleri inaktif hale getirmeye çoğu kez yeterli gelemez. Bilindiği gibi materyal, kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklığa rağmen suyun buharlaşması sonucu daima soğuk kalır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Bununla birlikte kurutulmuş ürünlerde renk esmerleşmesi daha çok, enzimatik olmayan yollarla meydana gelmektedir. Bilindiği gibi Maillard reaksiyonu denen bu esmerleşme reaksiyonunda şekerin aldehit grupları ile proteinlerin amino grupları rol oynamaktadır. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, kurutma sırasında şiddetle ve depolamada ise koşullara göre belli bir hızla devam eden sürekli bir olaydır. Diğer kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sıcaklık derecesi arttıkça ve reaksiyona giren maddelerin ortamdaki konsantrasyonu yükseldikçe hızlanmaktadır. Kurutmada hem sıcaklık derecesi yüksek bulunmakta ve hem de reaksiyona giren maddeler ortamda gittikçe yoğunlaşmaktadır. Maillard reaksiyonlarının oluşumu için ortamda belli bir düzeyde su bulunmalıdır. %2 nemin altında hiçbir esmerleşme reaksiyonu olmaz. Buna karşın nem düzeyi %15-20 iken Maillard reaksiyonu en hızlı şekilde oluşur. Nem düzeyi %15 in altına inerken reaksiyon hızı azalır. Bu nedenle gerek kurutucu dizaynında gerekse

kurutmada uygulanan ısı programında, %15-20 nemli bölgeyi hızla aşacak her türlü önlem alınır. Esmerleşme reaksiyonu sıcaklık derecesine bağlı olduğundan depolamada sıcaklık oldukça düşük olmalıdır. Gerçekten depolamada her 10 °C sıcaklık artışı, esmerleşme reaksiyon hızının ürünün içerdiği su oranına bağlı olarak 6-8 misli artışa neden olduğu belirlenmiştir. (Cemeroğlu ve Acar 1986)

Esmerleşme reaksiyonlarının sonucu, sadece renkte gözlenmez. Ürünü lezzet ve beslenme değerinde de değişimler belirir ve ara ürün olarak CO₂ oluşur. Hatta bu yüzden gaz sızdırmaz ambalajlara konulmuş bazı ürünlerin, çıkan karbondioksit nedeniyle ambalajda şişmeye neden olduğu bilinmektedir.

Renk esmerleşmesinde kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklık sonucu şekerlerin karemelizasyonu ve bazı maddelerin adeta yanıp kavrulması da neden olabilmektedir. Ayrıca yeşil renkli ürünlerde klorofilin feofitine parçalanması sonucu, renk sararmaktadır.

Renk esmerleşmesini önlemede en önemli olanak, ürünün kükürt dioksit gazı ile kükürtlenmesidir. Kükürt dioksit bir taraftan enzimleri inaktif hale getirmekte, diğer taraftan özellikle enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını engellemektedir.

Kurutulan ürünlerde, gerek kurutma işleminde gerekse depolamada beslenme değerinde bazı kayıplar göstermektedir. Örneğin kurutmadan önce sebzelerin haşlanması sırasında suda çözünen birçok madde ve vitaminlerde azalmalar görülür. Gerek kurutma ve gerekse depolamada, askorbik asit ve karoten oksidasyonu ile önemli düzeyde kaybolmaktadır. Tiamin (B1 vitamini) ısıya duyarlı bir madde olduğundan kurutmada önemli düzeyde azalmaktadır. Ayrıca tiamin kükürt dioksite karşı son derece duyarlı olduğundan, kükürtlenen ürünlerde tiamin hemen tümünden kaybolmaktadır. (Cemeroğlu ve Acar 1986)

Kurutulan ürünlerin beslenme değeri kaybı, kurutma koşullarına ve uygulanan kurutma yöntemine bağlıdır. Nitekim güneşte kurutmada, karoten ve C vitamini

kaybının diğer yöntemlerinkinden daha fazla olduğu saptanmıştır (Karabulut ve ark., 2007).

Diğer taraftan kurutma işleminde ürünün mikroflorası da değişmektedir. Nitekim, sebzelerde uygulanan haşlama ile, mikroorganizma yükünde önemli azalma belirir. Birçok meyvede uygulanan kükürtleme ile mikroorganizma faaliyeti durur. Güneşte kurutma yönteminde kurutma koşulları doğaya bağlı olduğundan ve hijyenik kurallara tam olarak uyulamadığından mikroorganizmaların sayısı kuruma boyunca artar ve bunlar kurutma sırasında faaliyet gösterirler. Hatta bazen hafif bir fermantasyon dahi belirmekte, bu yolla harcanan kuru madde nedeniyle randımanda azalma dahi olabilmektedir. Kurutma sırasında mikroorganizmalardan oluşan sorunların önlenmesinin kesin yolu mikrobiyolojik açıdan sağlıklı hammadde kullanılması, hammaddenin hazırlanması ve kurutulmasında hijyenik koşullara uyulmasıdır. Eğer ürünün nem oranı belli bir düzeye inmişse depoda mikrobiyolojik açıdan bir bozulma beklenmez. Buna göre kurutulmuş ürünlerde canlı mikroorganizma bulunduğu ancak koşullar elverişli olmadığı için faaliyet gösteremediği açıktır.Özellikle kuru ürünlerde birçok patojenik mikroorganizmanın uzun süre canlı kalabildiği gıda zehirlenmesi yapan mikroorganizmaların yaygın olarak bulunduğu saptanmıştır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

2.5. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Kuruma hızı ısı ve kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörlerin başlıcaları, sıcaklık derecesi, havanın nemi, kurutucudaki hızı, kurutulacak materyale maksimum yüzey alanı kazandıracak geometrik düzenleme (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vs.) gibi fiziksel faktörlerle kurutulan materyalin başta bileşimi olmak üzere kendine özgü nitelikleridir.

Bu faktörlerin en önemlileri kurutulan ürünün kendine özgü nitelikleridir ve bu nitelikler kuruma boyunca değişip dururlar. Özellikle ürünün kimyasal bileşimi 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. Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte dolayısıyla suyun buharlaşmasını zorlaştırmaktadır. Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı önemli bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından adeta izole edilmiş bulunduğundan böyle bir sistemde suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması güçtür. Diğer taraftan materyalin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Serbest su, gıdalarda öncelikle ve kolaylıkla uzaklaştırılabilen su olduğu halde, katı parçacıklarla adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Nişasta, pektin gibi maddelerce zengin oluşturulan kolloidal jel içerisinde tutulan su ise daha zor uzaklaşmaktadır, bu nedenle nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça güçtür. En zor uzaklaştırılan su ise hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece materyalin bileşiminin suyu bağlama şekli bakımından kuruma hızına etki ettiği görülmektedir. Diğer taraftan meyve ve sebzeler hücrelerden oluşmuş doğal dokulardır. Bunlarda su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyu uzaklaştırmak daha kolaydır. Ancak hücre ölünce hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazanarak, hücre içindeki suyun uzaklaşmasını kolaylaştırır. Eğer doku haşlanmışsa geçirgenlik çok hızlanır. Bu nedenle haşlanmış ürünler daha hızlı kururlar (Mujumdar, 2000).

Kuruma hızına etki eden, fakat kurutulan maddenin kendine özgü nitelikleri dışında kalan diğer faktörler ise optimize edilebilirler.

Kuruma hızı parçacıkların yüzey alanı ile doğru, kalınlıkla ters orantılıdır. Bu nedenle kurutulacak maddeler ne kadar küçükse yüzey alanı o kadar fazla, kalınlığı o kadar az olacağından kuruma hızı olumlu yönde etkilenmektedir. Püskürtülerek kurutma tekniğinde, sıvı ve ezme halindeki maddelerin, ince zerrecikler haline getirildikten sonra birkaç saniyede kurutulabilmesi bu nedenledir.

Kurutulan parçaların iriliğinin, kuruma hızına önemli etkide bulunmasına karşın, meyve ve sebze gibi ürünlerde kurumanın başlangıç aşamasında iri ve daha küçük parçalar halinde doğranmış dokular arasında, kuruma hızı bakımından belirgin bir fark görülmez. Ancak zaman ilerledikçe kuruma hızı parça iriliğine göre önemli

ölçüde değişir. Çünkü özellikle azalan kuruma hızı döneminde, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonu, iri parçalarda zorlaşmakta ve kuruma hızı düşmektedir (Geankoplis, 1993).

Parça iriliğinin kuruma hızına bu önemli etkisi yüzünden, kurutulacak meyve ve sebzelerin küçük parçalar halinde doğranması yararlıdır ancak bu her zaman mümkün değildir. Tüketim alanı bakımından bazı ürünlerin bütün halde kurutulması gerektiği gibi, doğranan veya kıyılan ürünlerde de belli bir irilik beklenir.

Kuruma hızına etki eden en önemli faktörlerden biri de kullanılan sıcak havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Kullanılan sıcak havanın sadece kuru termometre sıcaklığı çoğu kez önemli bir anlam taşımaz. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasında herhangi bir fark olmayan havanın, sıcaklık derecesi ne olursa olsun hiçbir kurutma etkisi yoktur. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı da artar. Bu doğru orantılı etki kurumunun başlangıcında çok belirgin ise de kuruma ilerledikçe yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı aynı oranda artmaz (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Ayrıca yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark sabit kalmak koşulu ile havanın kuru termometre sıcaklığı yükseldiğinde, kurutmanın başlangıç aşamasında kuruma hızında herhangi bir değişme görülmezken ileriki aşamalarda bir artış olur. Kurumunun ileriki aşamalarında kuruma hızını sınırlayıcı faktör, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonudur. Sıcaklık artınca bu difüzyon olayı hızlanmakta ve buna bağlı olarak da kuruma hızı yükselmektedir.

Kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki hava hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında daima durgun bir buhar filmi oluşur. Bu film sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun buharlaşmasında bir hızlanma görülür. İşte hava hızı, bu buhar filmi devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülmektedir. Diğer taraftan hava hızının olumlu etkisi, kurumunun bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Kurumunun

başlangıç aşamalarında hava hızı çok etkiliyse de kurumanın ileriki aşamalarında kuruma hızı artık, alt tabalardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda bir etkisi bulunmamaktadır (Mujumdar, 1995,2000).

2.6. Literatürde Kurutma ve Kurutma Modelleri

Farklı kurutma teknikleriyle gıdaların kurutulması ve kuruma davranışlarının incelenmesi konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Güneşe doğal ortamda üzüm, şeftali, incir, erik ve kayısının (Toğrul ve Pehlivan, 2004), uzun kırmızı biberin (Akpınar ve Biçer, 2008 , Kaoli ve ark., 2007), soğanın (Kumar ve Tiwari, 2007), balık (Jain, 2006.), nane ve reyhanın (Akpınar, 2006), maydanozun (Akpınar ve ark., 2006) kuruma kinetikleri incelenmiş ve kuruma davranışını modelleyen denklemler geliştirilmiştir.

Güneş enerjili kurutucularda , domates (Mutlu ve Ergüneş, 2008 , Sacilik ve ark., 2006), fındık (Ceylan ve Aktaş, 2008), kırmızı biber (Koç ve ark., 2004 , Akpınar ve Biçer, 2008 , Kaoli ve ark. 2007), çekirdeksiz üzüm (Çakmak ve Yıldız, 2009 , Barnwall ve Tiwari, 2008 , Fadhel ve ark., 2005 , Yaldız ve ark., 2001), muz, mango ve manyok (Koua ve ark., 2009), elma (Aktaş ve ark., 2009), mantar (Usub ve ark., 2008), armut (guine ve ark., 2007), çilek (El- Belfagg ve ark., 2007), kayısı(Toğrul ve Pehlivan, 2002), maydanoz (Akpınar ve ark., 2006), hindistan cevizi (Mahonraj ve Chandrasekar, 2008) gibi gıdaların kuruma davranışları incelenmiş ve literatürdeki kuruma modellerinin deneysel veriye uygunluğu araştırılmıştır.

Kurutma teknikleri içinde sıcak hava ile konvektif kurutma literatürde çok yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.Çilek (Doymaz, 2008), kayısı (Toğrul ve Pehlivan, 2003), mantar (Giri ve Prasad, 2007), biber (Doymaz, 2007), armut (Lahsasni ve ark., 2004), havuç, 2004 , Berruti ve ark., 2009), elma (Mengeş ve Ertekin, 2006a), erik (Mengeş ve Ertekin 2006b), patlıcan (Ertekin ve yaldız, 2004), üzüm (Azzous ve ark., 2002),

çekirdeksiz üzüm (Pangavhane ve ark., 1999) ve şeftali (Guine, 2008) bu yöntemle kurutulan gıdalara örnek verilebilir. Kuruma kinetikleri incelenen gıdaların kuruma davranışlarını en iyi ifade eden model denklemi araştırılmıştır.

Son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan mikrodalga ve infrared teknolojisi kuruma süresinin kısalması ile daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlayarak gıda sanayindeki yerini almıştır.

İspanağın (Dadali ve ark., 2008 , Özkan ve ark., 2007), elma ve çileğin (Contreras ve ark., 2008), havucun (Stepieri, 2008), nanenin (Özbek ve Dadali, 2007), patatesin (Reyes ve ark., 2007), balkabağının (Alibaş, 2007), elma püresinin (Wang ve ark., 2007) ve şeftalinin (Wang ve Sheng, 2006) mikrodalga kuruma kinetikleri incelenerek model çalışmaları yapılmıştır.

İnfraredkurutma tekniği ise üzüm (Celma ve ark., 2009), çekirdeksiz üzüm (Çağlar ve ark., 2009), domates (Celma ve ark., 2009), pirinç (Das ve ark., 2009, soğan (Kumar ve ark., 2006 , sharma ve ark., 2005), şeftali (Wang ve sheng, 2006), elma (Toğrul, 2005), ve havuç (Toğrul, 2006) gibi gıdaların kurutulmasında kullanılmış, infrared kuruma davranışları uygun modellerde ifade edilmiştir.

Nemli katıların kurutulmasında zamanla boyutsuz nemin değişiminin tahmin edilmesi için birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modellerin başlıcaları Çizelge 2.1‘ de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kurutma Modelleri

Model No	Model denklemleri	Adı	Referanslar
1	$MR = \exp(-kt)$	Newton	O'Callaghan ve ark.,1971 , Liu ve ark., 1997.
2	$MR = \exp(-kt^n)$	Page	Zhang ve Litchfield 1991 , Agrawal ve Singh 1977
3	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Modifiye Page	Overhults ve ark., 1973. , White ve ark., 1981.
4	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	Westerma ve ark., 1973 , Chhnninman 1984
5	$MR = a \exp(-kt) + c$	Logaritmik	Yagcioglu ve ark. 1999
6	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli	Henderson 1974 , Rahman ve ark., 1998.
7	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$	İki terimli eksponansiyel	Sharaf-Elden ve ark., 1980.
8	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh	Wang & Singh 1978
9	$t = a \ln(MR) + b(\ln(MR))^2$	Thomson	Paulsen & Thomson 1973 , Thomson ve ark., 1968.
10	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	Difüzyon yaklaşımı	Kassem 1998
11	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	Verma	Verma ve ark., 1985.
12	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Modifiye Henderson and Pabis	Karathanos 1999
13	$MR = a \exp(-kt)^n + bt$	Midilli	Midilli ve Küçük, 2003
14	$MR = \exp(-k(t/L^2)^n)$	Modifiye Page Equation -II	Diamante ve Munro 1991

3. GIDA MADDELERİNDE MEYDANA GELEN BÜZÜLME

Gıdaların dehidrasyonu onların saklanması sürecinde gıda dengesini sağlamak için kullanılan en yaygın işlemlerden biridir, materyalin su aktivitesini oldukça düşürdüğünden dolayı mikrobiyolojik aktiviteyi azaltır ve kimyasal-fiziksel değişiklikler minimize edilir. Gıda marketlerinde yüksek kalite ürünlerine olan talep, başlangıçtaki taze ürünün besinsel ve organoleptikal özelliklerin çok yüksek seviyede tutulduğu dehidrate gıdaları gerektirmiştir.

Kurutma süresince gıda materyalinde oluşan en önemli fiziksel değişimlerden biri onun dış hacminde gerçekleşir. Su kaybı ve ısıtma, gıdanın boyutunda küçülmeye ve şeklinde değişikliğe neden olduğundan, gıdaların hücresel yapısında bir zorlamaya sebep olur. Gıda materyallerinin büzülmesi dehidrate ürünlerin kalitesi üzerinde negatif bir etkiye sahiptir. Şekil değişikliği, hacim azalması ve sertliğinin artması tüketici üzerinde negatif etkiye neden olur.

Kurutma süresinde oluşabilecek bir diğer olayda yüzey çatlağıdır. Dengelenmeyen kuvvetlerin oluşması nedeniyle kuruma prosesi boyunca büzülme üniform olmadığı zaman çatlaklar meydana gelir. Gıda materyallerinde çatlak oluşumu birçok yazar tarafından incelenmiştir: Jellede (nişasta-Agar-MCC) (Gogus ve Lamb-1998) soya fasulyesi (Mensah ve ark., 1984), mısır (Fortes ve Okos, 1980) makarna (Akiyama ve Hayakawa, 2000). Bu çatlama olayı birçok yazar tarafından kütle transfer ve ısı denklemi kavramı ile başarıyla modellenmiştir. (Akiyama, Liu ve Hayakawa, 1997 , Akiyama ve Hayakawa, 2000 , Izumi ve Hayakawa, 1995 , Litchfield ve Okos, 1988).

Büzülmenin bir diğer önemli sonucu da kurutulmuş gıdaların dehidrasyon yeteneğindeki azalmadır. Jayaraman ve arkadaşları (1990) karnıbaharın havayla kurutulması çalışmasında bitki dokusunun tamamen dehidrate olmak için uygun olmadığı ve buna oldukça fazla oranda büzülmüş kapillerler nedeniyle kurutulmuş materyalin daralmış ve yoğunlaşmış yapısının neden olduğu sonucuna vardılar . Mcminn ve Magee (1997), değişik işlem sıcaklıklarında patatesin havayla kurutulmasında, değişik büzülme derecesi ile aynı nem içeriğine sahip örnekler

karşılaştırıldığında, en çok büzülmenin olduğu örneklerde daha düşük dehidrasyon kapasitesi elde etmişlerdir.

Birçok yazar, kurutma ve depolama sırasında gıdalarda bazı kimyasal reaksiyonların meydana gelmesini ve bunların kinetiklerini kullanarak daralma ve gözenekliliğin etkisini ifade etmeye çalışmıştır.

Gıda sistemlerinde büzülme nadiren ihmal edilebilir ve dehidrasyona uğrayan materyalde nem içeriği profilleri tahmin edildiğinde büzülmeyi hesaba katmak daha uygundur.

Birçok yazar yeni yaklaşımlar ve metotlar saptayarak hem deneysel hem de modelleme bakışıyla gıda dehidrasyonu işlemine başarıyla işlemişlerdir. Bu benzer çalışma örneklerinden bazılar da Bruin ve Luiben (1980), Chirife (1983), Holdsworth (1971) Jayaraman ve Das Gupta (1992), King (1971)' in çalışmalarıdır.

3.1. Büzülme Mekanizması

Katı ve yarı katı gıda sistemleri, çoğu durumda sulu bir çözelti, büyük miktarlarda su tutan bir matris veya üç boyutlu katı sistem ihtiva ettiği düşünülen yüksek heterojenliğe sahip materyallerdir. Biopolimerler katı matrisin yaygın yapısal elementleridir. Materyalin yapısı ve bileşenlerinin denge halindeki mekanik karakteristikleri, örnek hacmini tayin eder ve materyalin boyut ve şeklini belirler. Materyalden su uzaklaştırıldığı zaman, üründe kırılma, şeklinde değişme, materyalin büzülmesi ve daralmasına neden olan büzülme etkisi yaratan materyalin iç kısmı ve dış kısmı arasında bir basınç dengesizliği oluşur.

3.2. Büzülmeye Etki Eden Faktörler

3.2.1. Uzaklaştırılan Suyun Hacmi

Daha fazla su uzaklaştırılmasıyla daha fazla büzülme baskısı meydana geldiğinden, gıda materyallerinin büzülmesi, uzaklaştırılan suyun hacmiyle artar. Bazı durumlarda, materyalin büzülmesi uzaklaşan suyun hacmine eşit olduğu zaman, mekanik dengeye ulaşılır. Bu durumda, örnek hacmini azalmasına karşın uzaklaştırılan suyun hacmi grafiğe geçirildiğinde doğrusal bir değişim gösterir. Krokida, Maroulis(1997), ve Lozano, Rotstein ve Urbicain (1983) tarafından sunulan havuç kurutma için büzülme verilerinde bütün kurutma işlemleri süresince bu davranış gözlenmiştir. Buna rağmen diğer durumlarda, kurutmanın son aşamalarında uzaklaşan suyun hacmi , örnek hacimdeki azalmadan daha büyüktür. Bu durum kalamar (Rahman ve Potluri 1996) patates ve tatlı patates (Lozano 1983, Wang ve Brennan, 1995) ve elma (Krokida ve Maroulis, 1997 , Lozano, Rotstain, Urbicain, 1980 , Moreira, Figueiredo, Sereno, 2000) kurutulmasında gözlenmiştir. Bu davranış, düşük nem içeriğinde materyalin katı matrisinin hareketindeki azalma ile açıklanabilir.

3.2.2.Katı Matrisin Hareketi (Taşınımı)

Katı matrisin hareketi onun fiziksel durumuyla yakından ilişkilidir. Düşük taşınım, camsı halin tipik elastik davranışına karşılık gelirken, yüksek taşınım, elastik durumun tipik viskoelastik davranışına karşılık gelir. Levi ve Karel (1995) katı matrisin hareketinin (T-Tg) farkına bağlı olan dinamik bir işlem olduğunu buldular , burada T dehidrasyona uğrayan örneğin sıcaklığı, Tg ise camsı geçiş sıcaklığıdır. Benzer olarak birçok yazar, (T-Tg) ile havayla kurutmada meydana gelen büzülme arasında ilişki kurmuştur. (Achanta Okos, Cushman, Kessler, 1997 , Del Valle Cuadros, Aguileral, 1998 , Karathanos, Anglea, Karel, 1993 , Willis, Okos, Componella, 1999). Materyal elastik durumda olduğu zaman, yüksek nem içeriklerinde, büzülme ile nem kaybı tamamen dengededir ve materyalin hacmi nem içeriğiyle doğrusal olarak azalır. Materyal elastiklikten camsı duruma geçmeye

bırakıldığında, düşük nem içeriğinde Tg artar, büzülme derecesi ve oranı önemli ölçüde azalır. Bu davranış, birçok yazar tarafından gözlemlenen, örneğin boyutsuz hacminin değişiminde doğrusallıktan sapmayı açıklayabilir. Birçok çalışmada, konvektif kurutmanın son safhasında, boyutsuz nem içeriğinde değişiklik gözlemlenmiştir. (Lozano 1983 , Ratti, 1994 , Wang ve Brennan,1995 , Achanta, 1997). Kuruma prosesi, elastiklikten camsı duruma faz geçişinin devam ettiği düşük nem içeriği aralığında gerçekleştiği zaman, materyalin sertleşmesi büzülmeyi durdurur ve buna paralel olarak gözenek oluşumu meydana gelir.

3.2.3. Kuruma Hızı

Eğer yüksek hızlı kurutma şartları kullanılmışsa ve materyalde yoğun nem gradienti gözlenmişse, dış yüzeyin düşük nem içeriği, elastiklikten camsı geçişe ve dışta gözenekli bir sert kabuğun veya hacmi sabitleyen kabuğunun oluşumuna sebep olur ve gıdanın hâlâ elastiki olan iç kısmının büzülmesini zorlaştırır.

Jellerin kurutması sırasında bir kabuğun oluşumu, Schrader ve Litchfield (1992) tarafından magnetik rezonans tasarlaması yolu ile deneysel olarak doğrulandı. Wang ve Brennan(1995), patatesin kurutulması sırasında, ışık mikroskopuyla bu kabuğun oluşumunu veya 'sertleşme hali' etkisini kanıtladı. Eğer düşük hızlı kurutma şartları kullanılmışsa, materyalin iç bölgesinden dış bölgesine doğru suyun difüzyonu, yüzeyden buharlaşma ile aynı hızda meydana gelir. Kurutmanın son safhasına kadar muntazam olarak büzülen materyalde keskin nem gradienti oluşmaz. Litchfield ve Okos (1992), tarafından makarna kurutulması sırasında ve Wang ve Brennan (1995) tarafından patatesin kurutulması sırasında bu davranış farkedilmiştir.

Yüksek kurutma hızlarında olsa dahi, kurutma şartları materyalin dış bölgesinde bir faz geçişine izin vermezse, kabuk oluşum etkisi gözlenmez. Willis(1999), makarna kurutulmasında, 100 °C ve %50 rölatif rutubetli hava ile kurutulan örneklerde aynı rölatif nem ve 40 °C de kurutulan örneklere göre daha yüksek büzülme gözlenmiştir. İlk durumda (100 °C de %50 nem altında) makarnanın kurutma sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığından daha büyüktür, ürün elastiki halde olduğu gibi kaldı ve tüm kurutma

işlemi boyunca üniform olarak büzüldü. 2. durumda ise, materyalin yüzeyinde camsı geçiş nedeniyle sertleşme etkisi durumu gözlemlendi, büzülme azaldı, depolama sırasında kırılma ve çatlamaya uğrayan kurumuş materyaldeki kuvvetler arttı.

