

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAVUÇ VE KIRMIZIBİBERİN FARKLI KURUTMA  
YÖNTEMLERİ İLE KURUTULMASI, KURUMA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN VE BAZI KALİTE  
ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN MODELLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**ENGİN DEMİRAY**

**DENİZLİ, OCAK - 2015**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**HAVUÇ VE KIRMIZIBİBERİN FARKLI KURUTMA  
YÖNTEMLERİ İLE KURUTULMASI, KURUMA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN VE BAZI KALİTE  
ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN MODELLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**ENGİN DEMİRAY**

**DENİZLİ, OCAK - 2015**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Engin DEMİRAY tarafından hazırlanan "Havuç ve Kırmızıbiberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 30.01.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

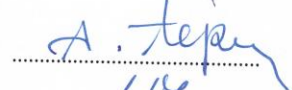
Danışman  
Doç. Dr. Yahya TÜLEK



Üye  
Prof. Dr. Sebahattin NAS  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Prof. Dr. Ayhan TOPUZ  
Akdeniz Üniversitesi



Üye  
Doç. Dr. Filiz İÇİER  
Ege Üniversitesi



Üye  
Doç. Dr. Yusuf YILMAZ  
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18.10.2015 tarih ve 07.139..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimi tarafından 2011FBE045 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

*Engin*  
ENGİN DEMİRAY

## ÖZET

### HAVUÇ VE KIRMIZIBİBERİN FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE KURUTULMASI, KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN MODELLENMESİ

DOKTORA

ENGİN DEMİRAY

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YAHYA TÜLEK)

DENİZLİ, OCAK-2015

Bu çalışmada endüstriyel ve geleneksel olarak kurutulan havuç ve kırmızıbiberin, sıcak hava ile kurutma, vakumlu kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemlerinin yanısıra mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga destekli vakumlu kurutma kombinasyonlarıyla kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Sıcak hava ile kurutma işlemleri 45, 55 ve 65°C'de ve %20 bağıl nemde yapılmıştır. Vakumlu kurutma yöntemi ile örnekler, 21,5 ve 48 kPa mutlak basınç altında, 45, 55 ve 65°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Mikrodalga kurutma işlemleri 780 W mikrodalga gücünde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin kuruma karakteristikleri belirlenmiş ve yarı teorik kurutma modellerinden Page ve Modifiye Page modellerinin deneysel nem oranı değişimini en iyi tanımlayan modeller olduğu belirlenmiştir. Kurutma sürecinde bazı kalite parametreleri, besin içeriklerindeki değişimin belirlenmesi için çeşitli analizler yapılmıştır (Renk, toplam kuru madde, askorbik asit,  $\beta$ -karoten ve su aktivite değerleri). İncelenen kalite faktörlerinden renk değişiminin hem sıfırıncı hem de birinci dereceden kinetik modele uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Kurutma sürecinde havuçlarda  $\beta$ -karoten ve kırmızıbiberlerde ise askorbik asit değişiminin birinci derece kinetik modele uygunluk gösterdiği tespit edilmiştir.  $\beta$ -Karoten kaybının en fazla mikrodalga kurutma ile kurutulan örneklerde olduğu, en az kaybın ise 21,5 kPa mutlak basınç altında 45°C'de kurutulan havuç örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma, 65°C'de sıcak hava ile kurutma, 65°C'de vakumlu kurutma ve mikrodalga destekli 65°C'de yapılan hem sıcak hava hem de vakumlu kurutma işlemleri sonunda Kırmızıbiber örneklerinde askorbik asit belirlenmemiştir. Sarılığı ifade eden Hunter *b* değeri, havuçların kurutma sürecinde, kurutma yöntemleri ve koşullarından önemli düzeyde etkilenmiş olup taze havuç örneklerinin Hunter *b* değerlerinden istatistiksel açıdan farklı olduğu ( $p<0,05$ ) belirlenmiştir. Aynı şekilde, taze kırmızıbiber örneklerinin kırmızılığını ifade eden Hunter *a* değeri ile kurutulmuş örneklerin Hunter *a* değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ( $p<0,05$ ) saptanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Havuç, Kırmızıbiber, Kurutma, Kinetik, Modelleme, Askorbik Asit,  $\beta$ -Karoten

## ABSTRACT

### DEHYDRATION OF CARROT AND RED PEPPER BY DIFFERENT DRYING TECHNIQUES, MODELING OF DRYING CHARACTERISTICS AND CHANGES IN SOME QUALITY PROPERTIES

DOCTOR OF PHILOSOPHY

ENGİN DEMİRAY

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. YAHYA TULEK )

DENİZLİ, JANUARY-2015

In this study, carrot and red pepper, which are dried industrially and traditionally, were dried with hot air, vacuum and microwave drying methods. Moreover these samples were dried with microwave assisted hot air and microwave assisted vacuum drying combinations. Hot air drying processes were carried out at 45, 55 and 65°C temperatures and 20% relative humidity. In the vacuum drying method, three drying temperatures (45, 55 and 65°C) and two vacuum pressure values (21,5 and 48 kPa) were used. Microwave drying were carried out at 780 W microwave power. Five different semi-theoretical drying models available in the literature were fitted to the experimental data. Page and Modified Page models were successfully described drying characteristics of the samples. Various analyses were performed to determine the variation in the nutritional content of certain quality parameters during drying. Color, total dry matter, ascorbic acid,  $\beta$ -carotene and water activity values were determined. Zero- and first-order kinetic models were applied to describe color change. Mathematical modeling color change kinetics indicated that both models were found to describe the Hunter  $L$ ,  $a$  and  $b$  values adequately. Degradation kinetics for ascorbic acid were modelled as first-order reactions during drying of red peppers. Besides degradation kinetics for  $\beta$ -carotene were modelled also first-order reaction during drying of carrots. The highest loss of  $\beta$ -carotene was determined in the carrot samples dried by microwave. But the least loss of  $\beta$ -carotene was determined in the carrot samples dried at 45°C temperature and 21,5 kPa absolute pressure. Ascorbic acid was not found in red pepper samples dried by hot air drying and vacuum drying at 65°C and microwave drying. Hunter  $b$  value, which indicates yellowness, was effected significantly during drying of carrots. The fresh carrots Hunter  $b$  values were statistically ( $p < 0,05$ ) different from dried samples. In the same way, fresh red pepper samples Hunter  $a$  values were statistically ( $p < 0,05$ ) different from dried red pepper samples.

**KEYWORDS:** Carrot, Red Pepper, Drying, Kinetic, Modeling, Ascorbic Acid,  $\beta$ -Carotene

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
TABLO LİSTESİ.....	xix
SEMBOL LİSTESİ.....	xx
ÖNSÖZ.....	xxi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Gıda Kurutma ve Önemi .....	3
1.2 Gıda Kurutmanın Kinetiği .....	4
1.3 Gıdaların Kurutulması Sürecine Ait Kuruma Periyotları .....	5
1.4 Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler .....	9
1.4.1 Kurutma Havaının Sıcaklığı.....	9
1.4.2 Kurutma Havaının Bağıl Nemi .....	10
1.4.3 Kurutma Havaının Hızı .....	10
1.4.4 Kurutulacak Gıdanın Özellikleri.....	11
1.4.5 Kurutulacak Gıdanın Boyutu .....	11
1.4.6 Kurutulacak Gıdanın Miktarı.....	11
1.4.7 Kurutma İşlemi Sırasında Gıdanın Karıştırılması .....	12
1.4.8 Kurutma Ortamının Basıncı.....	12
1.5 Meyve ve Sebzelerde Yaygın Olarak Uygulanan Başlıca Kurutma Yöntemleri .....	12
1.5.1 Sıcak Hava ile Kurutma.....	14
1.5.2 Vakum Kurutucular ile Kurutma .....	15
1.5.3 Mikrodalga ile Kurutma.....	16
1.6 Kırmızıbiber Kurutma Yöntemleri .....	20
1.7 Havuç Kurutma Yöntemleri.....	23
1.8 Literatür Özeti.....	26
1.8.1 Kırmızıbiberin Kurutulmasıyla İlgili Çalışmalar.....	30
1.8.2 Havucun Kurutulmasıyla İlgili Çalışmalar .....	33
<b>2. MATERYAL METOT .....</b>	<b>40</b>
2.1 Materyal .....	40
2.1.1 Denemelerde Kullanılan Kırmızıbiber.....	40
2.1.2 Denemelerde Kullanılan Havuç.....	41
2.2 Denemelerde Kullanılan Sistemler ve Ölçüm Aletleri .....	42
2.2.1 Sıcak Havalı Kabin Tipi Kurutucu .....	42
2.2.2 Vakumlu Kurutma Kabini .....	43
2.2.3 Mikrodalga Fırın .....	44
2.2.4 Denemelerde Kullanılan Ölçüm Aletleri .....	45
2.3 Metot .....	47
2.3.1 Ön Denemeler .....	47
2.3.2 Uygulanan Kurutma Yöntemleri .....	48
2.3.2.1 Sıcak Havalı Kabin Tipi Kurutucu ile Yapılan Kurutma Çalışmaları .....	48



2.3.2.1.1	Sıcak Hava ile Kırmızıbiber Kurutma .....	48
2.3.2.1.2	Sıcak Hava ile Havuç Kurutma .....	50
2.3.2.2	Vakumlu Kurutucu ile Yapılan Kurutma Çalışmaları .....	52
2.3.2.2.1	Vakumlu Kurutucu ile Kırmızıbiber Kurutma.....	52
2.3.2.2.2	Vakumlu Kurutucu ile Havuç Kurutma.....	54
2.3.2.3	Mikrodalga ile Yapılan Kurutma Çalışmaları.....	55
2.3.2.3.1	Mikrodalga ile Kırmızıbiber Kurutma.....	55
2.3.2.3.2	Mikrodalga ile Havuç Kurutma .....	56
2.3.2.4	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava Kurutma ve Mikrodalga Destekli Vakum Kurutma .....	58
2.3.3	Analiz Yöntemleri.....	59
2.3.3.1	Renk Değişimlerinin İncelenmesi .....	59
2.3.3.2	Mikrodalga Güç Ölçümü.....	60
2.3.3.3	Su Aktivitesi Tayini .....	61
2.3.3.4	Toplam Kuru Madde İçeriklerinin Belirlenmesi.....	62
2.3.3.5	Askorbik Asit İçeriklerinin Belirlenmesi .....	62
2.3.3.5.1	Ekstraksiyon.....	62
2.3.3.5.2	Tanımlama ve Hesaplama.....	62
2.3.3.5.3	Kromatografi Koşulları.....	63
2.3.3.6	$\beta$ -Karoten İçeriklerinin Belirlenmesi .....	63
2.3.3.6.1	Ekstraksiyon.....	64
2.3.3.6.2	Tanımlama ve Hesaplama.....	64
2.3.3.6.3	Kromatografi Koşulları.....	64
2.4	Hesaplamalar.....	65
2.4.1	Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar .....	65
2.4.1.1	Nem İçeriğinin Hesaplanması .....	65
2.4.1.2	Kuruma Hızının Hesaplanması .....	65
2.4.1.3	Nem Oranının Hesaplanması .....	66
2.5	Modelleme Çalışmaları .....	66
2.5.1	Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları.....	66
2.5.1.1	Page Model .....	66
2.5.1.2	Henderson ve Pabis Model.....	67
2.5.1.3	Lewis Model .....	67
2.5.1.4	Logaritmik Model .....	67
2.5.1.5	Modifiye Page Model.....	68
2.5.2	Askorbik Asit, $\beta$ -Karoten ve Renk Değişimlerinin İncelenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalışmaları.....	68
2.5.2.1	Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model .....	68
2.5.2.2	Birinci Dereceden Kinetik Model .....	69
2.5.3	Aktivasyon Enerjisinin ( $E_a$ ) Hesaplanması.....	69
2.5.4	$Q_{10}$ Değerinin Hesaplanması .....	70
2.5.5	Yarı Ömür Süresinin ( $t_{1/2}$ ) Hesaplanması .....	71
2.5.6	Regresyon Analizleri .....	71
2.5.7	İstatistiksel Analizler .....	71
<b>3.</b>	<b>ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>72</b>
3.1	Havucun Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulmasıyla İlgili Araştırma Sonuçları ve Tartışması.....	72
3.1.1	Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar .....	72

3.1.1.1	Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Havuçların Kuruması Üzerindeki Etkisi .....	72
3.1.1.2	Nem İçeriği Değişimi .....	72
3.1.1.3	Kuruma Hızı Değişimi .....	73
3.1.1.4	Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları .....	74
3.1.1.5	Sıcak Hava İle Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının Havucun Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi....	77
3.1.1.5.1	“L Değeri” Değişimi .....	78
3.1.1.5.2	“a Değeri” Değişimi .....	80
3.1.1.5.3	“b Değeri” Değişimi .....	81
3.1.1.5.4	$\Delta E$ Değerinin Değişimi .....	84
3.1.1.5.5	Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi.....	85
3.1.1.5.6	Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler.....	86
3.1.1.5.7	Sıcak Hava ile Kurutulmuş Havuç Örneklerinin $\beta$ -Karoten Miktarındaki Değişimler.....	88
3.1.2	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar .....	93
3.1.2.1	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava İle Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Havucun Kurutulması Üzerindeki Etkisi .....	93
3.1.2.2	Nem içeriği değişimi .....	93
3.1.2.3	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Havuçlarda Renk Değişimi .....	94
3.1.2.4	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Havuçta $\beta$ -Karoten Değişimi .....	96
3.1.3	Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar .....	97
3.1.3.1	Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Havucun Kuruması Üzerindeki Etkisi.....	97
3.1.3.2	Nem içeriği değişimi .....	97
3.1.3.3	Kuruma hızı değişimi .....	99
3.1.3.4	Kuruma kinetiğine ait modelleme çalışmaları .....	100
3.1.3.5	Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Havucun Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi .....	106
3.1.3.5.1	“L Değeri” Değişimi .....	107
3.1.3.5.1	“a Değeri” Değişimi .....	110
3.1.3.5.2	b Değeri” Değişimi .....	115
3.1.3.5.3	$\Delta E$ Değerinin Değişimi .....	117
3.1.3.5.4	Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi.....	119
3.1.3.5.5	Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler.....	122
3.1.3.6	Vakumlu Kurutucu ile Kurutulan Havuçlarda $\beta$ -Karoten Miktarındaki Değişimler .....	123
3.1.4	Mikrodalga Destekli Vakum Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar ..	128
3.1.4.1	Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Havucun Kurutulması Üzerine Etkisi .....	128
3.1.4.2	Nem İçeriği Değişimi .....	129
3.1.4.3	Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Havuçların Renk Değerleri Üzerine Etkisi .....	132

3.1.4.4	Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Havuçların $\beta$ -Karoten Seviyesi Üzerine Etkisi .....	134
3.2	Kırmızıbiberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulmasıyla İlgili Araştırma Sonuçları .....	136
3.2.1	Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar .....	136
3.2.1.1	Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberlerin Kuruması Üzerindeki Etkisi .....	136
3.2.1.2	Nem İçeriği Değişimi .....	136
3.2.1.3	Kuruma Hızı Değişimi .....	137
3.2.1.4	Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları .....	138
3.2.1.5	Sıcak Hava İle Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberin Renk Değişimi Üzerine Etkisi .....	142
3.2.1.5.1	“ <i>L</i> Değeri” Değişimi .....	143
3.2.1.5.2	“ <i>a</i> Değeri” Değişimi .....	143
3.2.1.5.3	“ <i>b</i> Değeri” Değişimi .....	147
3.2.1.5.4	$\Delta E$ Değerinin Değişimi .....	149
3.2.1.5.5	Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi .....	150
3.2.1.5.6	Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler .....	153
3.2.1.6	Sıcak Hava ile Kurutulmuş Kırmızıbiber Örneklerinin Askorbik Asit Miktarındaki Değişimler .....	154
3.2.2	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar .....	159
3.2.2.1	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberin Kurutulması Üzerindeki Etkisi .....	159
3.2.2.2	Nem içeriği değişimi .....	159
3.2.2.3	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberlerde Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi .....	161
3.2.2.4	Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Kırmızıbiberde Askorbik Asit Değişimi .....	163
3.2.3	Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar .....	165
3.2.3.1	Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Kırmızıbiberin Kuruması Üzerindeki Etkisi .....	165
3.2.3.2	Nem İçeriği Değişimi .....	165
3.2.3.3	Kuruma Hızı Değişimi .....	167
3.2.3.4	Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları .....	169
3.2.3.5	Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Kırmızıbiberin Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi .....	175
3.2.3.5.1	“ <i>L</i> Değeri” Değişimi .....	176
3.2.3.5.2	“ <i>a</i> Değeri” Değişimi .....	178
3.2.3.5.3	“ <i>b</i> Değeri” Değişimi .....	183
3.2.3.5.4	$\Delta E$ Değerinin Değişimi .....	186
3.2.3.5.5	Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi .....	188
3.2.3.5.6	Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler .....	189
3.2.3.6	Vakumlu Kurutucu ile Kurutulan Kırmızıbiberlerde Askorbik Asit Miktarındaki Değişimler .....	192