3.2.4. Diğer Çalışma Şartları

Birçok yazar dehidrasyon süresince, materyallerin hacim değişimine farklı proses şartlarının etkisini çalışmışlardır. Çoğu durumda, böyle analizler tek bir proses değişkeninin etkisi kapsamaktadır: sıcaklık (Mcminn ve Magee 1997), hava hızı (Ratti,1994 , Khraished, Coper ve Magee, 1997) veya havanın rölatif nemi (Ratti, 1994 , Lang ve Sokhonsan, 1993). Maalesef bu çalışmaların sonuçları, büzülme üzerine bu proses şartlarının etkisini açıklamada çoğunlukla açık değildir. Halbuki kurutma sıcaklığının artırılması, bazı durumlarda daha az büzülmeye neden olur. (Del Valle 1998 , Meminn ve Magee,1997 , Wang ve Brennan 1995). Khreinsheh (1997) ve Ratti (1994), havanın hızındaki artışın, dehidrasyona uğrayan materyalin türüne bağlı olarak daha az büzülmeye neden olduğunu buldular. Long ve Sokhonsan (1993), havanın rutubetiyle artacak gibi görünen büzülme üzerine havanın rölatif neminin önemsiz etkisinin olduğunu bulmuştur. Ratti (1994) ise benzer olarak çalışmasında, hava rutubetinin sezilebilir bir etkisi olmadığını buldu. Daha önce belirtildiği gibi, büzülmenin kapsamını ve tipini belirleyen kurutma işleminin başlangıç aşaması boyunca ürünün dış yüzeyindeki kabuk oluşumunun veya kabuk oluşumunun artmasının işlem şartlarına kombine etkisi olduğuna inanılır.

3.3. Konvektif Kurutma Süresince Büzülmenin Modellenmesi

Gıdaların kurutulması, fiziksel özellikleri, yapısı ve kimyasal bileşimlerinde farklı değişimlerden etkilenen bir sistemde eş zamanlı kütle ve enerji taşınımı içeren kompleks bir işlemdir. Bazen büzülme, kurutmanın modellenmesinde ihmal edilebilir olarak düşünülmüştür. Böylece, kurutma modelleri daha kolay çözülebilmektedir. Bununla beraber, gıda sistemlerinde büzülme nadiren ihmal edilebilir. Balaban(1989) gıdalarda eş zamanlı kütle ve ısı transferini tanımlamak için hacim değişiminin göz

önüne alındığı ve alınmadığı iki matematik model kullanıldı. Bu modeller, nem ve sıcaklık gradientlerinin ortalama nem ve sıcaklıkların tahmin edilmesinde önemli farklar gösterdi. Balık kasının kurutulması deney sonuçlarıyla her iki modelden tahmin edilen sonuçlar mukayese edildi. Büzülmeyi göz önüne alan model büzülmesiz modelden daha iyi deneysel veri ile uyum sağladı. Benzer olarak, Park(1998) köpek balığı kasının dehidrasyonunu çalışmıştır. Büzülmeyi ihmal ettiği ve göz önünde tuttuğu iki modeli tekrar kullandı, sonuçlar difüzyon katsayısının değerinde ve Arrhenius tipi denklem ve aktivasyon enerjisi ile ifade edilen sıcaklığa bağlılığında önemli farklar olduğunu gösterdi. Simal, Rossello, Berna ve Mulet (1998) ayrıca büzülmeli, büzülmesiz Fickian modeli kullanarak hesaplanan Deff'nin değişik değerlerini buldu , örnekteki büzülme dikkate alındığında tahmini kurutma eğrileri daha doğru çıkmıştır. Yukarıdaki sonuçlar, büzülmeyi göz önüne alan modellemenin, Deff değerlerinin, nem profillerinin ve nem içeriğinin ortalama değerlerinin daha iyi tahmin edilmesini sağladığını göstermektedir.

Gıda materyallerinin kurutulması sırasında büzülmeyi biçimlendirmek için iki önemli yaklaşım benimsenmiştir. Birincisi nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak deneysel büzülme verisinin ampirik bağıntısını oluşturmak, ikinci yaklaşım ise, daha köklü ve gıda sisteminin fiziksel yorumuna dayanır ve kütle ve hacim yasalarının korunması esasına dayanan geometrik değişiklikleri tahmin etmeye çalışır. Her iki durumda da lineer ve lineer olmayan modellerin sonucu, nem içeriğine karşı büzülme hareketini tanımlamaktır.

4. KIRAZ ve VIŞNE

Kiraz (*Prunus avium L.*) botanikte *Rosales* takımının *Rosacea* familyasının *Prunoideae* alt familyasının *Prunus* cinsine girer. Dünya üzerinde 119 türün bulunduğu kiraz-vişne grubunda kültür kiraz çeşitleri *Prunus avium L.*, kültür vişne çeşitleri ise *Prunus cerasus L.*, kökenlidir (Özbek, 1978). Kiraz, bu türler içerisinde en eski türdür. Davis' in (1972) bildirdiğine göre, kirazın yayılma alanını Orta ve Güney Avrupa, Kafkasya ve Kuzey Batı İran olarak göstermiştir (Özçağırın, 1977 ,) Vişnenin anavatanı ise İstanbul ile Hazar Denizi arasında uzanan Kuzey Anadolu Dağlarıdır. Hatta, vişnenin botanikteki Latince adı, bu günkü Giresun'un eski adı olan Kerasus'dan gelmektedir. Kiraz ve vişnenin Avrupa kıtasına yayılması tohumlarının kuşlar ve hayvanlar tarafından taşınmalarıyla olmuştur. Amerika'ya ise kirazı kolonistler götürmüşlerdir. Çeşitlerin çoğu İngiltere'den ithal edilmiş olup, ilk modern kiraz yetiştiriciliğine Pasifik kıyılarındaki Oregon Eyaletinde başlanmıştır.

Kiraz ve vişne meyveleri özellikle mineral madde açısından oldukça zengindir. Sanayide kullanılan birkaç çeşit dışında üretilen kirazın hemen hepsi taze olarak tüketilmektedir. Vişne ise meyve suyu randımanının (% 70-75) ve toplam asitliğin (% 3) yüksek olması nedeniyle, meyve suyu olarak işlenmeye çok uygundur. Ayrıca üretilen vişne derin dondurma, kurutma, konserve ve reçel şeklinde değerlendirilmekte ve dış ülkelere özellikle dondurulmuş halde ihraç edilmektedir.

4.1 Türkiye ve Dünya'da Kiraz Üretimi

Türkiye'de kiraz ve vişne üretiminde özellikle 1965-1985 yılları arasında hızlı artışlar olmuştur. 1965 yılında 47.000 ton olan kiraz üretimi, 1985 yılında 130.000 tona ulaşarak %76'lık bir artış gerçekleşmiştir. 1965 yılında 24.000 ton olan vişne üretimi ise 1985 yılında 85.000 tona ulaşarak % 245'lük bir artış sağlamıştır. Bu haliyle Türkiye, Dünya da kirazda 6. ve vişnede 5. sırada yer almıştır. Bu hızı yakalayamamakla beraber daha sonraki yıllarda da artışlar olmuş ve 1997'de kiraz üretimi 215.000 tona, vişne üretimi ise 120.000 tona yükselmiştir. (İnt.Kyn.1)

Çizelge 4.1. Yıllara Göre Dünya Kiraz Üretimi, ton (İnt.Kyn.2)

	2002	2003	2004	2005	2006
İran	220,000.00	222,000.00	174,576.00	224,892.00	224,892.00
İtalya	126,000.00	102,000.00	95,169.00	101,295.00	110,910.00
Romanya	66,300.00	98,500.00	50,988.00	117,859.00	104,791.00
Rusya	85,000.00	90,000.00	100,000.00	90,000.00	47,000.00
İspanya	115,182.00	107,975.00	83,467.00	95,726.00	93,900.00
Türkiye	210,000.00	265,000.00	245,000.00	280,000.00	310,254.00
ABD	164,564.00	160,844.00	220,990.00	253,286.00	253,286.00

Yukarıdaki çizelgeden rahatça anlaşıldığı gibi Türkiye dünya kiraz üretiminde lider konumdadır. Türkiye' nin üretim miktarı yıllar geçtikçe hızla artmaktadır. Türkiye' nin ardından gelen en yüksek üretim kapasitesine sahip iki ülke ABD ve İran' dır. ABD' nin üretim miktarının son yıllarda İran' ı geçtiği görülmektedir.

Çizelge 4.2. Yıllara Göre Dünya Kiraz İhracatı, 1000 \$ (İnt.Kyn.2)

	2001	2002	2003	2004	2005
İran	329.58	285.39	307.39	259.89	613.00
İtalya	15,493.00	14,867.00	24,218.00	10,279.00	36,064.00
Romanya	1,352.00	920.00	1,546.00	1,399.00	1,344.00
Rusya	6.00	25.00	16.07	26.79	0.00
İspanya	15,521.00	20,028.00	28,990.00	32,651.00	39,123.00
Türkiye	48,702.00	49,276.00	76,944.00	117,988.00	92,147.00
ABD	152,096.00	142,547.00	171,619.00	178,189.00	217,872.00

Türkiye dünya kiraz ihracatında önemli bir paya sahip olmasına karşılık dış satımda ABD' nin arkasında yer almaktadır. Genel olarak ihracatta ilk üç ülke büyük orana sahip iken, diğer ülkeler de son yıllardaki yatırımları ile ön plana çıkmaya

çalışmaktadırlar. Ülkemizde bugün için en önemli kiraz bölgeleri Kocaeli, Yalova, Kemalpaşa (İzmir), Sultandağı (Afyon), Göller Bölgesi, Ereğli, Akşehir (Konya), Saimbeyli (Adana), Ulukışla (Niğde), Yeşilyurt (Malatya), Tokat-Amasya geçit bölgesi, Karadeniz kıyıları olarak ön plana çıkarken , ülkemizin hemen her bölgesi kiraz yetiştiriciliği için önemli potansiyele sahiptir.

Kirazlar 5-6 yaşında verime geçerler, ancak tam ve ekonomik olarak verime yatmaları 10-12 yıldır. Her ne kadar 100 yıl yaşasalar da ekonomik ömürleri 25-30 yıldır. Vişnenin ekonomik ömrü ise 15-20 yıldır. (İnt.Kyn. 1)

4.2 Türkiye ve Afyon'da Vişne Üretimi ve Pazarlaması

4.2.1 Üretim ve Üretim Trendi

Türkiye'de sert çekirdekli meyvelerin üretim oranı, DİE 2000 yılı verilerine göre tüm meyveler içerisinde 1.557.300 ton üretim ile % 11,6 dır. Taş çekirdekli meyvelerin üretimi içerisinde vişne üretiminin oranı, 106.000 ton üretim ile % 6,8 dir.

Afyon'da ise, aynı yıl tüm meyve üretimleri içerisinde taş çekirdekli meyvelerin üretim oranı % 47 dir. Taş çekirdekli meyvelerin üretiminde vişne üretiminin oranı 26.972 ton ile % 51,7 olup, ilk sırada yer almaktadır.

Türkiye çapındaki vişne üretiminde, ilimizin payı oldukça yüksek olup, %25,5 tir. İlimizde 1991 yılında 17.705 ton olan vişne üretimi 2000 yılına gelindiğinde % 65 oranında artarak, 26.972 tona yükselmiştir. Çizelge 4.3' den görüleceği üzere, AfyonKarahisar ili Türkiye çapındaki vişne üretiminde söz sahibi bir konumdadır.

Çizelge 4.3. Türkiye ve Afyon'da Yıllara Göre Vişne Üretimi (İnt.Kyn. 3)

Yıllar	Ağaç Sayısı (1.000 Adet)		Üretim (Ton)		Ağaç Başına Verim (Kg)		Üretimde Afyon'un Payı (%)
	Türkiye	Afyon	Türkiye	Afyon	Türkiye	Afyon	
1991	3.380	474	96.000	17.705	28,4	37,4	18,45
1992	3.440	505	96.000	19.486	27,9	38,5	20,30
1993	3.480	514	90.000	17.506	25,9	34,1	19,46
1994	3.540	516	90.000	19.792	25,4	38,4	22,00
1995	3.610	537	92.000	17.604	25,5	32,7	19,14
1996	3.700	551	110.000	26.120	29,7	47,4	23,75
1997	3.690	580	120.000	29.446	32,5	50,7	24,54
1998	3.785	595	95.000	16.753	25,1	28,1	17,64
1999	3.960	636	125.000	28.651	31,6	45,1	22,92
2000	4.160	698	106.000	26.972	25,5	38,6	25,45
2001	4.400	671	120.000	26.424	27,2	39,3	22,02
2002	4.650	713	100.000	18.245	21,5	25,6	18,24
2003	-	807	-	25.265	-	31,3	-

4.3. Kiraz ve Vişne Çeşitleri

Yetiştiriciliği önerilen kiraz çeşitleri , Edirne, Turfanda, Early Burlat, Starking Hordy Giant, Durova Di Cesena, Vista, Merton Premier, Merton Bigarreau, Lorian, Berryessa, Noir De Guben, Stella, Van, Bing, Bigarreau Napoleon, Bigarreau Goucher, Noble, Bella Di Pistoia, Karabudur, Merton Marvel, Kara gevrek, 0900 Ziraat, Lambert, Merton Late olarak sayılabilir. Sanayide çok kullanılan kiraz çeşitleri ise Hacıömer Karası, Siyah Ömeroğlu, Beyaz Ömeroğlu, Beyaz Kiraz (Starks Gold) dir.

Yetiştiriciliği önerilen vişne çeşitleri ise Kütahya, Montmorency olup, ikisi de verimlidir. Herhangi bir dölleme problemi yoktur.

5. MATERYAL ve METOD

5.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak Afyonkarahisar'ın Çay ve Sultandağı ilçelerinden toplanan vişne ve kirazlar kullanılmıştır. Vişne ve kirazlar tam olgunluğa geldiklerinde, haziran temmuz aylarında toplanmıştır. Saplarından ayrılan vişne ve kirazlar deneyler süresince nem kaybetmemeleri için buzdolabında +4 °C' de muhafaza edilmiştir.

5.2. Metod

Kurutma deneyleri laboratuvar tipi kurutucuda, 4 farklı sıcaklıkta (45, 55, 65, 75 °C), vişne ve kirazın ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak kurutulması şeklinde gerçekleşti

Vişne ve kirazlar literatürde yaygın olarak kullanılan (Doymaz, 2007 , Pangavhane ve ark., 1999 , Doymaz ve Pala, 2002) 3 farklı kalevi çözeltiliye daldırılmış ve yüzeylerinin kurulandıktan sonra kurutulmuştur. Ön işlem olarak kullanılan çözeltiler,

1. ön işlem: %2 Etil Oleat %2 K₂CO₃ %1 Sitrik asit
2. ön işlem: %2 Etil Oleat %5 K₂CO₃
3. ön işlem: %2 Etil Oleat %5 NaOH

Sabit sıcaklıkta yapılan kurutma işlemlerinde 60 dakikalık periyotlarda örneklerin çap, hacim ve kütle ölçümleri yapılmıştır. Çap, 0.01 mm hassasiyetli dijital bir kumpas yardımıyla, hacim, bir mezür içinde su ile yer değiştiren hacmin 0.1 ml hassasiyette ölçülmesiyle, kütle 0.0001 gr hassasiyetli terazide tartılarak belirlenmiştir. Daha sonra kütle değerleri hacme bölünerek yoğunluk değerlerine geçilmiştir.

Kurutma işlemleri kütlede değişim görülme-yinceye kadar devam edilmiştir. Kurutma deneyleri 3 paralel, çap ölçümleri ise 2 paralel halinde yürütülmüştür. Hesaplamalarda ölçümlerin ortalama değerleri kullanılmıştır.

Dene-ylerde kullanılan vişne ve kirazın başlangıç nem içerikleri 80 °C' lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar (24 saat) bekletilmesi ile belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan vişne ve kirazın başlangıç brix, kül ve toplam asitliği 3 paralelli olarak belirlenmiş sonra aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Elde edilen kuruma verisinin literatürde en yaygın kullanılan 5 kurutma modeline uygunluğu Statistica for Windows paket programı kullanılarak araştırıldı. Model katsayılarının istatistiksel olarak anlamlılığı ($p < 0.05$) t-test ile, ölçüm değerleri ile uygunluğu R^2 ve χ^2 kullanılarak belirlendi.

Çapta, hacimde ve yoğunlukta meydana gelen değişimler 6 farklı büzülme modeliyle incelendi. Modelden hesaplanan değerlerin deneysel veri ile uygunluğu R^2 ve χ^2 kullanılarak belirlendi. Çizelge 5.1 de kuruma ve büzülmede kullanılan modeller verilmiştir.

Kurutulan vişne ve kirazların rehidrasyon yeteneklerini incelemek amacıyla, meyveler distile su kullanılarak oda sıcaklığında rehidre edildi. Rehidrasyon sırasında kütle, çap ölçümleri yanı sıra çözeltinin brix değeri de periyodik olarak ölçüldü.

Çizelge 5.1. Kullanılan kuruma ve büzülme modelleri

Kurutma Modelleri		
Adı	Model	Referans
Newton	$MR=\exp(-k.t)$	O'Callaghan ve ark., 1971 ,Liu ve ark., 1997
Page	$MR=\exp(-k.t^n)$	Zhang ve Litchfield 1991 , Agrawal ve Singh 1977
Henderson	$MR=a.\exp(-k.t)$	Westerman ve ark., 1973 , Chhninman 1984
Logaritmik	$MR=a.\exp(-k.t)+c$	Yagcıoglu ve ark., 1999
Midilli	$MR=a.\exp(-k.t)^n+c.t$	Midilli ve Küçük, 2003
Büzülme Modelleri		
Model no	Model	Referans
1	$D/Do=1-a.(M-Mo)$	Rahman, 1995
2	$D/Do=a+b.(M/Mo)$	Ratti, 1994
3	$D/Do= a.\exp(b.M/Mo)$	Mayor ve Sereno,2004
4	$D/Do=1/(a+b.\exp(M))$	Correa ve ark., 2004
5	$D/Do=a.\ln(M)+b$	Hatamipour ve Mowla,2002
6	$D/Do=(M+a)/(Mo+a)$	Kilpatrick ve ark., 1955

6. BULGULAR

Vişne ve kirazın başlangıçtaki nem, brix ve kül miktarı değerleri Çizelge 6.1’de, paralelli yürütülen deneysel çalışmada, çap, hacim ve nem ölçümlerindeki gözlenen % rölatif sapmalar ise Çizelge 6.2 ’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1.Vişne ve Kirazın başlangıçtaki nem, briks, kül ve toplam asitlik değerleri.

	Nem (%), yaş temel	Briks (%)	Kül Temel (%)	Titrasyon Asitliği (%)
Vişne	78,48	16,2	0,980248921	0,2089
Kiraz	76,93	18,2	0,992342334	0,0364

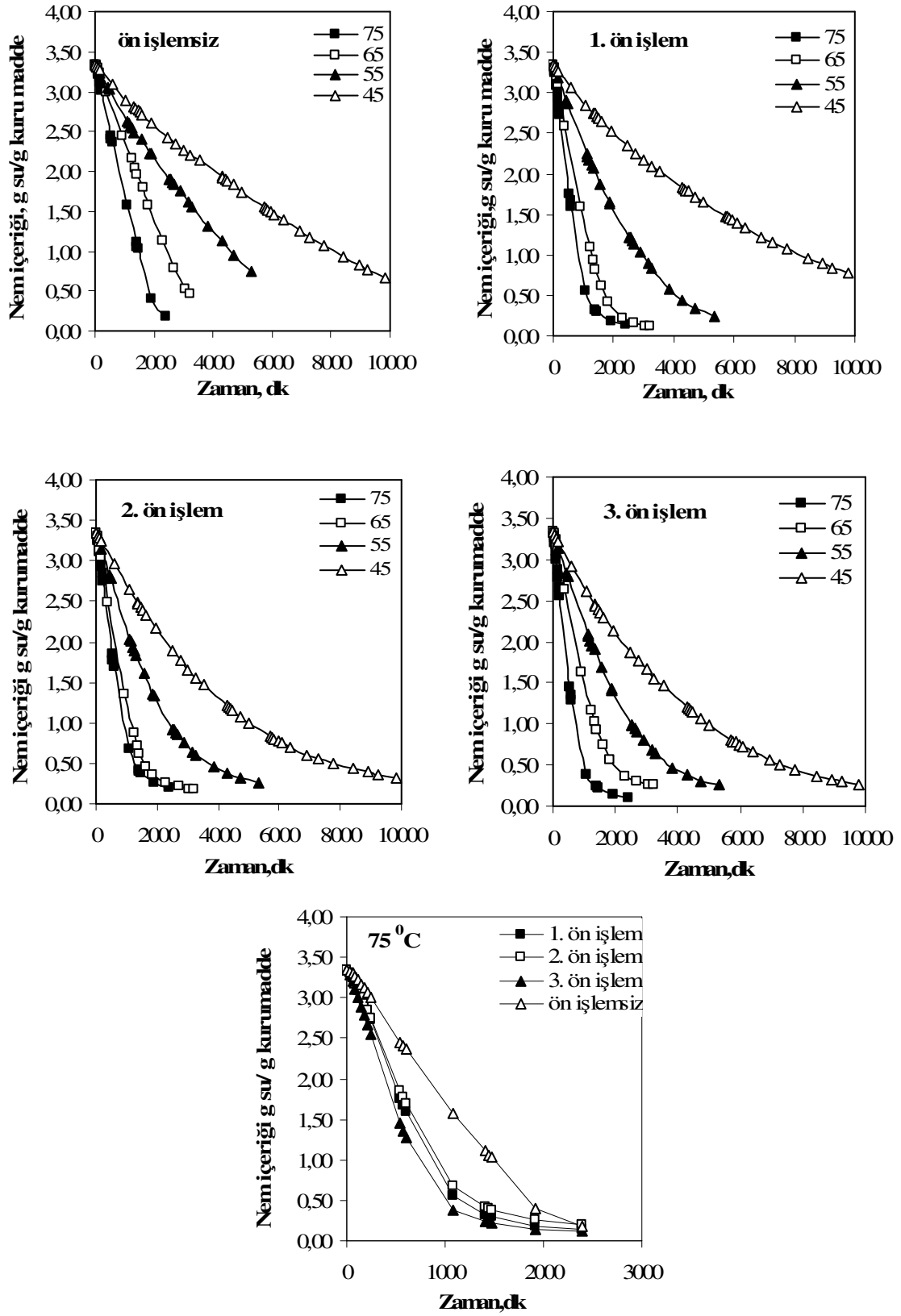
Çizelge 6.2. Vişne ve kirazın çap,hacim ve nem değerlerindeki rölatif sapmaları

Kiraz	Ön işlemsiz			1. Ön işlem			2. Ön işlem			3. Ön işlem		
	Çap	Hacim	Nem	Çap	Hacim	Nem	Çap	Hacim	Nem	Çap	Hacim	Nem
75 °C	0,4034	0,8951	3,3073	1,3844	1,45653	3,5632	1,144	1,2725	2,02793	1,4955	1,4173	3,00919
65 °C	1,6214	3,9893	3,9176	1,1246	3,2933	3,031	1,2807	1,9557	0,62499	1,7632	2,0799	2,22605
55 °C	1,5261	1,4895	4,4483	1,2798	3,34512	3,7359	0,6226	1,8879	3,9518	0,8566	1,3993	4,53701
45 °C	1,7409	3,3778	4,9374	2,9935	3,02132	4,426	1,3633	3,9621	4,2895	0,8621	2,4249	2,47957
Vişne	Ön işlemsiz			1. Ön işlem			2. Ön işlem			3. Ön işlem		
Sıcaklık	Çap	Hacim	Nem	Çap	Hacim	Nem	Çap	Hacim	Nem	Çap	Hacim	Nem
75 °C	1,3136	2,6651	3,078	1,8126	2,31276	4,4156	1,5742	1,7037	2,39136	2,0697	1,8729	3,62502
65 °C	1,6503	2,5852	2,0934	0,9054	2,12825	3,2613	0,9589	0,7582	3,35534	0,951	1,2097	3,42534
55 °C	1,0498	2,0681	3,7539	1,7363	2,18626	2,9598	0,4416	2,9329	2,42803	1,8655	2,0381	2,66246
45 °C	0,4394	1,5019	1,7448	1,7811	2,48886	3,6092	1,6787	2,9353	6,65748	1,8381	2,6231	2,70349

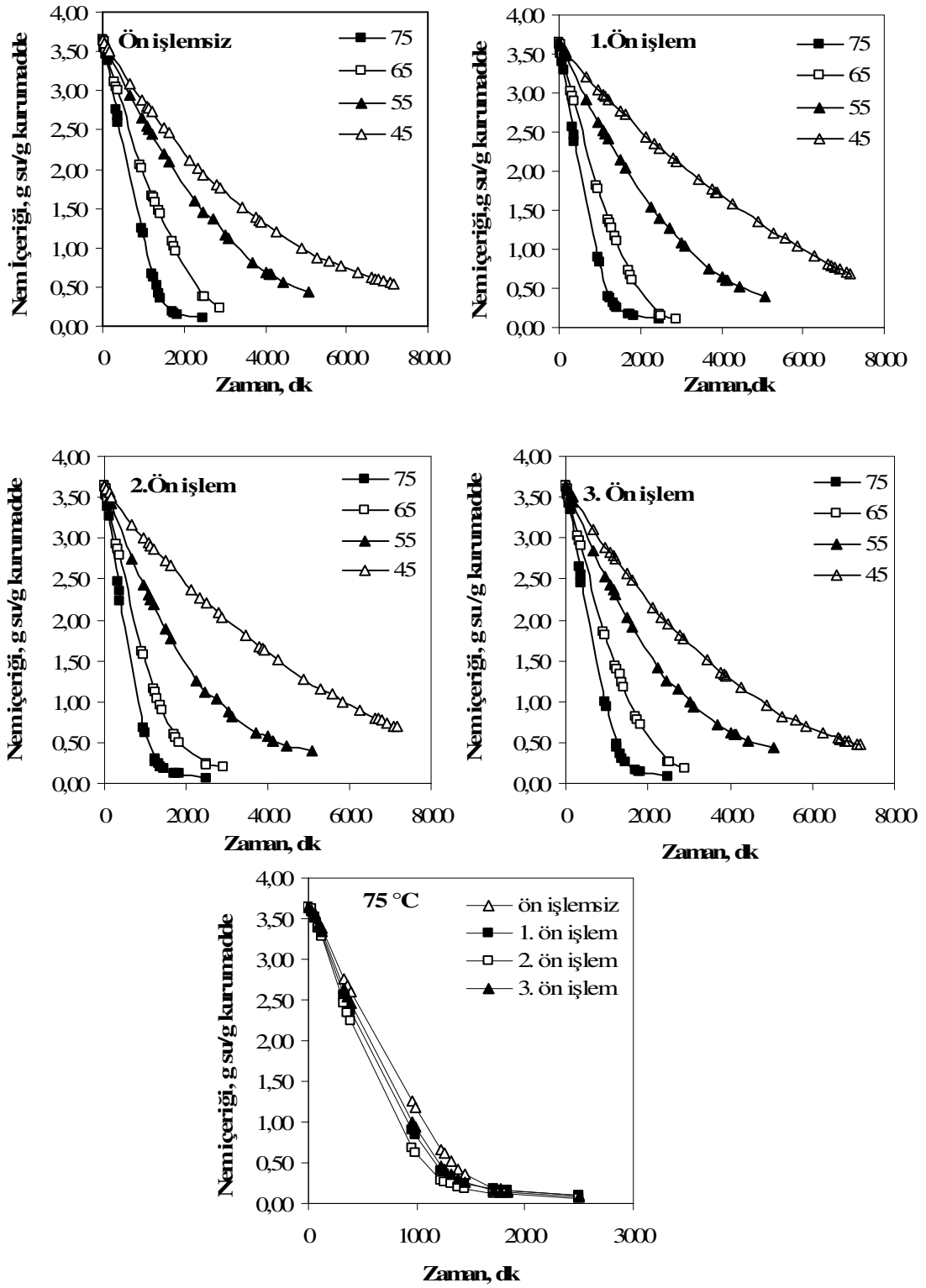
Çizelge 6.2’ den görüldüğü üzere paralelli yürütülen deneylerde, ölçümlerin rölatif sapması çok düşük çıkmaktadır. Bu sayede deneysel hataların bertaraf edilmesi için ölçümlerin ortalamaları alınmıştır.

6.1. Vişne ve Kirazın Kurutulması

Kurutma deneylerinde elde edilen kütle ölçümleri gr su/ gr kuru madde olarak nem içeriği değerine dönüştürüldükten sonra deneysel veri elde edildi. Nem içeriği kurutmaya başlarkenki (t=0 anındaki) değerine bölünerek boyutsuz hale getirildi. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de farklı ön işlem uygulanan kiraz ve vişnenin zamanla nem içeriklerindeki değişim görülmektedir.



Şekil 6.1. Kirazın kuruması sırasında zamanla nem içeriğindeki değişime sıcaklığın ve ön işlemin etkisi



Şekil 6.2. Vişnenin kuruması sırasında zamanla nem içeriğindeki değişime sıcaklığın ve ön işlemin etkisi

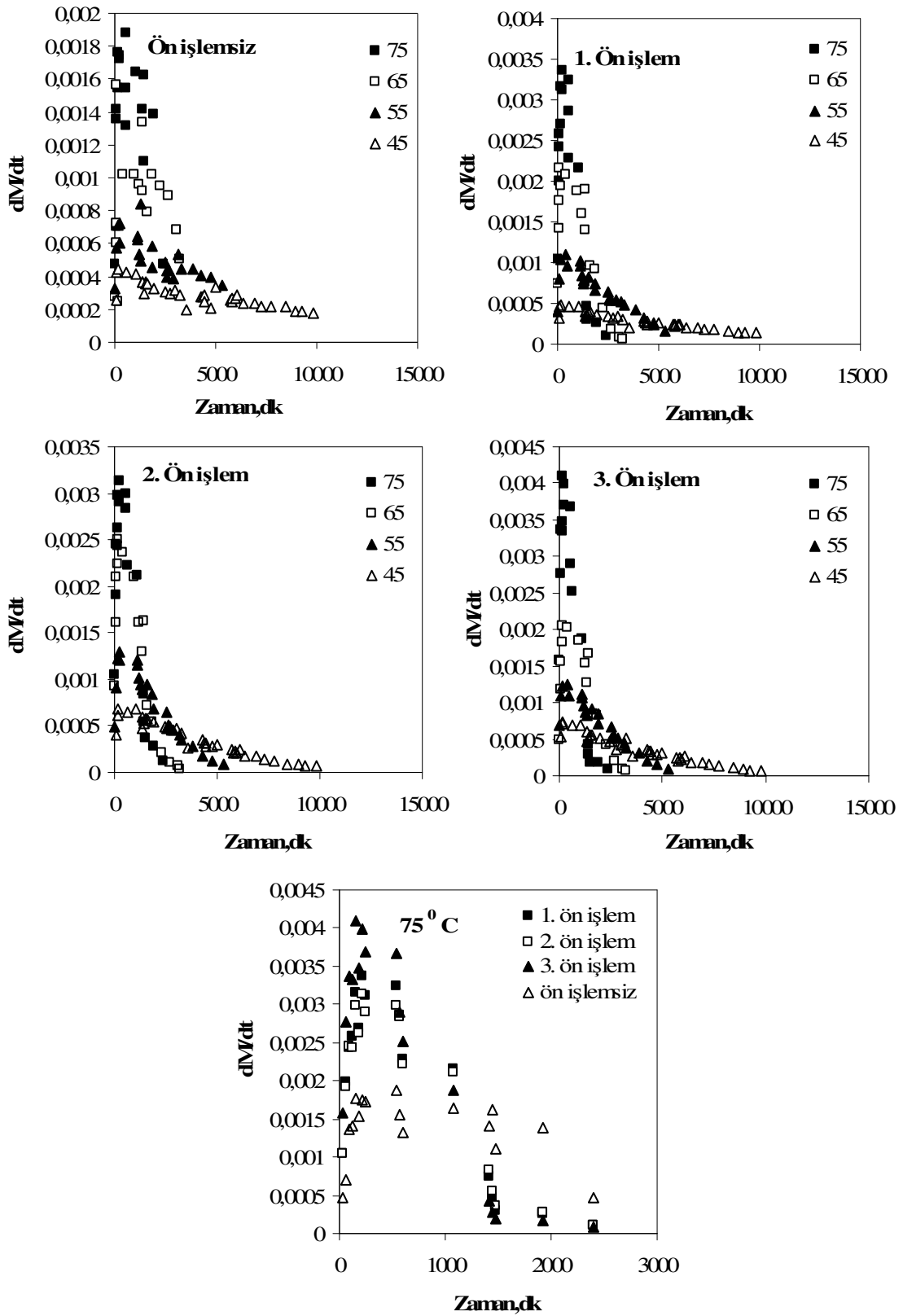
Şekillerden görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça vişne ve kirazlar daha hızlı nem kaybetmektedir. Sıcaklığın etkisinin tüm ön işlemlerde aynı olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda suyun buhar fazına geçmesi ve ortamdan uzaklaşması daha hızlı gerçekleştiğinden sıcaklık arttıkça kuruma hızı artar ve nem kaybı daha hızlı bir şekilde gerçekleşir.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de 75 °C' de sabit sıcaklıkta ön işlemlerin mukayesesi incelendiğinde 3. ön işlemin uygulandığı kirazların ve 2. ön işlemin uygulandığı vişnelerin daha hızlı nem kaybettiği görülmektedir.

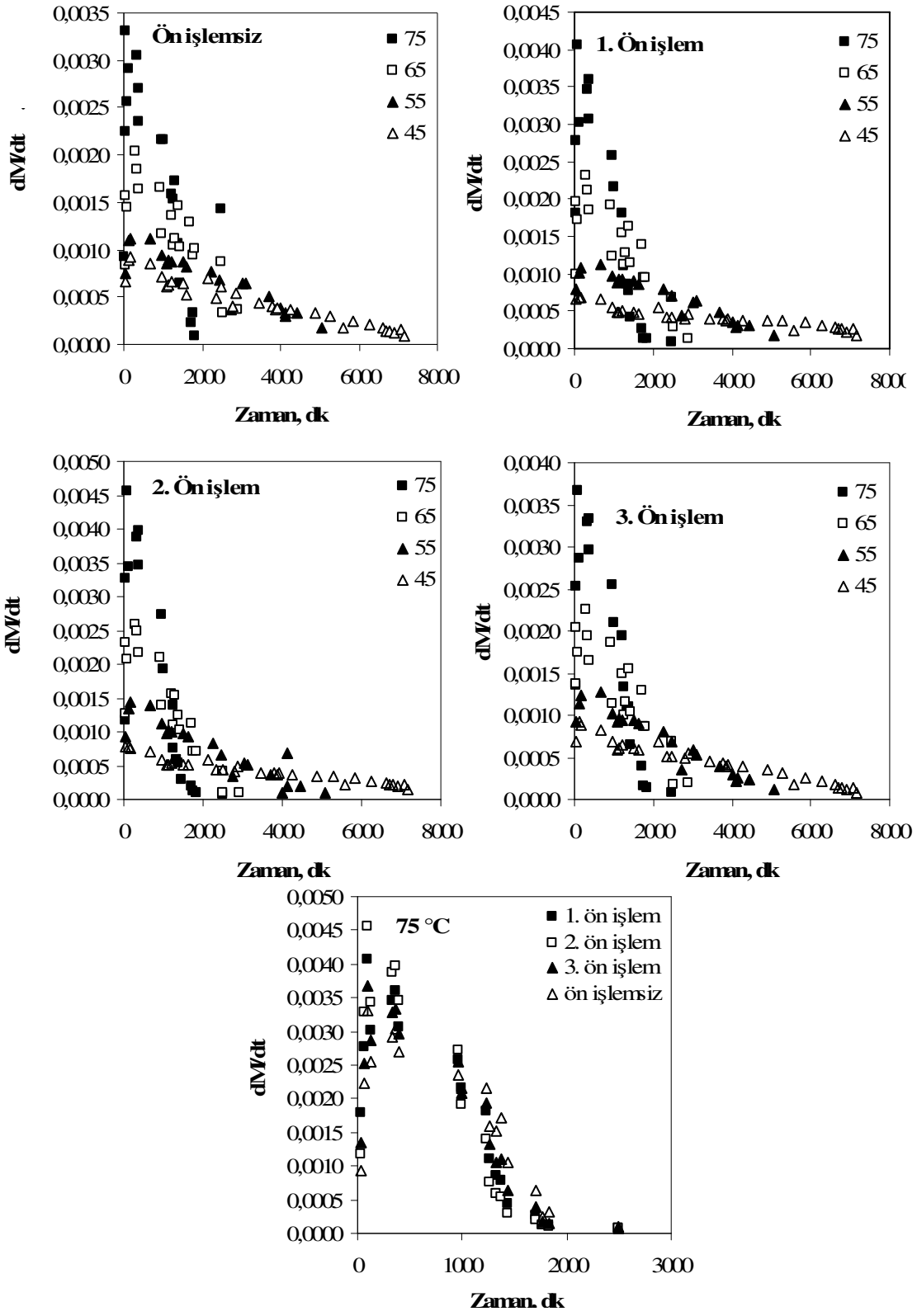
Şekil 6.1 ve 6.2 nin zamana göre nümerik diferansiyelinin alınmasıyla kuruma hızı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu kuruma hızlarının zamanla değişimi kiraz için şekil 6.3 te vişne için şekil 6.4 te görülmektedir.

Şekil 6.3 ve 6.4' ten görüldüğü üzere yüksek sıcaklıklarda daha yüksek kuruma hızı elde edilirken sıcaklık düştükçe kuruma hızı da düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda suyun buhar fazına geçmesi ve ortamdan uzaklaşması daha hızlı gerçekleştiğinden sıcaklık arttıkça kuruma hızı artar. Ayrıca vişne ve kirazların tüm sıcaklıklarda kuruma hızı zamanla azalma göstermektedir. Bu da kurumanın tümüyle azalan kuruma hızı döneminde gerçekleştiğinin göstergesidir. Azalan kuruma hızı döneminde gerçekleşen kuruma olayında nem, yüzeye katı içi difüzyon kontrolünde taşınmaktadır. Bu nedenle difüzyon katsayısı nem transferinin bir ölçüsü olarak ele alınmaktadır.

Elde edilen bu sonuç literatürle uyum halindedir. Çoğu meyve ve sebze azalan kuruma hızı döneminde kurumaktadır (Doymaz, 2007 , Koyuncu ve ark., 2007 , Toğrul ve Pehlivan, 2002,2003,2004 , Çağlar ve ark., 2009).



Şekil 6.3. Kirazın kuruma hızına sıcaklık ve ön işlemin etkisi



Şekil 6.4 . Vişnenin kuruma hızına sıcaklık ve ön işlemin etkisi

6.2. Kurutmanın Modellenmesi

Literatürde yer alan ve Çizelge 5.1' de verilen kurutma modelleri kullanılarak vişne ve kirazın zamanla nem içeriğindeki değişimi en iyi ifade eden model denklemleri araştırıldı. Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4 te sırasıyla kiraz ve vişne için, model katsayıları, modellerin anlamlılığını gösteren t testi sonuçları ve modellerin ölçüm değerleriyle uyumunu gösteren R^2 ve χ^2 değerleri verilmiştir. Çizelgede R^2 si yıldızla verilen modellerin katsayıları istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.($p>0.05$)

Çalışılan her bir sıcaklıkta anlamlı katsayılara sahip modeller içerisinde en yüksek R^2 ve en düşük χ^2 ye sahip modelin seçilmesiyle deneysel veriyi en iyi açıklayan model elde edilmiştir. Çizelge 6.3'den görüldüğü üzere kirazın ön işlemsiz, 1. ve 2. ön işlem uygulanarak kurutulmasında Henderson ve Pabis modeli, 3. ön işlem uygulanarak kurutulmasında ise Newton Modeli, her bir sıcaklıkta istatistiksel anlamlı ve kuruma olayını en iyi açıklayan modellerdir.

Çizelge 6.4'den görüldüğü üzere vişnenin ön işlemsiz, 1. ve 3. ön işlem uygulanarak kurutulmasında logaritmik modelin, 2. ön işlem uygulanarak kurutulmasında ise Henderson ve Pabis modelinin çalışılan şartlarda kuruma olayını en iyi açıklayan modeller olduğu görülmektedir. Vişne kurutulmasının ön işlem uygulamanın etkisinin incelendiği başka bir çalışmada da logaritmik modelin uygun olduğu bulunmuştur (Doymaz, 2007).

Çizelge 6.3. Kirazın Kurumasının Modellenmesi

	Ön işlemsiz					1. ön işlem					2. ön işlem					3. ön işlem					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
75 °C	a		1,0641	-6,0522	1,0000			1,0797	-5,2758	2,3572			1,0715	-6,6652	1,0620			1,0734	1,1016	2,5768	
	k	0,0007	0,0000	0,0008	-0,0001	0,8087	0,0013	0,0003	0,0014	-0,0001	-0,2957	0,0012	0,0002	0,0013	-0,0001	-0,0093	0,0015	0,0003	0,0017	0,0015	-0,2957
	n		1,4363			0,8983		1,1970			-0,2957		1,2165		-0,1319			1,2467			-0,2957
	c				7,0277	0,0002				6,1713	0,0245				7,5622	0,0000				-0,0365	0,0250
	R ²	0,9656	*0,9977	0,9797	0,9760	*0,2361	0,9769	0,9896	0,9890	0,8703	*0,8854	0,9799	0,9881	0,9905	0,8809	*0,9919	0,9833	*0,9981	0,9924	*0,9933	*0,8458
	χ ²	0,0035	0,0002	0,0021	0,0025	0,4597	0,0033	0,0015	0,0016	0,0183	594,95	0,0027	0,0016	0,0013	0,0013	0,0011	0,0024	0,0003	0,0011	0,0010	620,2
65 °C	a		1,0407	1,5167	1,0000			1,0494	1,1108	2,7073			1,0495	1,0544	0,8787			1,0453	1,0617	0,3057	
	k	0,0004	0,0000	0,0005	0,0003	0,8087	0,0009	0,0005	0,0010	0,0008	-0,2211	0,0010	0,0005	0,0011	0,0011	0,0001	0,0009	0,0004	0,0009	0,0009	0,8138
	n		1,5082			0,8983		1,0876			-0,2211		1,1182		0,0001			1,0787			0,9033
	c				-0,4979	0,0002				-0,0692	0,0343				-0,0060	-0,0003				-0,0191	0,0001
	R ²	0,9679	*0,9976	0,9738	0,9935	*0,2449	0,9889	*0,9944	0,9934	0,9957	*0,8887	0,9903	0,9957	0,9945	*0,9946	*0,8443	0,9915	0,9908	0,9957	*0,9959	*0,4489
	χ ²	0,0030	0,0002	0,0024	0,0006	0,3884	0,0017	0,0009	0,0010	0,0007	3074,2	0,0015	0,0007	0,0008	0,0008	0,0242	0,0012	0,0013	0,0006	0,0006	0,3568
55 °C	a		1,0267	-1,0424	1,0000			1,0317	-1,4919	1,0143			1,0037	1,0187	0,9680			1,0297	1,0714	0,3057	
	k	0,0002	0,0001	0,0002	-0,0001	0,8093	0,0004	0,0004	0,0004	-0,0001	0,0278	0,0005	0,0006	0,0005	0,0005	-0,0030	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,8138
	n		1,1470			0,8990		0,9874			0,0125		0,9636		0,0713			0,9855			0,9033
	c				1,9525	0,0002				2,3307	0,0000				-0,0160	-0,0005				-0,0509	0,0001
	R ²	0,9907	*0,9971	0,9918	0,9476	*0,4573	0,9917	0,9905	0,9941	0,8892	0,9992	0,9943	0,9934	0,9946	*0,9950	*0,9930	0,9972	0,9840	0,9964	0,9980	*0,6825
	χ ²	0,0005	0,0001	0,0004	0,0026	0,2911	0,0007	0,0008	0,0005	0,0094	0,0001	0,0005	0,0006	0,0005	0,0005	0,0006	0,0005	0,0015	0,0003	0,0002	0,2592
45 °C	a		1,0171	0,0028	1,0000			1,0036	0,0028	0,9981			1,0314	0,0149	0,9966			0,0155	1,0456	0,3032	
	k	0,0001	0,0003	0,0001	-0,0005	0,8138	0,0001	0,0004	0,0001	-0,0005	-0,0011	0,0002	0,0005	0,0002	-0,0003	0,0137	0,0002	0,0003	-0,0003	0,0002	0,8146
	n		0,8997			0,9033		0,8606			-0,1281		0,9132		0,0132			0,9558			0,9035
	c				0,0036	0,0001				0,0037	-3,2E-06				0,0153	-1,2E-05				-0,0179	4,4E-05
	R ²	1,0000	*0,9800	0,9929	*0,5680	*0,4981	0,9977	0,9717	0,9994	*0,5029	0,9998	0,9984	0,9921	0,9989	*0,6006	*0,8379	0,9982	0,9734	*0,5986	0,9988	*0,7245
	χ ²	0,0005	0,0011	0,0004	0,3997	0,2653	0,0001	0,0015	0,0000	0,3798	0,0000	0,0001	0,0007	0,0001	0,2590	0,0079	0,0002	0,0022	0,2658	0,0001	0,2306

Model 1: Newton , Model 2: Page , Model 3: Henderson ve Pabis , Model 4: Logaritmik , Model 5: Midilli

Çizelge 6.4. Vişnenin Kurumasının Modellenmesi

	Ön işlemsiz					1. ön işlem					2. ön işlem					3. ön işlem					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
75 °C	a			1,0715	1,2118	1,0510			1,0672	1,1361	1,0533			1,0734	1,1299	1,0603			1,0721	1,1663	1,0550
	k	0,0012	0,0001	0,0013	0,0010	-0,0367	0,0015	0,0003	0,0016	0,0013	-0,0506	0,0016	0,0002	0,0017	0,0014	-0,0118	0,0014	0,0002	0,0015	0,0012	-0,0228
	n		1,4134			-0,0301			1,2321		-0,0277			1,2812		-0,1333			1,2465		-0,0571
	c				-0,1638	-4,97E-05				-0,0867	-2,88E-05				-0,0737	-2,6E-05				-0,1152	-3,76E-05
	R ²	0,9762	*0,9981	0,9841	0,9923	*0,9910	0,9821	0,9895	0,9884	0,9926	*0,9915	0,9820	0,9899	0,9890	0,9930	*0,9919	0,9790	0,9845	0,9865	0,9925	*0,9913
	χ ² x10	3,2895	0,2614	2,1942	1,0690	1,2417	2,5463	1,4943	1,6480	1,0505	1,2054	2,6430	1,4856	1,6154	1,0284	1,1912	2,9996	2,2108	1,9370	1,0687	1,2476
65 °C	a			1,0388	-4,9353	1,0152			1,0461	1,2313	1,0249			1,0421	1,1107	1,0319			1,0379	1,2119	1,0197
	k	0,0007	0,0004	0,0007	-0,0001	-0,0041	0,0008	0,0005	0,0009	0,0006	0,0263	0,0009	0,0004	0,0010	0,0008	-0,0322	0,0008	0,0003	0,0008	0,0006	-0,1341
	n		1,0905			-0,1305			1,0718		0,0267			1,1184		-0,0281			1,1113		-0,0051
	c				5,8285	-6,24E-05				-0,2028	-5,06E-05				-0,0807	-2,0E-05				-0,1939	-4,18E-05
	R ²	0,9847	*0,9919	0,9738	0,9430	*0,9992	0,9839	0,9837	0,9880	0,9979	*0,9976	0,9918	*0,9981	0,9950	0,9974	*0,9970	0,9889	0,9818	0,9919	0,9986	*0,9983
	χ ² x10	1,4124	0,7457	1,0871	5,2777	0,0789	1,7599	1,7731	1,3098	0,2337	0,2669	0,9038	0,2056	0,5532	0,2937	0,3331	1,1250	1,8470	0,8291	0,1400	0,1699
55 °C	a			1,0332	1,1930	1,0105			1,0369	1,1851	0,9203			1,0199	1,0396	1,0164			1,0237	1,0769	1,0152
	k	0,0004	0,0003	0,0004	0,0003	0,0210	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	-0,0043	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0209	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0108
	n		1,0151			0,0152			0,9761		-0,0003			0,9859		0,0217			0,9899		0,0367
	c				-0,1836	-2,01E-05				-0,1720	-1,87E-04				-0,0241	-3,05E-06				-0,0626	-7,86E-06
	R ²	0,9930	0,9713	0,9951	0,9994	*0,9993	0,9922	0,9795	0,9947	0,9991	*0,9618	0,9979	*0,9971	0,9987	*0,9989	*0,9989	0,9941	0,9961	0,9980	0,9989	*0,9988
	χ ² x10	0,5776	2,3692	0,4036	0,0490	0,0585	0,6692	1,7622	0,4544	0,0754	3,2854	0,1854	0,2561	0,1127	0,0941	0,0988	0,5070	0,3324	0,1738	0,0906	0,0999
45 °C	a			1,0236	1,0541	1,0070			1,0235	1,3759	1,0071			1,0151	1,0031	0,9966			1,0235	1,1173	1,0074
	k	0,0003	0,0005	0,0003	0,0002	0,3184	0,0002	0,0004	0,0002	0,0001	0,3181	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0137	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0007
	n		0,9139			0,0010			0,9000		0,0009			1,0909		0,0132			0,9702		0,3231
	c				-0,0487	4,46E-05				-0,3814	5,79E-05				0,0293	-1,21E-05				-0,1113	-8,36E-06
	R ²	0,9986	0,9836	0,9989	0,9998	*0,6918	0,9915	0,9653	0,9931	0,9998	*0,4839	0,9955	*0,9990	0,9970	*0,9949	*0,9999	0,9959	0,9934	0,9972	0,9996	*0,9995
	χ ² x10	0,1069	1,2812	0,0868	0,0175	24,0209	0,5890	2,4139	0,4807	0,0138	35,8513	0,3129	0,0682	0,2062	0,3527	0,0079	0,3413	0,5402	0,2323	0,0349	0,0423

Model 1: newton , Model 2: Page , Model 3: Henderson ve Pabis , Model 4: Logaritmik , Model 5: Midilli

6.3 Kuruma Sırasında Büzülmenin İncelenmesi

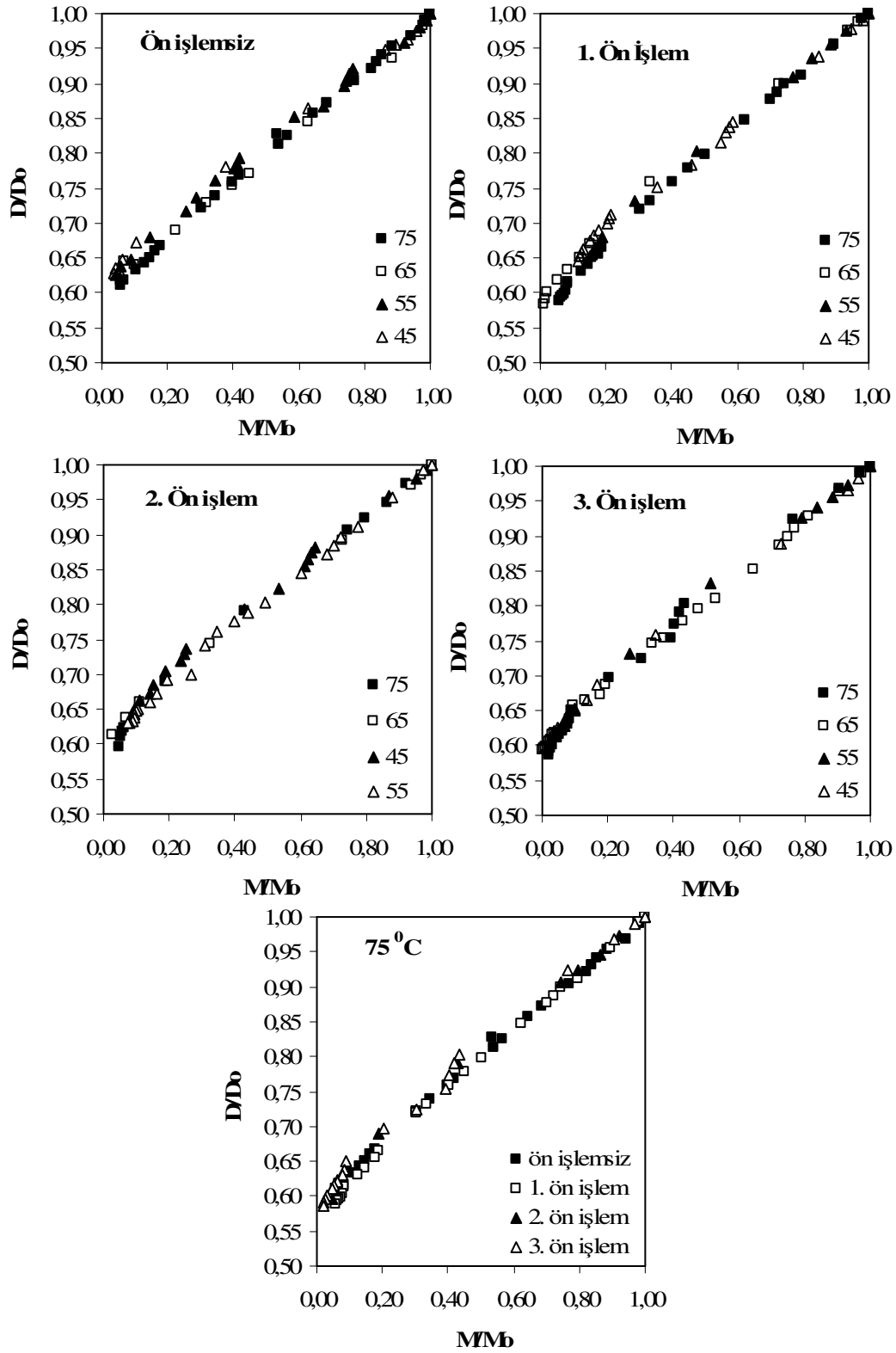
Kuruma sırasında periyodik yapılan çap ve hacim ölçümleri ile kütle hacme bölünmesiyle elde edilen yoğunluk değerleri, $t=0$ anındaki değerlerine bölünerek boyutsuz hale getirildi.