3.2.4	Mikrodalga Destekli Vakum Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar ..	198
3.2.4.1	Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Kırmızıbiberin Kurutulması Üzerindeki Etkisi.....	198
3.2.4.2	Nem İçeriği Değişimi.....	198
3.2.4.3	Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Kırmızıbiberlerin Kurutulması Esnasında Renk Değerleri Üzerine Etkisi.....	200
3.2.4.4	Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Kırmızıbiberin Askorbik Asit Seviyesi Üzerine Etkisi.....	202
<b>4.</b>	<b>SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>205</b>
<b>5.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>210</b>
<b>6.</b>	<b>EKLER.....</b>	<b>224</b>
	EK A: Sıcak Hava ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler .....	224
	EK B: Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler.....	225
	EK C: Vakumlu Kurutucu ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler .....	226
	EK D: Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler .....	228
	Ek E: Sıcak Hava ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler .....	229
	EK F: Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler .....	230
	EK G: Vakumlu Kurutucu ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler.....	231
	EK H: Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler .....	233
<b>7.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>235</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Mikrodalga fırının şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.1: Kurutma denemelerinde kullanılan kırmızıbiberler.....	40
Şekil 2.2: Kurutma denemelerinde kullanılan havuçlar.....	41
Şekil 2.3: Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun genel görünümü.....	42
Şekil 2.4: Vakumlu etüv ve vakum pompasının genel görünümü.....	43
Şekil 2.5: Mikrodalga fırınının genel görünümü.....	44
Şekil 2.6: Terazinin genel görünümü.....	45
Şekil 2.7: Hava hızı ölçüm cihazı genel görünümü.....	46
Şekil 2.8: Su aktivitesi ölçüm setinin genel görünümü.....	46
Şekil 2.9: Renk ölçüm cihazının genel görünümü.....	47
Şekil 2.10: Sıcak hava ile kırmızıbiber kurutma işlem planı.....	48
Şekil 2.11: Dilimlenmiş kırmızıbiber.....	49
Şekil 2.12: Kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutmadaki akış diyagramı.....	49
Şekil 2.13: Sıcak hava ile havuç kurutma işlem planı.....	50
Şekil 2.14: Dilimlenmiş havuç.....	51
Şekil 2.15: Kurutma tepsisine tek tabaka halinde dizilmiş havuçlar.....	51
Şekil 2.16: Havucun sıcak hava ile kurutmadaki akış diyagramı.....	52
Şekil 2.17: Vakumlu kurutucu ile kırmızıbiber kurutma işlem planı.....	53
Şekil 2.18: Kırmızıbiberin vakumlu kurutucu ile kurutmasındaki akış diyagramı.....	53
Şekil 2.19: Vakumlu kurutucu ile havuç kurutma işlem planı.....	54
Şekil 2.20: Havucun vakumlu kurutucu ile kurutmasındaki akış diyagramı..	55
Şekil 2.21: Mikrodalga ile kırmızıbiber kurutma işlem planı.....	56
Şekil 2.22: Kırmızıbiberin mikrodalga ile kurutmadaki akış diyagramı.....	56
Şekil 2.23: Mikrodalga ile havuç kurutma işlem planı.....	57
Şekil 2.24: Havucun mikrodalga ile kurutmadaki akış diyagramı.....	58
Şekil 2.25: Renklere ait Hue açısı değerleri.....	60
Şekil 2.26: HPLC cihazının genel görünümü.....	63
Şekil 2.27: Arrhenius grafiği.....	70
Şekil 3.1: Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	73
Şekil 3.2: Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi.....	74
Şekil 3.3a: 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	75
Şekil 3.3b: 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	76

Şekil 3.3c: 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	76
Şekil 3.4a: Deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu.....	77
Şekil 3.4b: Deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu.....	77
Şekil 3.5: Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	79
Şekil 3.6: Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	81
Şekil 3.7: Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	84
Şekil 3.8: Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait $\Delta E$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluğu.....	85
Şekil 3.9: Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	87
Şekil 3.10: $\beta$ -Karoten standart eğrisi.....	89
Şekil 3.11: $\beta$ -Karoten standart HPLC kromatogramı.....	89
Şekil 3.12: $\beta$ -Karoten UV spektrumu.....	90
Şekil 3.13: Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş havuç örneklerindeki $\beta$ -karoten içeriklerindeki değişimler.....	92
Şekil 3.14: Kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutması tamamlanan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin zamanla değişimi.....	94
Şekil 3.15: Farklı sıcaklıklarda ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi.....	98
Şekil 3.16: Farklı sıcaklıklarda ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi.....	98
Şekil 3.17: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi.....	99
Şekil 3.18: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi.....	100
Şekil 3.19a: 48 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	103
Şekil 3.19b: 48 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	103

Şekil 3.19c: 48 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları Page ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	103
Şekil 3.19d: 21,5 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	104
Şekil 3.19e: 21,5 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	104
Şekil 3.19f: 21,5 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	104
Şekil 3.20a: 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu..	105
Şekil 3.20b: 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu.....	105
Şekil 3.20c: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu..	106
Şekil 3.20d: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu.....	106
Şekil 3.21: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	108
Şekil 3.22: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	109
Şekil 3.23: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	113
Şekil 3.24: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	114
Şekil 3.25: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	116
Şekil 3.26: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	117
Şekil 3.27: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait $\Delta E$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluğu.....	118
Şekil 3.28: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait $\Delta E$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluğu.....	119
Şekil 3.29: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	120

Şekil 3.30: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	121
Şekil 3.31: 48 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş havuç örneklerindeki $\beta$ -karoten içeriklerinin zamana göre değişimi.....	127
Şekil 3.32: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş havuç örneklerindeki $\beta$ -karoten içeriklerinin zamana göre değişimi.....	127
Şekil 3.33: Farklı sıcaklık değerlerinde 48 kPa mutlak basınç ortamında belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	130
Şekil 3.34: Farklı sıcaklık değerlerinde 21,5 kPa mutlak basınç ortamında belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	131
Şekil 3.35: Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	137
Şekil 3.36: Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi.....	138
Şekil 3.37a: 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	140
Şekil 3.37b: 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	140
Şekil 3.37c: 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	140
Şekil 3.38a: Deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu.....	141
Şekil 3.38b: Deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu.....	141
Şekil 3.39: Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	144
Şekil 3.40: Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	145
Şekil 3.41: Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	148
Şekil 3.42: Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait $\Delta E$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluğu.....	150



Şekil 3.43: Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	152
Şekil 3.44: Askorbik asit standart eğrisi.....	155
Şekil 3.45a: Askorbik asit standart HPLC kromatogramı.....	155
Şekil 3.45b: Askorbik asit UV spektrumu.....	156
Şekil 3.46: Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş kırmızıbiberlerdeki askorbik asit içeriklerindeki değişimler.....	158
Şekil 3.47: Kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutması tamamlanan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanla değişimi.....	160
Şekil 3.48: Farklı sıcaklıklarda ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi.....	166
Şekil 3.49: Farklı sıcaklıklarda ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi.....	166
Şekil 3.50: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi.....	167
Şekil 3.51: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi.....	168
Şekil 3.52a: 48 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	170
Şekil 3.52b: 48 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	170
Şekil 3.52c: 48 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	170
Şekil 3.52d: 21,5 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	172
Şekil 3.52e: 21,5 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	172
Şekil 3.52f: 21,5 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	173
Şekil 3.53a: 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu.....	173
Şekil 3.53b: 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu.....	174

Şekil 3.53c: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu.....	174
Şekil 3.53d: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu.....	175
Şekil 3.54: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model...	177
Şekil 3.55: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	178
Şekil 3.56: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model...	180
Şekil 3.57: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	183
Şekil 3.58: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model...	185
Şekil 3.59: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	186
Şekil 3.60: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait $\Delta E$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfıncı dereceden kinetik modele uygunluğu.....	188
Şekil 3.61: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait $\Delta E$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfıncı dereceden kinetik modele uygunluğu.....	188
Şekil 3.62: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model...	190
Şekil 3.63: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	191
Şekil 3.64: 48 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit içeriklerinin zamana göre değişimi.....	197
Şekil 3.65: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit içeriklerinin zamana göre değişimi.....	197
Şekil 3.66: Farklı sıcaklık değerlerinde 48 kPa mutlak basınç ortamında belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	199

Şekil 3.67: Farklı sıcaklık değerlerinde 21,5 kPa mutlak basınç ortamında belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi..... 199

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Günümüzde yaygın olarak kullanılan kurutucular.....	13
Çizelge 1.2: 100 g taze kırmızıbiberin bileşimi.....	22
Çizelge 1.3: 100 g kuru kırmızıbiberin bileşimi.....	22
Çizelge 1.4: 100 g taze havucun bileşimi.....	24
Çizelge 1.5: 100 g kuru havucun bileşimi.....	26
Çizelge 3.1: Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan havuç örneklerinde elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi.....	75
Çizelge 3.2: Taze havuç ve sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerindeki renk değerleri.....	78
Çizelge 3.3: Sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler.....	83
Çizelge 3.4: 45°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	90
Çizelge 3.5: 55°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	90
Çizelge 3.6: 65°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	91
Çizelge 3.7: Taze havuçlarda bulunan $\beta$ -karoten miktarları.....	91
Çizelge 3.8: Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan havuç örneklerinin $\beta$ -karoten parçalanmasına ait kinetik parametreler.....	92
Çizelge 3.9: Taze havuç ve sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerindeki renk değerleri.....	95
Çizelge 3.10: Sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerindeki $\beta$ -karoten değerleri.....	97
Çizelge 3.11: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler.....	101
Çizelge 3.12: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler.....	102
Çizelge 3.13: Taze havuç ve vakum ile kurutulmuş havuç örneklerindeki renk değerleri.....	107
Çizelge 3.14: 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler.....	111
Çizelge 3.15: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler.....	112
Çizelge 3.16: Taze havuç ve 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerindeki $\beta$ -karoten değerleri.....	124
Çizelge 3.17: Taze havuç ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerindeki $\beta$ -karoten değerleri.....	124

Çizelge 3.18: 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	124
Çizelge 3.19: 48 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	124
Çizelge 3.20: 48 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	125
Çizelge 3.21: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	125
Çizelge 3.22: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	125
Çizelge 3.23: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	126
Çizelge 3.24: Vakumlu kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan havuç örneklerinde $\beta$ -karoten parçalanmasına ait kinetik parametreler.....	126
Çizelge 3.25: Mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemiyle havuç kurutma süreleri.....	131
Çizelge 3.26: Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerine ait renk değerleri.....	133
Çizelge 3.27: Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerine ait renk değerleri.....	133
Çizelge 3.28: Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerinin $\beta$ -karoten değerleri.....	135
Çizelge 3.29: Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerinin $\beta$ -karoten değerleri.....	135
Çizelge 3.30: Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan kırmızıbiber örneklerinde, elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi.....	139
Çizelge 3.31: Taze kırmızıbiber ve sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki renk değerleri.....	142
Çizelge 3.32: Sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler.....	146
Çizelge 3.33: 45°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar.....	156
Çizelge 3.34: 55°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar.....	157
Çizelge 3.35: 65°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar.....	157
Çizelge 3.36: Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit parçalanmasına ait kinetik parametreler.....	159
Çizelge 3.37: Taze kırmızıbiber ve sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki renk değerleri.....	161

Çizelge 3.38: Sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit değerleri.....	164
Çizelge 3.39: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler.....	169
Çizelge 3.40: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler.....	171
Çizelge 3.41: Taze kırmızıbiber ve vakum ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki renk değerleri.....	175
Çizelge 3.42: 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler.....	181
Çizelge 3.43: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler.....	182
Çizelge 3.44: Taze kırmızıbiber ve 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit değerleri.....	193
Çizelge 3.45: Taze kırmızıbiber ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit değerleri.....	193
Çizelge 3.46: 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar..	194
Çizelge 3.47: 48 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar..	194
Çizelge 3.48: 48 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar..	194
Çizelge 3.49: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar..	195
Çizelge 3.50: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar..	195
Çizelge 3.51: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar..	195
Çizelge 3.52: Vakumlu kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan kırmızıbiber örneklerinde askorbik asit parçalanmasına ait kinetik parametreler.....	196
Çizelge 3.53: Mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemiyle kırmızıbiber kurutma süreleri.....	200
Çizelge 3.54: Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait renk değerleri.....	202
Çizelge 3.55: Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait renk değerleri.....	202
Çizelge 3.56: Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit değerleri...	203

Çizelge 3.57: Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit değerleri... 204

## TABLO LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 2.1: Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun teknik özellikleri.....	43
Tablo 2.2: Vakumlu etüvün teknik özellikleri.....	44
Tablo 2.3: Mikrodalga fırınının teknik özellikleri.....	45



## SEMBOL LİSTESİ

<b>BHT</b>	:	Bütillenmiş hidroksi toluen
<b>D<sub>eff</sub></b>	:	Etkin difüzyon katsayısı
<b>E<sub>a</sub></b>	:	Aktivasyon enerjisi
<b>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	:	Fosforik asit
<b>HPLC</b>	:	Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
<b>IMPI</b>	:	Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü
<b>k</b>	:	Reaksiyon hız sabiti
<b>KM</b>	:	Örneğin kuru madde miktarı
<b>m</b>	:	Örnek ağırlığı
<b>M<sub>0</sub></b>	:	Başlangıçtaki nem içeriği
<b>M<sub>e</sub></b>	:	Denge anındaki nem içeriği
<b>MR</b>	:	Nem oranı
<b>M<sub>t</sub></b>	:	Herhangi bir t anındaki nem içeriği
<b>Q<sub>10</sub></b>	:	Sıcaklığın 10°C artmasıyla reaksiyon hızının artış katsayısı
<b>R</b>	:	Gaz sabiti
<b>RH</b>	:	Bağıl nem
<b>RMSE</b>	:	Karekök ortalamasının hatası
<b>t</b>	:	Kuruma zamanı
<b>t<sub>1/2</sub></b>	:	Yarı ömür süresi
<b>T</b>	:	Mutlak sıcaklık
<b>USDA</b>	:	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
<b>UV</b>	:	Morötesi ışın
<b>ΔE</b>	:	Toplam renk değişimi
<b>χ<sup>2</sup></b>	:	Ki-kare

## ÖNSÖZ

Bu araştırmada farklı kurutma yöntemlerinin havuç ve kırmızıbiberin kuruma karakteristiklerine ve bazı kalite faktörlerine etkisi belirlenmiştir. Kullanılan yöntemlerin, kurutulmuş ürün kalitesi, kuruma süresi vb. kriterler açısından karşılaştırılması, avantaj ve dezavantajlarının ortaya konularak, en uygun yöntemin tanımlanması yapılmıştır. Belirtilen amaçların yanı sıra, incelenen kalite faktörlerinin kurutma sürecine ait değişimlerini ifade eden kinetik modeller tanımlanmış ve reaksiyon hız sabiti, aktivasyon enerjisi, yarı ömür süresi ve  $Q_{10}$  değeri gibi kinetik parametreler de hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, havuç ve kırmızıbiberin en uygun kurutma yöntem ve koşullarının belirlenmesi, sebze kurutma işlemini yapan ve kurutulmuş sebzeleri hammadde olarak kullanan gıda sanayi kuruluşlarına ışık tutması bakımından önemlidir. Ayrıca, ortaya konulan sonuçlarla, konu ile ilgili ileride yapılabilecek benzer bilimsel araştırmalara katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu alışma sonuçlarının gıda bilimi ve sanayisine faydalı olması umulmaktadır.

Araştırmanın gerçekleşmesinde beni yönlendiren, bilgi ve tecrübesi ile bana destek veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yahya TÜLEK'e, tez çalışmam sırasındaki öneri ve katkılarından dolayı Tez İzleme Komitesinin değerli üyeleri Sayın Doç. Dr. Filiz İIER ve Sayın Doç. Dr. Yusuf YILMAZ'a, kurutma çalışmalarında gece gündüz demeden yardımını esirgemeyen Arş. Grv. Mehmet GÜLDANE'ye, sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesindeki yardımlarından dolayı Gıda Yüksek Mühendisi Tolga AKCAN'a, analizlerin belirli bir kısmında yardımcı olan yüksek lisans öğrencileri Gıda Mühendisi Azime ÖZKAN ve Gıda Mühendisi Esra GENDAĞ'a, çalışmalarım sırasında görüş ve bilgilerinden istifade ettiğim bölüm başkanımız hocam Sayın Prof. Dr. Sebahattin NAS'a ve bölümümüzün tüm öğretim üyelerine, her zaman olduğu gibi tez çalışmam sırasında da manevi desteklerini esirgemeyen annem Sebahat DEMİRAY'a babam Mustafa DEMİRAY'a ve nişanlım İpek DEMİREL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

## 1. GİRİŞ

Kurutma, meyve ve sebzelerin muhafazasında kullanılan başlıca dayandırma yöntemlerinden birisidir. Kurutmada amaç; ürünün su aktivitesini ( $a_w$ ) belirli bir değerin altına indirmek suretiyle, mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik bozulmalara karşı dayanıklı hale getirmek ve böylece istenmeyen kalite kayıplarını önlemektir (Geankoplis 1993; Gunasekaran 1999; Ünlütürk ve Turantaş 1999). Kurutma işlemi bu tür avantajlarının yanı sıra, kuru ürünlerin yüksek gelir getirmesi sebebiyle de giderek artan bir uygulama haline gelmiştir.

Geçmişten günümüze birçok kurutma yöntemi geliştirilmiştir. Kurutma yöntemleri, doğal ve yapay kurutma yöntemleri olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Ayrıca, yöntemler, ürünlerdeki suyun uzaklaştırılması için gereken ısının ürüne taşınma şekline göre de “konveksiyon kurutma”, “kontakt kurutma” ve “radyasyon kurutma” olarak üçe ayrılabilir. Son üründe istenen nitelikler, en az ürün zararı, nemi geri alma (rehidrasyon) yeteneği, ekonomik koşulların çeşitli ve farklı olmaları gibi faktörler; tasarım ve çalışma ilkeleri yönünden çeşitli tip kurutucuların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Doğal kurutmada enerji kaynağı olarak güneş enerjisi kullanılmaktadır. Güneş enerjisini kullanan kurutucular; sera tipi, tünel tipi, zorunlu hava akışlı ve entegre kurutuculardır. Yapay kurutmada güneş enerjisi de enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Beraber genellikle diğer enerji kaynakları daha yaygın kullanılır. Diğer enerji kaynaklarını kullanan kurutucular ise kabin tipi, tünel tipi, konveyör tipi, akışkan yatak tipi, püskürtmeli tip, valsli tip, ozmotik dehidrasyonlu kurutucular, mikrodalgalı kurutucular, dondurarak kurutma yapan kurutucular ve vakumlu kurutuculardır (Cemeroğlu ve diğ. 2003).