Şekil 6.5, 6.6 ve 6.7 'de sırasıyla kirazın kuruması sırasında, şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 da ise vişnenin kuruması sırasında, meyvelerin çapında, hacminde ve yoğunluğunda meydana gelen değişimler görülmektedir.

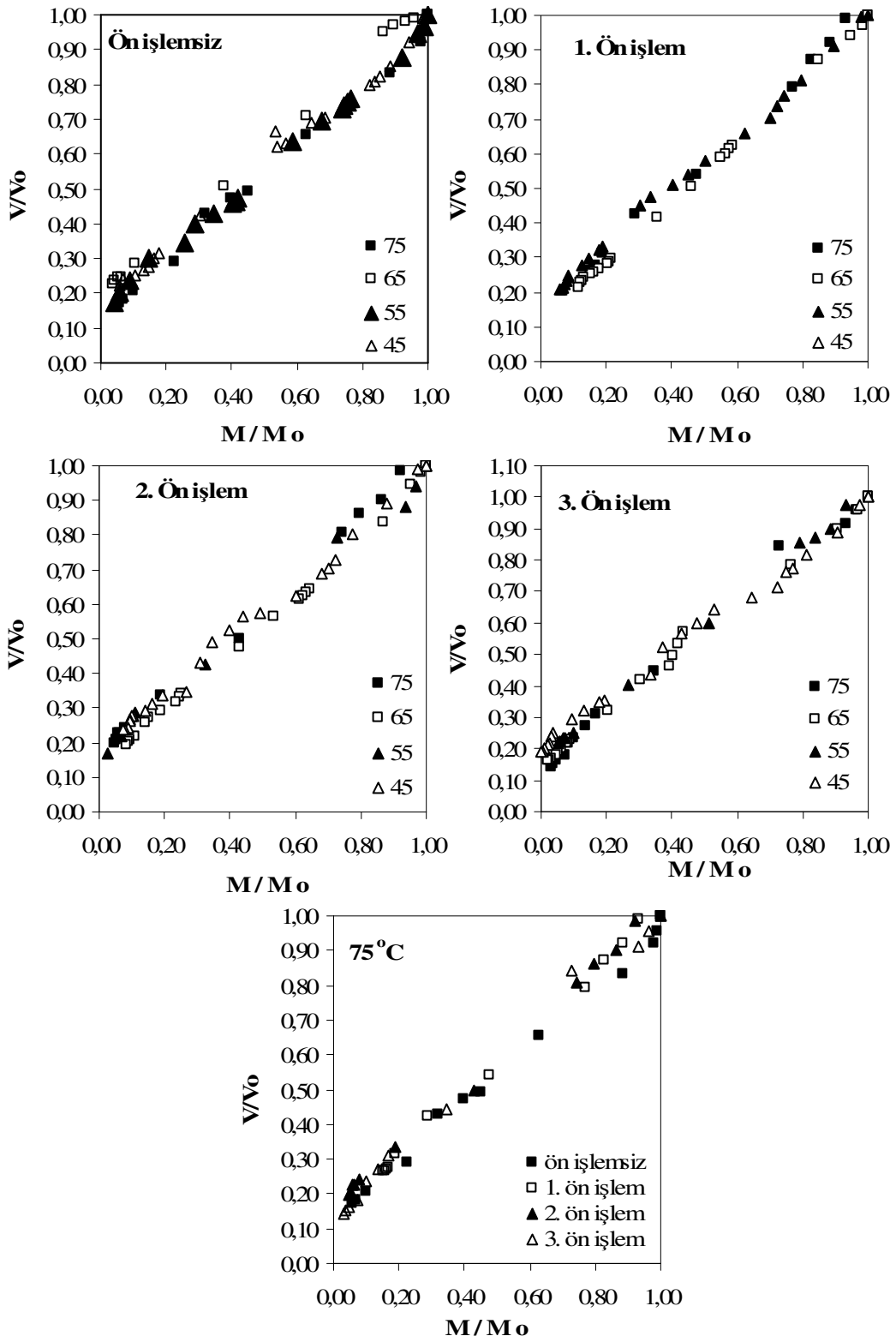
Genel olarak bütün ön işlemlerde kuruma sırasında çapta meydana gelen değişim % 40 oranında, hacimde meydana gelen değişim ise % 80 - % 85 oranında gerçekleşmiştir. Hacimsel büzülmenin çok daha fazla olduğu söylenebilir. Kuruma sırasında gerçekleşen kütle kaybı hacimsel azalmadan daha düşük olduğu için zamanla meyvelerin yoğunluğunda artış meydana gelmektedir.

Çap, yoğunluk ve hacimde meydana gelen büzülme boyutsuz nem oranı ile $y=a+bx$ şeklinde doğrusal olarak değişmektedir. Bu, kiraz ve vişnede meydana gelen büzülmenin uzaklaşan suyun hacmine eşit olduğunu yani mekanik dengeye ulaşıldığını gösterir. Aynı zamanda kurutulan madde elastik yapıda olduğu için, yüksek nem içeriklerinde, büzülme ile nem kaybı tamamen dengededir ve hacim nem içeriğiyle doğrusal olarak azalır.

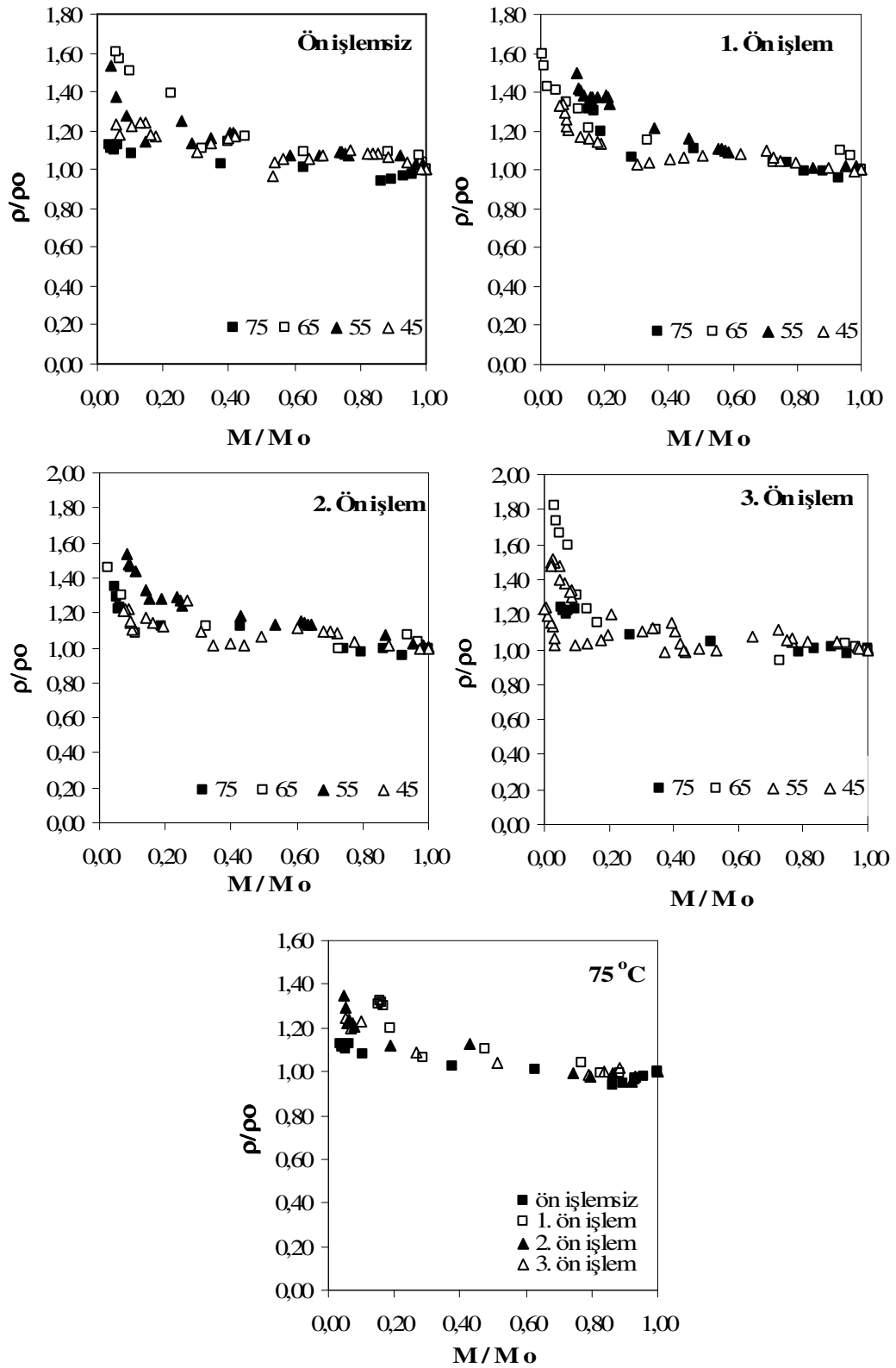
Gerçekleşen kurutma işlemlerinde çapta ve hacimde sıcaklık ile meydana gelen değişimi daha iyi ortaya koyabilmek ve ön işlemler arasında bir seçim yapabilmek için, M/M_0 ve D/D_0 arasında lineer regresyon yapılmış ve $y=a+bx$ şeklinde bir ifade türetilmiştir. Daha sonra her bir sıcaklık için lineer denklemin sabitleri belirlenmiş ve sıcaklıkla değişimlerini daha iyi ortaya koyabilmek için grafiğe geçirilmiştir.



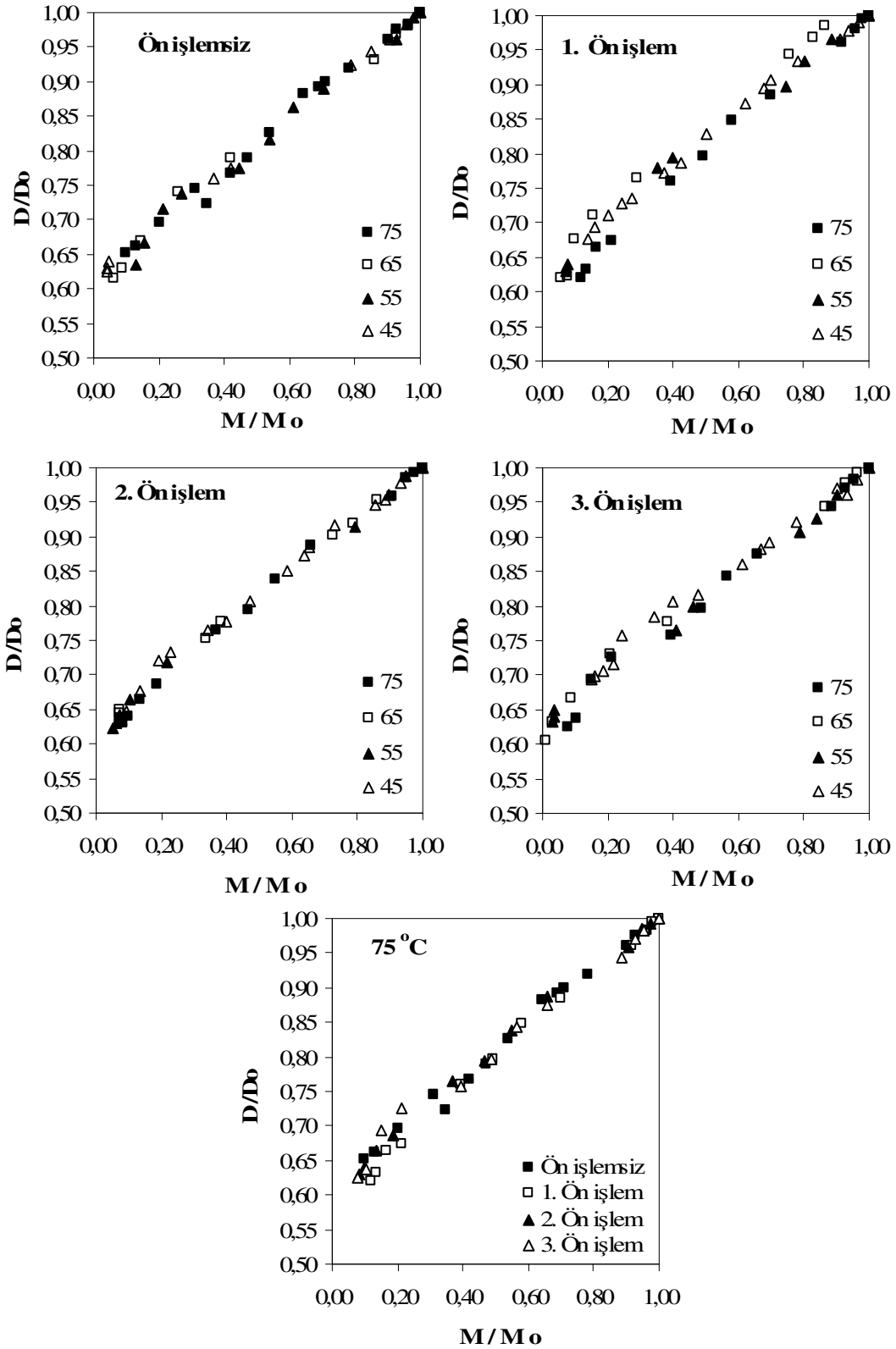
Şekil 6.5. Kirazın kuruması sırasında çapında meydana gelen değişim



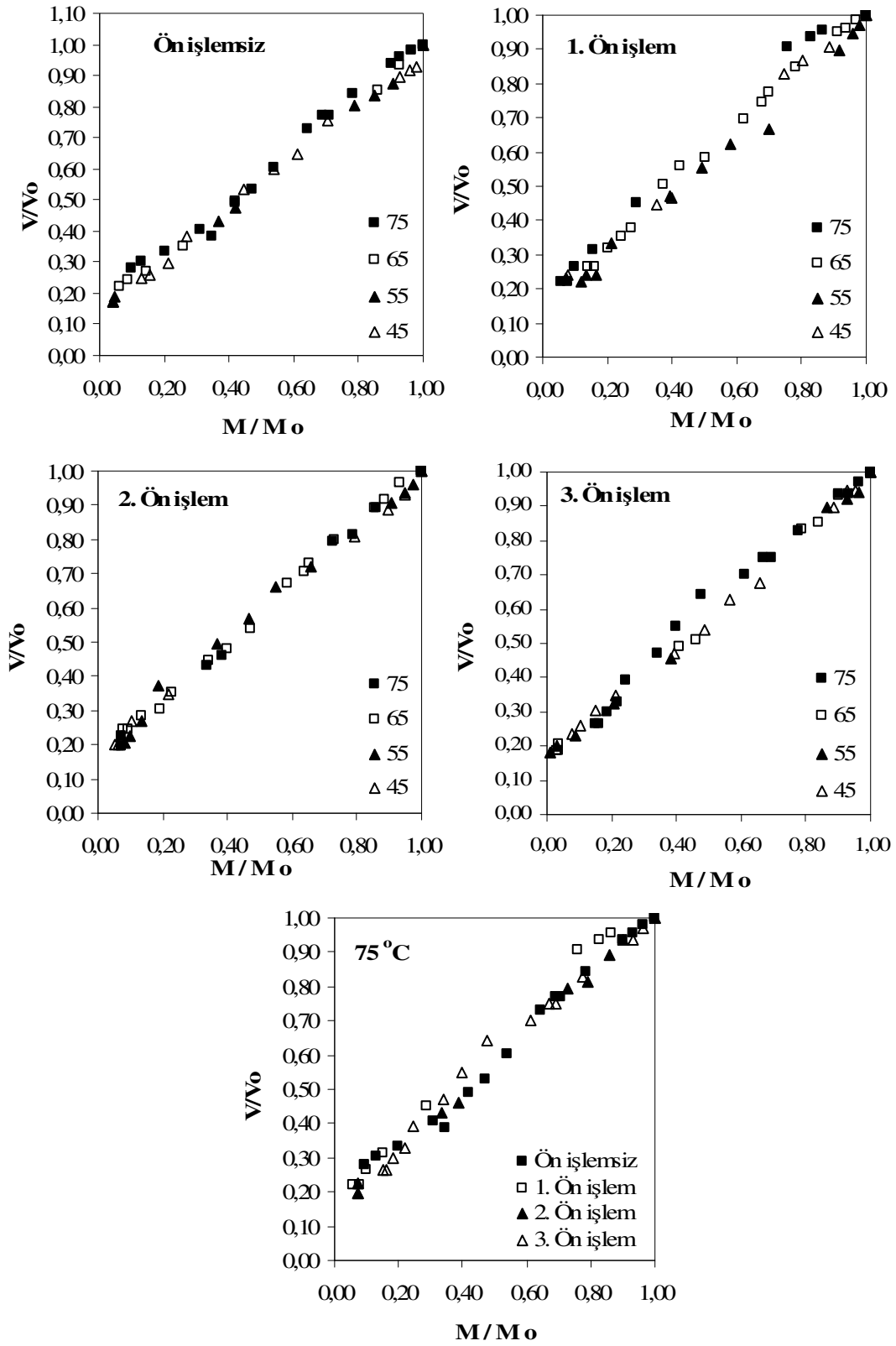
Şekil 6.6. Kirazın kuruması sırasında hacminde meydana gelen değişim



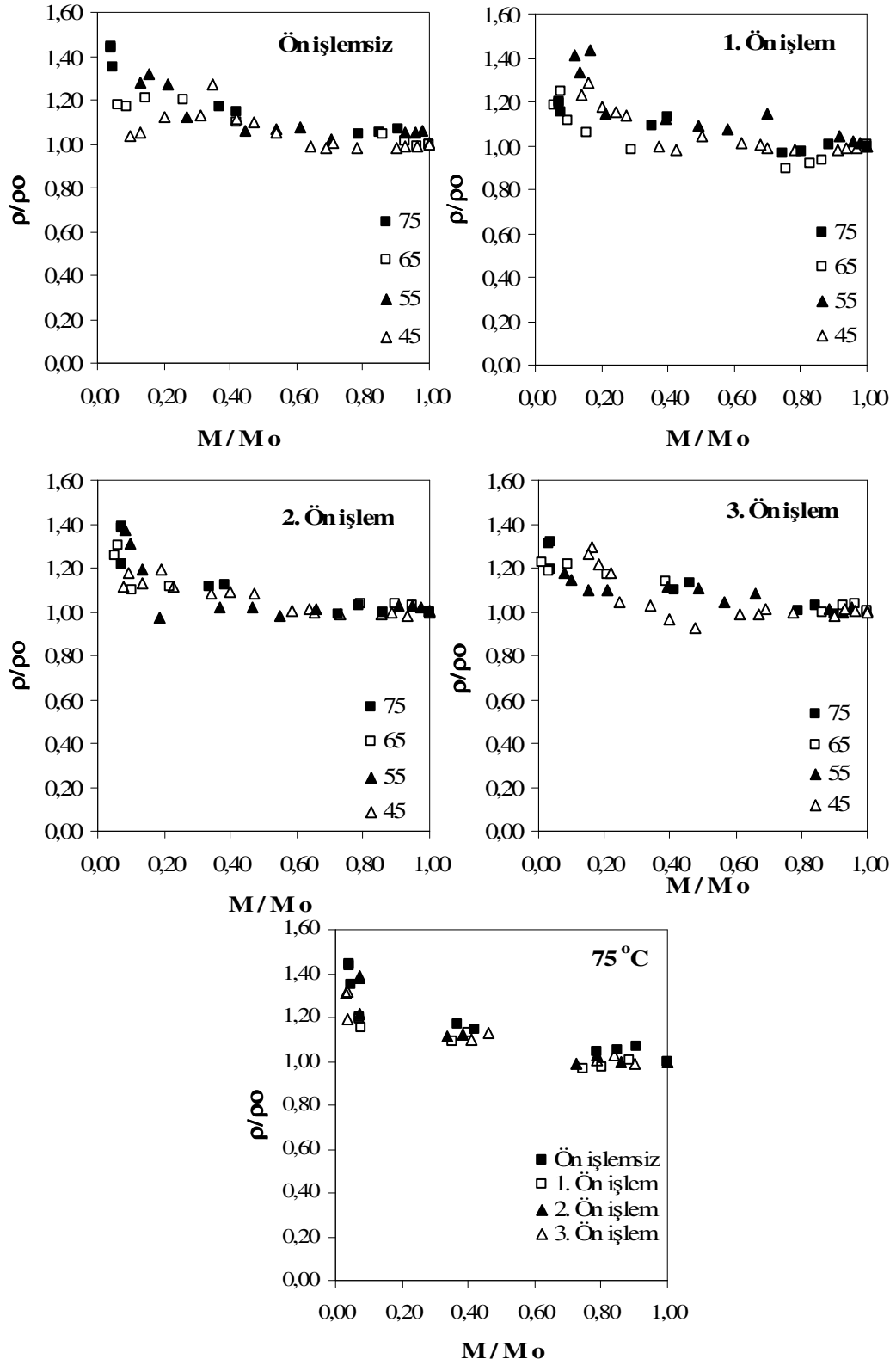
Şekil 6.7. Kirazın kuruması sırasında yoğunluğunda meydana gelen değişim



Şekil 6.8. Vişnenin kuruması sırasında çapında meydana gelen değişim

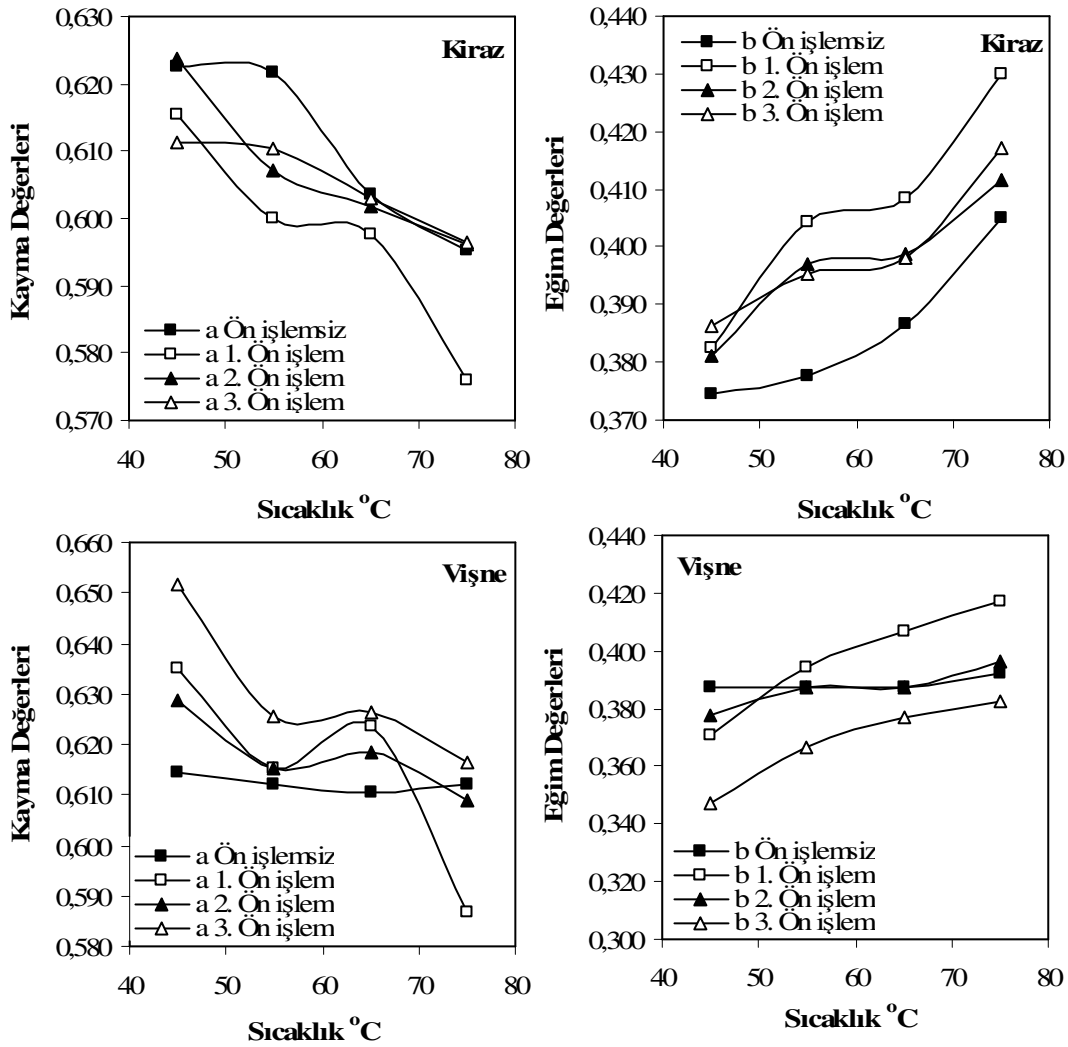


Şekil 6.9. Vişnenin kuruması sırasında hacminde meydana gelen değişim



Şekil 6.10. Vişnenin kuruması sırasında yoğunluğunda meydana gelen değişim

Şekil 6.11 de verilen grafiklerde a ile kayma b ile eğimlerin sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Kaymanın düşük ve eğimin yüksek olması büzülmenin arttığının göstergesidir. Şekilden görüldüğü üzere kaymayı ifade eden a değeri artan sıcaklıkla azalmakta iken eğimi ifade eden b değeri artmaktadır. Buna göre çaptaki büzülme kurutma sıcaklığından önemli ölçüde etkilenmekte ve sıcaklık yükseldikçe büzülme artmaktadır. Hacimdeki büzülme ise sıcaklığa çaptaki kadar bağlı olmasa da yine sıcaklığın artmasıyla büzülme az da olsa artmaktadır. Ochoa ve arkadaşlarının kiraz ve vişne için yaptıkları çalışmalarda, hacim ve alan değişiminin kurutma şartlarından etkilenmediğini ortaya koymuşlardır (Ochoa ve ark., 2002, 2007).