Uygun bir kurutma açısından, kurutmaya etkili faktörlerin ürünün özelliğine bağlı olarak kontrol altına alınabilmesi önemlidir. Bu faktörler arasında gıdanın şekli ve boyutu, kurutulacak gıdanın kurutma ortamındaki konumu ile fiziksel ve kimyasal yapısı gibi faktörlerin yanında, kurutma yöntemi ve uygulanabilecek ön işlemler de kuruma üzerine etkili olmaktadır.

Meyve ve sebze gibi ürünlerin içerdikleri nemin uzaklaştırılması, yapılarından dolayı, ürün kalitesine en az zarar gelecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklıklar ve doğru olarak seçilmeyen diğer koşullar ürünün hem görünüşünde, hem de besin içeriğinde olumsuz sonuçlar meydana getirebilmektedir.

Çalışma konusunun bir materyali olan havuç (*Daucus carota* L.) maydanozgiller (*Apiaceae*) familyasından, koni biçimindeki bir sebze olup iki yıllık otsu bir kültür bitkisidir. Anayurdunun Asya, Avrupa ve Kuzey Afrika olduğu bildirilen havuç, günümüzde dünyanın pek çok yeri ile Türkiye’de bol bol yetiştirilmektedir. Patatesten sonra, havuç dünyada en fazla üretilen kök sebzedir. Karotenin ilk izole edildiği sebze olan havuç, A vitamininin en önemli kaynaklarından biridir (Ozsmianski ve Górska 2002; Koca 2006). Havuç karotenoidlerinin % 60-80’ini  $\beta$ -karoten, % 10-40’ını  $\alpha$ -karoten ve % 1-5’ini lutein oluşturmaktadır. Havuçta karotenoidlerin yanı sıra fenolik bileşikler (Zhang ve Hamauzu 2004b) ve C vitamini (Alasalvar ve diğ. 2005) gibi diğer antioksidan bileşikler de bulunur.

Havuç, taze veya pişmiş olarak salata ve yemeklerde kullanıldığı gibi, konserve, turşu, hazır yemek ve çorbaların yapımında da kullanılmaktadır. Ayrıca “cezerye” adı verilen havuç tatlısının yapımında da değerlendirilme imkanına sahiptir. Ülkemiz iklim ve toprak koşullarında yılın her döneminde yetiştirmeye uygun olan havuç, yaygın olarak tüketilen sebzeler arasındadır.

Çalışmada kullanılan bir diğer materyal olan kırmızıbiber, patlıcangiller (*Solanaceae*) familyasının *Capsicum* cinsine bağlı, ılıman iklimlerde bir yıllık olarak yetişen bir kültür bitkisidir. Doğu Akdeniz Bölgesinde yetişen türü, *Capsicum annuum* L. türü olarak bilinmektedir. Özellikle yurdumuzun güney bölgelerinde yetiştirilen kırmızıbiber tipleri acıdır. Askorbik asit ve karoten içeriği yönünden zengin olan kırmızıbiber baharat, yem maddesi ve antibiyotik hammaddesi olarak tüketilmektedir. Bunun yanında, yemeklerde, salatalarda, turşularda, sos yapımında, salça üretiminde ve konserve içeriğinde aromatik besin maddesi olarak kullanılmaktadır (Akbay ve diğ. 2012).

## 1.1 Gıda Kurutma ve Önemi

Kurutma; bir üründeki su miktarını azaltmak veya çok düşük düzeylere düşürmek amacı ile yapılan ve böylelikle olası mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmaların önlenmesini, bu yolla çeşitli meyve sebzelerin uzun süre depolanmasını ve üretim mevsimi dışında da tüketilmesini sağlayan, çok eski çağlardan bu yana uygulanan bir işlemdir.

Kurutma gıdaların korunmasında en etkili metotlardandır. Ürün çeşidine bağlı olarak kurutma işleminden sonraki nem içeriği yaş baza göre %1-15 arasında olmaktadır. Kurutma ile olası mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalar ile kalite kayıpları önlenmektedir. Kurutmanın tarihine bakıldığında bu işlemin ilk kez 18. yüzyılda başladığı, savaşlarla birlikte büyük gelişme gösterdiği bildirilmektedir. Örneğin 1854-1856 tarihleri arasında yapılan Kırım Savaşı'nda süvarilerin, ülkelerinden gönderilen kurutulmuş sebzeler ile beslenme gereksinimlerini karşıladıkları, I. Dünya Savaşı'nda ise yaklaşık 4500 ton kurutulmuş sebzenin ABD'den savaş alanlarına gemilerle gönderildiği bildirilmektedir. ABD'de meyve kurutmacılığının 1800'lü yılların sonu ve 1900'lü yılların başında çok önemli bir sıçrama göstermiş olduğu bilinmekte ve daha sonra doğal kurutma diye tabir edilen güneş altında kurutma işleminin yerini giderek yapay kurutma sistemlerinin aldığı görülmektedir. II. Dünya Savaşı'ndan önceki dönemlerde valsli ve püskürtmeli kurutucular kullanılmış ve bu sistemlerde en çok kurutulan ürünler süt ve yumurta olmuştur. Kurutmacılığın tanınması ve yaygınlaştırılmasında askeri amaçlı kullanımın büyük rolü olmuştur (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

Kurutma işlemi, doğada çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmektedir. Örneğin, çeşitli tahıllar ve baklagiller tarlada kendi halinde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir. Güneş altında açık havada yapılan kurutma, tarımsal ürünlerin nem içeriklerini azaltmada ve depolama sırasında meydana gelebilecek bozulmaların önüne geçmede kullanılan ve en iyi bilinen yöntemdir. Fakat ürünlerin yağmurdan, rüzgardan, toz ve topraktan, böceklerden, kemirgenlerden ve diğer hayvanlardan korunamaması, kalitelerini ciddi ölçülerde azaltmakta ve ürünleri tüketilemez hale getirmektedir. Kurutulmuş ürünlerde meydana gelen kalite kayıpları da uluslararası pazarda önemli ekonomik yan etkiler yaratmaktadır (Yaldız ve diğ. 2001; Lahsasni ve diğ. 2004; Sacilik

ve Elicin 2006). Doğada kuruma güneş ısıyla gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması olanaksızdır (Cemeroğlu ve diğ. 2003). Bu şekilde her ürünün güneşte kurutulma imkanı olmadığı gibi her yöre, güneşte kurutmaya uygun iklim koşullarına da sahip değildir.

Kurutma yöntemleri arasında en ekonomik yöntem olmasına rağmen bahsedilen olumsuz yönleri sebebiyle güneşte kurutmanın yanında, birçok ürünün diğer yöntemlerle kurutma metotları geliştirilmiştir. Bu metotlar içinde, meyve ve sebzelerin kurutulmalarında en çok kullanılan yöntemlerden biri sıcak havalı kurutmadır. Bu yöntem ile kurutmada, besin ve aroma bileşenlerinde meydana gelen kayıpların yanı sıra, fiziksel olarak da sertleşme, büzüşme ve renk değişimi meydana gelebilmektedir. Sıcak havalı kurutmada meyve ve sebzelerin kurutulmaları sırasında hava akımının en yaygın olarak uygulandığı kurutucular tünel ve kabin tipi kurutuculardır. Yapımlarının kolaylığı ve maliyetlerinin azlığı nedeniyle bu tip kurutucular tercih nedeni olmaktadır. Bu tip kurutucularda uygulanan yüksek sıcaklık ile kurutma yönteminde havanın ısıtılması, indirekt ısıtıcı ünitelerle sağlanır. Kurutma sırasında sıcak hava kurutulacak ürünle direkt olarak temas halindedir. Kurutma işlemi sonunda ürünün üzerine doğal koşullardaki gibi serin hava verilerek, ürün depolanmadan önce soğutulur. Bu soğutma işleminin bir zaman süreci içerisinde yapılması gerekir. Aksi halde hızlı bir soğutma, özellikle taneli meyve ve sebzelerde tane çatlamasına neden olabilir (Cemeroğlu ve diğ. 2003; Şahin ve diğ. 2012).

## **1.2 Gıda Kurutmanın Kinetiği**

Kinetik açıdan kurumanın incelenmesi sırasında, gıda ile kurutma ortamındaki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma süresince geçen zaman da dikkate alınarak irdelenir. Herhangi bir gıdanın kuruması kinetik açıdan incelenirken, gıdanın nemi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile gıdanın nemi, kuruma hızı ile kuruma süresi ve gıdanın sıcaklığı ile nemi arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Kuruma süreci içinde üç karakteristik periyotla karşılaşmaktadır. Bu periyotlar, gıdanın ısınma periyodu, sabit hızla kuruma periyodu ve azalan hızla kuruma periyodu şeklinde adlandırılabilir (Yağcıoğlu 1999).

### 1.3 Gıdaların Kurutulması Sürecine Ait Kuruma Periyotları

Kuruma başlangıcında görülen ilk periyot gıdanın ısınma evresidir ve bu aşamada gıdanın yüzey sıcaklığı hızla yükselir. Kuruma hızı giderek artar ve bu periyodun sonunda en yüksek değerine ulaşır. Gıdanın ortam havası tarafından bir denge sıcaklığı oluşana kadar ısıtılması nedeniyle ortaya çıkan ısınma periyodu süresinin, tüm kuruma süresine kıyaslanınca, çok kısa olduğu görülür. Bu nedenle genellikle dikkate alınmaz ve kuruma eğrilerinde gösterilmez. Kuruma sırasında “Isınma Periyodu”nun sona erdiği andan itibaren “Sabit Hızla Kuruma Periyodu” başlar (Yağcıoğlu 1999).

Sabit hızla kuruma periyodunda, kütle transferi, gıdanın yüzeyindeki sıvı filmde buharlaşma yolu ile olmaktadır. Gıdanın yüzeyi ıslak kaldığı sürece, yüzey sıcaklığı sabit kalacaktır ve bu sıcaklık yağ termometre sıcaklığına eşit olacaktır. Gıdanın içinden yüzeye transfer edilen suyun miktarının yüzeyde buharlaşan su miktarına eşit olduğu sürece yüzey ıslak kalır (Güracar 1995). Suyun buharlaşması için kullanılan ısının tümü, suyun buharlaşma gizli ısısı olarak kullanılır, gıdayı ısıtmaz. Bu nedenle, buharlaşma süresince yüzey sıcaklığı sabit kalır. Sabit hızla kuruma periyodu süresince suyun yüzeye iletim hızı ile yüzeyden buharlaşma hızı birbirine eşittir (Yağcıoğlu 1999). Gıda maddelerinde bulunan suyun, materyal tarafından gevşek olarak tutulan kısmı yani kapılar su, kurutma sürecinde daha kolay uzaklaştırılabilmektedir. Bu nedenle, gıdalardaki suyun, büyük bir kısmını oluşturan ve zayıf bir şekilde bağlı olan bu suya kuruma olayı açısından, herhangi bir materyalin yüzeyindeki serbest su olarak bakılabilir. Gıda maddelerinde bu suyun uzaklaştığı dönem, sabit hızla kuruma periyodudur. Bu periyot boyunca birim zamanda uzaklaşan su miktarı sabit kalmaktadır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Sabit hızla kuruma periyodu sırasında, suyun gıda yüzeyine, kılcal borucuklar, ozmotik basınç, büzülme nedeniyle oluşan sıkıştırma basıncı gibi etkilere bağlı olarak ve sıvı halde taşındığı kabul edilir. Kuruyan gıdanın iç kısımlarından yüzeye doğru süren suyun taşınması nedeniyle, iç katmanlardaki su miktarı giderek azalır ve buna bağlı olarak tabakalar arasındaki konsantrasyon farkının azalması, bu etkene bağlı olarak hareket eden su miktarının azalmasına neden olur. Ortaya çıkan bu yeni durum nedeniyle, kurumakta olan gıdanın yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan

suya eşit miktarda su, iç kısımlardan yüzeye ulaşamaz (Yağcıoğlu 1999). Gıdalarda sabit hızla kuruma periyodu, gıda içindeki suyun buharlaşmanın meydana geldiği yüzeye ulaşma hızı, yüzeydeki buharlaşmayı karşıladığı sürece devam eder. Gıdadaki su miktarı azaldıkça geride kalan suyu gıdaya bağlayan kuvvet artmaktadır. Bu nedenle, gıdadaki su oranı belli bir düzeye inince sabit kuruma hızı periyodu sona erer ve kuruma hızının gittikçe düştüğü “Azalan Hızda Kuruma Periyodu” başlar. Kuruma hızındaki değişimin meydana geldiği bu andaki gıdanın nem düzeyine “kritik nem” denir ve kuruma hızının değiştiği bu noktaya da “dönme noktası” denir. Özellikle meyve sebzelerin kurutulması sırasında iki, hatta üç dönme noktası belirebilmektedir (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Kritik nem, kurutulacak olan her gıda için farklı düzeyde olup o gıdanın bileşimi ile ilişkili bir değerdir. Ancak bir genelleme yapılırsa, birçok gıdanın kritik nemi, bu gıdanın %58-65 nemli hava ile dengeye eriştiği zaman içerdiği su miktarına eşittir (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Azalan hızda kuruma periyodu sırasında, suyun gıdanın iç kısımlarından yüzeye iletim hızı, yüzeyden meydana gelen buharlaşma hızından az olduğu için, gıdanın yüzeyini tümüyle kaplayan ince su tabakası ortadan kalkar; yer yer kuru bölgeler oluşur. Yüzeyde oluşan su buharı basıncı, sabit hızla kuruma periyodu sırasındaki doymuş buhar basıncı değerinden daha küçük değerlere iner. Yüzeydeki kuru alanların artmasıyla gıda ısınmaya ve yüzey sıcaklığı kurutma havasının yaş termometre sıcaklığının üzerine çıkmaya başlar. Yüzey tabakalarından iç katmanlara doğru ilerleyen sıcaklık artışının etkisiyle nem, gıdanın içinde buharlaşmaya ve yüzeye gaz difüzyonu yoluyla ulaşmaya başlar. Kurumanın ilerleyen aşamalarında, gıdanın nem içeriği azaldıkça, suyun yüzeye ulaşmasında içsel buhar difüzyonunun önemi artar (Yağcıoğlu 1999).

Azalan hızda kuruma periyodunda, kuruma hızı gıdada kalan nem düzeyine bağlı olarak lineer bir şekilde azalır. Gıdadaki nem belli bir düzeye erişince kuruma hızı sıfıra düşer yani kuruma durur. Kurutucuda bu sırada egemen olan koşullarda, gıda ile hava arasında nem açısından denge oluşur. Bu koşullarda gıda, kurutucuda ne kadar tutulursa tutulsun gıdanın nemi değişmeden kalır. Bu durumda gıdanın içerdiği su oranına, o koşullardaki “denge bağlı nemi” denir (Cemeroğlu ve Acar 1986).



Azalan hızda kuruma periyodunun analizinden iki önemli sonuç çıkmaktadır. Bunlardan ilki, kurutulan gıdaların belli bir nem düzeyine (kritik nem) erişmesinden sonra kurumaları gittikçe zorlaşmakta ve kuruma süresi uzamaktadır. Bu nedenle kurutucu çok uzun süre işgal edilmektedir. Kurutmanın bu döneminin veya bu döneminin son kısımlarının başka bir kurutucuda geçirilmesi kurutucunun uzun süre işgal edilmesini engellemede en yararlı önlemdir. Diğer sonuç ise, kurutmada uygulanan koşullara göre gıda neminin ancak belli bir düzeye kadar düşürülebilmesidir. Birçok gıdanın dayanıklı kalabilmesi için nem değerinin kurutucularda ulaşılanın altında olması gerekir. Bu durumda bunu sağlamak için, kurutma işlemine başka bir kurutma sisteminde, nemi çok düşük düzeyde indirilmiş ılık hava kullanılarak devam edilir. Böylece daha düşük bir denge nemine erişilir (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Azalan hızla kuruma periyodu sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür (Donald ve diğ. 1973). Azalan hızla kuruma periyoduyla ilgili teorik ve yarı teorik kuruma modellerinin geliştirilmesi sırasında, işlemleri biraz daha kolaylaştırmak amacıyla, bazı ön kabuller yapılır. Bu kabuller (Donald ve diğ. 1973) aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir;

- Gıda içindeki nem dağılımı tek düzedir.
- Kuruma, gıda içindeki nemin, su ve buhar fazında difüzyonu sonucu oluşur.
- Difüzyon, nem konsantrasyonu farkı, sıcaklık konsantrasyonu farkı, buhar basınçları konsantrasyonu farkı gibi etkenlere bağlıdır.
- Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, hız, bağıl nem) kuruma süresince değişmez.
- Ürün ince bir tabaka şeklinde serilir.

Tarım ürünlerinin kurutulması genellikle azalan hızda gerçekleşir. Azalan hızda kuruma periyodunda kuruma hızının formüle edilmesi iki yolla olur.

1. Gözlemsel (Ampirik) Yaklaşım
2. Kuramsal Yaklaşım

Azalan hızda kuruma periyodundaki kuruma hızı gıdanın büyüklüğüne ve şekline önemli ölçüde bağlı olduğu için birinci tip yaklaşım çok sınırlı bir sonuç vereceğinden genellikle tercih edilmez. Ancak kuramsal yaklaşımın iyi bir sonuç vermediği yerlerde gözlemsel yaklaşım tercih edilmelidir. Kuramsal yaklaşımın başlıca özelliği kurutulması istenen gıdanın iç yapısal özelliklerini doğru olarak ölçmek ve elde edilen bu değerleri kurutma hızı hesaplamalarında kullanmaktır. Bu gibi kurutma mekanizmalarının yardımıyla azalan hızda kuruma periyodunda oluşan kuruma olayını açıklamak için çeşitli modeller geliştirilmiştir.

Azalan hızla kuruma periyodu sırasında gıdanın içinde oluşan nem iletimi, Newton'un Soğutma Yasası'na benzetilerek açıklanmaya çalışılır. Söz konusu yasa, cisim ile çevre arasındaki sıcaklık farkının çok büyük olmaması şartıyla, sıcaklığı değişmez kabul edilen bir ortam içine konulan bir cismin sıcaklığındaki değişim miktarının, cisim ve çevre sıcaklıkları arasındaki farkla orantılı olduğunu belirtmektedir. Nem içeriği değişmez kabul edilen bir ortam içinde bulunan herhangi bir gıdanın neminde meydana gelen değişim, aşağıdaki (Eşitlik 1.1 ve 1.2) gibi elde edilebilir (Donald ve diğ. 1973; Bayhan 2011);

$$\frac{dM}{dt} = k(M - M_e) \quad (1.1)$$

$$\frac{dM}{M - M_e} = k dt \quad (1.2)$$

Eşitlik 1.2'deki diferansiyel eşitliğin çözümü aşağıdaki şekildedir;

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt) \quad (1.3)$$

(1.1) ve (1.2) numaralı eşitliklerde yer alan “ $k$ ” kuruma hızı sabiti, “ $MR$ ” nem oranı, “ $M_e$ ” denge anındaki nem içeriği, “ $M_0$ ” başlangıçtaki nem içeriği ve “ $t$ ” kuruma zamanını ifade etmektedir.

## **1.4 Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler**

Kuruma hızı doğrudan ısı ve kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Kurumayı etkileyen faktörleri incelerken, kurutma ortamındaki hava ile ilgili olarak havanın sıcaklığı, bağıl nemi, havanın hareket hızı ve hareket yönü dikkate alınmalıdır. Kurutulacak gıda ile ilgili olarak gıdanın nem miktarı (başlangıç ve sonuç nemleri), gıdanın boyutları, buharlaşma yüzeyi genişliği, kurutma ekipmanı ile ilgili olarak yapı malzemesinin türü ve özgül ısı, kurutma cihazının ısı yalıtım durumu, kapasitesi ve boyutları, kurutma yöntemi, çevre iklimi şeklinde belirtmek mümkündür.

### **1.4.1 Kurutma Havaının Sıcaklığı**

Yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça kuruma hızı da artar. Bu doğru orantılı etki, kuruma başlangıcında çok belirginse de, kuruma ilerledikçe yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça kuruma hızının aynı oranda artmadığı görülür (Güner 1991; Bayhan 2011).

Kurutmada hava sıcaklığının yükselmesi ile havanın içerisinde su buharı tutma özelliği artar ve iç kısımlardan yüzeylere doğru ısı transfer hızı artmaktadır. Böylece yüksek buharlaşma hızı oluşur ve kurutmanın süresi kısalmır. Ancak, kurutma sıcaklığının istenildiği kadar yüksek sıcaklıklara çıkarılması uygun olmamaktadır. Çünkü her gıdanın kurutulabileceği optimum bir sıcaklık derecesi vardır. Bu sıcaklık değerinin üzerine çıkıldığı takdirde gıdada çatlama, renk değişmesi ve büzüşme gibi kurutma kusurları ve kalite kayıpları meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıkta yapılan kurutma işlemiyle, sisteme verilen enerji miktarı ve maliyeti de yükselir. Gıdanın kurutma sıcaklığının altında bir sıcaklıkta kurutulduğunda ise, kurutulan gıdanın kalitesi yükselmekte, fakat kuruma süresi gerekenden fazla uzamış olmaktadır. Bu nedenle yapılan kurutma işlemlerinde kuruma süresi ve kuruma kalitesi dikkate alınarak en uygun sıcaklıkta kurutma yapılmalıdır.

#### **1.4.2 Kurutma Havasının Bağıl Nemi**

Kurutma işleminde gıdanın kalınlığı ve nemine göre kurutmanın çeşitli kademelerinde kurutma ortamını oluşturan havanın belli nem miktarlarını içermesi düzgün bir kurutmanın uygulanabilmesi bakımından önemlidir. Çeşitli kurutma kademeleri için yetersiz nem içeren hava içerisinde gıdanın yüzeyi çok hızlı bir şekilde kuruyarak, kurutmada önemli bir kusur olan dış sertleşme hali (kabuk bağlama) ve buna bağlı olarak diğer kusurlar ortaya çıkmaktadır. Kontrollü kurutmada bu şekilde meydana gelecek kusurlara engel olunması ve iç tabakalardan yüzeylere doğru uygun bir nem farkının oluşması ve devamlı nem akısının sağlanması için kurutmanın her kademesinde kurutma havasının yeterli miktarda nem içermesi gerekmektedir. Aksi durumda yani kurutma sistemi içerisinde kurutucu havanın nem miktarının fazla olması, kurutma süresinin gereksiz yere uzamasına, bunun yanında son üründe kalite kayıplarına neden olduğu gibi enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır (Bayhan 2011).

#### **1.4.3 Kurutma Havasının Hızı**

Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan gıdanın yüzeyinde kurutma sırasında daima durgun bir buhar filmi oluşur. Eğer bu filmin oluşması önlenir ve sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun evaporasyonunda bir hızlanma belirir. Hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülür. 5 m/s'den daha fazla bir hava hızının kuruma hızı üzerine etki etmediği saptanmıştır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Kurutma havası hızının fazla olması durumunda iç kısımlarda meydana gelen hızlı kurumadan dolayı dış yüzeye doğru olan su akışı bozulmaktadır. Bu nedenle çatlama ve sertleşmeler görülmektedir. Kurutma havası hızının düşük olması durumunda ise gıda yüzeyindeki nemi uzaklaştıramamaktadır. Bu nedenle kurutma havası hızının belli sınırlar arasında tutulması kurutmanın kalitesi bakımından önemlidir.

#### **1.4.4 Kurutulacak Gıdanın Özellikleri**

Ürünün kimyasal ve fiziksel yapısı, bütün veya kesilmiş oluşu, başlangıç nem içeriği gibi özelliklerinin kuruma hızına olan etkisi çok büyüktür (Cemeroğlu ve diğ. 2003). Şeker, tuz vb. küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin bir gıda, bu maddelerce daha fakir gıda ile kuruma açısından kıyaslanırsa, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür. Çözünmüş bu maddeler, suyun buhar basıncını düşürmekte, dolayısı ile suyun buharlaşmasını güçleştirmektedir. Aynı şekilde ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı önemli bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından izole edilmiş bulunduğundan böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması çok güçtür. Serbest su, gıdada öncelikle ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olduğu halde, katı parçacıklara adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Nişasta, pektin ve diğer gam maddelerince oluşturulan kolloidal jel içinde tutulan su daha da zor uzaklaşmaktadır. Bu nedenle nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça zordur. En zor uzaklaştırılan su ise, glikoz monohidratta olduğu gibi, hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Hücreler arasındaki suyun uzaklaşması daha kolaydır. Ancak hücre zedelenince hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazanarak, hücre içindeki suyun uzaklaşması kolaylaşır. Bu nedenle haşlanmış ürünler daha hızlı kururlar (Cemeroğlu ve Acar 1986).

#### **1.4.5 Kurutulacak Gıdanın Boyutu**

Kurutulacak gıdanın boyutları ne kadar küçükse yüzey alanı o kadar fazla, kalınlığı da o kadar az olacağından kuruma hızı olumlu yönde etkilenmektedir. Kuruma hızı, gıdanın yüzey alanı ile doğru, kalınlığı ile ters orantılıdır. Püskürterek kurutma tekniğinde sıvı ve ezme halindeki gıdaların, ince zerrecikler haline getirildikten sonra birkaç saniyede kurutulabilmesi bu sayede sağlanır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

#### **1.4.6 Kurutulacak Gıdanın Miktarı**

Kurutmanın etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için kurutma ortamına yerleştirilecek olan gıdanın düzgün ve eşit miktarda olacak şekilde yayılması çok önemlidir. Birim yükleme ağırlığının artması kuruma başlangıcında kuruma hızını

yavaşlatır. Ancak son kuruma zamanına birim yüklemenin etkisi fazla değildir (Cemeroğlu ve diğ. 2003; Bayhan 2011). Tepsili kurutma kabiniinde kurutma işleminin sırasında sıcak hava, kerevetler arasından ve çeşitli düzenlemelerle kerevet içindeki ürünün bizzat içinden geçer. Eğer kerevetteki ürünün kalınlığı fazla ise hava hareketi zorlaşır ve kuruma hızı düşer. Bu nedenle, başarılı ve tek düze bir kurutma için her kerevetteki veya banttaki ürün miktarı ve kalınlığı, eşit ve düzgün olmalıdır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

#### **1.4.7 Kurutma İşlemi Sırasında Gıdanın Karıştırılması**

Kurutulacak gıdanın yerleştirildiği raf veya tepsi titreştirilerek, durumları sürekli olarak değiştirilen ürünlerin, hava ile temasa gelen yüzeyleri de devamlı olarak değişecektir. Bu yöntemlerle ısı transfer aktarımını 1,5-2 kat arttırmak ve dolayısıyla kurumayı hızlandırmak mümkün olmaktadır. Benzer bir uygulama kurutma havasının hızı, ürünün kritik asılma hızı değerine kadar yükseltilerek, kurutulmuş gıdanın hava içinde adeta yüzdüğü ‘akışkan yatak’ uygulaması şeklinde yapılabilir (Yağcıoğlu 1999).

#### **1.4.8 Kurutma Ortamının Basıncı**

Ortam basıncı, suyun buharlaşma sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Basınç azaldıkça suyun buharlaşma sıcaklığı da azalmaktadır. Bu durumda belli sıcaklık koşullarında, ortamın basıncı azaltıldıkça (vakum artışı) birim zamanda buharlaşan su miktarı da artar. Kuruma hızının bu yöntem ile artırılması, oldukça pahalı vakum düzenekleri ve yüksek güç tüketimleri nedeniyle pazar değeri yüksek ürünlerde sınırlı olarak kullanılmaktadır (Yağcıoğlu 1999).

### **1.5 Meyve ve Sebzelere Yaygın Olarak Uygulanan Başlıca Kurutma Yöntemleri**

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında temel olarak üç farklı kurutma yöntemi uygulanmaktadır (Tripathy ve Kumar 2009). Bunlar; 1) Doğal kurutma (gölgede ve güneş altında), 2) Normal atmosfer koşullarında kesikli (raflı ve kule tipi kurutucular)

ve sürekli (taşıyıcı bantlı tünel, akışkan yataklı, püskürtmeli, döner tamburlu ve mikrodalga kurutucular) kurutma ve 3) Vakum altında kurutma (vakum kurutucu, raf/döner tamburlu kurutucu ve dondurarak kurutma) yöntemleridir. Doğal (gölgede ve güneş altında) ve sıcak havalı kurutucular ile kurutma düşük işletme giderleri nedeniyle günümüzde yaygın olarak uygulanan yöntemdir. Doğal koşullarda gölgede veya güneş altına sererek yapılan doğal kurutma ile pazarın talep ettiği yüksek kalite ve standartlara ulaşmak ve büyük miktarlardaki ürünü işlemek mümkün değildir (Soysal ve Öztekin 2001). Düşük basınç altında kurutma ve mikrodalga kurutma teknikleri ise son yıllarda en çok üzerinde durulan tekniklerdir. Tüm bu yöntemlere ve sanayideki özel isteklere bağlı olarak çok fazla sayıda (>400) kurutucu imal edilmiş olup, bunlardan 50 adedi ticari olarak kullanılır durumdadır (Çizelge 1.1).

**Çizelge 1.1:** Günümüzde yaygın olarak kullanılan kurutucular (Mujumdar 2007)

Kriter	Kurutucu Tipi
Çalışma şekli	Kesikli, sürekli*
Isı transferi şekli	Konveksiyon*, kondüksiyon, radyasyon, elektromagnetik alan, kombine
Kurutulacak ürünün konumu	Durgun, hareketli, titreşimli, dağıtılmış
Kurutulacak ürünün fiziksel durumu	Katı, sıvı, pelte, öğütülmüş, cips, sürekli tabaka
Kurutucu basıncı	Vakum, atmosferik
Kurutucu akışkan	Hava*, süper ısıtılmış buhar, uçucu gazlar
Kurutma sıcaklığı	Kaynama noktasının altında*, kaynama noktasının üzerinde, donma noktasının altında
Kurutulacak ürün ve kurutucu akışkanın birbirine göre relatif hareketi	Paralel, karşı, karışık, çapraz akışlı
Kurutma aşaması	Tek aşama*, çok aşama
Kurutma süresi	Kısa (<1 dakika), orta (1-30 dakika), uzun (> 30 dakika)

\*En yaygın kullanılan kurutucu tipleri

Meyve ve sebzelerin kurutma süresini kısaltmak ve kurutma işlemi sırasında üründe meydana gelen istenmeyen değişimleri önlemek için kurutma işlemi öncesinde bu ürünlere çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır. Bunlar kısaca mekanik ve kimyasal ön işlemlerdir. Örnek olarak sıcak suya daldırarak kısa süreli haşlama ve ozmotik ön işlemlerle kurutma verilebilir. Mekanik ve kimyasal ön işlem uygulamasının amacı ürün yüzey geçirgenliğini arttırarak kurutma işlemi sırasında ısı ve nem transferini arttırmaktır. Kimyasal ön işlemler daha çok ürünün alkali çözeltilere daldırılarak belirli

bir süre bekletilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Mekanik ön işlemler ise ürün yüzeyinde küçük delikler açma, ürünü çeşitli boyutlarda kesme ve dilimleme, ürün yüzeyinde oluklar veya kanallar açarak yüzey genişletme gibi ürünün fiziksel yapısında yapılan değişikliklerdir. Kısa süreli sıcak suya daldırma uygulaması ise daha çok ürün renginin korunması amacıyla yapılmaktadır.

### **1.5.1 Sıcak Hava ile Kurutma**

Isı, kurutucu ortamdan gıdaya konveksiyon yoluyla aktarılır. Sıcak hava, kurutulan gıdanın ya üzerinden ya da içinden geçirilir. Bu yöntemin ısıl etkinliği kontakt kurutmaya göre daha düşüktür. Sıcak hava ile kurutma işleminde, kurumayı etkileyen faktörlerden birisi kurutma havasının hızıdır. Buharlaşan nem, ürün etrafında suya doymuş ince bir sınır tabaka oluşturur. Söz konusu doymuş tabakanın kısmi buhar basınç değeri yüksek olduğundan, bu durum kurumayı engelleyici bir etki yaratır. Havanın hızı, üründen buharlaşan nemin ortamdaki uzaklaşma hızını belirlediğinden önemlidir. Hava hızının kuruma üzerine etkisi, belli bir hava hızı değerine kadar görülmektedir. Bu değerden sonra kuruma üzerine ek bir etki yapmamaktadır. Ayrıca hava hızı sabit hızla kuruma periyodunda, başka bir ifadeyle kurutmanın ilk aşamalarında daha etkilidir. Azalan hızla kuruma periyodunda kuruma hızı, nemin gıdanın içinden yüzeye difüzyonla taşınma hızıyla sınırlandırıldığından, bu aşamalarda hava hızının etkisi, sıcaklığa göre daha düşüktür (Yağcıoğlu 1999).

Sıcak havalı bütün kurutucular, içerisinde ısıtılmış havanın sirküle edebileceği kapalı sistemlerdir. Sistemde ayrıca yağ ve son kuru ürünün iletimini sağlayan yardımcı makinalar, çeşitli ekipmanlar ve kontrol aletleri de yer alır. Havanın hareketi genellikle çeşitli tipte fan ve vantilatörlerle sağlanır. Havanın ısıtılması doğrudan ya da dolaylı ısıtma yöntemi ile yapılır. Doğrudan ısıtmada hava alevle temas ederek ısınır, ürünün arasından, ortasından ya da etrafından dolaşarak, ürünle karışım yaparak veya yapmayarak geçer.

Dolaylı ısıtmada hava, buharla, alevle ya da elektriksel bir kaynakla ısıl iletim, ısıl taşınım ya da bunların kombinasyonu ile ısıtılır. Önemli olan, ısıtılan havanın ısınma kaynağında kirlenmemesidir. Doğrudan ısıtmada kullanılan sıvı ya da gaz yakıt



her zaman tam olarak yanmaz. Bazı gazlar ise eser miktarda kurum parçacıkları havaya ve dolayısıyla kuru ürüne karışabilir. Ayrıca, doğrudan ısıtma yönteminde ısınan havaya az da olsa bazen nem katılabilir. Çok hassas higroskopik ürünler için bu son olay önemlidir. Bu olumsuz yönlerine karşın doğrudan ısıtma yönteminin maliyeti düşüktür. Sıcak havalı kurutucular, sıcak havanın gıdadan geçirilmesi tipine göre paralel, ters, doğru ve çapraz akışlı olmak üzere kendi aralarında gruplandırılabilir. Havanın elektriksel yöntemle ısıtıldığı kurutucular düşük sıcaklık derecesine gereksinim duyulan gıdaların kurutulmasında ya da araştırma amacına dönük tesislerde tercih edilirler. Aksi halde çok pahalı sistemlerdir (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

Kabin tipi kurutucular, sıcak havalı kurutuculardan bir tanesidir. Kurutulacak meyve ve sebzeler bütün, dilimlenmiş veya püre halinde ızgaralı, delikli kerevetlere ya da düz tavalara ince bir tabaka oluşturacak şekilde konulur. Kerevetler kabin içerisine yerleştirilir. Belirli bir yerden kabin içerisine verilen sıcak hava, kerevetler arasında dolaşır ve belli bir kanaldan dışarı atılır. Havanın sirküle ettirildiği tiplerde önce havanın üründen yüklendiği nemi alınması gerekir. Bir silikajel yastığından ya da bir kondensörden geçirilerek nemi alınan hava ısıtıcıya geri gönderilir. Havanın tek kullanımdan sonra dışarı atıldığı tiplerde çıkış boğazının taze hava emiş boğazından uzakta olması gerekir. Aksi halde atılan nemli hava, taze hava emiş boğazından emilecek ve kuruma verimi düşecektir (Yağcıoğlu 1999).