Şekil 6.11. Kiraz ve vişnede doğrusal denklemin eğim ve kayma değerlerinin sıcaklıkla değişimi (a - kayma, b - eğim)

Uygulanan ön işlemlerin büzülmeye etkisi incelendiğinde, en az büzülme, ön işlemsiz kurutulan kirazda gözlenirken ön işlem uygulanması kirazın büzülmesini arttırmıştır. Kiraz da en fazla büzülme 1.ön işlemde görülmüştür.

Kirazın tersine vişne kurutulmasında ön işlem uygulaması büzülmeyi azaltmıştır. En fazla büzülme ön işlemsizde gözlenirken en az büzülme 3. ön işlemde görülmüştür.

6.4 Büzülmenin Modellenmesi

Ön işlemsiz ve çeşitli ön işlemler uygulanarak kurutulan vişne ve kirazların çap, hacim ve yoğunluğunda zamanla meydana gelen değişim literatürde yer alan 6 büzülme modeli ile incelenmiştir. Modellerin anlamlılığı t testi, modellerin deneysel veriyi açıklayabilme kabiliyeti R^2 ve χ^2 gibi istatistiksel testlerle incelenmiştir. Her bir kurutma sıcaklığı için büzülme modellerinin katsayıları ve istatistiksel test sonuçları kiraz için çizelge 6.5-6.8 de vişne için çizelge 6.9-6.12 de verilmiştir.

Kirazın kuruması sırasında çap ve hacmindeki değişimi tüm sıcaklıklar ve tüm ön işlemlerde en iyi açıklayan modelin, model 2 olduğu çizelgelerden görülmektedir. Kuruma sırasında, yoğunluğunda meydana gelen değişim incelendiğinde 2. ön işlem uygulanmış kirazlarda model 3'ün, ön işlemsiz ve diğer ön işlemler için model 5 'in uygun olduğu çizelgelerden görülen diğer bir sonuçtur.

Vişnenin kuruması sırasında yapısında meydana gelen değişim farklı ön işlem uygulamalarıyla değişken bir yapı göstermektedir. Çapta meydana gelen değişim ön işlemsizde ve 2. ön işlem uygulamada model 6, 1. ön işlemde model 2 , 3. ön işlemde model 2 ve 6 ile en iyi ifade edilmektedir.Vişnenin kuruması sırasında hacminde meydana gelen değişim ise tüm sıcaklık ve ön işlemlerde en iyi model 2 ile açıklanabilmektedir. Yoğunluğunda meydana gelen değişim için ise ön işlemsiz ve 3. ön işlemde model 3, 1. ve 2. ön işlem de model 5 en iyi model olarak önerilebilir.

Çizelge 6.5. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan Ön İşlemsiz Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi

Model No		1			2			3			4			5			6		
		D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)		
		D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀
75 °C	a	-0,113	-0,238	0,031	0,595	0,125	1,113	0,631	0,260	1,115	1,029	0,953	1,031	0,110	0,241	-0,049	5,485	0,867	9,3x10 ⁴
	b				0,405	0,836	-0,160	0,465	1,425	-0,156	-0,189	-1,023	0,044	0,825	0,649	1,027			
	R ²	0,997	0,998	0,890	0,997	0,998	0,890	0,992	0,980	0,895	0,981	0,995	0,920	0,953	0,930	0,924	0,997	0,998	*0,890
	χ ² x10 ³	0,067	0,694	1,341	0,063	0,260	0,510	0,171	2,353	0,485	162,0	70,146	335,9	1,068	7,844	0,350	0,067	0,694	5,803
65 °C	a	-0,120	-0,266	0,146	0,604	0,199	1,493	0,619	0,230	1,527	1,036	1,022	0,961	0,127	0,277	-0,202	5,011	0,424	2,1x10 ⁴
	b				0,387	0,834	-0,514	0,477	1,461	-0,447	-0,241	-1,340	0,121	0,783	0,514	1,259			
	R ²	0,997	0,995	0,755	0,997	0,995	0,755	0,997	0,969	0,794	0,944	0,990	0,940	0,863	0,877	0,935	0,997	0,995	*0,755
	χ ² x10 ³	0,084	0,953	11,16	0,050	0,441	11,02	0,059	2,857	9,291	135,1	83,708	707,8	2,638	11,14	2,923	0,084	0,953	99,096
55 °C	a	-0,113	-0,261	0,098	0,622	0,146	1,331	0,639	0,252	1,344	1,035	1,005	0,958	0,121	0,254	-0,126	5,476	0,491	3,6x10 ⁶
	b				0,378	0,815	-0,336	0,457	1,396	-0,299	-0,226	-1,250	0,086	0,790	0,512	1,185			
	R ²	0,996	0,995	0,707	0,996	0,995	0,707	0,988	0,977	0,724	0,960	0,995	0,876	0,884	0,840	0,861	0,996	0,995	*0,721
	χ ² x10 ³	0,056	0,779	4,706	0,056	0,306	4,697	0,175	1,612	4,427	125,3	76,706	464,8	1,658	10,68	2,234	0,093	1,298	65,434
45 °C	a	-0,121	-0,254	0,067	0,623	0,170	1,219	0,613	0,265	1,223	1,032	1,003	0,959	0,140	0,270	-0,077	4,903	0,608	5,5x10 ⁶
	b				0,374	0,794	-0,208	0,501	1,353	-0,189	-0,260	-1,172	0,058	0,769	0,513	1,130			
	R ²	0,996	0,991	0,678	0,996	0,991	0,678	0,989	0,970	0,686	0,974	0,989	0,698	0,915	0,885	0,710	0,996	0,991	*0,670
	χ ² x10 ³	0,059	0,945	2,086	0,059	0,558	2,052	0,185	1,933	2,001	119,3	63,891	381,7	1,406	7,334	1,848	0,059	0,945	18,784

Çizelge 6.6. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 1. ön işlem uygulanmış Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi

Model No		1			2			3			4			5			6		
		D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)		
		D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀
75 °C	a	-0,119	-0,257	0,091	0,576	0,136	1,323	0,618	0,241	1,338	1,012	0,944	1,029	0,175	0,379	-0,172	5,037	0,554	6,5x10 ⁴
	b				0,430	0,882	-0,378	0,495	1,495	-0,344	-0,279	-1,309	0,138	0,762	0,489	1,174			
	R ²	0,997	0,997	0,826	0,997	0,997	0,826	0,993	*0,980	0,838	0,997	0,991	0,918	0,983	0,971	0,900	0,997	0,997	*0,827
	χ ² x10 ³	0,053	0,409	4,390	0,047	0,305	3,438	0,127	1,636	3,204	132,2	73,41	497,6	0,312	2,628	1,973	0,053	0,409	37,74
65 °C	a	-0,120	-0,256	0,127	0,598	0,112	1,425	0,606	0,204	1,435	1,033	1,026	0,938	0,089	0,172	-0,114	4,968	0,570	4,9x10 ⁴
	b				0,408	0,876	-0,426	0,513	1,587	-0,364	-0,187	-1,268	0,067	0,818	0,584	1,178			
	R ²	0,996	0,996	0,768	0,996	0,996	0,768	0,989	*0,976	0,789	0,942	0,994	0,960	0,841	0,803	0,974	0,996	0,996	*0,768
	χ ² x10 ³	0,119	0,882	8,549	0,109	0,383	8,549	0,296	2,480	7,769	203,2	113,0	909,2	4,152	20,1	0,974	0,119	0,882	108,8
55 °C	a	-0,116	-0,267	0,131	0,600	0,171	1,455	0,631	0,227	1,482	1,028	0,977	0,979	0,149	0,338	-0,212	5,318	0,405	3,1x10 ⁶
	b				0,404	0,815	-0,510	0,467	1,525	-0,444	-0,252	-1,405	0,139	0,768	0,462	1,252			
	R ²	0,997	0,999	0,915	0,997	0,999	0,915	0,993	0,973	0,939	0,978	0,989	0,967	0,940	0,923	0,978	0,997	0,999	*0,914
	χ ² x10 ³	0,048	0,104	2,964	0,047	0,074	2,283	0,096	2,021	1,645	161,2	103,7	747,3	0,839	5,578	0,581	0,080	0,174	139,5
45 °C	a	-0,127	-0,250	0,070	0,615	0,152	1,245	0,592	0,251	1,253	1,037	0,976	1,000	0,133	0,250	-0,103	4,561	0,667	6,6x10 ⁴
	b				0,383	0,806	-0,282	0,546	1,446	-0,261	-0,259	-1,185	0,082	0,767	0,532	1,118			
	R ²	0,998	0,996	0,673	0,998	0,996	0,673	0,989	0,970	0,690	0,979	0,996	0,892	0,929	0,909	0,866	0,998	0,996	*0,673
	χ ² x10 ³	0,053	0,318	4,262	0,046	0,272	3,967	0,218	2,086	3,760	155,0	75,86	534,6	1,354	6,250	1,627	0,053	0,318	29,68

Çizelge.6.7. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 2. ön işlem uygulanmış Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi

Model No		1			2			3			4			5			6		
		D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)		
		D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀
75 °C	a	-0,121	-0,248	0,075	0,596	0,167	1,263	0,606	0,234	1,268	1,025	0,944	1,020	0,123	0,251	-0,101	4,954	0,693	3,7x10 ¹⁶
	b				0,411	0,856	-0,323	0,519	1,547	-0,295	-0,220	-1,182	0,080	0,807	0,604	1,097			
	R ²	0,996	0,998	0,874	0,996	0,998	0,874	0,990	*0,978	0,883	0,988	0,994	0,936	0,960	0,930	0,933	0,996	0,998	*0,269
	χ ² x10 ³	0,108	0,421	3,275	0,090	0,256	2,157	0,247	2,370	2,010	165,9	80,2	538,5	0,970	7,444	1,144	0,108	0,421	32,075
65 °C	a	-0,119	-0,253	0,154	0,602	0,123	1,518	0,606	0,195	1,531	0,100	0,100	0,100	0,001	0,100	0,100	5,040	0,614	3,6x10 ¹⁶
	b				0,399	0,841	-0,572	0,509	1,654	-0,491	0,100	0,100	0,100	0,001	0,100	0,100			
	R ²	0,998	0,995	0,643	0,998	0,995	0,643	0,993	*0,965	0,676	*0,056	*0,066	*0,002	*0,341	*0,912	*0,741	0,998	0,995	*0,273
	χ ² x10 ³	0,063	0,666	32,72	0,063	0,536	31,87	0,209	4,276	28,91	5,7x10 ⁵	5,7x10 ⁵	5,7x10 ⁵	606,5	206,9	1851	0,063	0,666	194,7
55 °C	a	-0,112	-0,267	0,127	0,607	0,157	1,432	0,639	0,225	1,451	1,025	0,990	0,957	0,138	0,297	-0,178	5,573	0,415	3,6x10 ¹⁶
	b				0,397	0,822	-0,454	0,462	1,522	-0,388	-0,235	-1,408	0,116	0,784	0,477	1,243			
	R ²	0,995	0,996	0,858	0,995	0,996	0,858	0,987	0,982	0,875	0,983	0,996	0,960	0,945	0,895	0,952	0,995	0,996	*0,206
	χ ² x10 ³	0,084	0,640	3,597	0,078	0,318	3,480	0,198	1,342	3,070	161,6	106,7	710,5	0,818	7,619	1,183	0,140	1,067	129,6
45 °C	a	-0,117	-0,248	0,053	0,624	0,182	1,176	0,621	0,262	1,179	1,037	0,984	0,971	0,130	0,257	-0,062	5,183	0,705	3,6x10 ¹⁶
	b				0,381	0,794	-0,177	0,494	1,392	-0,164	-0,237	-1,159	0,050	0,775	0,519	1,101			
	R ²	0,997	0,992	0,517	0,997	0,992	0,517	0,990	0,974	0,520	0,973	0,993	0,544	0,926	0,895	0,546	0,997	0,992	*0,012
	χ ² x10 ³	0,050	0,611	2,761	0,046	0,496	2,760	0,144	1,598	2,742	166,7	83,432	448,9	1,096	6,276	2,597	0,050	0,611	16,62

Çizelge 6.8. Farklı Sıcaklıklarda kurutulmuş 3. ön işlem uygulanmış Kirazın Büzülmesinin Modellenmesi

Model No	1			2			3			4			5			6			
	D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)			
	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	
75 °C	a	-0,116	-0,247	0,064	0,597	0,136	1,224	0,621	0,242	1,229	1,023	0,962	1,010	0,124	0,258	-0,087	5,253	0,721	3,60x10 ⁶
	b				0,417	0,872	-0,264	0,492	1,488	-0,245	-0,214	-1,149	0,071	0,810	0,598	1,090			
	R ²	0,996	0,999	0,906	0,996	0,999	0,906	0,990	*0,979	0,828	0,989	0,996	0,968	0,964	0,939	0,971	0,996	0,999	*0,083
	χ ² x10 ³	0,092	0,139	1,596	0,082	0,101	1,055	0,231	2,152	452,6	163,0	78,485	466,6	0,828	6,204	0,332	0,092	0,139	21,549
65 °C	a	-0,117	-0,259	0,157	0,603	0,152	1,538	0,620	0,208	1,569	1,029	0,978	1,057	0,113	0,258	-0,227	5,238	0,530	3,60x10 ⁶
	b				0,398	0,843	-0,623	0,481	1,611	-0,550	-0,206	-1,308	0,148	0,809	0,584	1,198			
	R ²	0,998	0,993	0,623	0,998	0,993	0,623	0,995	*0,958	0,659	0,969	0,983	0,949	0,914	0,922	0,880	0,998	0,993	*0,089
	χ ² x10 ³	0,041	0,860	36,85	0,040	0,843	34,84	0,120	4,868	31,58	200,3	110,1	1082	1,910	8,820	11,11	0,041	0,860	183,0
55 °C	a	-0,120	-0,255	0,115	0,610	0,175	1,400	0,608	0,224	1,420	1,045	0,986	0,989	0,098	0,193	-0,140	4,982	0,593	3,60x10 ⁶
	b				0,395	0,836	-0,492	0,522	1,544	-0,452	-0,201	-1,229	0,089	0,795	0,551	1,148			
	R ²	0,993	0,997	0,729	0,993	0,997	0,729	0,981	0,952	0,773	0,948	0,992	0,943	0,872	0,840	0,951	0,993	0,997	*0,0862
	χ ² x10 ³	0,175	0,279	11,52	0,139	0,274	9,909	0,377	3,879	8,326	210,5	111,4	886,4	2,476	12,55	1,795	0,291	0,466	161,1
45 °C	a	-0,119	-0,240	0,035	0,611	0,207	1,114	0,613	0,266	1,115	1,085	1,019	0,981	0,062	0,119	-0,029	5,070	0,831	3,60x10 ⁶
	b				0,386	0,765	-0,107	0,507	1,372	-0,102	-0,151	-0,972	0,024	0,801	0,587	1,053			
	R ²	0,998	0,993	0,262	0,998	0,993	0,262	0,992	0,964	0,266	0,864	0,992	0,595	0,730	0,723	0,580	0,998	0,993	*0,044
	χ ² x10 ³	0,039	0,681	3,819	0,038	0,482	3,806	0,148	2,585	3,785	183,8	82,410	416,1	5,074	19,3	2,168	0,039	0,681	10,379

Çizelge 6.9. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan ön işlemsiz Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi

Model No		1			2			3			4			5			6		
		D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)		
		D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀
75 °C	a	-0,106	-0,239	0,107	0,612	0,157	1,396	0,625	0,215	1,407	1,435	2,529	0,743	0,073	0,155	-0,085	5,827	0,536	1029
	b				0,392	0,855	-0,419	0,482	1,574	-0,360	-0,013	-0,042	0,009	0,808	0,553	1,187			
	R ²	0,999	0,995	0,901	0,999	0,998	0,907	0,995	*0,979	0,925	0,791	0,694	0,717	0,910	0,890	0,974	0,999	0,998	*0,908
	χ ² x10 ³	189,0	0,497	2,699	178,0	0,204	2,516	0,099	2,202	2,041	170,8	76,3	614,2	1,902	10,8	0,714	0,019	0,497	63,8
65 °C	a	-0,107	-0,232	0,058	0,610	0,155	1,213	0,624	0,234	1,216	1,460	2,595	0,843	0,097	0,203	-0,050	5,700	0,656	515,6
	b				0,388	0,837	-0,215	0,474	1,481	-0,195	-0,013	-0,045	0,005	0,783	0,529	1,116			
	R ²	0,991	0,997	0,928	0,991	0,998	0,928	0,984	*0,993	0,925	0,871	0,831	0,908	0,957	0,897	0,785	0,991	0,998	*0,928
	χ ² x10 ³	0,209	0,262	0,528	0,208	0,237	0,526	0,358	0,741	0,548	150,3	63,7	417,4	0,964	10,6	1,572	0,209	0,262	18,5
55 °C	a	-0,106	-0,239	0,074	0,612	0,136	1,271	0,633	0,267	1,284	1,376	2,293	0,838	0,118	0,252	-0,094	5,753	0,545	515,7
	b				0,387	0,835	-0,272	0,463	1,320	-0,252	-0,011	-0,035	0,004	0,746	0,430	1,186			
	R ²	0,989	0,991	0,685	0,989	0,995	0,685	0,983	0,966	0,706	0,829	0,771	0,432	0,951	0,950	0,840	0,989	0,995	*0,685
	χ ² x10 ³	0,179	0,633	3,540	0,179	0,343	3,540	0,262	2,477	3,305	2,707	16,615	6,387	0,776	3,553	1,796	0,179	0,633	25,3
45 °C	a	-0,106	-0,229	0,036	0,615	0,144	1,143	0,633	0,282	1,144	1,350	2,036	0,905	0,108	0,231	-0,036	5,815	0,720	515,4
	b				0,387	0,828	-0,165	0,471	1,328	-0,155	-0,011	-0,030	0,004	0,752	0,465	1,077			
	R ²	0,992	0,988	0,364	0,993	0,989	0,390	0,988	0,973	0,384	0,772	0,707	0,378	0,901	0,863	*0,221	0,993	0,989	*0,390
	χ ² x10 ³	0,103	0,746	3,788	0,096	0,698	3,633	0,161	1,726	3,666	114,8	47,1	251,0	1,308	8,671	4,637	0,068	0,498	5,887

Çizelge 6. 10. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 1. ön işlem uygulanmış Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi

Model No		1			2			3			4			5			6		
		D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)		
		D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀
75 °C	a	-0,105	-0,229	0,049	0,587	0,177	1,193	0,629	0,251	1,198	1,406	2,275	0,865	0,089	0,186	-0,053	5,909	0,728	516,4
	b				0,417	0,891	-0,235	0,483	1,457	-0,220	-0,012	-0,036	0,006	0,791	0,542	1,089			
	R ²	0,988	0,995	0,812	0,990	0,996	0,883	0,979	*0,971	0,890	0,733	0,641	0,677	0,959	0,905	0,866	0,990	0,996	*0,884
	χ ² x10 ³	0,233	0,430	1,471	0,202	0,366	0,911	0,409	2,768	0,859	169,4	63,7	389,2	0,799	8,617	1,047	0,233	0,430	15,0
65 °C	a	-0,101	-0,221	0,035	0,624	0,149	1,152	0,636	0,262	1,159	1,409	2,228	0,897	0,096	0,207	-0,067	6,245	0,883	516,1
	b				0,407	0,874	-0,252	0,491	1,458	-0,252	-0,013	-0,035	0,006	0,807	0,580	1,039			
	R ²	0,967	0,977	0,409	0,980	0,991	0,642	0,969	*0,954	0,659	0,724	0,599	*0,413	0,980	0,957	0,821	0,980	0,991	*0,642
	χ ² x10 ³	0,769	2,514	8,043	0,472	0,997	4,875	0,723	5,271	4,638	196,4	61,6	369,0	0,474	4,728	2,434	0,769	2,514	15,8
55 °C	a	-0,113	-0,243	0,097	0,615	0,122	1,361	0,609	0,240	1,380	1,423	2,480	0,783	0,122	0,246	-0,119	5,209	0,461	1028
	b				0,394	0,856	-0,375	0,506	1,441	-0,335	-0,012	-0,041	0,006	0,740	0,439	1,230			
	R ²	0,995	0,993	0,722	0,995	0,995	0,725	0,987	0,978	0,742	0,815	0,806	0,551	0,961	0,933	0,832	0,995	0,995	*0,725
	χ ² x10 ³	0,096	0,617	6,134	0,091	0,442	6,067	0,264	1,903	5,676	3,671	16,577	9,891	0,777	5,644	3,708	0,096	0,617	46,4
45 °C	a	-0,099	-0,230	0,048	0,635	0,162	1,208	0,654	0,283	1,221	1,330	2,080	0,885	0,115	0,272	-0,095	6,438	0,706	515,3
	b				0,371	0,852	-0,267	0,437	1,324	-0,261	-0,010	-0,031	0,005	0,754	0,430	1,131			
	R ²	0,996	0,994	0,542	0,996	0,996	0,656	0,990	0,963	0,678	0,790	0,706	0,394	0,957	0,960	0,826	0,996	0,996	*0,656
	χ ² x10 ³	54,7	439,0	4399,5	433,0	0,268	3,309	0,121	2,540	3,097	127,2	54,3	281,2	0,525	2,753	1,672	365,0	0,293	9,195

Çizelge 6.11. Farklı Sıcaklıklarda kurutulan 2. ön işlem uygulanmış Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi

Model No		1			2			3			4			5			6		
		D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)		
		D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀
75 °C	a	-0,104	-0,235	0,082	0,609	0,141	1,322	0,631	0,237	1,335	1,404	2,347	0,791	0,084	0,187	-0,092	5,949	0,613	1028
	b				0,396	0,867	-0,386	0,477	1,517	-0,351	-0,012	-0,037	0,009	0,790	0,526	1,152			
	R ²	0,998	0,998	0,753	0,998	0,998	0,810	0,992	*0,968	0,830	0,743	0,623	0,594	0,933	0,914	0,899	0,998	0,998	*0,810
	χ ² x10 ³	0,044	0,182	5,553	182,3	0,162	4,262	0,145	3,066	3,823	172,9	71,49	512,3	1,222	7,891	2,273	0,044	0,182	42,0
65 °C	a	-0,105	-0,230	0,061	0,618	0,162	1,222	0,624	0,220	1,225	1,492	55,76	0,831	0,088	0,184	-0,054	5,842	0,708	515,2
	b				0,387	0,853	-0,221	0,481	1,542	-0,201	-0,015	-35,97	0,005	0,807	0,569	1,112			
	R ²	0,996	0,998	0,746	0,997	0,999	0,746	0,994	*0,990	0,751	0,880	*0,325	0,659	0,968	0,953	0,857	0,997	0,999	*0,746
	χ ² x10 ³	0,088	0,240	2,758	0,086	0,121	2,758	0,144	1,121	2,700	188,4	590,2	508,4	0,809	5,209	1,550	0,088	0,240	26,8
55 °C	a	-0,107	-0,227	0,053	0,615	0,174	1,204	0,627	0,277	1,215	1,407	2,322	0,877	0,104	0,216	-0,080	5,730	0,757	515,8
	b				0,387	0,822	-0,237	0,478	1,306	-0,231	-0,012	-0,037	0,004	0,769	0,504	1,118			
	R ²	0,995	0,992	0,380	0,996	0,993	0,402	0,988	*0,956	0,421	0,811	0,748	*0,203	0,943	0,950	0,638	0,996	0,993	*0,402
	χ ² x10 ³	0,087	0,617	10,39	0,077	0,611	10,02	0,234	3,662	9,713	3,587	21,001	13,36	1,084	4,091	6,059	0,087	0,617	23,9
45 °C	a	-0,101	-0,228	0,040	0,629	0,166	1,166	0,645	0,272	1,170	1,355	2,130	0,894	0,095	0,209	-0,053	6,252	0,738	515,6
	b				0,377	0,816	-0,208	0,454	1,378	-0,198	-0,011	-0,033	0,005	0,773	0,490	1,087			
	R ²	0,989	0,997	0,737	0,990	0,998	0,840	0,982	*0,972	0,847	0,735	0,658	0,607	0,940	0,892	0,798	0,990	0,998	*0,841
	χ ² x10 ³	0,141	0,214	1,265	0,131	0,157	0,767	0,248	1,989	0,733	147,2	59,32	309,5	0,811	7,346	0,972	0,094	0,142	5,99

Çizelge 6.12.Farklı Sıcaklıklarda kurutulmuş 3. ön işlem uygulanmış Vişnenin Büzülmesinin Modellenmesi

Model No		1			2			3			4			5			6		
		D/D ₀ =1-a (M-M ₀)			D/D ₀ =a+b (M/M ₀)			D/D ₀ = a.exp(bM/M ₀)			D/D ₀ =1/(a+b.exp(M))			D/D ₀ =a.ln(M)+b			D/D ₀ =(M+a)/(M ₀ +a)		
		D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀	D/D ₀	V/V ₀	ρ/ρ ₀
75 °C	a	-0,103	-0,232	0,072	0,616	0,164	1,271	0,633	0,232	1,277	1,424	2,362	0,811	0,063	0,144	-0,056	6,027	0,668	515,3
	b				0,383	0,855	-0,307	0,459	1,527	-0,276	-0,013	-0,038	0,007	0,815	0,591	1,112			
	R ²	0,995	0,998	0,865	0,997	0,998	0,896	0,997	*0,977	0,905	0,803	0,663	0,717	0,893	0,887	0,903	0,997	0,998	*0,896
	χ ² x10 ³	0,086	0,251	1,997	0,061	0,249	1,538	0,057	2,411	1,414	172,3	63,63	467,4	2,036	11,3	1,439	0,086	0,251	30,11
65 °C	a	-0,102	-0,230	0,060	0,626	0,155	1,218	0,635	0,224	1,220	1,466	2,740	0,834	0,062	0,130	-0,034	6,125	0,696	515,7
	b				0,377	0,842	-0,215	0,462	1,521	-0,195	-0,014	-0,048	0,005	0,831	0,608	1,101			
	R ²	0,993	0,997	0,993	0,993	0,998	0,952	0,988	*0,988	0,952	0,877	0,808	0,883	0,868	0,796	0,777	0,993	0,998	*0,952
	χ ² x10 ³	0,164	0,338	0,398	0,160	0,259	0,395	0,287	1,397	0,393	178,5	72,61	467,4	3,165	23,27	1,821	0,164	0,338	21,70
55 °C	a	-0,105	-0,230	0,043	0,625	0,163	1,157	0,633	0,263	1,158	1,394	2,297	0,887	0,099	0,207	-0,039	5,852	0,694	515,3
	b				0,366	0,823	-0,154	0,464	1,367	-0,143	-0,012	-0,037	0,003	0,769	0,495	1,095			
	R ²	0,988	0,996	0,848	0,988	0,997	0,849	0,982	*0,986	0,847	0,809	0,774	0,796	0,931	0,893	0,793	0,988	0,997	*0,849
	χ ² x10 ³	0,206	0,308	0,477	0,206	0,243	0,474	0,296	1,089	0,480	3,206	17,85	0,639	1,154	8,146	0,650	0,206	0,308	9,43
45 °C	a	-0,096	-0,227	0,044	0,652	0,166	1,191	0,668	0,290	1,204	1,324	2,080	0,897	0,108	0,268	-0,093	6,799	0,769	515,2
	b				0,347	0,821	-0,249	0,409	1,292	-0,248	-0,010	-0,031	0,004	0,764	0,439	1,122			
	R ²	0,991	0,987	0,381	0,991	0,989	0,467	0,986	*0,950	0,488	0,804	0,683	0,236	0,963	0,979	0,663	0,991	0,989	*0,467
	χ ² x10 ³	0,100	0,839	7,437	0,100	0,731	6,405	0,153	3,429	6,154	136,68	55,64	277,1	0,405	1,431	4,049	0,067	0,560	10,49

6.5 Difüzyon Katsayıları ve Aktivasyon Enerjisi

Ön işlemler ve ön işlemler olarak kurutulmuş vişne ve kirazın tamamen azalan kuruma hızı periyodu göstermesi meyvedeki nemin havaya transferinde yürütücü mekanizmanın katı içi difüzyon mekanizması olduğunun göstergesidir. Bu amaçla Fick'in II difüzyon yasasının küre için çözümünden (denklem 2.5) büzülmenin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için difüzyon katsayısı hesaplandı. Her bir sıcaklık ve her bir ön işlem için hesaplanan difüzyon katsayıları çizelge 6.13 ve 6.14 te verilmiştir.

Çizelge 6.13 ve 6.14 ten görüldüğü üzere her bir ön işlemde sıcaklık arttıkça difüzyon katsayısı artmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla meyvedeki suyun kinetik enerjisinin artması ve daha hızlı hareket etmesi nedeniyle yüzeye daha hızlı ulaşmakta ve yüzeyden çevreye buhar fazında daha hızlı transfer olmaktadır.

Çizelge 6.13. Kirazın kuruması sırasında hesaplanan difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri

Sıcaklık, °C	Ön işlemler		1. Ön işlem	
	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)
75	$1,216 \times 10^{-10}$	$3,300 \times 10^{-10}$	$2,353 \times 10^{-10}$	$4,039 \times 10^{-10}$
65	$5,998 \times 10^{-11}$	$1,701 \times 10^{-10}$	$1,205 \times 10^{-10}$	$3,333 \times 10^{-10}$
55	$2,972 \times 10^{-11}$	$8,437 \times 10^{-11}$	$4,528 \times 10^{-11}$	$1,423 \times 10^{-10}$
45	$1,635 \times 10^{-11}$	$5,008 \times 10^{-11}$	$2,888 \times 10^{-11}$	$3,028 \times 10^{-11}$
E_A (kJ/mol K)	61,81875	64,78103	66,8146296	80,1070528
Sıcaklık, °C	2. Ön işlem		3. Ön işlem	
	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)
75	$1,352 \times 10^{-10}$	$3,792 \times 10^{-10}$	$1,375 \times 10^{-10}$	$5,180 \times 10^{-10}$
65	$1,270 \times 10^{-10}$	$2,847 \times 10^{-10}$	$1,086 \times 10^{-10}$	$2,553 \times 10^{-10}$
55	$3,923 \times 10^{-11}$	$1,304 \times 10^{-10}$	$7,253 \times 10^{-11}$	$1,480 \times 10^{-10}$
45	$2,621 \times 10^{-11}$	$5,277 \times 10^{-11}$	$2,536 \times 10^{-11}$	$7,464 \times 10^{-11}$
E_A (kJ/mol K)	56,3140476	61,9750502	50,8575694	58,4989668

Çizelge 6.14. Vişnenin kuruması sırasında hesaplanan difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri

Sıcaklık °C	Ön işlemsiz		1. Ön işlem	
	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)
75	$1,01 \times 10^{-10}$	$2,977 \times 10^{-10}$	$1,201 \times 10^{-10}$	$3,438 \times 10^{-10}$
65	$7,646 \times 10^{-11}$	$1,814 \times 10^{-10}$	$1,017 \times 10^{-10}$	$2,297 \times 10^{-10}$
55	$3,100 \times 10^{-11}$	$7,692 \times 10^{-11}$	$3,271 \times 10^{-11}$	$7,581 \times 10^{-11}$
45	$1,581 \times 10^{-11}$	$5,594 \times 10^{-11}$	$1,626 \times 10^{-11}$	$3,428 \times 10^{-11}$
E_A (kJ/mol K)	59,67872	64,42602	65,922537	74,07774
Sıcaklık °C	2. Ön işlem		3. Ön işlem	
	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmeli)	$D_{eff}, m^2/s$ (Büzülmesiz)
75	$1,259 \times 10^{-10}$	$3,890 \times 10^{-10}$	$1,170 \times 10^{-10}$	$3,745 \times 10^{-10}$
65	$9,412 \times 10^{-11}$	$1,949 \times 10^{-10}$	$8,571 \times 10^{-11}$	$1,903 \times 10^{-10}$
55	$4,057 \times 10^{-11}$	$1,022 \times 10^{-10}$	$3,526 \times 10^{-11}$	$7,300 \times 10^{-11}$
45	$1,944 \times 10^{-11}$	$3,508 \times 10^{-11}$	$1,517 \times 10^{-11}$	$4,448 \times 10^{-11}$
E_A (kJ/mol K)	54,01772	63,40922	64,865828	67,5454302

Ayrıca her iki meyvede de büzülmenin dikkate alındığı durumda büzülmesize göre daha düşük difüzyon katsayıları elde edilmiştir. Bu durum büzülme nedeniyle çapta meydana gelen azalma ve dolayısıyla meyve içindeki kapillerin kırılması nedeniyle meyve yüzeyinin iç kısımlara doğru çekilmesiyle suyun transferinin engellenmesi şeklinde yorumlanabilir.

Difüzyon katsayısının sıcaklıkla değişimi Arrhenius tipi ifadeyle açıklanabilmektedir.

$$D_{eff} = A_o \cdot \exp(-E_A / RT) \quad (6.1)$$

Bu ifade aşağıdaki şekilde lineerleştirilebilir.

$$\ln(D_{eff}) = \ln A_o - E_A / RT \quad (6.2)$$

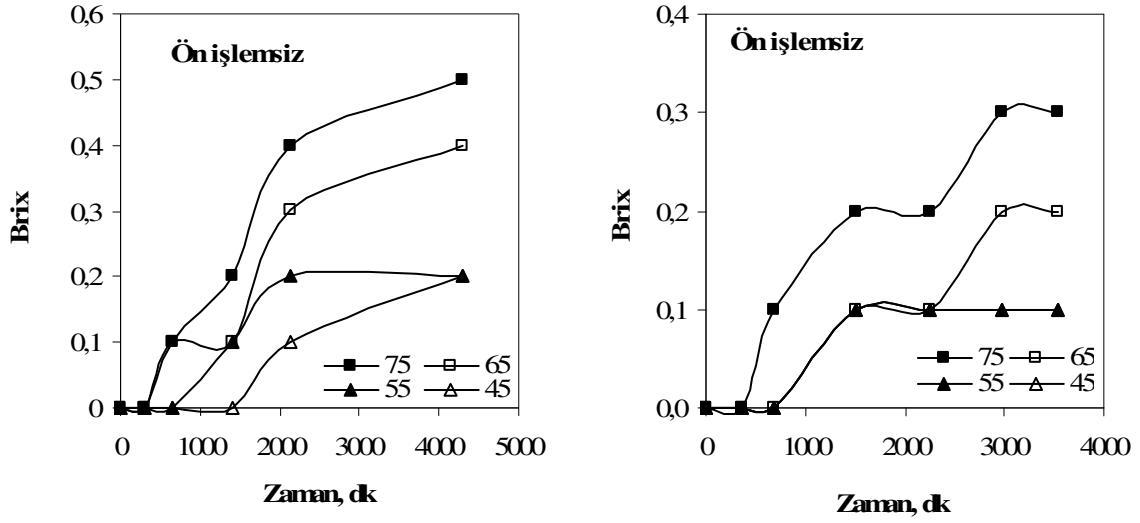
1/T ye karşı $\ln D_{eff}$ 'in grafiğe geçirilmesi ve elde edilen doğrunun eğiminden aktivasyon enerjileri belirlenmiştir. Kiraz ve vişnenin ön işlemlili ve ön işlemsiz kurutulması sırasındaki aktivasyon enerjileri Çizelge 6.13 ve 6.14 de verilmiştir.

Aktivasyon enerjisi katı matriksten nemin uzaklaşması için gerekli enerjinin bir göstergesidir. Aktivasyon enerjisindeki azalma, moleküllerin ortalama enerjilerindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Çizelge 6.13 te görüldüğü gibi 3.ön işlem uygulanan kirazın aktivasyon enerjisi diğer kirazların enerjilerine göre daha düşüktür. 3. ön işlem uygulanan kirazın kuruma hızının farklı ön işlem uygulanan diğer kirazlara nazaran daha yüksek olması aktivasyon enerjisinin düşük olduğunun bir diğer göstergesidir.

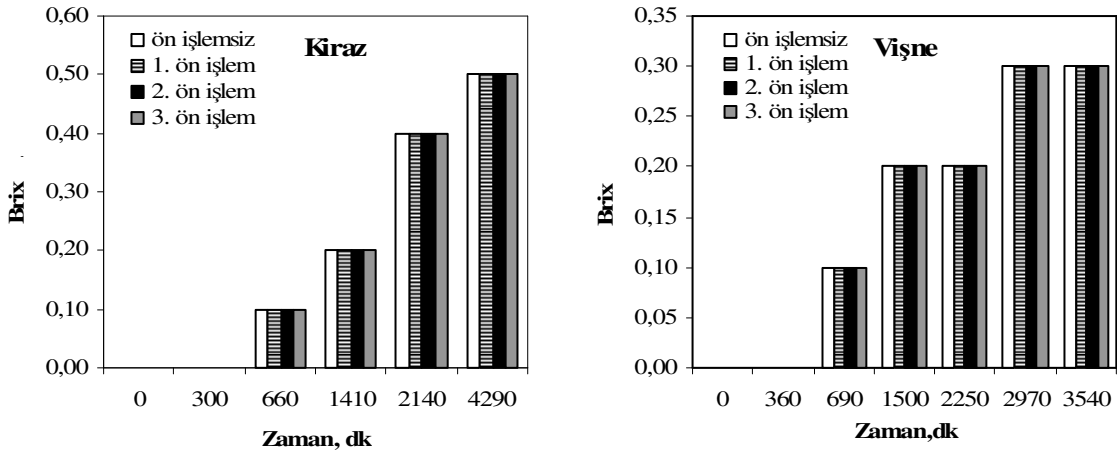
Çizelge 6.14 te ise 2. ön işlem uygulanan vişnenin aktivasyon enerjisi ön işlem uygulanmayan ve farklı ön işlem uygulanan diğer vişnelere göre daha düşük olduğu saptanmış, kuruma hızının da aynı şekilde 2. ön işlem uygulanan vişnelerde daha yüksek olması bu değerleri doğrular niteliktedir.

6.6 Kiraz ve Vişnenin Rehidrasyonu

Ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak farklı sıcaklıklarda kurutulan vişne ve kirazlar saf su kullanılarak rehidre edilmiştir. Rehidrasyon süresince daldırma çözeltisinin (suyun) brix değerlerindeki değişim ön işlemsizler için şekil 6.12 de, ön işlemliler için şekil 6.13'te verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere rehidrasyon süresince meyveden rehidrasyon çözeltisine önemli bir katı geçişi meydana gelmemiştir. Kurutma sıcaklığının artması rehidrasyon süresinde meyveden suya katı madde geçişini arttırmış gibi görünse de bu değişim önemsizdir. Bu nedenle rehidrasyon süresince sadece rehidrasyon sıvısından meyveye olan kütle transferi göz önüne alınmıştır. Ayrıca şekillerden görüldüğü üzere farklı ön işlemlilerle kurutma, meyveden çözeltiliye katı geçişinde hiçbir etkiye neden olmamıştır.

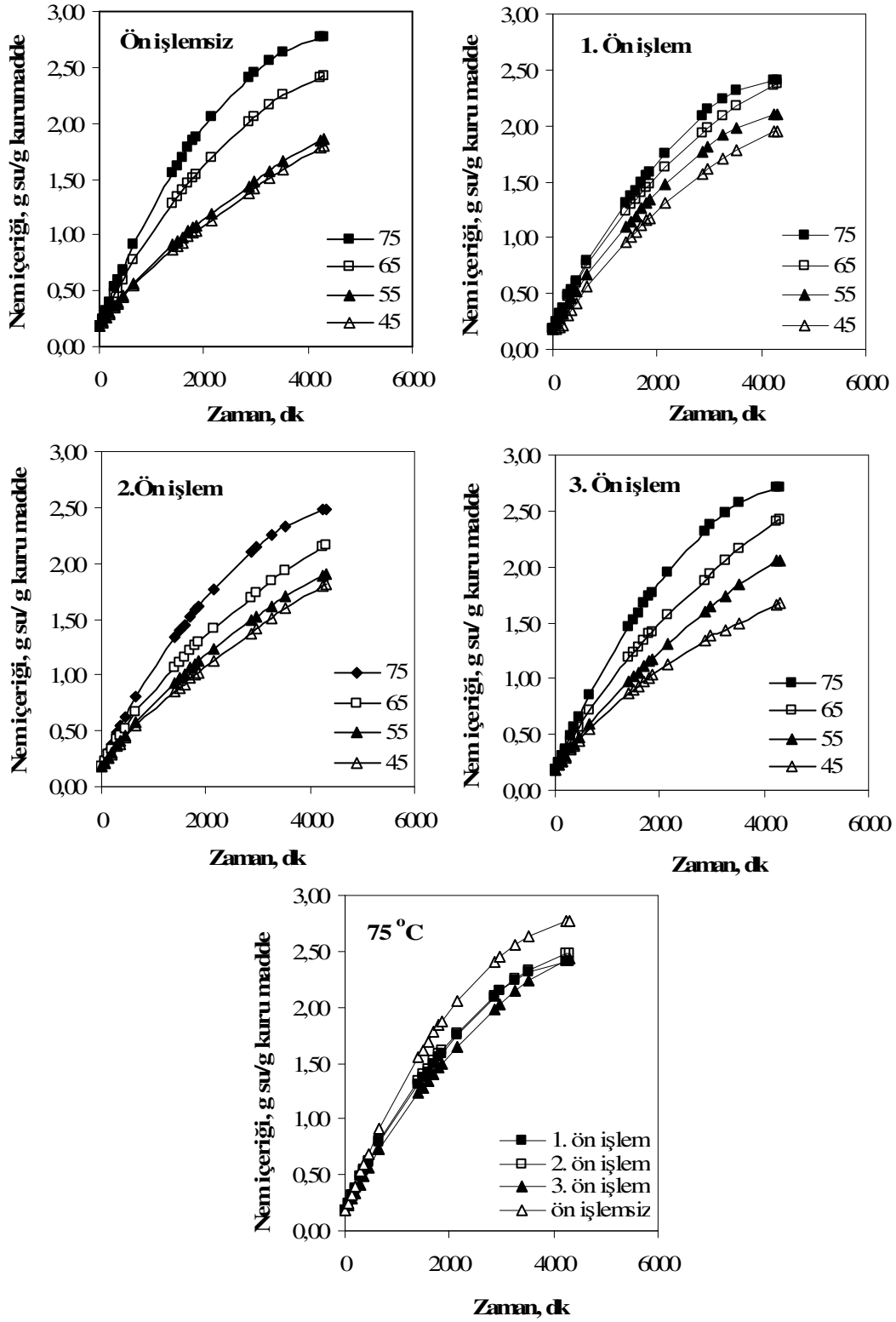


Şekil 6.12. Ön işlem uygulanmadan kurutululan kiraz ve vişnenin rehidrasyonu süresince brix değişimi

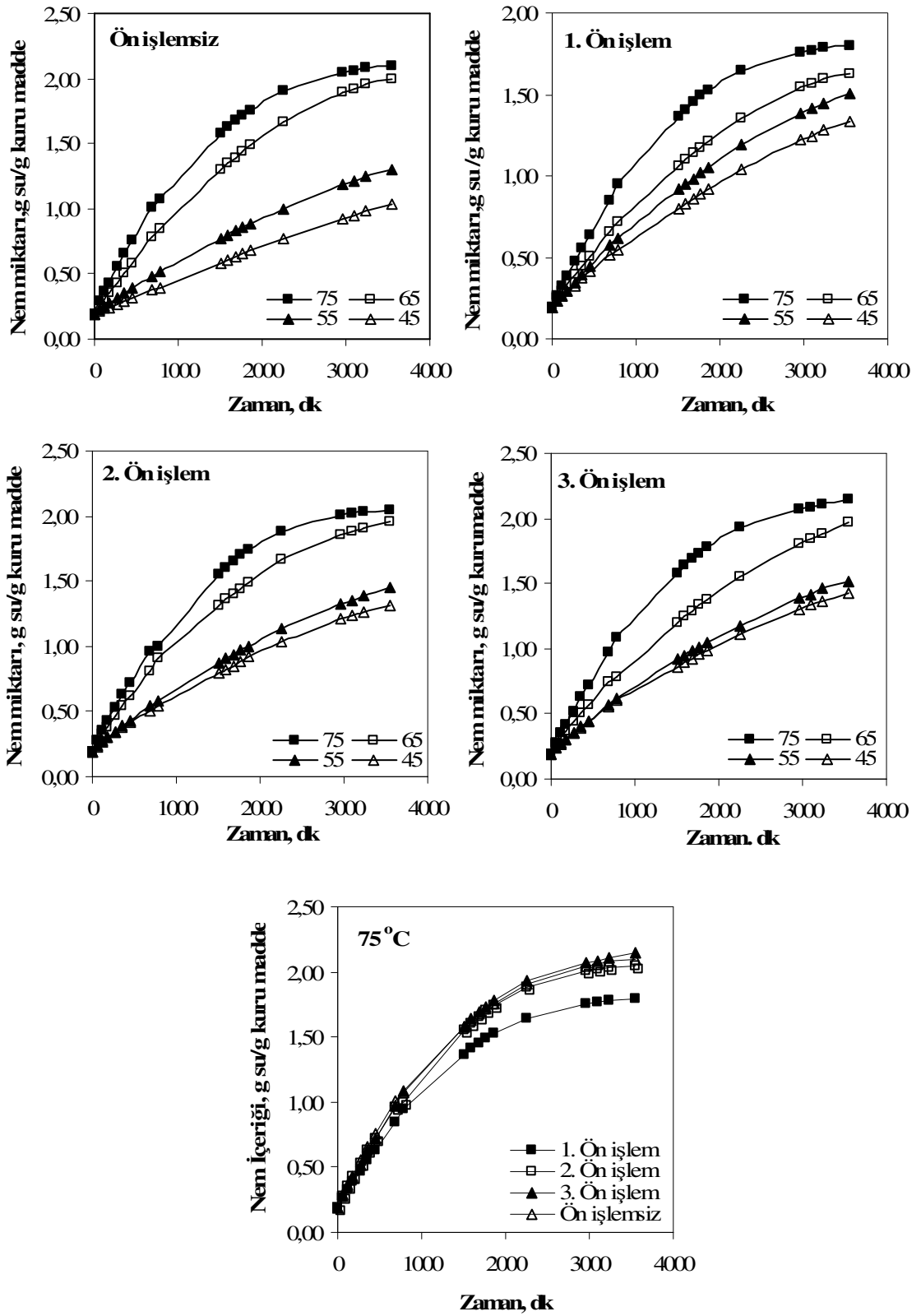


Şekil 6.13. Farklı ön işlem uygulanmış kiraz ve vişnenin rehidrasyonu süresince Brix değişimi

Rehidrasyon süresince periyodik yapılan kütle ölçümlerinden g su/ g kuru madde olarak kuru temel nem içeriği değerlerine geçildikten sonra zamanla değişimi grafiğe geçirilmiştir. Şekil 6.14 ve şekil 6.15 te sırasıyla kirazın ve vişnenin rehidrasyonu süresince zamanla nem içeriğindeki değişimler verilmiştir. Her bir ön işlem için verilen nem değerlerinin yanı sıra sabit sıcaklıkta kurutulmuş meyvelerde ön işlemin rehidrasyona etkisi de ilgili şekillerde yer almaktadır.



Şekil 6.14. Kirazın rehidrasyon sürecinde zamanla nem içeriğindeki değişim



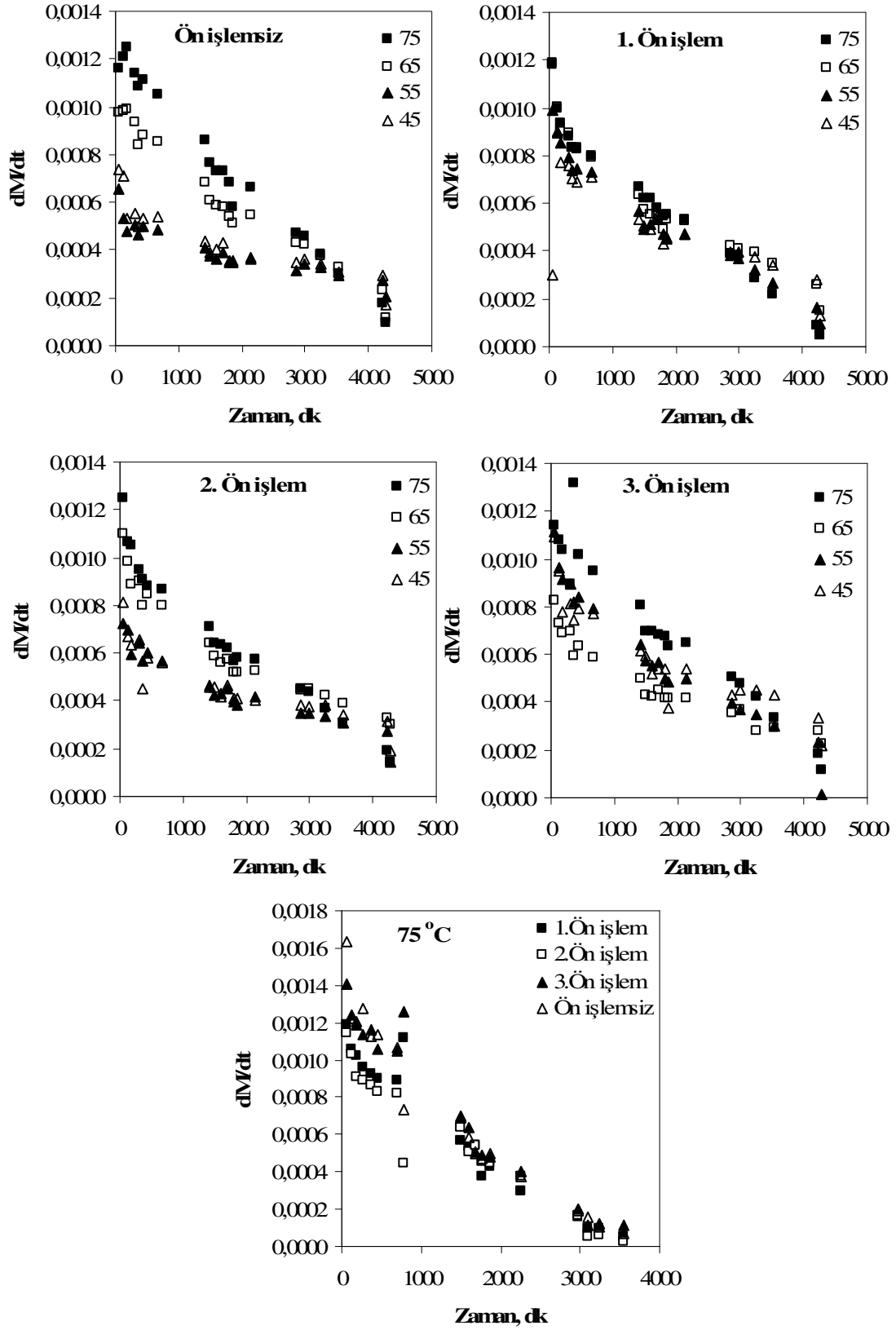
Şekil 6.15. Vişnenin rehidrasyon sürecinde zamanla nem içeriğindeki değişim

Şekillerden görüldüğü üzere meyveler kuruma sıcaklığındaki artışa paralel olarak daha hızlı nem kazanmıştır. Tüm ön işlemlerde geçerli olan bu sonuç kurutma sıcaklığının rehidrasyon üzerine olumlu etkisi olduğu şeklinde yorumlanabilir. Buna göre yüksek sıcaklıkta kuruyan meyvelerin daha hızlı nem kazanmış olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç literatürle uyumludur.(Dadalı ve ark., 2008 , Giri ve Prosad, 2007).