Kabin tipi kurutucularda havanın hızı, sıcaklığı ve nemi kerevetlerin her yerinde aynı düzeyde değildir. Bu nedenle kerevetlerin her noktasında kuruma hızı farklıdır. Bunu bir dereceye kadar önlemek amacı ile hava akışının yönü değiştirilir (Yağcıoğlu 1999).

### **1.5.2 Vakum Kurutucular ile Kurutma**

Vakumla kurutma yapan kurutucular yüksek sıcaklık şartlarından olumsuz olarak etkilenerek yapısı bozulan ürünlerin, daha düşük sıcaklıklarda hızla kurumasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Katı haldeki ürünlerin kurutulmasında da kullanılmakla birlikte, özellikle sıvı veya püre formundaki ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kurutucularda kurutma vakum ortamında

gerçekleşir. Vakum hücresinin içindeki hava bir vakum pompası veya buhar ejektörü yardımıyla emilerek  $2,5 \times 10^{-3} - 7 \times 10^{-3}$  bar arasında basınca sahip bir vakum ortamı yaratılır. Ortam sıcaklığı 35-60°C kadardır. Ürün konveksiyon, kondüksiyon veya radyasyon yollarından biri veya birkaçı yardımıyla ısıtılarak suyun buharlaşması sağlanır. Buharlaşan su, vakum pompalı tiplerde bir yoğuşturucuda sıvı hale dönüştürüldükten sonra vakum hücresi dışına çıkarılır. Buhar ejektörlü vakum kurutucularda ise yoğuşturucuya gerek yoktur. Vakum hücresinin içinde çok az miktarda hava bulunması, kolayca okside olabilen ürünlerin kurutulmaları sırasında ortaya çıkan oksidasyon tehlikesini de ortadan kaldırmaktadır. Bu tip kurutucular, ayrıca yüksek sıcaklıkta hızlı kuruma nedeniyle yüzeyi çabuk kuruyarak sertleşen ve bu nedenle iç katmanlardan yüzeye nem difüzyonu engellendiği için ortası nemli kalan ürünlerin kurutulmasına da uygundur. Vakum ortamında uygulanan sıcaklık düşük olacağından yüzeyde sert bir kabuk oluşmayacak ve nem difüzyonu, ürünün tüm bünyesi kuruyana kadar engellenmeden devam edecektir (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

Sıcak hava ile kurutma yönteminde oluşan istenmeyen bazı olaylar vakum kurutma yönteminde önlenmektedir. Ortamda hava olmadığı için renk ve kolaylıkla okside olabilen vitamin gibi unsurların kayıpları daha az meydana gelmektedir. Bunun yanında aroma kayıpları da sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha az gerçekleşmektedir. İfade edilen avantajlı yönlerinin yanında vakum kurutma yönteminin dezavantajlı yönleri de bulunmaktadır. Vakumlu kurutucular, dış basınca dayanıklı sağlam ve sızdırmaz bir vakum hücresi ile vakum sağlayacak düzeneklere gereksinim duyduğundan oldukça pahalı sistemlerdir. Bu yöntemi ekonomik olarak kullanılabilirliğini sağlamak için, ürünün baştan sona vakumlu kurutucularda kurutulması yerine, önce nemi %35-40 düzeyine inene kadar bilinen sıcak havalı kurutuculardan birisi ile ön kurutma yapılması ve daha sonra vakumlu kurutucuda neminin %10-15 düzeyine indirilmesi önerilebilir (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

### **1.5.3 Mikrodalga ile Kurutma**

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun bir parçası olup görünür ışık ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır. Dalga boyları 1 mm–1 m ve frekansları 300 MHz – 300 GHz arasında değişmekte olan mikrodalgaların ısıtma frekansları

endüstriyel, bilimsel ve tıbbi kullanımlar için belirlenmiştir (Baysal ve diğ. 2011). Amerika Birleşik Devletleri Federal Komünikasyon Komitesi, mikrodalgaların bu amaçlarla kullanımını 915, 2450, 5800 ve 24225 MHz ile sınırlamıştır. Mikrodalga fırınlarda kullanılan dalgaların, radar dalgaları ile karışmaması ve pişirmeye en uygun olması nedeniyle fırınlar için 2 ayrı frekans verilmiştir. Bunlar 915 MHz ve 2450 MHz olmakla birlikte, genellikle 2450 MHz frekanstaki dalgalar kullanılmaktadır (Uslu ve Certel 2006).

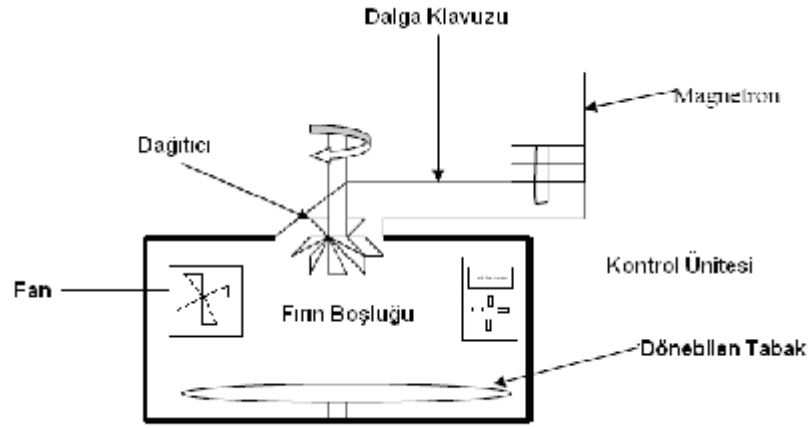
Mikrodalga fırınlar prensipte diğer fırınlardan ayrılmaktadır. Normal fırınlarda ısı, gıdaya dışarıdan içeriye doğru iletilmekte ve bu da uzun zaman almaktadır. Örneğin fırından yeni çıkmış ekmeğin kabuk kısmının sıcaklığı 230°C iken, ekmeğin sıcaklığı 100°C'yi geçmemektedir. Mikrodalga fırınlarda ise, ışın doğrudan gıdanın içerisine nüfuz etmektedir.

Mikrodalga, fırın içerisindeki magnetron adı verilen vakum tüpünden üretilir. Magnetron, ülkelere göre frekans farklılığı (genellikle 50 ve 60 Hz) gösteren elektrik enerjisini mikrodalgaya dönüştürür. Üretilen mikrodalgalar foton olarak adlandırılan ışın tanecikleri halinde yayılır. Mikrodalga fotonları düşük düzeyde enerjiye sahiptir. Su gibi artı yüklü ve eksi yüklü uçları olan moleküller polar moleküller olarak adlandırılır. Üretilen mikrodalgalar gıdaya ulaştığında gıdanın yapısında bulunan su molekülleri mikrodalga fotonlarının enerjisini soğurarak artı ve eksi uçları arasında titreşmeye başlarlar. Bu titreşimler sonucu etraflarındaki moleküller ile oluşan sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı gıdaların ısınmasını sağlar. Bu nedenle içinde daha çok su molekülü taşıyan gıdalar daha çabuk ısınır.

Mikrodalga ile kurutma yöntemi geleneksel ve diğer yapay kurutma yöntemlerinden hem daha hızlıdır hem de daha ekonomiktir. Çünkü kurutma sürecinde yalnızca gıdada bir ısınma meydana gelir, kurutma kabininin veya ortamının ısınması için enerji ve zaman harcanmaz.

Mikrodalga fırın, mikrodalga üreten bir magnetron, üretilen mikrodalganın fırın içinde yayılmasını sağlayan bir dalga yayıcı ve fırın boşluğundan oluşur. Yayılan mikrodalganın fırın içinde düzgün dağılımını sağlamak için ya döner tabla ya da dalga yayıcıdan hemen sonra yerleştirilen bir pervane kullanılır. Ayrıca ısınan gıdanın yaydığı

ısı ile ısınan havanın fırın içinde birikmesini önlemek için bir havalandırma sistemi bulunur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Mikrodalga fırının şematik gösterimi

Mikrodalgalar bir cisim üzerine geldiğinde 3 olay ortaya çıkabilmektedir. Bunlar, dalganın yansması, absorbe edilmesi veya geçirilmesidir. Metaller dalgayı yansıtırlarken, su ve gıda maddeleri absorbe etmekte, cam, kâğıt, plastik ve tahta gibi materyaller ise ışını geçirmektedir. Bu durumda pişirme kabı olarak ışını geçiren materyallerin kullanılabileceği açıktır. Bazı üretici firmalar tarafından metal kapların kullanılabileceği bildirilmekte ise de bu durum da gıdanın yalnızca üst kısmından ışınları alabileceği anlaşılmaktadır. Bu durumda süre uzayacaktır ve enerji kaybı artacaktır. Bir materyalin mikrodalga fırınlarda pişirme kabı olarak kullanılıp kullanılmayacağı çoğu zaman kabın ambalajı üzerinde belirtilmektedir. Herhangi bir materyalin bu amaca uygun olup olmadığı şu şekilde anlaşılabilir. Denenecek kabın içerisine bir bardak ile birlikte su konur ve fırında 1–2 dakika kadar tutulur. Bu sürenin sonunda su ısındığı halde bardağın konulduğu kap ısınmamışsa bu materyalin mikrodalga fırında kullanıma uygun olduğu söylenebilir. Mikrodalga fırında kullanılacak kabın şekli de önem taşımaktadır. Yuvarlak ve derinliği az olan kaplar, köşeli ve derin kaplara göre amaca daha uygundur.

Mikrodalga fırınlar kurutma işlemi dışında, bazı gıdaların pişirilmesi için son derece uygundur. Genel olarak kek ve benzeri gıdalar mikrodalga fırında 10 dakika gibi kısa bir sürede pişirilebilmektedir. Oysa bu süre kabuğun renginin kahverengiye dönüşmesi için yeterli olmamaktadır ve genelde kabuk yüzeyi pürüzlü kalmaktadır. İşte

bu nedenle gelişmiş fırın tiplerinde mikrodalga ve normal fırın kombine halde yer almaktadır. Bu kombinasyon sonucunda mikrodalga'nın hız ve ekonomisinden, normal fırının kahverengileştirme ve gevşetme etkisinden maksimum düzeyde yararlanılmaktadır.

Mikrodalga fırınların pek çok tipi programlanabilir tipte yapılmaktadır. Böylece tüpün enerji düzeyi değişik amaçlara göre değiştirilebilmektedir. Yine tüpün kesikli olarak çalıştırılabilmesi sağlanmakta, kesinti süreleri programlanabilmekte ve fırın içi nem düzeyine göre magnetron tüpü devreye girip çıkabilmektedir.

Mikrodalga ile kurutma da ürünün dokusundaki ısı oluşumu- birikimi, diğer fiziksel ısı iletim yöntemleri ile kurutmaya kıyasla, çok daha hızlı gelişmektedir. Ürünün dokusundaki ısı, dokunun nemini hızla su buharı haline getirmektedir. Su buharının çevre havaya geçebileceği yol yoksa ki dokuda bu yol yoktur, buhar basıncı dokuyu patlatıp çıkacaktır. Bu sakınca nedeniyle ürün doğal haliyle mikrodalga fırına verilemez. Ürünün kurutulması sonucunda kullanım amacına uygun olarak renk, tat, aroma gibi kalite değerleri göz önüne alınarak kıyma veya ince dilimler halinde kesme işleminden sonra mikrodalgayla kurutmak mümkündür (Tunçer 1990; Karaaslan 2008).

Mikrodalga kurutması öncesi gıdayı parçalama veya ince dilimler halinde kesme sonucunda kesit yüzeylerinde hücre öz sıvısı damlacıklar oluşur. Bu damlacıklar, mikrodalga akımı ile ani ısınarak buharlaşırlar. Damlacığın bulunduğu yerdeki ısı enerjisi birikimi damla tabanındaki etin (dokunun) yanmasına ve yanık yerinin kül halinde düşüp, delik kalmasına neden olmaktadır. Örneğin ince dilimler halinde kesilen kabağın mikrodalga akımına tutulmasında oluşan damlacıklar ani buharlaşır ve doku yanıkları oluşur. Bu durumda, kurutma işleminin durdurulması gerekir. Yanıkların oluşması ve ilerlemesi saniyelik süre içinde gelişme göstermektedir. Bu nedenden dolayı, kesme-parçalama işlemlerinde kesit yüzeylerinde terleme ve özsu damlacıkları toplanması yapan ürünler mikrodalga akımı ile kurutulamazlar. Mikrodalga kurutmasına verilecek ürünlerde doğal yüzeyde veya kesit yüzeydeki terleme ve su damlacıkları oluşumu giderildikten sonra mikrodalga etkisine verilmelidir (Karaaslan 2008).

Dilimlenmiş veya parçalanmış ürünlerin sıralı, tek kat olarak mikrodalga akımına verilmesi de önem taşır. Parçalanmış ürün çok sıcak, üst üste yığılacak olursa, hücre özsuyunun kesitlerden çıkması sonucu katlar arasında ıslak topaklar ve su birikimleri meydana gelir. Su birikimleri ve ıslak topaklar, mikrodalga akımının ısı enerjisini yoğunlaştırdığı ve gıdanın kor haline gelerek yandığı yerlerdir.

Ürünlerin dilimlenme ve parçalanma kalınlığı da mikrodalgayla kurutmada önemlidir. Mikrodalgayla kurutmada uygun dilim kalınlığının en fazla 2 mm olması gerektiği saptanmıştır. Dilim kalınlığı eğer 2 mm'nin altında olursa, bunlar tek sıra halinde yayarak kurutma daha etkili olmaktadır. Daha kalın dilimler halinde kıyılan üründe ise kesit yüzeyinde buhar çıkışı esnasında baloncuklar oluşmaktadır. Baloncuklar kurumanın ilerlemesiyle kabuk oluşturarak katılaşmakta ve iç hacimlerini korumaktadır. Bu kabarcıklı görünüm, kurutulan ürünün göze güzel görünüşünü bozmaktadır (Tunçer 1990; Karaaslan 2008).

Mikrodalga etkisinde kurutulacak ürünün tek tip ve homojen doku göstermesi gerekir. Bazı ürünler (örneğin domates) dilimlenince, etli doku ile içindeki çekirdeklerin bulunduğu jölemsi sıvı gibi iki değişik yapı ortaya çıkar. 2 mm kalınlığında dilimlenen domates, mikrodalga akımına verince, jölemsi sıvı kısımlar kısa sürede ısınır ve hava kabarcıkları çıkararak kaynamaya başlar. Kaynama, kıvılcım çıkararak yanma şeklinde gelişir. Etli doku henüz nem kaybına başlarken, jöle kısmı yanmıştır. Sonuç olarak, domates gibi farklı doku ve yapıda etli ve jöleli kısımları olan bir ürün, mikrodalga akımıyla kurutulamaz. Benzer durum, yaprak ve sap gibi bir ürünün farklı doku yapısındaki kısımları içinde geçerlidir. Sebzenin yaprak kısımları ve gövde-sap kısımları beraberce mikrodalga akımıyla kurutulamaz (Tunçer 1990; Karaaslan 2008). Mikrodalga ile kurutmanın sonucunda geleneksel kurutma yöntemlerine göre çok daha hızlı ürünün kurutulması sağlanır.

## **1.6 Kırmızıbiber Kurutma Yöntemleri**

Anavatanı Orta ve Güney Amerika olan biber, Amerika'dan Avrupa'ya, ilk kez 1493 yılında İspanya'ya, daha sonra, 1548 yılında İngiltere'ye ve 1578 yılında ise orta ve diğer Avrupa ülkelerine yayılmıştır. Osmanlı İmparatorluğu döneminde özellikle 16.

yy içerisinde Orta Avrupa ülkeleri ile kurulan sıkı ilişkiler nedeni ile biber ilk önce İstanbul'a getirilmiş, daha sonra diğer bölgelerimize yayılmıştır (Şeniz 1992). Bir başka araştırmaya göre biber, Orta Amerika'dan Portekizliler vasıtasıyla Hindistan'a ve buradan Arap Yarımadası'na getirilmiştir. Daha sonra Bağdat ve Antakya üzerinden İstanbul'a getirilmiş olup, buradan da (1515–1662 yılları arasında) Rusya, Venedik ve Orta Avrupa'ya yayılmıştır (Doğantan ve diğ. 1987; Demiray ve Tülek 2012a).

Kırmızıbiber, Türkiye'nin bütün bölgelerinde yetişmektedir. Biber yetiştirmede başlıca illerimiz; Ankara, Antalya, Aydın, Balıkesir, Bilecik, Bursa, Denizli, Eskişehir, Gaziantep, Hatay, İzmit, Kayseri, Kırklareli, Kırşehir, Mersin, Konya, Kütahya, Malatya, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, Niğde, Adana ve Diyarbakır'dır. Kırmızıbiber üreten bölgeler kabaca kuzey ve güney üretim bölgeleri olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bilecik ve Bursa kuzey bölgesinde, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, Gaziantep illeri güney üretim bölgesindedir. Genel bir kanı olarak da kuzeyde yetişen biber tatlı, güneydekiler ise acıdır. Türkiye'de beş değişik biber çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Kayseri, Bursa, Bilecik ve Gaziantep'te üretilenler toz ve pul biber üretimine son derece uygundur (Doğantan ve diğ. 1987; Demiray ve Tülek 2012a).