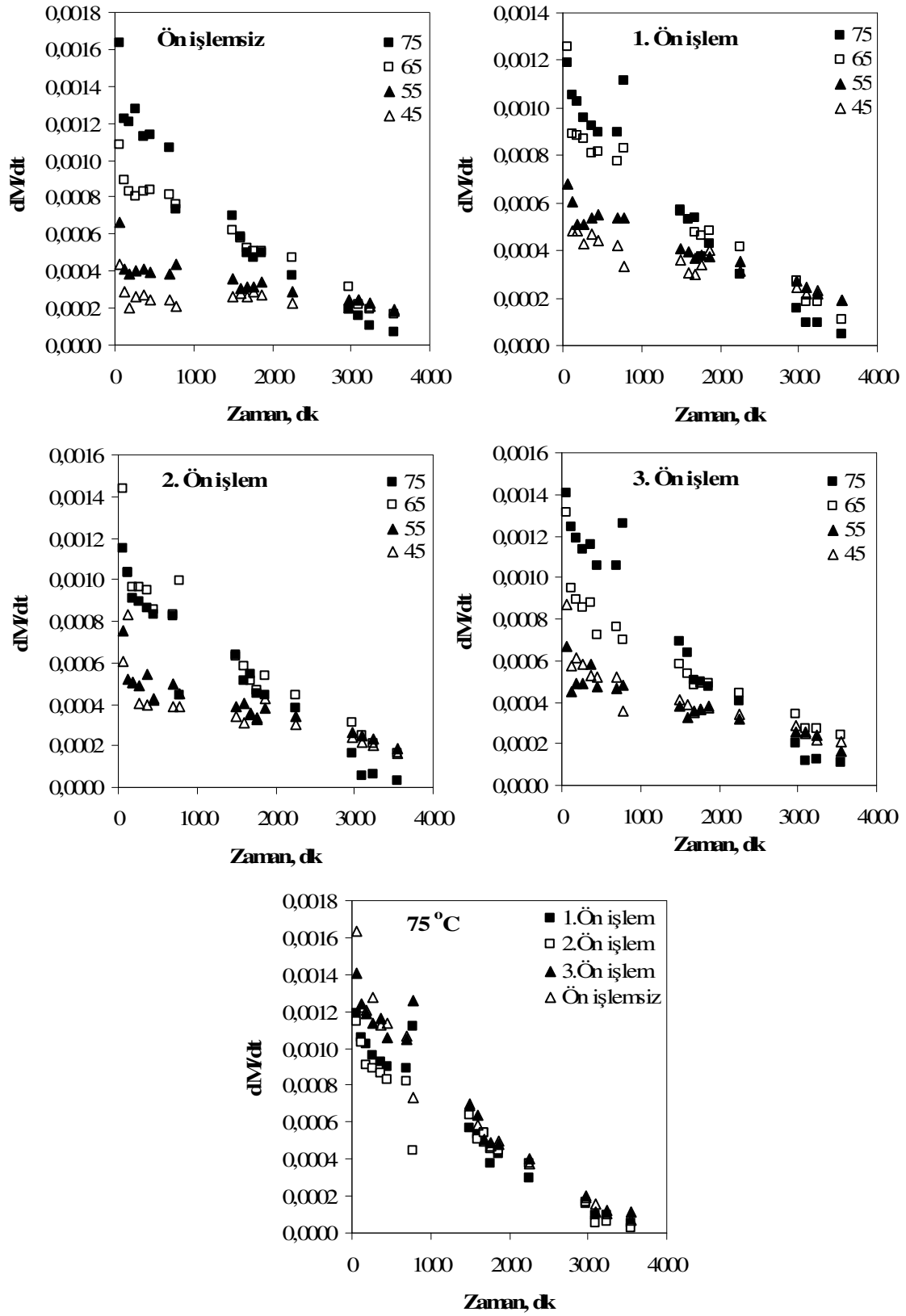
Kiraz da ön işlem uygulanmayan ürün daha hızlı sürede nem alırken 1. ön işlem ve 2. ön işlem uygulanan kirazlarda ise daha yavaş nem artışı gözlenmiştir.3. ön işlem uygulanarak kurutulan kirazların ise en yavaş rehidre olduğu Şekil 6.14 ten görülmektedir. Vişnede ise 3. ön işlem uygulanarak kurutulan ürün en hızlı bir şekilde nem aldığı, 1.ön işlem uygulanarak kurutulan ürünün ise en yavaş nem kazanma kabiliyetine sahip olduğu Şekil 6.15' den görülmektedir. Ön işlemsiz ve 2. ön işlem uygulanarak kurutulan vişnelerin rehidrasyon sürecince birbirine çok yakın değerler oranında nem kazandığı anlaşılmıştır.

Rehidrasyon süresince elde edilen nem içeriği değerlerinin zamana göre nümerik diferansiyelinin alınmasıyla rehidrasyon hızları elde edilmiş ve kiraz için şekil 6.16 vişne için şekil 6.17 de verilmiştir.

Şekillerden görüldüğü üzere yüksek sıcaklıkta kurutulan madde daha hızlı rehidre olmaktadır. Ayrıca tüm sıcaklıklar ve tüm ön işlemler de rehidrasyon hızı zamanla azalan bir trend göstermektedir. Bu nedenle tüm rehidrasyon olayı sırasında meyveye nüfuz eden suyun hareketi katı içi difüzyon mekanizmasına göre gerçekleşmektedir. Yüzeydeki, kütle transfer direnci ihmal edilebilir. Azalan rehidrasyon hızı dönemine ait etkin difüzyon katsayısı Fick'in II yasasının sabit yüzey konsantrasyonu sınır şartına göre çözümünden (denklem 2.5) belirlenebilir.



Şekil 6.16. Kirazın rehidrasyon sürecinde zamanla rehidrasyon hızındaki değişim



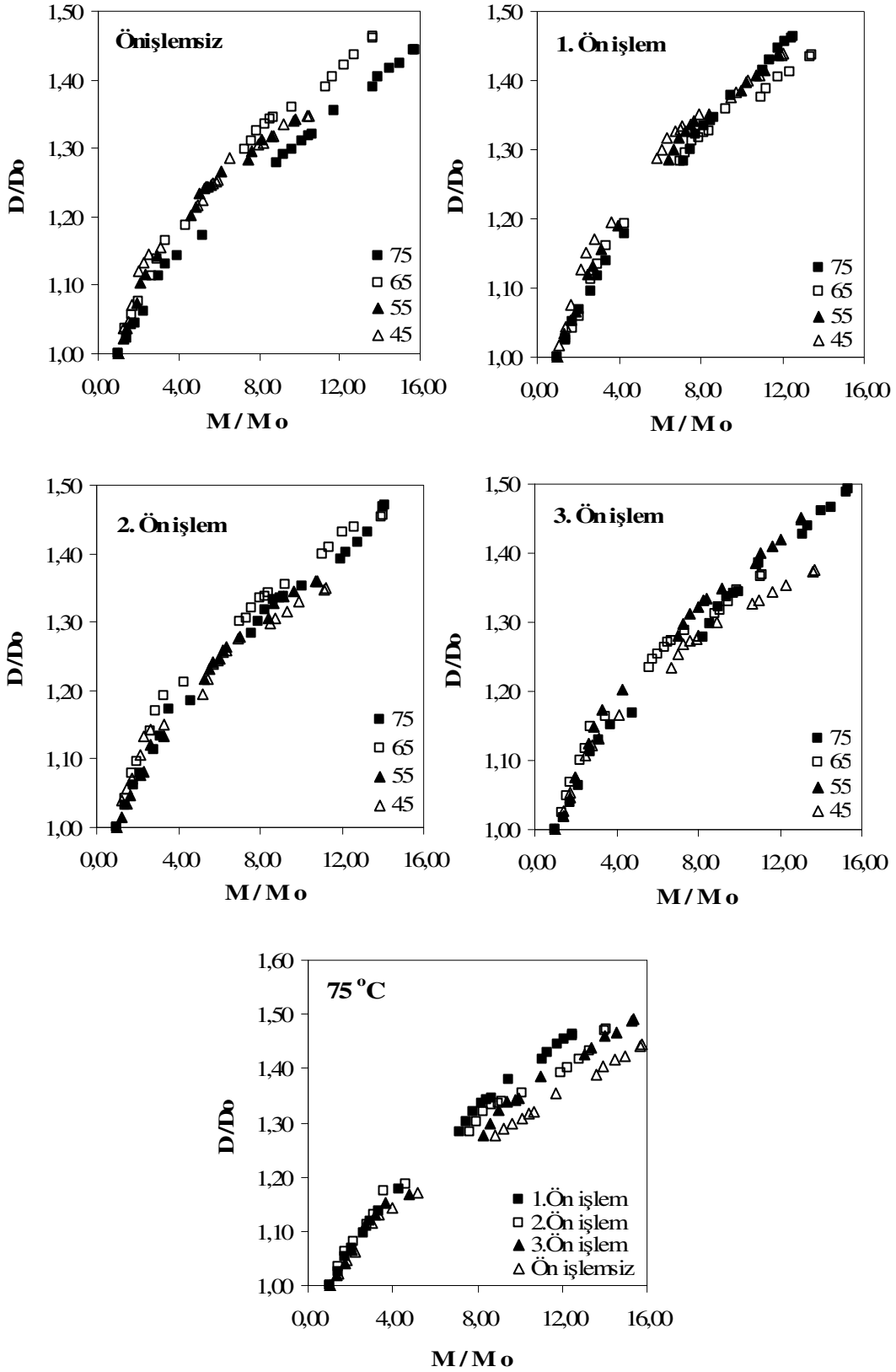
Şekil 6.17 Vişnenin rehidrasyon sürecinde zamanla rehidrasyon hızındaki değişim

Denklem 2.5' nin tek bir teriminin alınmasıyla basitleştirilmesi ve lineerleştirilmesi sonucunda difüzyon katsayısı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir. Zamana karşı boyutsuz nemin \ln i grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğimi difüzyon katsayısını verir.

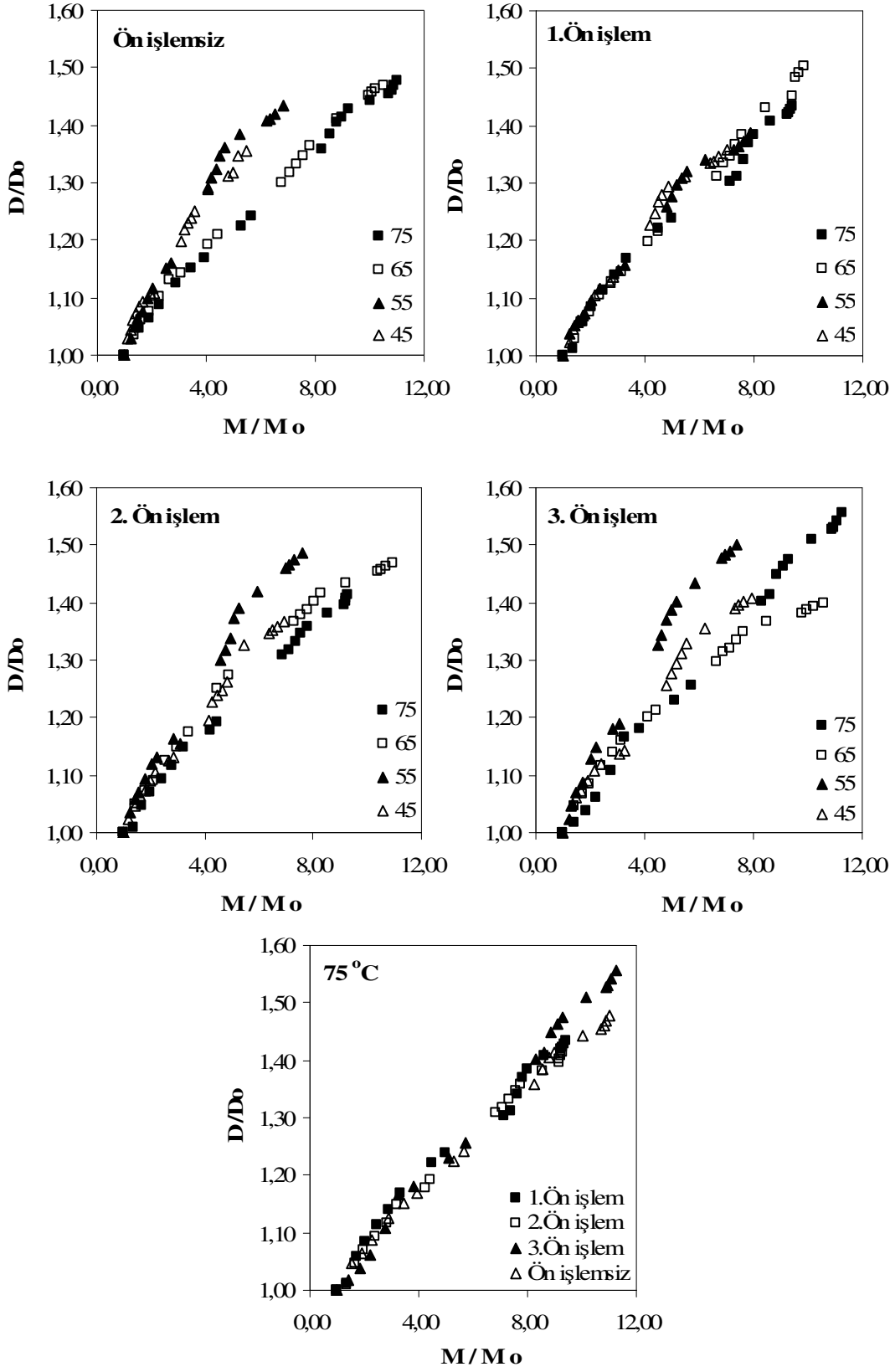
$$\ln(MR) = \ln(6/\pi^2) - D_{eff} (\pi/r)^2 t$$

Ön işlemler ve ön işlemiz olarak farklı sıcaklıklarda kurutulan kiraz ve vişnenin ortam sıcaklığında rehidrasyonu sırasında nem difüzyon katsayısını hesaplamak amacıyla t - $\ln MR$ grafikleri çizildi. Elde edilen doğru denklemlerinin eğimlerinden difüzyon katsayıları hesaplandı. Difüzyon katsayıları, çap değişimi ihmal edilerek ve şekil 6.18 ve 6.19 de verilen rehidrasyon sırasında kiraz ve vişne deki çap değişimleri kullanılarak hesaplandı. Sonuçlar şekil 6.20 de verildi.

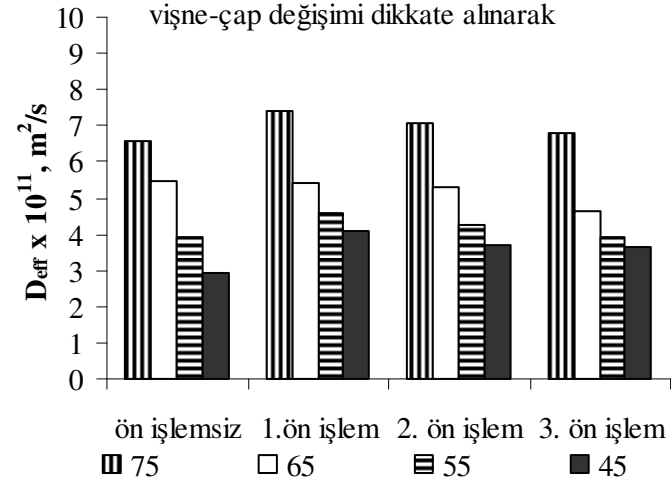
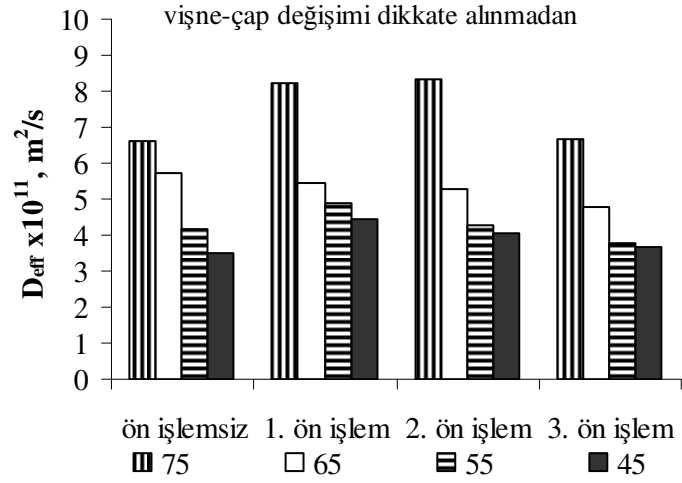
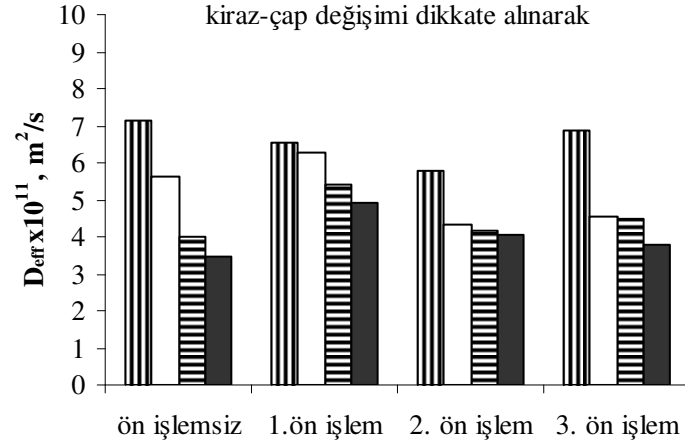
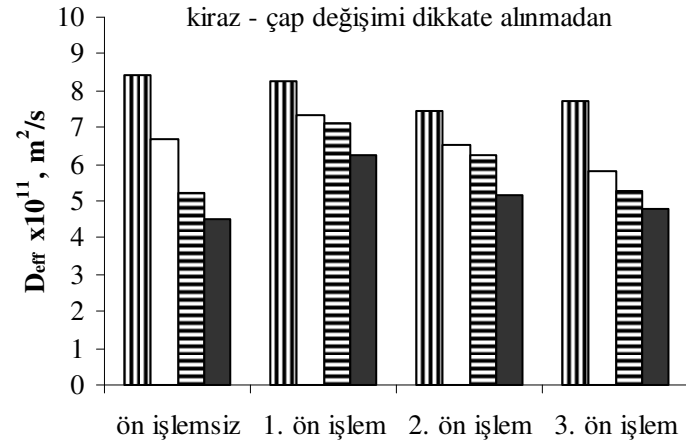
Şekil 6.20 den görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklarda kurutulan meyveler daha hızlı nem aldıklarından suyun difüzyon katsayısı daha yüksek çıkmıştır. Kurutma sıcaklığındaki düşüşle bağlantılı olarak nem alışı hızı azaldığından difüzyon katsayıları da azalmaktadır. Rehidrasyon sırasında vişne ve kirazın boyutlarındaki değişim dikkate alınarak hesaplanan difüzyon katsayılarının, değişimin dikkate alınmadığı durumdakinden daha düşük bulunması da Şekil 6.20 den görülen bir diğer sonuçtur. Kurutma sırasında hesaplanan difüzyon katsayılarında da benzer sonuç elde edilmişti. Kuruma sırasında deforme olan meyvelerin nem kazanırken büzülmenin de etkisiyle daha yavaş nem kazandıkları söylenebilir.



Şekil 6.18. Kirazın rehidrasyonu sırasında çapındaki değişim



Şekil 6.19. Vişnenin rehidrasyonu sırasında çapındaki değişim



Şekil 6.20. Kiraz ve vişnenin rehidrasyonu sırasında suyun meyve içine transferi için hesaplanan difüzyon katsayıları

7. SONUÇLAR

Kiraz ve vişnenin ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak, farklı sıcaklıklarda kurutulduğu, kuruma sırasında büzülme davranışının incelendiği, sonrasında da rehidrasyon yeteneğinin araştırıldığı çalışmada aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

► Kurutucu ortam sıcaklığının artması ile kiraz ve vişnelerden birim zamanda buharlaşan su miktarı artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda suyun buhar fazına geçmesi ve ortamdan uzaklaşması daha hızlı gerçekleştiğinden sıcaklık arttıkça kuruma hızı artmakta ve nem kaybı daha hızlı bir şekilde olmaktadır. %2 Etil Oleat, %5 NaOH ile ön işlem uygulanan kirazlar ve %2 Etil Oleat, %5 K₂CO₃ ile ön işlem uygulanan vişneler daha hızlı kurumuştur.

► Meyvelerin tüm kuruma şartlarında genel olarak , çapta %40 oranında değişim gözlenirken hacimde %80-85 oranında değişim gözlenmiştir. Çap, yoğunluk ve hacimde meydana belen büzülme boyutsuz nem oranı ile $y=a+bx$ şeklinde doğrusal olarak değişmektedir. Bu, kiraz ve vişnede meydana gelen büzülmenin uzaklaşan suyun hacmine eşit olduğunu yani mekanik dengeye ulaşıldığını gösterir. Aynı zamanda kurutulan madde elastik yapıda olduğu için, yüksek nem içeriklerinde, büzülme ile nem kaybı tamamen dengededir ve hacim nem içeriğiyle doğrusal olarak azalır. $y=a+bx$ şeklindeki doğrusal denklemin eğiminin sıcaklıkla artması ve kaymasının artan sıcaklıkla azalması, yüksek sıcaklıklarda daha fazla büzülmenin meydana geldiğinin göstergesidir. Yüksek sıcaklıklarda kurumanın daha hızlı gerçekleşmesi büzülmeyi az da olsa arttırmıştır.

► Uygulanan ön işlemlerin büzülmeye etkisi incelendiğinde , en az büzülme, ön işlemsiz kurutulan kirazda gözlenirken ön işlem uygulanması kirazın büzülmesini arttırmıştır. Kiraz da en fazla büzülme %2 Etil Oleat, %2 K₂CO₃, %1 sitrik asit çözeltisi uygulanmış üründe görülmüştür. Kirazın tersine vişne kurutulmasında ön işlem uygulaması büzülmeyi azaltmıştır. En fazla büzülme ön işlemsizde gözlenirken en az büzülme %2 Etil Oleat, %5 NaOH çözeltisi uygulanan vişnede görülmüştür.

► Kiraz ve vişnenin yıgın yoğunluğu nem içeriğindeki azalma ile artmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda yapılan kurumanın ilerleyen aşamalarında, kütle kaybı hacimsel azalmadan daha düşük olduğu için zamanla meyvelerin yoğunluğunda artış meydana gelmektedir.

► Yüksek sıcaklıklarda daha yüksek kuruma hızı elde edilirken sıcaklık düştükçe kuruma hızı da düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda suyun buhar fazına geçmesi ve ortamdaki uzaklaşması daha hızlı gerçekleştiğinden sıcaklık arttıkça kuruma hızı artar. Ayrıca vişne ve kirazların tüm sıcaklıklarda kuruma hızı zamanla azalma göstermektedir. Bu da kurumanın tümüyle azalan kuruma hızı döneminde gerçekleştiğinin göstergesidir. Azalan kuruma hızı döneminde gerçekleşen kuruma olayında nem, yüzeye katı içi difüzyon kontrolünde taşınmaktadır ve difüzyon katsayısı nem transferinin bir ölçüsü olarak ele alınmaktadır.

► Her bir ön işlemden sıcaklık arttıkça difüzyon katsayısı artmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla meyvedeki suyun kinetik enerjisinin artması ve daha hızlı hareket etmesi nedeniyle yüzeye daha hızlı ulaşmakta ve yüzeyden çevreye buhar fazında daha hızlı transfer olmaktadır. Ayrıca her iki meyvede de büzülmenin dikkate alındığı durumda büzülmesize göre daha düşük difüzyon katsayıları elde edilmiştir. Bu durum büzülme nedeniyle çapta meydana gelen azalma ve dolayısıyla meyve içindeki kapillerin kırılması nedeniyle meyve yüzeyinin iç kısımlara doğru çekilmesiyle suyun transferinin engellenmesinden kaynaklanmaktadır.