Biber bitkisi, türlere göre değişmekle birlikte, uzunca oval biçimli ve kenarları düz olan yapraklarının rengi, yeşilin açıktan koyuya kadar değişen tonlarında olur. Yaz aylarında açan küçük çiçekleri, beyaz ve ender olarak menekşe rengindedir. Meyvesi 1-25 cm boyunda, şekil olarak oldukça değişken, genellikle kırmızı bazen turuncu, sarı, kahverengi, yeşil, sarı, erguvani veya siyahtır. Olgunlaşma öncesinde yeşil sonrasında kırmızı renk alır (Kuşçu 2002).

Kırmızıbiberin, üç farklı türü vardır. Bunlar; *C. annuum L.*, *C. frutescens L.*, *C. minimum Mill.* Endüstride, *C. annuum* ve çeşitleri "İspanyol Biberi" veya "Paprika", *C. frutescens* ise "Çili (Chili)" olarak bilinir (Akgül 1985; Kuşçu 2002). *C. frutescens* türü genellikle *C. annuum* türüne göre daha çok acılığa sahip kırmızıbiberlerdir. Ancak iki türde de acılık ve renkleri birbirinden oldukça farklı olan çeşitleri de vardır. Bu farklılık standart özellikte bir kırmızıbiber üretimini mümkün kılmamaktadır (Ermiş 1999).

Taze kırmızıbiberin yapısında başta askorbik asit olmak üzere bazı vitaminler, karotenoidler, yağ, mineraller ve aromatik bileşikler bulunmaktadır. Kırmızıbiberin bileşiminde bulunan maddeler Çizelge 1.2’de, kuru kırmızıbiberin bileşimi de Çizelge 1.3’te verilmiştir.

**Çizelge 1.2:** 100 g taze kırmızıbiberin bileşimi (USDA 2014)

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	0,99 g	Su	92,21 g
Yağ	0,30 g	Lif	2,10 g
Karbonhidrat	6,03 g	Demir	0,43 mg
β-karoten	5,64 mg	Fosfor	26 mg
Tiamin	0,05 mg	Kalsiyum	7 mg
Riboflavin	0,09 mg	Potasyum	211 mg
Niasin	0,98 mg	Askorbik asit	128 mg

**Çizelge 1.3:** 100 g kuru kırmızıbiberin bileşimi (USDA 2014)

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	10,58 g	Su	7,15 g
Yağ	5,81 g	Lif	5,81 g
Karbonhidrat	69,86 g	Demir	6,04 mg
β-karoten	47,68 mg	Fosfor	159 mg
Tiamin	0,08 mg	Kalsiyum	45 mg
Riboflavin	1,21 mg	Potasyum	1870 mg
Niasin	8,67 mg	Askorbik asit	31 mg

Dünya genelinde olduğu gibi, ülkemizde de *Capsicum annuum* türü en çok yetiştirilen biberdir. Taze haldeyken sofralık olarak çeşitli yemek ve salataların hazırlanmasında kullanılan biberin önemli bir kısmı, başta baharat olmak üzere salça, turşu, sos, hazır çorba ve konserve üretiminde kullanılmaktadır (Guerra-Vargas ve diğ. 2001; Topuz 2002).

Ülkemizde biber işleme tesislerinde kurutma, temel işlemler arasında yer alır. Türkiye yılda 900 bin ton üretimi ile tek başına dünya biber üretiminin %10’unu karşılamaktadır (Özalp 2010). Kahramanmaraş ilimizde ise, kırmızıbiber üreticiliği, kırmızı kuru biber üretimi için yapılmaktadır. Üretilen kırmızıbiber, yaygın biçimde ülkemizin iç talebini karşıladığı gibi, ihracatı da yapılmakta ve önemli ölçüde döviz kaynağı oluşturmaktadır. Biberin işlenmesine yönelik dünya standartları, biberin sadece kurutucularda kurutulmasını öngörmekte iken, Kahramanmaraş’ta biberin toprak üzerine serilerek kurutulduğu görülmektedir. Kırmızıbiberde kurutma toprak üzerinde



ve doğrudan güneş ışığı altında yapılması oldukça ekonomik bir yöntem olmasına rağmen, ürünün dış etkilere açık ve kolay kirlenmesi nedeniyle hijyenik ürün elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Güneş ışığı altında yapılan kurutma işlemi, sürekli olarak aynı kalitede ürün elde edilmesine de olanak vermemektedir. Güneşte kurutulan kırmızıbiberlerde kontrol edilemeyen renk değişimleri, vitamin kayıpları ve mikrobiyal yükte artış gibi olumsuzluklar karşımıza çıkmaktadır. Temiz, hijyenik ve her zaman aynı kalitede kurutulmuş ürün temini ancak özel kurutucuların kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, daha hızlı, güvenilir ve kontrol edilebilen kurutma yöntemleri ve sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yapay kurutma yöntemleriyle ürünün kuruma süresi büyük oranda kısaltılmakta, ürünlerin daha temiz ve standart kalitede kurutulması sağlanmaktadır. Aynı zamanda daha az besin ve vitamin kayıpları meydana gelmektedir (Demiray ve Tülek 2008).

Türk Standartları Enstitüsü'nün tanımına göre, pul kırmızıbiber *Capsicum annuum* türüne giren kültür bitkilerinin tam olgunlaşmış acı meyvelerinin iyice kurutulup, saplı veya sapı alındıktan sonra çekirdekli veya çekirdeksiz yarı öğütülerek pul haline getirilmiş, belli oranda yemeklik sıvı yağ ve tuz ile karıştırılıp su ile tavllanmış halidir (Anonim 2001).

## **1.7 Havuç Kurutma Yöntemleri**

Havuç (*Daucus carota*), ülkemizde belli alanlarda önemli miktarlarda üretilip tüketilen bir sebzedir. Ülkemizin havucun anavatanı oluşu bu bitkinin Anadolu insanınca çok eskiden beri iyi tanınması ve değerlendirilmesine imkân vermiştir (Koca 2006). 2012 yılı istatistiklerine göre ülkemizde 714.280 ton havuç üretilmiştir. Bunun toplam sebze üretimi içerisindeki payı % 2,57'dir. Bir önceki yıla göre üretimdeki artış ise % 18,6 olmuştur (WEB\_1). Bu üretim miktarı havucun sebze üretimimiz içinde önemli bir yeri olduğunu ortaya koymaktadır. Havuç üretiminin gelişimine bakıldığında en büyük üretimin Avrupa ülkelerinde olduğu görülmektedir. Ülkemizde havuç kışlık bir sebze olarak algılanıp üretilirken, Dünya ülkelerinde havuç her mevsimde tüketilen bir sebzedir. Ayrıca havuç ülkemizde turşu haricinde hiç konserve edilmezken Avrupa ülkelerinde konserve edilmiş olarak büyük miktarlarda tüketilir. Havuç üretimi dünya üzerinde geniş alanlara yayılmıştır. Üretimin çok büyük bir bölümü kuzey yarım kürede

yoğunlaşmıştır. Ülkemizde havuç üretiminin büyük bölümünün yapıldığı yerler Ankara (Beypazarı) ve Konya (Ereğli) olup bunu Antalya, Mersin, Hatay, İzmir, Aydın ve Manisa izlemektedir (WEB\_2).

Havuç beslenme yönünden insan sağlığına çok faydalı bir sebzedir. Bol miktarda provitamin A içeren havuç B, C, D ve E vitaminleri açısından da oldukça zengindir. Ayrıca karoten, şeker ve fosfor ihtiva eder. Karoten içermesi sebebiyle iyi bir antioksidan olan havucun, kalbi koruduğu ve kalp rahatsızlıklarını önlemede faydalı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca içerdiği  $\beta$ -karoten sayesinde havucun birçok faydasının yanında gözlerin sağlığını koruduğu da ifade edilmektedir (WEB\_2). Taze havuç için besin içeriği Çizelge 1.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 1.4:** 100 g taze havucun bileşimi (USDA 2014)

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	0,93 g	Su	88,29 g
Yağ	0,24 g	Lif	2,80 g
Karbonhidrat	9,58 g	Demir	0,30 mg
$\beta$ -karoten	10,02 mg	Fosfor	35 mg
Tiamin	0,07 mg	Kalsiyum	33 mg
Riboflavin	0,06 mg	Potasyum	320 mg
Niasin	0,98 mg	Askorbik asit	6 mg

Havuç genellikle endüstriyel olarak sıcak hava ile kurutma yöntemiyle kurutulmaktadır. Bu yöntem ile havuçların kurutulması esnasında yüksek sıcaklık derecelerinde uzun süreli işlem uygulanmasıyla havuçta bazı kalite kayıpları meydana gelmektedir. Renk, aroma ve gıda bileşenlerinin kayıplarının yanında son ürünlerin rehidrasyon kapasitesinde de azalmalar olduğu belirlenmiştir. Bu kayıpların yanında, yüksek sıcaklıklarda uzun süreli kurutma işlemleri sonunda elde edilen kuru havuçların raf ömürlerinde de kısa olduğu yapılan bilimsel çalışmalarla ifade edilmiştir (Lin ve diğ. 1998).

Sıcak hava ile kurutma işlemine alternatif olarak endüstriyel boyutta yapılacak havuç kurutma işlemlerine katkı sağlaması amacıyla başka kurutma sistemlerinin havuç kurutulmasında kullanılabileceği bazı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Zielinska ve Markowski 2007 yılında yaptıkları bir çalışma sonunda akışkan yataklı kurutma sistemlerinin havuç kurutma işleminde uygulanabileceğini ve tepsili sıcak havalı

kurutuculara alternatif olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Bundan başka vakum kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri de havuç kurutma işlemlerinde bilimsel çalışmalarda kullanılmıştır. Park (1987) yaptığı bir çalışmada, vakum kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle havuç kurutmuştur. Kurutma işlemi sonunda elde ettiği kuru havuç örneklerinde toplam karoten analizi yapmış ve sonuç olarak taze havuçta, vakum ile kurutulmuş havuçta ve mikrodalga ile kurutulmuş havuçta sırasıyla 989, 459 ve 368 µg/g miktarında değerler tespit etmiştir. Yine vakum kurutma yöntemiyle yapılan kurutma sonunda elde edilen kuru havuçların renklerinin sıcak hava ile kurutulmuş örneklere göre daha iyi olduğu Krokida ve diğ. (1998) tarafından belirtilmiştir.

Havuç kurutma işleminde hammadde kabulü son ürün açısından önemli bir aşamadır. Kurutulacak olan havuçlar, tamamen turuncu renkte olmalı ve sebzenin herhangi bir yerinde yeşil renkli kısımlar bulunmamalıdır. Tamamen olgun ve sağlıklı havuçlar tercih edildikten sonra bir ön yıkama yapılır ve bazı ön işlemler hammaddeye uygulanır. İlk olarak havuçların uç ve baş kısımları kesilir. Bu işlemden sonra asıl yıkama işlemi yapılır. Yıkama işleminde fırçalı yıkama işlemi tercih edilebilir. Havuçlar, yıkandıktan sonra isteğe bağlı olarak kabuk soyma işlemi yapılır. Havuçların kabuk kısmında bulunan acılık veren maddeler sebzenin doğal tatlılığını kurutma esnasında olumsuz etkileyebilmektedir. Kabuk soyma işlemi yapılan veya yapılmayan havuçlar yine isteğe bağlı olarak halka veya şerit şeklinde dilimlenmektedir. Halka şeklindeki dilimlerin kalınlığının 6 mm'nin üzerinde olması endüstriyel anlamda istenmemektedir. Dilimleme işleminden sonra havuçlara haşlama işlemi uygulanabilir. Haşlama ile son ürünün hem renk hem de rehidrasyon kapasitesi olumlu yönde etkilenmektedir. Bu işlem genellikle sıcak su içerisinde belli bir süre bekletme şeklinde uygulanmaktadır. Örneğin sıcaklığı 80°C olan su içerisinde 2 dakikalık bir işlem yeterli olmaktadır. Haşlama işleminden hemen sonra dilimlenmiş havuçlar oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulmalıdır. Soğutma işlemi yapılmadığı takdirde son üründe pişmiş tat oluşabilmektedir. Soğutulan havuç dilimleri kurutma işleminin yapılacağı ortama alınır. Kurutma işlemi, dilimler istenilen nem içeriğine düşüncüye kadar 50-65°C arasındaki bir sıcaklıkta devam eder. Kurutma işleminden hemen sonra kurutulmuş havuç dilimleri oda sıcaklığına kadar soğutulur. Soğutulan kuru ürünler, cam veya gıda ile reaksiyona girmeyecek nitelikte olan plastik malzemeden yapılmış ambalajlar içerisine alınır ve hava almayacak şekilde ambalajlanırlar. Ambalajlanmış ürünler,

direkt güneş ışığı almayan, 10-20°C arasındaki sıcaklık değerine sahip, nemli olmayan depo ortamında depolanır (Demir 2010).

Kurutulmuş ürünler, çeşitli besin maddelerini yoğun bir şekilde içerirler. Çünkü kuruma ile su uzaklaşmış ve geride yoğun bir şekilde kuru madde kalmıştır. Bu durum kurutulmuş havuçlar için de geçerlidir. Çizelge 1.5'te 100 g kuru havucun bileşimi verilmiştir. Kurutulmuş havuç, hazır çorba üretimi başta olmak üzere çeşitli yemek soslarının içeriğinde bulunan bir üründür.

**Çizelge 1.5:** 100 g kuru havucun bileşimi (USDA 2014)

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	8,10 g	Su	4 g
Yağ	1,49 g	Lif	23,60 g
Karbonhidrat	79,57 g	Demir	3,93 mg
$\beta$ -karoten	41,08 mg	Fosfor	346 mg
Tiamin	0,53 mg	Kalsiyum	212 mg
Riboflavin	0,42 mg	Potasyum	2540 mg
Niasin	6,57 mg	Askorbik asit	14 mg

## 1.8 Literatür Özeti

Kurutma işlemi, gıda kalitesinde bazı yan etkilere yol açmasının yanında, birçok gıda endüstrisinde, ürün raf ömrünün artması, ambalajlama, depolama ve nakliye maliyetlerinin azalması gibi avantajlardan dolayı vazgeçilmez bir gıda işleme yöntemidir (Lewicki 2006). Bu yöntem, birçok meyve ve sebzenin korunması ve raf ömrünün uzatılması amacıyla yaygın olarak uygulanan bir işlemdir. Özellikle kırmızıbiber, domates ve havuç gibi ürünlerin kurutma işlemi hem doğal hem de yapay yollara yapılmaktadır. Kurutulmuş ürünün kalitesi, işlem sonrasında yetersiz kalabilmektedir. Bu aşamada en sık rastlanan problemler ürün yapısının, dokusunun ve renginin bozulmasına yöneliktir. Özellikle sıcak hava ile kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklıklar ve uzun süreli kurutma işlemleri son ürünün besin kalitesinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bunların en yaygın olanları, özellikle ürünlere kendine has renklerini veren karotenoidlerin zarar görmesi, kahverengileşme ve askorbik asit oksidasyonudur (Marfil ve diğ. 2008). Maillard reaksiyonları adı verilen renk esmerleşmesinde şekerlerin aldehit ve proteinlerin amino grupları rol oynarlar.

Enzimatik olmayan bu esmerleşme reaksiyonları, sıcaklık dereceleri yükseldikçe ve reaksiyona giren öğelerin ortamdaki konsantrasyonları arttıkça hızlanmaktadır. Yüzde ikinin altında nem içeren bir gıdada esmerleşme reaksiyonları gerçekleşmez. Buna karşın %15-20 arasında nem içerenlerde Maillard reaksiyonları en hızlı şekilde meydana gelir. Depolamada her 10°C'lik sıcaklık artışının, esmerleşme reaksiyon hızının (ürünün su oranına bağlı olarak) 6-8 misli artışına bağlı olduğu belirlenmiştir (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

Endüstriyel kurutma sistemlerinin %85'ini konvektif kurutucular oluşturmakta olup, konvektif kurutma günümüzde meyve ve sebzelerin kurutulmasında en yaygın kullanılan kurutma yöntemidir (Mujumdar ve Beke 2003). Meyve sebzelerin konvektif kurutulması konusunda çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Bu konuda yapılan çalışmalar daha çok ürün kuruma kinetiğinin modellenmesi, sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi ve kurutma işlemi sırasında meydana gelen renk, tekstür, duyu özellikler ve besin değeri gibi fiziksel ve kimyasal değişimlerin incelenmesine yöneliktir. Son dönemde ülkemizde ve dünyada bu konuda yapılan çalışmalara birçok örnek verilebilir.

Khazaei ve diğ. (2008) hava sıcaklığının ve dilim kalınlığının domateste kalite ve kuruma kinetikleri üzerine etkisini araştırmışlar, bu amaçla 60, 80, 100 ve 120°C kurutma sıcaklığı ile 3, 5, 7, 9 ve 11 mm dilim kalınlığı uygulamışlardır. Denemeleri kabin tipi sıcak havalı kurutucuda gerçekleştirmişlerdir. Domatesleri %94,4 ilk nem içeriğinden %15 içeriğine kadar kurutmuşlardır. Kuruma süresi 2.6-18.7 saat arasında değişmiştir. Hem hava sıcaklığının hem de dilim kalınlığının, domatesin kuruma periyodu üzerindeki etkisinin önemli olduğunu, askorbik asit kayıplarının dilim kalınlığından etkilendiğini belirlemişlerdir.