► Aktivasyon enerjisi katı matriksten nemin uzaklaşması için gerekli enerjinin bir göstergesidir. Aktivasyon enerjisindeki azalma, moleküllerin ortalama enerjilerindeki artıştan kaynaklanmaktadır. %2 Etil Oleat, %5 NaOH uygulanan kirazın aktivasyon enerjisi diğer kirazların enerjilerine göre daha düşüktür. %2 Etil Oleat, %5 NaOH uygulanan kirazın kuruma hızının farklı ön işlem uygulanan diğer kirazlara nazaran daha yüksek olması aktivasyon enerjisinin düşük olduğunun bir diğer göstergesidir. %2 Etil Oleat, % 2 K₂CO₃, %1 Sitrik asit uygulanan vişnenin aktivasyon enerjisi ön işlem uygulanmayan ve farklı ön işlem uygulanan diğer vişnelere göre daha düşük

olduğu saptanmıştır. Kuruma hızının da aynı şekilde %2 Etil Oleat, % 5 K₂CO₃ çözeltisi uygulanan vişnenin daha yüksek olması bu değerleri doğrular niteliktedir.

► Çalışılan şartlarda (45-75 °C) kurutmanın modellenmesinde, kirazın ön işlemsiz %2 Etil Oleat, %2 K₂CO₃, %1 sitrik asit ve %2 Etil Oleat, %5 K₂CO₃ ile ön işlem uygulanarak kurutulmasında Henderson ve Pabis modelinin , %2 Etil Oleat, %5 NaOH ile ön işlem uygulanmasında ise Newton modelinin istatistiksel anlamlı ve kuruma olayını en iyi açıklayan modeller olduğu görüldü.

Vişnenin ön işlemsiz, %2 Etil Oleat, %2K₂CO₃, %1 sitrik asit ve %2 Etil Oleat, %5 NaOH ile kurutulmasında logaritmik modelin, %2 Etil Oleat, %5 K₂CO₃ ile ön işlem gördüğünde ise Henderson ve Pabis modelinin istatistiksel anlamlı ve çalışma şartlarında en uygun modeller olduğu bulundu.

► Kirazın çalışma şartlarında çapında ve hacminde meydana gelen büzülme en iyi açıklayan modelin 2 nolu model ($D/D_0 = a+b(M/M_0)$) olduğu, yoğunluğunda meydana gelen değişimi ise uygulanan ön işleme göre model 3 ($D/D_0 = a \cdot \exp(bM/M_0)$) ve model 5'in ($D/D_0 = a \cdot \ln(M) + b$) en iyi açıkladığı görüldü.

Vişnenin kuruması sırasında çapında meydana gelen değişim için ön işlemsiz ve , %2 Etil Oleat, %5 K₂CO₃ uygulamasında model 6' nın ($D/D_0 = (M+a)/(M_0+a)$), %2 Etil Oleat, %5 K₂CO₃, %1 sitrik asit uygulamasında model 2' nin ($D/D_0 = a+b(M/M_0)$) ve %2 Etil Oleat, %5 NaOH ile muamelede model 2 ve model 6' nın birlikte kullanılabileceği görüldü. Hacminde meydana gelen değişim için model 2' nin yoğunluğunda meydana gelen değişim için ise ön işlemsiz ve %2 Etil Oleat, %5 NaOH uygulama için model 3' ün ($D/D_0 = a \cdot \exp(bM/M_0)$), %2 Etil Oleat, %2K₂CO₃, %1 Sitrik asit ve %2 Etil Oleat, %5 K₂CO₃ uygulamada ise model 5' in ($D/D_0 = a \cdot \ln(M) + b$) en uygun olduğu bulundu.

► Uygun olduğu ifade edilen modeller deneysel çalışmanın yürütüldüğü şartlar şartlar için geçerli olduğundan farklı kurutma şartları veya tekniklerinin kullanıldığı durumlar için değişiklik gösterebilir.

►Tüm ön işlemlerde kurutma sıcaklığının rehidrasyon üzerine olumlu etkisi vardır.Yüksek sıcaklıkta kuruyan meyvelerin daha hızlı nem kazanmış olduğu görülmektedir. Kiraz da ön işlem uygulanmayan ürün daha hızlı sürede nem alırken %2 Etil Oleat, % 2 K₂CO₃, %1 Sitrik asit ve %2 Etil Oleat, % 5 K₂CO₃ uygulanan kirazlarda ise daha yavaş nem artışı gözlenmiştir. %2 Etil Oleat, %5 NaOH uygulanarak kurutulan kirazların ise en yavaş rehidre olduğu sonucuna varılmıştır.Vişnede ise %2 Etil Oleat, %5 NaOH uygulanarak kurutulan ürün en hızlı şekilde nem aldığı, %2 Etil Oleat, % 2 K₂CO₃, %1 sitrik asit uygulanarak kurutulan ürünün ise en yavaş nem kazanma kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür. Ön işlemsiz %2 Etil Oleat, % 5 K₂CO₃ uygulanarak kurutulan vişnelerin rehidrasyon sürecince birbirine çok yakın değerler oranında nem kazandığı anlaşılmıştır.

► Zamana karşı boyutsuz nemin ln' sı grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğimi difüzyon katsayısını verir. Yüksek sıcaklıklarda kurutulan meyveler daha hızlı nem aldıklarından suyun difüzyon katsayısı daha yüksek çıkmıştır. Kurutma sıcaklığındaki düşüşle bağlantılı olarak nem alış hızı azaldığından difüzyon katsayıları da azalmaktadır. Rehidrasyon sırasında vişne ve kirazın boyutlarındaki değişim dikkate alınarak hesaplanan difüzyon katsayılarının, değişimin dikkate alınmadığı durumdakinden daha düşük bulunmuştur. Kuruma sırasında deforme olan meyvelerin nem kazanırken büzülmenin de etkisiyle daha yavaş nem kazandıkları söylenebilir.

8. KAYNAKLAR

- Agrawal, Y. C., Singh, R. P. 1977. "Thin layer drying studies on short grain rough rice." ASAE Paper No: 3531. St. Joseph MI:ASAE.
- Akiyama, T., Hayakawa, K. 2000. "Heat and moisture transfer and hygrophysical changes in elastoplastic hollow cylinder-food during drying." *Journal of Food Science*, 65(2), 315-323.
- Akiyama, T., Liu, H., Hayakawa, K. 1997. "Hygrostress-multicrack formation and propagation in cylindrical viscoelastic food under-going heat and moisture transfer processes." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40(7), 1601-1609.
- Akpinar, E. K.. 2006. "Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants." *Journal of Food Engineering*, 77, 864–870.
- Akpinar, E. K., Bicer, Y. , Cetinkaya, F. 2006. "Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun." *Journal of Food Engineering*, 75, 308–315.
- Aktaş, M ., Ceylan, İ . , Yilmaz, S. 2009. "Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer". *Desalination*, 239, 266–275.
- Alibas, I. 2007. "Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices" *LWT - Food Science and Technology*, 40, 1445–1451.
- Alibas I. Ozkan, Akbudak, B., Akbudak, N. 2007. "Microwave drying characteristics of spinach." *Journal of Food Engineering*, 78, 577-583.
- Azzouz, S. , Guizani, A. , Jomaa, W. , Belghith, A. 2002. "Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes." *Journal of Food Engineering*, 55, 323-330.
- Balaban, M. 1989. "Effect of change in foods on the tempature and moisture content predictions of simultaneous heat and moisture transfer models." *Journal of Food Process Engineering* 12, 67-88.
- Barnwal, P., Tiwari, G.N. 2008. "Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: An experimental study". *Solar Energy*, 82, 1131-1144.

- Berruti, F.M., Klaas, M. , Briens, C. , Berruti, F. 2009. "Model for convective drying of carrots for pyrolysis." *Journal of Food Engineering*, 92, 196-201.
- Bruin, S., Luiben K. C. A. M. 1980. "Drying of food materials : A review of recent developments." In A. S. Mujumdar (Ed), *Advances in drying* (vol. I, pp.155-215). New York: Hemisphere Publishing Corp.
- Chirife, J. 1983. "Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods." In A. S. Mujumdar (Ed.), *Advances in drying* (vol. 2, pp. 73-102). NewYork : Hemisphere Publishing Corp.
- Celma, A. R. , López-Rodríguez, F. , Cuadros Blázquez, F. 2009. "Experimental modelling of infrared drying of industrial grape by-products." *Food and Bioproducts Processing*, 87, 247-253.
- Celma, A. R., Cuadros, F., López-Rodríguez, F. 2009. "Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process." *Food and Bioproducts Processing*, 87, 282-291.
- Cemeloğlu, B, ACAR, J. 1986. *Meyve Ve Sebze İşleme Teknolojisi Blm.9.Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın No:6, Ankara*
- Ceylan, İ., Aktaş, M. 2008 " Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Fındık Kurutulması." *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 23(1), 215-222.
- Chhninman, M. S. 1984. "Evaluation of selected mathematical models for describing thin layer drying of in-shell pecans." *Transactions of the ASAE*, 27, 610–615.
- Contreras, C., Martín-Esparza, M.E. , Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N. 2008. "Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry." *Journal of Food Engineering*, 88, 55-64.
- Correa, P.C., Riberio, D.M., Resende, O, Junior, P.C.A., Goneli, A.L.D. 2004 "Mathematical modelling for representation of coffee berry volumetric shrinkage. Drying" *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, 742-747.
- Coulsan, J.M and Richardson, J.F, 1991. *Chemical Engineering*, 2, 4th Ed. Pergamon Pres, Oxford

- Çağlar, A., Toğrul, İ.T., Toğrul, H. 2009. "Moisture and thermal diffusivity of seedless grape under infrared drying." *Food and Bioproducts Processing*, 87, 292-300.
- Çakmak, G. ve Yıldız, C. 2009 "Design of a new solar dryer system with swirling flow for drying seeded grape." *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(9), 984-990.
- Dadali, G., Demirhan, E. , Özbek, B. 2008. "Effect of drying conditions on rehydration kinetics of microwave dried spinach." *Food and Bioproducts Processing*, 86, 235-241.
- Das, I. , Das, S.K. , Bal, S. 2009. "Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying." *Journal of Food Engineering*, 95, 166-171.
- Del Valle, J. M., Cuadros, T. R. M., Aguilera J. M. 1998. "Glass transitions and shrinkage during drying and storage osmosed apple pieces." *Food Research International*, 31(3), 191-204.
- Diamente, L. M., Munro, P.A. 1991. " Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices." *International Journal of Food Science and Technology*. 26,99.
- Doymaz, İ. 2008. "Convective drying kinetics of strawberry." *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47, 914–919.
- Doymaz, İ. 2007. "Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry." *Journal of Food Engineering*, 78, 591-596.
- Doymaz, İ. 2007. "The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices." *Journal of Food Engineering*, 79, 243-248.
- Doymaz, İ. 2004. "Convective air drying characteristics of thin layer carrots." *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.
- El-Beltagy, A. , Gamea, G.R. , Amer Essa, A.H. 2007."Solar drying characteristics of strawberry." *Journal of Food Engineering*, 78, 456-464.
- Ertekin, C. , Yaldiz, O. 2004. "Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model." *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359.
- Fadhel, A. , Kooli, S. , Farhat, A. , Bellghith, A. 2005. "Study of the solar drying of grapes by three different processes." *Desalination*, 185, 535-541.

- Fortes, M., Okos, M.R. 1980. "Changes in physical properties of corn during drying." Transactions of the ASAE, 1004-1008.
- Geankoplis, C.J. 1993. Transport Processes and Unit Operations. 3rd Edition, Prentice-Hall Inc.
- Giri, S.K., Prasad, S. 2007. "Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms." Journal of Food Engineering, 78. 512-521.
- Gogus, F., Lamb, J. 1998. "Choice of model gel systems for the food dehydration studies." Drying Technology, 16, 297-309.
- Guiné, R.P.F., Ferreira, D.M.S., Barroca, M.J., Gonçalves, F.M. 2007. "Study of the drying kinetics of solar-dried pears." Biosystems Engineering, 98, 422-429.
- Guiné, R. P.F. 2008. "Pear drying: Experimental validation of a mathematical prediction model." Food and Bioproducts Processing, 86, 248-253.
- Hatamipour, M.S., Mowla, D. 2002. "Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed." Journal of Food Engineering 55, pp. 247-252.
- Henderson, S. M. 1974. "Progress in developing the thin layer drying equation." Transactions of the ASAE, 17, 1167-1168.
- Holdworth, S. D. 1971. "dehydration of food products." A review. Journal of Food Technology, 6(4), 331-370.
- Izumi, M., Hayakawa, K. 1995. "Heat and moisture transfer and hygrostress crack formation and propagation in cylindrical, elastoplastic food." International Journal of Heat and Mass Transfer, 38(6), 1033-1041.
- Jain, D. 2006. "Determination of Convective Heat and Mass Transfer Coefficients for Solar Drying of Fish." Biosystems Engineering, 94, 429-435.
- Jayaraman, K. S., Das Gupta, D. K. 1992. "Dehydration of fruits and vegetables – recent developments in principles and techniques." Drying Technology, 10(1), 1-50.
- Jayaraman, K. S., Das Gupta, D. K., Babu Rao, N. 1990. "Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower." International Journal of Food Science and Technology, 25, 47-60.

- Karabulut, I. , Topcu, A. , Duran, A. , Turan, S. , Ozturk, B., 2007. “ Effect of hot air drying and sun drying on color values and B-carotene content of apricot (*Prunus armenice L.*). LWT-Food Science and Technology, 40 (5), 753-758.
- Karathanos, V. T. 1999. “ Determination of the water content of dried fruits by drying kinetics.” Journal of Food Engineering 39, 337-344.
- Karathanos, V. T., Anglea, S., Karel, M. 1993. “Collapse of structure during drying of celery.” Drying Technology, 11(5), 1005-1023.
- Kassem, A.S. 1998. “Comparative studies on thin layer drying models for wheat.” In 13th International Congress on Agricultural Engineering, Vol. 6.Morocco.
- Kaya, Z. 2004. S,yah üzümün kuruması sırasında meydana gelen ısı ve kütle transferinin incelenmesi, Fırat Üniversitesi, Müh. Fak. Kimya Müh. Bölümü, Bitirme tezi, 2-3.
- Kavak Akpınar, E., Bicer, Y. 2008. “ Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun” Energy Conversion and Management, 49. 1367-1375.
- Key, R.B., 1972. Drying Principles and practice, Pergamon Press, New York.
- Khraisheh, M. A. M., Cooper, T. J.R., Magee, T.R.A. 1997. “Shrinkage characteristics of potatoes dehydrated under combined microwave and convective air conditions.” Drying Technology, 15(3/4), 1003–1022.
- Kilpatrick, P.W., Lower E.,Van Arsdel, W.B. 1955 “Tunnel dehydrators for fruits and vegetables.” In: E.M. Mrak and G.F. Stewart, Editors, Advances in food research Vol. 6, Academic Press, New York. pp. 313–372.
- King, C. J. 1971. “Freeze drying of foods, OH: CRC Press, The chemical Rubber Co.
- Kooli, S. , Fadhel, A. , Farhat, A. , Belghith, A. 2007. “Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions.: Mathematical modeling and experimental validation.” Journal of Food Engineering, 79, 1094–1103.
- Koua, K. B. , Fassinou, W. F. , Gbaha, P. , Toure S. 2009. “Mathematical modelling of the thin layer solar drying of banana, mango and cassava.” Energy, 34, :1594-1602.
- Koyuncu, T., Tosun, İ. , Pınar Y. 2007. “Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*).” Journal of Food Engineering, 78, 735-739.

- Krokida, M.K., Maroulis, Z. B. 1997. "Effect of drying method on shrinkage and porosity." *Drying Technology*, 15(10), 2441-2458.
- Kumar, A. , Tiwari, G.N. 2007. "Effect of mass on convective mass transfer coefficient during open sun and greenhouse drying of onion flakes." *Journal of Food Engineering*, 79,1337-1350.
- Lahsasni, S. , Kouhila, M. , Mahrouz, M. , Jaouhari, J. T. 2004. "Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*)." *Journal of Food Engineering*, 61,173-179.
- Lang, W., Sokhansanj, S. 1993. "Bulk volume shrinkage during drying of wheat and canola." *Journal of Food Process Engineering*, 16, 305-314.
- Levi, G., Karel, M. 1995. "Volumetric shrinkage (collapse) in freeze dried carbonhydrates above their glass transition tempature." *Food Reasearch International*, 28(2), 145-151.
- Litchfield, J.B., Okos, M. R. 1988. "Prediction of corn kernel stres and breakage induced by drying tempering and cooling." *Transactions of the ASAE*. 31, 585-594.
- Liu, Q., Bakker-Arkema, F. W. 1997. "Stochastic modelling of grain drying, Part 2: Model development." *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 275–280.
- Lozano, J. R., Rotstein, E., Urbicain, M. J. 1980. " Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits." *Journal of Food Science*, 45, 1403-1407.
- Lozano, J. R., Rotstein, E., Urbicain, M. J. 1983. "Shrinkage porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents." *Journal of Food Science*, 48, 1497-1502, 1553.
- Mayor L, Sereno AM. 2004 "Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review." *J Food Engineering* , 61: 373–386.
- Menges, H. O. , Ertekin, C. 2006a. "Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples." *Journal of Food Engineering*, 77. 119-125.
- Menges, H. O. , Ertekin, C. 2006b. "Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums." *Energy Conversion and Management*, 47. 2337-2348.

- Meminn, W. A. M., Magee, T. R. A. 1997a " Physical characteristics of dehydrated potatoes- part I." Journal of Food Engineering, 33, 37-48.
- Meminn, W. A. M., Magee, T. R. A. 1997b " Physical characteristics of dehydrated potatoes- part II." Journal of Food Engineering, 33, 49-55.
- Mensah, J. K. Nelson, G. L., Herum, F. L., Richard, T.G. 1984 "Mechanical properties related to soybean seedcoat cracking during drying." Transactions of the ASAE. 1277-1282.
- Midilli, A. and Küçük, H. 2003. "Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy." Energy Conv. Man. 44(7), 1111-1122.
- Mohanraj, M., Chandrasekar, P. 2008. "Drying of copra in a forced convection solar drier." Biosystems Engineering, 99, 604-607.
- Moreira, R., Figueiredo, A., Serano, A. 2000. "shrinkage of apple disks during drying by warm air convection and freeze drying." Drying Technology. 18(2 and 1), 279-294.
- Mujumdar, A.S. 2000. Drying Technology in Agriculture and Food Sciences. Science Publishers, Inc.
- Mujumdar, A. S., Handbook of Industrial Drying, Marcel Dekker Inc, 1., New York, 1995.
- Mutlu, A. Ve Ergüneş, G. 2008. " Tokat'ta Güneş Enerjili Rafli Kurutucu ile Domates Kurutma Koşullarının Belirlenmesi". Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 1(1), 61-68.
- Ochoa, M.R., Kessler, A. G., Pirone, B.N., Marquez, C. A. ,De michelis, A., 2007, "Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (*Prunus avium*) during convective dehydration with very simple models." Journal of Food Engineering, 79(2),657-661.
- Ochoa, M.R., Kessler, A. G., Pirone, B.N., Marquez, C. A. ,De michelis, A. 2002, "Shrinkage During Convective Drying of Whole Rose Hip (*Rosa Rubiginosa,L.*) Fruits." Lebensmittel-Wissenschaft und- Technologie, 35(5) 400-406.
- Ochoa M. R. , Kessler A. G. , Pirone B. N. , Marquez C. A. , De Michelis A. 2002. "Volume and area shrinkage of whole sour cherry fruits (*Prunus cerasus*) during dehydration." Drying technology, . 20(1), 147-156.

- Overhults, D. D., White, G.M., Hamilton, M.E., Ross, I.J. 1973. "Drying soybeans with heated air." Transactions of the ASAE, 16, 195-200.
- O'Callaghan, J. R., Menzies, D. J., Bailey, P. H. 1971. "Digital simulation of agricultural dryer performance." Journal of Agricultural Engineering Research, 16, 223-244.
- Özbek, B. , Dadali, G. 2007. "Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment." Journal of Food Engineering, 83, 541-549.
- Pangavhane, D. R. , Sawhney, R. L., Sarsavadia, P. N. 1999. "Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes." Journal of Food Engineering, 39, 211-216.
- Paulsen, M.R., Thamson, T.L. 1973. "Drying endusus of grain sorghum." Transactions of the ASAE, 16, 537-540.
- Porter, H.F. , Schurr, A.G. , Wells, D.F. , Semrau, K.T., 1985. Solid Drying and Gas Solid Systems, R.H. Perry, N. Don Gren (Ed.) Perry's Chemical Engineers Handbook, 6th Ed., McGraw-Hill
- Praveen Kumar, D.G., Umesh Hebbar, H. , Ramesh, M.N. 2006. "Suitability of thin layer models for infrared-hot air-drying of onion slices." LWT - Food Science and Technology, 39, 700-705.
- Rahman, S. 1995. Food properties handbook. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC ,
- Ratti, C. 1994. "Shrinkage during drying of foodstuffs." Journal of Food Engineering, 23, :91-105.
- Rahman, M.S., Perera, C. O., Theband, C. 1998. "desorption isotherm and heat pump drying kinetics of peas." Food Reaserch International 30, 485-491.
- Reyes, A. , Cerón, S., Zúñiga, R. , Moyano, P. 2007. "A comparative study of microwave-assisted air drying of potato slices." Biosystems Engineering, 98, 310-318.
- Sacilik, K. , Keskin, R. , Elicin, A. K. 2006. "Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato." Journal of Food Engineering, 73, 231-238.

- Schrader, G. W. Litchfield, J. B. 1992. "Moisture profiles in a model food gel during drying: Measurement using magnetic resonance imaging and evaluation of the Fickian model." *Drying Technology*, 10(2), 295-332.
- Sharaf-Elden, Y. I., Blaisdell, J. L., Hamdy, M. Y. 1980. "A model for ear corn drying." *Transactions of the ASAE*, 5, 1261-1265.
- Sharma, G.P. , Verma, R.C. , Pathare, P. 2005. "Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices." *Journal of Food Engineering*, 71, 282-286.
- Simal, S., Rossella, C., Berna, A., Mulet, A. 1998. "Drying of shrinking cylinder shaped bodies." *Journal of Food Engineering*, 37, 423-435.
- Stepień, B. 2008. "Effect of vacuum-microwave drying on selected mechanical and rheological properties of carrot." *Biosystems Engineering*, 99, 234-238.
- Strumillo, C., Kudra, T. 1986. *Drying : principles, Applications and Design* Gordon and Breach Science Pub. corp.
- Thamson, T. L., Peart, P. M., Foster, G.H. 1968. "Mathematical simulation of corn drying a new model." *Transactions of the ASAE*, 11, 582-586.
- Toğrul, H. 2006. "Suitable drying model for infrared drying of carrot." *Journal of Food Engineering*, 77, 610-619.
- Toğrul, H. 2005. "Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices." *Journal of Food Engineering*, 71, 311-323.
- Toğrul, İ. T. , Pehlivan, D. 2004, "Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process." *Journal of Food Engineering*, 65(3), 413-425.
- Toğrul, İ. T. , Pehlivan, D. 2003, "Modelling of drying kinetics of single apricot." *Journal of Food Engineering*, 58(1), 23-32.
- Toğrul, İ. T. , Pehlivan, D. 2002. "Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers." *Journal of Food Engineering*, 55(3), 209-216.
- Treybal, R.E., 1981. *Mass Transfer Operations*, 3rd Ed. Mc Graw-Hill Inc. New York
- Usub, T. , Lertsatitthakorn, C. , Poomsa, N.-ad, Wiset, L. , Siriamornpun, S., Soponronnarit, S. 2009. "Thin layer solar drying characteristics of silkworm pupae". *Food and Bioproducts Processing*, In Press, Corrected Prof.

- Usub, T., Lertsatitthanakorn, C., Poomsa N. ve ark., Wiset, L., Yang, L., Siriamornpun, S. 2008. 'Experimental performance of a solar tunnel dryer for drying silkworm pupae.' *Biosystems Engineering*, 101, 209-216.
- Verma, L. R., Bucklin, R.A., Ednan, J. B., Wratten, F.T. 1985 'Effects of drying air parameters on rice drying models.' *Transactions of the ASAE*, 28, 296-301.
- Wang, J. , Sheng, K. 2006. 'Far-infrared and microwave drying of peach.' *LWT – Food Science and Technology*, 39, 247-255.
- Wang, C.Y., Sing, R. P. 1978. 'A single layer drying equation for rough rice.' ASAE Paper no: 3001. St. Joseph, (MD): ASAE.
- Wang, N., Brennan, J.G. 1995. 'Changes in structuredensity and prosity of potato during dehydration.' *Journal of Food Engineering*, 24(1), 61–76.
- 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 of Food Engineering*, 80, 536–544.
- Westerman, P. W., White, G. M., Ross, I. J. 1973. 'Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn.' *Transactions of the ASAE*, 16, 1136–1139.
- White, G.M., Ross, I.J., Ponekert, R. 1981. 'Fully exposed drying of popcorn.' *Transactions of the ASAE*, 24, 466–468.
- Willis, B., Okos, M., Campanella, O. 1999. 'Effects of glass transition on stress development during drying of a shrinking food system.' In proceedings of the sixth conference of food engineering. (Cofe'99) (pp, 496–451). Dallas, TX.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. 1999. 'Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In A. Başçetinçelik (Ed.)', *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy* (pp. 565–569). 26–27 May, Adana, Turkey. Faculty of Agriculture, Çukurova University.
- Yaldiz, O., Ertekin, C. , Uzun, H. I. 2001. 'Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes.' *Energy*, 26, 457-465.
- Zhang, Q., Litchfield, J. B. 1991. 'An optimisation of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer.' *Drying Technology*, 9, 383–395.

8.1 İnternet Kaynaklar

Erişim Tarihi

1. www.tkb.gov.tr 03.05.2009
2. www.fao.org 03.05.2009
3. DİE(Tar-yap 1991-2002), Tarım İl Müdürlüğü 2003 03.05.2009

9. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İbrahim ARISOY

Doğum Yeri : AFYON

Doğum Tarihi : 24/01/1985

Medeni Hali :Bekar

Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Cumhuriyet Lisesi (Y.D.A) – (2000-2003)

Lisans : Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü- (2003-2007)

Yüksek Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü (2007-2010)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kutlu Unlu Mamulleri – (2007-halen)