Dadalı (2007) yaptığı çalışmada; bamya ve ıspanak sebzelerinin kuruma kinetiklerini incelemiş, mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında meydana gelen renk değişimleri ve kurutma sonucundaki rehidrasyon oranları, Vitamin C değerleri ve doku özelliklerindeki değişimleri araştırmıştır. Uygulanan mikrodalga gücü arttıkça ve kurutulan örnek ağırlığı azaldıkça örneklerin kuruma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Kurutulan bamya örneğine renk değişimleri gözlemlenirken, ıspanak örneğinde renk değişimleri gözlemlenmemiştir. Rehidrasyon kapasiteleri için yapılan çalışmalarda, bamya ve ıspanak örneklerinin 30°C sıcaklıkta rehidrasyon işlemine tabi tutulmaları

sonucunda, örneklerin geri absorplayabildikleri su miktarlarının sırasıyla yaklaşık olarak %96 ve %78 değerlerine sahip olduğunu bulmuştur. Bamya ve ıspanak örneklerinin sahip oldukları Vitamin C değerlerinin sırasıyla %40,32 ve %27,45'ini kaybettiklerini saptamıştır. Yapılan gözeneklilik analizleri sonucunda, bamya numunesinin kurutulması sırasında suyun transferini sağlayan gözenekler çok küçük olduğu için kullanılan cihaz ile gözlemlenememiştir. Ispanak numunesinin gözenekliliğinin ise mikrodalga çıkış gücü arttıkça ya da kurutulan numune miktarı azaldıkça arttığını saptamıştır.

Araştırmacı tarafından, kuruma, renk değişimi ve rehidrasyon kinetiklerine ait modelleme çalışmaları yapılmış; kuruma kinetiğinin Page modele, renk değişim kinetiklerinin sıfırinci ve birinci dereceden kinetik modellere; rehidrasyon kinetiğinin ise Peleg modele uygunluk gösterdiğini saptamıştır. Mikrodalga tekniği ile kurutulan bamya ve ıspanak numuneleri için kurumaya ait aktivasyon enerjileri sırası ile 5,54 W/g ve 10,84 W/g olarak bulunmuştur.

Giri ve diğ. (2007) mantarların (*A. bisporus*), mikrodalga-vakum kurutma tekniği ve konvektif olarak sıcak hava ile kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasındaki kuruma kinetiklerinin ve rehidrasyon yeteneklerinin belirlenmesiyle ilgili yaptıkları çalışmada, elde edilen kurutma verilerine göre kinetik modellemeleri yapmışlar ve en uygun modelin Page modeli olduğu sonucuna varmışlardır.

Wang ve Sheng (2006) tarafından yapılan çalışmada, 10 ile 1000 W arasında değişen mikrodalga güçlerinde 9,36 g su/g kuru madde başlangıç nem içeriğine sahip 75-83 mm uzunluğunda, 70-80 mm çapında şeftali numuneleri,  $5 \pm 0,2$  mm dilim kalınlığında kesilerek kurutulmuşlardır. Yapılan çalışmada, mikrodalga çıkış gücü arttıkça kütle transferinin arttığı ve buna bağlı olarak kuruma zamanları kısaldığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ile şeftali numunesinin kurutulmasının 2 farklı azalan hızda kuruma periyodu içerdiği saptanmıştır. Sabit hızda kuruma periyodu gözlemlenmemiştir. Birinci azalan hızda kuruma periyodunda nem içeriği 9,36 g su/g kuru madde değerinden 1,70 g su/g kuru madde değerine değişirken, ikinci azalan hızda kuruma periyodunda nem içeriği 1,70 g su/g kuru madde değerinden 1,0 g su/g kuru madde değerine değişmiştir.

Soysal (2004) yaptığı çalışmada, 360 ile 900 W arasında değişen mikrodalga güçlerinde, maydanozun uygulanan mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak 3,5-10 dakika arasında kurduğunu belirlemiştir. Kurumanın, sabit kuruma periyodu ve azalan kuruma hız periyodunda gerçekleştiğini tespit etmiştir. Araştırmacı aynı zamanda, maydanozun kurutulması ile meydana gelen renk değişimlerini de incelemiş ve taze maydanozun renk değerlerinin, yaprakların sararmasına neden olan klorofilaz enziminin kurutma işleminde inaktive olmasından dolayı, daha iyi korunduğunu belirlemiştir.

Maskan (2001) tarafından yapılan çalışmada; başlangıç nem içeriği 4,55 g su/ g kuru madde ve  $5,03 \pm 0,36$  mm kalınlıkta hazırlanmış olan kivi örnekleri sıcak hava ile, mikrodalga ile ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları kullanılarak kurutulmuştur. Sıcak hava ile kurutmada 1,20 m/s hava hızı, 27°C ve 60°C ortam sıcaklığı, mikrodalga kurutmada ise 210 W ile 490 W arasında değişen çıkış güçleri kullanılmıştır. Sıcak hava-mikrodalga kombinasyonunda örnekler kritik nem içeriğine erişinceye kadar (1,20 g su/ g kuru madde) sıcak hava ile kurutulmuş daha sonra mikrodalga kurutmaya geçilmiştir. Kurutma işleminde, kivi meyvesinde meydana gelen nem içeriği değişiklikleri gözlemlenmiş, meyvelerinin rehidrasyon kapasiteleri tespit edilmiş ve büzüşme gösterip göstermedikleri incelenmiştir. Mikrodalga ile kurutma, 60°C sıcaklıkla kurutma ve hava ile kurutmayı takiben mikrodalga ile kurutma yönteminde kivi meyvesinin sırasıyla %85, %81 ve %76 oranında büzüşme gösterdiği ve rehidrasyon kapasitesinin arttığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda; sadece azalan hız periyodunda gerçekleşen kuruma periyodunun kurutma zamanlarının hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma ve hava ile kurutmayı takiben mikrodalga ile kurutma işlemleri sayesinde %40- %89 düştüğü görülmüştür.

Maskan (2000) yaptığı çalışmada, sıcak hava, mikrodalga ve bu iki yöntemin kombinasyonu olmak üzere 3 farklı yöntemle muz kurutma denemeleri yapmış ve bu yöntemleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre; sıcak hava ile kurutmada nem kaybı oranının ilk başlarda yüksek olduğu, fakat daha düşük nem içeriklerinde su hareketinin yavaşladığını belirlemiştir. Mikrodalga kurutmada, güç seviyesinin artması ile kuruma hızının arttığını, mikrodalga kurutmadan sonra sıcak hava ile kurutma yapılmasının kuruma hızını artırarak kurutma süresini kısalttığını ve bu işlem sonucu elde edilen ürünlerin renk ve yeniden su alma kapasitesi açısından diğer yöntemlerden farklı olmadığını saptanmıştır.

### 1.8.1 Kırmızıbiberin Kurutulmasıyla İlgili Çalışmalar

Arslan ve Özcan (2011) yaptıkları çalışmada kırmızıbiber dilimlerini güneşte, kurutma kabini ve mikrodalga fırında kurutmuşlardır. Kurutma kabini 50 ve 70°C sıcaklık derecelerinde, mikrodalga fırınında ise 210 ve 700W mikrodalga güçlerinde kurutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca güneşte kurutma ve mikrodalga kurutma kombinasyonu da işlem yapmışlardır. Kurutulmuş kırmızıbiberlerin renk değerleri ve antioksidan içerikleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda güneşte kurutma-mikrodalga kurutma (700W) kombinasyonu ile kurutulan kırmızıbiberlerin renk değerlerinin diğer yöntemlerle kurutulanlara göre daha iyi olduğu ifade edilmiştir. 210W'da mikrodalga kurutma ile kurutulan numunelerin antioksidan içeriğinin diğer işlemlerle kurutulan numunelere göre düşük olduğu belirtilmiştir.

Yelmen ve diğ. (2011) kırmızıbiberleri numune olarak kullandıkları çalışmalarında, sıcak hava ile, mikrodalga ile ve bu iki yöntemin birlikte uygulandığı kurutma yöntemleriyle kurutma işlemi yapmışlardır. Araştırmacılar, numunelerin kuruma süreleri, kuruma hızları ve renk değişimlerini belirlemişlerdir. Elde edilen verilere göre kinetik modeller yapmışlar ve en uygun modelin Midilli ve Küçük modeli olduğu sonucuna varmışlardır.

Montes ve diğ. (2010) yerel bir marketten aldıkları kırmızıbiberleri akışkan yataklı kurutucuda kurutmadan önce bazı ön işlemler uygulamışlardır. Çalışmada, uygulanan ön işlemlerin, son ürünün rengine ve askorbik asit içeriğine etkisi incelenmiştir. Kırmızıbiberler, 8 mm<sup>3</sup> hacminde küp şeklinde kesilmiş ve farklı konsantrasyonlardaki CaCl<sub>2</sub> (%0,1, %0,3 ve %0,5) çözeltilerinde 80°C'de 5 dakika boyunca haşlanmışlardır. Ön işlem uygulanmış kırmızıbiberler, yüzeylerindeki haşlama suyunun uzaklaşması için 10 dakika beklendikten sonra akışkan yataklı kurutucuya alınmıştır. Kurutma işleminden sonra yapılan analizler sonucunda en yüksek konsantrasyona sahip CaCl<sub>2</sub> çözeltisiyle haşlanmış örneklerin askorbik asit ve renk değerleri en düşük olarak saptanmıştır.

Phomkong ve diğ. (2010) çalışmalarında kırmızı acı biberlerin (*Capsicum annuum* cv. *Huarsu Yon*) kurutma öncesi dört farklı kimyasal çözeltiye (%0,3'lük sodyum metabisülfite, %0,3'lük sodyum metabisülfite + %1'lik sitrik asit karışımı, %1'lik



askorbik asit, %0,3'lük sodyum metabisülfid + %1'lik kalsiyum klorür karışımı) daldırma ön işleminin kuruma süresine ve hızına etkisini incelemiştirlerdir. Numuneler yıkanıp belirli boyutlarda kesildikten sonra çözeltilere daldırılıp güneşte ve tepsili kurutucuda 50 ve 70°C'de kurutulmuşlardır. Kurutma işlemleri sonucunda kimyasal çözeltilere daldırılarak kurutulan numunelerin kuruma hızı daha yüksek ve kuruma süresinin daha kısa olduğu sonucuna varılmıştır. %0,3'lük sodyum metabisülfid + %1'lik kalsiyum klorür çözeltisine daldırılarak kurutulan örneklerin renginin diğer ön işlem uygulanarak kurutulanlara göre daha iyi korunduğu ifade edilmiştir. Güneşte kurutulan numunelerin renklerinin de tepsili kurutucuda kurutulanlara göre daha koyu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, elde edilen kurutma verilerine göre yapılan kinetik modelleme sonucunda en uygun modelin Page modeli olduğu belirtilmiştir.

Yaldız ve diğ. (2010) *Capsicum frutescens* 26, *Acı Çiçek* 52 ve *Capsicum chinense* 38 kırmızıbiber türlerini kurutma çalışmalarında kullanmıştır. Kurutma yöntemi olarak, güneşte kurutma, güneş enerjisi destekli tünel tipi kurutucu ve kabin tipi kurutucuda kurutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. 40, 60 ve 80°C'de yapılan işlemler sonucunda biber türlerindeki kapsaisin içerikleri incelenmiştir. Kapsaisin miktarı ortalama %0,5-4,20 arasında belirlenmiştir. En fazla kapsaisin miktarı güneş enerjisi destekli tünel tipi kurutucuda kurutulan kırmızıbiberlerde belirlenmiştir. Ayrıca kurutma işlemi sonucunda en fazla kapsaisin içeriğinin *Acı Çiçek* 52 türünde olduğu belirtilmiştir.

Tunde-Akıntunde ve Afolabi (2010) acı kırmızıbiber numunelerini haşlama işlemi uygulayarak ve haşlamadan güneşte ve sıcak hava ile kurutmuşlardır. Çalışma sonunda elde edilen kuruma verilerine göre hem güneşte kurutulması yapılan hem de sıcak hava ile kurutulan haşlama yapılmış numunelerin yapılmayanlara göre daha hızlı kuruduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, sıcak hava ile yapılan kurutma işleminin 27 saat, güneşte yapılan kurutma işleminin de 144,5 saat sürdüğü ifade edilmiştir.

Vega-Galvez ve diğ. (2009) kırmızıbiberleri beş farklı sıcaklıkta (50-60-70-80 ve 90°C) kurutmuştur. Kurutma sonrası, kırmızıbiber numunelerinde rehidrasyon oranı, renk tayini, tekstür analizi, C vitamini içeriği, antioksidan kapasitesi, toplam fenolik madde içeriği incelenmiştir. C vitamini ve toplam fenolik madde kayıpları sıcaklık artışları ile artmıştır. Benzer sonuç renk parametreleri için de elde edilmiştir.

Topuz ve diğ. (2009) kırmızıbiberleri, donmuş kurutma, sıcak hava ile kurutma, doğal kurutma ve yeni bir kontakt kurutma yöntemiyle olmak üzere dört farklı şekilde kurutmuşlardır. Kurutulan kırmızıbiberler üç ay depolanmış ve depolama süresince örneklerin renk değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak, esmerleşmenin en fazla olduğu kırmızıbiberlerin doğal kurutma ile kurutulan örneklerin olduğu belirlenmiştir. Donmuş kurutma ve yeni kontakt kurutma yöntemiyle kurutulan örnekler de esmerleşme düzeyi arasında belirgin bir farkın olmadığı saptanmıştır.

Vega-Galvez ve diğ. (2008) yaptığı çalışmada, kırmızıbiber örnekleri, dört farklı sıcaklıkta (50-60-70 ve 80°C) laboratuvar tipi konvektif kurutucuda kurutulmuştur. Kurutmada hava hızı  $2,5 \pm 0,1$  m/s olarak uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda etkin nem diffüzyon katsayısı belirtilen sıcaklıklar için  $3,2 \times 10^{-9}$  ve  $11,2 \times 10^{-9}$   $m^2 s^{-1}$  arasında, aktivasyon enerjisi de  $39,70$   $kJ mol^{-1}$  olarak bulunmuştur. Kurutma işlemi sonucunda elde edilen deneysel verilerin bazı teorik modellerle temsil edilip edilemeyeceği araştırılmış ve Page modelinin deneysel verileri daha iyi temsil edebildiği saptanmıştır.

Ergüneş ve Tarhan (2006) kırmızıbiber numunelerini güneş altında ve sera içerisinde kurutmuşlardır. Kurutma işleminde numuneleri, (I) %2'lik etil oleat çözeltisine, (II) %2'lik etil oleat ve %2'lik sodyum hidroksit çözeltilerinin karışımına, (III) %2'lik etil oleat, %2'lik sodyum hidroksit ve %4'lük potasyum karbonat çözeltilerinin karışımına 23°C ve 60°C'de olmak üzere iki farklı sıcaklıkta birer dakika daldırmışlardır. Takibinde yapılan kurutma sonrası kırmızıbiberlerin renk değerleri incelenmiş ve , %2'lik etil oleat çözeltisine ve hiçbir çözeltiliye daldırılmadan kurutulan kırmızıbiberlerin diğerlerine göre daha fazla karardığını tespit etmişlerdir. %2'lik etil oleat, %2'lik sodyum hidroksit ve %4'lük potasyum karbonat çözeltilerine 60°C'de bir dakika boyunca daldırılıp kurutulan kırmızıbiberlerin rengindeki değişimin en az olduğu belirtilmiştir.

Doymaz ve Pala (2002) kırmızıbiberleri sıcak hava (50°C ve 60°C) ile kurutma işleminden önce çeşitli konsantrasyonlarda etil oleat çözeltilerine daldırmışlardır. Bu ön işlemten sonra kuruttukları kırmızıbiberlerin, kuruma hızlarını, sürelerini ve son ürünlerin renk değerlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak; ön işlem yapılarak kurutulan kırmızıbiberlerin daha hızlı kurduğunu ve renk değerlerinin (L, a ve b) daha yüksek

olduğunu ifade etmişlerdir. %2'lik etil oleat ve %5'lik  $K_2CO_3$  çözeltilerine oda sıcaklığında bir dakika boyunca daldırdıktan sonra 50°C'de kurutulan kırmızıbiberlerdeki renk değişimlerinin en az olduğu da belirtilmiştir.

Doymaz (1998) üzüm ve Kahramanmaraş kırmızıbiberinin sıcak hava ile kurutulmasında ürün kuruma karakteristiklerini incelemiştir. Üzüm kurutma denemelerinde daldırma çözeltisi olarak etil oleat ve  $K_2CO_3$  çözeltileri kullanmıştır. Bu iki çözeltiye daldırılan üzümler 50, 55, 60 ve 70°C sıcaklıklarındaki hava ile kurutulmuştur. Çalışmada, karşılaştırma yapmak amacıyla aynı ürün ön işlem uygulanmadan 60 ve 70°C sıcaklıkta hava ile kurutulmuştur. Etil oleat çözeltisi ile ön işlem görmüş üzümlerin hem  $K_2CO_3$  çözeltisine daldırılıp kurutulan hem de ön işlemsiz kurutulan ürünlere kıyasla daha kısa sürede kuruduğu bildirilmiştir. Araştırmada ayrıca, değişik çözeltilere daldırılmak suretiyle ön işlem uygulanan kırmızıbiberler 50, 55, 60 ve 70°C sıcaklıklarda hava ile kurutulmuştur. Biber kurutma denemelerinde %2 etil oleat +  $K_2CO_3$  içeren çözeltinin ürün kuruma hızını en fazla artıran çözelti olduğunu rapor edilmiştir. Ek olarak, düşük sıcaklıkta kurutulan biberlerin kurutma süresinin diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha uzun olduğu, ancak bu yöntemde daha iyi kalitede kuru ürün elde edildiği bildirilmiştir.

### **1.8.2 Havucun Kurutulmasıyla İlgili Çalışmalar**

Hiranvarachat ve diğ. (2011) sıcak hava ile kurutulacak olan havuçların kurutma işleminden önce uygulan sitrik asit çözeltisiyle muamele işleminin bazı fizikokimyasal özellikler (renk, rehidrasyon kapasitesi, büzülme oranı) üzerine etkisini ve  $\beta$ -karoten içeriğini incelemiştir. Küp şeklinde (1 x 1 x 1 cm) kesilen havuçlara kurutma öncesi beş farklı ön işlem uygulanmıştır. Birinci grup numuneler hiç ön işlem uygulanmadan, ikinci grup numuneler 10 dakika boyunca saf suya daldırılıp, üçüncü grup 2,5 dakika boyunca kaynayan suda tutulup, dördüncü grup %2'lik sitrik asit çözeltisine pH 4-5 arası oluncaya kadar daldırılıp, beşinci grup %0.7'lik sitrik asit çözeltisinde pH 4-5 arası oluncaya kadar haşlanıp kurutulmuştur. 70, 80 ve 90°C'de yapılan kurutma işlemleri sonucunda; sitrik asit çözeltisiyle ön işlem uygulanan havuçların, diğer uygulamalara göre daha kırmızı olduğu belirlenmiştir. Büzülme oranı ve rehidrasyon kapasitesi değerleri, ön işlem uygulanan numunelerin uygulanmayanlara göre daha

yüksek olduğu belirtilmiştir.  $\beta$ -Karoten içeriği, ön işlem uygulanan numunelerde bir değişme göstermezken, diğer numunelerde  $\beta$ -karoten kayıpları belirlenmiştir.

Demir (2010) yaptığı çalışmada, suda haşlama ve mikrodalga uygulaması gibi ön işlem uygulanmış siyah havuçları 60, 70 ve 80°C sıcaklıkta hava ile kurutmuştur. Uygulanan bu işlemler sonucunda siyah havucun toplam fenolik madde, flavonol, antosiyanin, karotenoid miktarları, DPPH ve ABTS antioksidan kapasiteleri gibi kimyasal ve renk gibi fizikokimyasal özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Araştırma sonucunda, tüm kurutma sıcaklıklarında siyah havucun önemli kimyasal bileşenlerinde azalmalar meydana gelmekle birlikte, bu azalmanın ön işlem uygulanmış örneklerde ön işlem uygulanmadan kurutulanlara göre daha düşük düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. En uygun ön işlem suda haşlama ve en uygun kurutma sıcaklığı ise 70°C olarak belirlenmiştir.

Zielinska ve Markowski (2010) küp şeklinde doğranmış havuç örneklerini, haşlama ön işleminden (95°C'deki içerisine %0,2'lik sodyum trifosfat ilave edilmiş suda 4 dakika) sonra 60, 70, 80 ve 90°C'deki sıcaklıklarda akışkan yataklı bir kurutucuda kurutmuş ve kuruma karakteristiklerini tanımlamışlardır. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda Page modelinin deneysel sonuçlara en iyi uyumu verdiği belirlenmiştir.

Kocabıyık ve Tezer (2009) infrared bir kurutucu kullanarak, havuç dilimlerini 8,52 kg su/kg kuru madde nem içeriği değerinden 0,11 kg su/kg kuru madde nem içeriğine kadar kurutmuştur. Kurutma işlemleri, üç farklı mikrodalga gücü (300, 400 ve 500 W) ve yine üç farklı hava hızında (1, 1,5 ve 2 m/s) gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemleri sırasında havuç örneklerinin kuruma süreleri, kuruma kinetikleri, spesifik enerji tüketimi ve bazı kalite parametreleri (renk, rehidrasyon oranı ve büzülme oranı) belirlenmiştir. Kuruma süreleri, 300, 400 ve 500 W infrared güçlerinde, 1 m/s ve 2 m/s hava hızlarında sırasıyla 252 ve 277 dakika, 205 ve 236 dakika, 145 ve 155 dakika olarak saptanmıştır. Spesifik enerji tüketimi ise tüm kurutma koşulları için 12,22 ve 14,58 MJ/kg arasında hesaplanmıştır.

Chantaro ve diğ. (2008) gıda endüstrisinin yan ürünü olan havuç kabuklarından antioksidan diyet lif tozu üretimini araştırmışlardır. Diyet lif tozunun kurutma

kinetikleri ve fizikokimyasal özellikleri üzerinde haşlama ve sıcak havada kurutmanın etkileri incelenmiş ve sonuçta haşlamanın, lif tozunun lif içerikleri ve bileşikleri, su tutma ve şişme kapasitesi üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmüştür. Bunun aksine, kurutma sıcaklığı hidrasyon özelliklerini etkilememiştir. Hem haşlama hem de kurutma sırasındaki ısıl bozulma,  $\beta$ -karoten ve fenolik bileşik içeriklerinde azalmaya neden olmuştur. Sonuçlar, hammadde olarak antioksidan diyet lif tozu üretiminde havuç kabuklarının kullanılabilceğini göstermiştir.

Stepien (2008)'in yaptığı çalışmada vakum-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan havuçların ve haşlama ön işlemi sonrası osmotik olarak kurutulmuş havuçların basınca karşı direnci, kesmeye direnci ve gerilimi azaltma işlemine karşı etkisi araştırılmıştır. Vakum kurutma sırasında 4-10 kPa basınç uygulanırken, mikrodalgaın magnetron gücü 480W olarak ayarlanmıştır. Örnekler denge nem oranına kadar kurutulmuştur. Havuçlar, 95°C'de suda 3 dakika tutularak haşlanmıştır. Osmotik kurutmada ise havuçlar 24 saat %5 NaCl solusyonuna tabi tutulmuştur. Böylece nem oranının %88'den %79'a düştüğü görülmüştür. Ön uygulamaların her tekrarında haşlama sıvısının hacminin veya osmotik kurutma solusyonunun hacminin taze materyalin hacmiyle aynı oranda olduğu belirlenmiştir. Vakum-mikrodalga kurutma uygulaması sonucunda kurutulan ürünlerin nem oranının %3,2-3,8 civarında olduğu belirlenmiştir. En düşük nem miktarı kurutma işlemi öncesi herhangi bir uygulamaya tabi tutulmayan havuçlarda görülürken, osmotik kurutma uygulamasıyla elde edilen kuru materyalin en yüksek nem oranına sahip olduğu görülmüştür. Haşlama ön işlemiyle kurutulan örneklerin basınca karşı direncinin, ön işlem görmeyen havuçların direncine göre yaklaşık iki kat artırdığı belirlenmiştir. Osmotik kurutmanın ise uygulama öncesi işlem görmeyen yöntemle kıyasla ürünün basınca karşı direncini yarıya indirdiği saptanmıştır. Osmotik kurutmanın ön uygulama yapılmayan materyale göre kesme gücünü %40 artırdığı, taze ürünün haşlanması ile kurutulan ürünlerin kesme gücünün ise mikrodalga kurutma öncesi işlem görmemiş ürünün kesme gücünün üçte biri olduğu belirlenmiştir.

Koca ve diğ. (2007) kurutulmuş havuçlardaki renk değişim ve  $\beta$ -karoten değişimini incelemek üzere yaptıkları çalışmada, hazırlanan havuçlar 60°C'de, 1,5 ms<sup>-1</sup> hava hızında, %6-10 arasındaki bağıl nem değerlerinde ve tepsilerde 3,0 – 3,4 kg/m<sup>2</sup> ürün olacak şekilde kurutulmuştur. Kurutma işlemi ürünlerin son nem içeriği %6 – 7

oluncaya kadar devam etmiştir.  $\beta$ -Karoten değişimi ve renk değişiminin birinci dereceden reaksiyon modeline uyduğu belirlenmiştir.

Lavelli ve diğ. (2007) bu çalışmada, dondurarak kurutulmuş havuç örneklerinin depolanması esnasında karotenoid değişimlerine su aktivitesinin etkisi incelenmiştir. Kurutma işleminden önce havuç örneklerinin bir kısmına haşlama ön işlemi uygulanmıştır. Kurutma işleminden sonra örnekler, su aktivite değerleri 0,052 ve 0,75 arasında değişen doymuş tuz çözeltilerinin bulunduğu hava geçirmez cam kaplara alınmıştır. İçerisinde doymuş tuz çözeltisi ve kurutulmuş havuç örnekleri bulunan cam kaplar, 40°C ortam sıcaklığında 30 gün boyunca bekletilmiştir. Bu süre içerisinde belirlenen zamanlarda cam kaplardan havuç örnekleri alınıp  $\alpha$  ve  $\beta$ -karoten ve lutein içerikleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonunda bu üç bileşenin değişiminin birinci dereceden kinetik modele uyduğu ifade edilmiştir. Ayrıca  $\alpha$  ve  $\beta$ - karoten bileşenlerinin değişim hızlarının aynı olduğu, luteinin ise bu iki bileşenden daha hızlı parçalandığı belirtilmiştir. Bunun yanında su aktivite değeri 0,31 ile 0,54 arasında olan doymuş tuz çözeltileriyle muhafaza edilen havuç örneklerinde karotenoid kayıplarının en az olduğu ve haşlanıp kurutulan havuç örneklerinde kayıpların haşlamadan kurutulanlara göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Suvarnakuta ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada havasız kurutma işlemi olarak da bilinen kızgın buhar ile kurutma işlemini sıcak hava ile kurutma ve vakum kurutma yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Kurutma işlemi için örnek olarak havuç kullanılmıştır. Kurutma işlemleri sonunda örneklerdeki  $\beta$ -karoten içerikleri incelenmiştir. Sonuç olarak kızgın buhar ile kurutulan havuçlardaki  $\beta$ -karoten kaybının vakum kurutma yöntemiyle kurutulanlarla aynı olduğu belirlenirken, sıcak hava ile kurutulmuş havuçlardakine göre daha az bir kaybın olduğu ifade edilmiştir.

Cui ve diğ. (2004) kurutma denemeleri için havuç ve bazı yeşil yapraklı sebzeler kullanmıştır. Kurutma yöntemi olarak, mikrodalga-vakum kurutma, mikrodalga-vakum ve sıcak hava ile kurutma kombinasyonu, mikrodalga-vakum ve vakum kurutma kombinasyonu olmak üzere 3 yöntem kullanılmıştır. Kurutulacak örnekler öncelikle %20 nem içeriğine kadar mikrodalga-vakum düzeneğinde kurutulup daha sonra %6 nem içeriğine kadar 45°C-50°C'de sıcak havalı kurutucuda ya da 55°C-60°C'de vakum kurutucuda kurutulmuştur. Araştırmacılar çalışma sonunda mikrodalga-vakum kurutma

işleminin bir ön kurutma işlemi olabileceğini ayrıca sebze kurutmada uygulanabilen haşlama ön işleminin yerine ikame olarak uygulanabileceğini ifade etmişlerdir.

Prakash ve diğ. (2004) güneş enerji destekli kabin tipi kurutucu, akışkan yataklı kurutucu ve mikrodalga fırınında kurutma işlemlerinin havuçların kurutulmasında uygulandığı çalışmada kuruma süreleri, renk değerleri, rehidrasyon kapasiteleri ve  $\beta$ -karoten içerikleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonunda renk içeriği, rehidrasyon kapasitesi ve  $\beta$ -karoten içeriğinin, akışkan yataklı kurutucu ile kurutulan havuçların diğer yöntemlerle kurutulanlara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Uyan ve diğ. (2004) siyah havucu sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutarak antioksidan aktivitesinde ve antosiyanin miktarındaki değişimi araştırmıştır. Antosiyanin miktarının her iki uygulamayla da fazla bir kaybın olmadığı saptanmıştır. Sıcak havayla kurutmada daha az bir kaybın meydana geldiği ifade edilmiştir. Antioksidan aktivite ise her iki uygulamada da önemli ölçüde azalmıştır.

Baysal ve diğ. (2003)'nin yaptığı çalışmada mikrodalga kurutma ve infrared kurutma yöntemlerinin havuç ve sarımsak kalitesine etkisi geleneksel sıcak hava kurutmaya karşılaştırılmıştır. Sıcak havayla kurutulan havuç örneklerinin kuruma hızı 120 dakikaya kadar  $1 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2\text{h}$  değerinde sabit kalmıştır. Mikrodalga ve infrared kurutmada ise ilk 20 dakika boyunca kuruma hızında hızlı bir artış görülmüştür. İlk 20 dakikada havuç örneklerinde kuruma hızları mikrodalga kurutmada  $1 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2\text{h}$ 'den  $2 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2\text{h}$  değerine yükselirken, bu oran infrared kurutmada  $2 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2\text{h}$ 'den  $4 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2\text{h}$  değerine çıkmıştır. Bu sürelerden sonra kuruma hızının işlem sonuna kadar lineer bir azalış gösterdiği saptanmıştır. Sıcak hava yöntemiyle kurutulan örneklerin  $b$  değeri dışında havuç örneklerinin  $L$ ,  $a$ ,  $b$  değerlerinde herhangi bir farklılık bulunmamıştır. Sıcak havayla kurutulan havuç örneklerinin toplam renk değerinin taze ürüne çok yakın olduğu görülmüştür. Sarımsaklarda en yüksek kuru madde miktarı sıcak havayla kurutulan örneklerden elde edilmiş, en düşük kuru madde miktarı ise infrared kurutma uygulanan örneklerde bulunmuştur. En yüksek  $L$  değeri sıcak havayla kurutulan sarımsak örneklerinde saptanmış olup, taze materyal ile arasında fark görülmemiştir. İnfrared kurutma ile kurutulan sarımsak örneklerinin  $a$  ve  $b$  değerlerinin

diğer yöntemlerden daha yüksek olduğu bulunmuştur. En yüksek rehidrasyon kapasitesi sıcak havayla kurutma yönteminde elde edilmiştir (2,21 g H<sub>2</sub>O/g kuru madde).

Lin ve diğ. (1998)'nin yaptığı çalışmada vakum mikrodalga yöntemiyle kurutulan havuçların fiziksel özellikleri, besin değerleri ve duyuşal kabul edilebilirliği, geleneksel sıcak hava kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Vakum mikrodalgayla kurutulan havuçların besin değeri, renk ve tekstürel özellikleri sıcak havayla kurutulan havuçlara kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Nem oranı %91,4 olan haşlanmış havuçlar vakum mikrodalga kurutma yöntemiyle 33 dakikada %10 nem düzeyine eriştirilirken sıcak hava kurutma yöntemiyle 8 saatte, dondurarak kurutma yöntemiyle 72 saatte %10 nem düzeyine ulaşılmıştır. Diğer yöntemlere kıyasla vakum mikrodalga kurutma yöntemi, havuçların C vitaminini daha iyi muhafaza ettiği uygulama olarak belirtilmiştir. Haşlanmış havuçların içerdđi C vitamininin yaklaşık %79'unu vakum mikrodalga kurutmaya muhafaza edildiği belirtilmiştir. Kurutma süresince toplam  $\alpha$  ve  $\beta$ -karoten kaybı havayla kurutulan örneklerde %19,2 olurken, vakum mikrodalgayla kurutulan örneklerde bu kayıp %3,2 olarak belirlenmiştir. Dondurarak kurutmada ise  $\alpha$  ve  $\beta$ -karoten miktarında önemli bir farklılık görülmemiştir. Vakum mikrodalgayla kurutulan havuçlar tekdüze, dolgun tekstür yapısına sahip olduğundan dolayı panelistler tarafından tercih edilmiş ve çerez tipi ürünlerin geliştirilmesinde bu yöntemin kullanılabilieceği belirtilmiştir.

Gıda maddelerinin kurutularak muhafazası son yıllarda daha da önem kazanmış bir uygulamadır. Kurutularak muhafaza edilen gıdaların hem çeşitliliğinde hem de miktarında önemli artışlar olmuştur. Buraya kadar yapılan açıklamalardan ve konu ile ilgili literatür taramalarının sonuçlarından da görülebileceği gibi sanayide giderek önemi artan kurutma teknolojisinin geliştirilmesi, enerji maliyetlerinin azaltılması, gıda karakterinin korunması gibi alanlarda bilimsel çalışmalar önem kazanmıştır.

Bu araştırmada, havuç ve kırmızıbiberin kurutulmasında sıcak hava ile kurutma, vakumla kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle mikrodalga-sıcak hava ile kurutma, mikrodalga-vakum kurutma tekniklerinin uygulanmasıyla, karşılaşılan sorunların giderilmesi, ürün kurutma süresinin kısaltılması ve yüksek kalitede kuru ürün üretilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada üç farklı sıcaklıkta, sıcak hava ve vakum ile kurutulan kırmızıbiber ve havuç gibi ihraç potansiyeli yüksek sebzeler, fiziksel (renk),



kimyasal (askorbik asit ve  $\beta$ -karoten) ve duyusal (genel görünüş ve ürün kabul edilebilirliği) ürün kalitesi, ürün kurutma kinetiği gibi kriterler bakımından mikrodalga-sıcak hava ve mikrodalga-vakum kurutma ile kurutulan ürünlerle karşılaştırılarak, ürün bazında tüm kurutma tekniklerine ilişkin en uygun çalışma koşulları belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL METOT

### 2.1 Materyal

#### 2.1.1 Denemelerde Kullanılan Kırmızıbiber

Kurutma denemelerinde kullanılan kırmızıbiberler (*Capsicum annuum* L.) görsel olarak taze, aynı olgunluk derecesinde olmasına dikkat edilerek seçilip Denizli’de bulunan yerel bir marketten satın alınarak temin edilmiştir. Şekil 2.1’de temin edilen kırmızıbiberlerin fotoğrafları verilmiştir. Yıkama, seçme işlemlerinden geçirilip mümkün olduğunca eşit boylardan (14-18 cm) alınarak kurutma işlemlerine kadar buzdolabında saklanmıştır.



**Şekil 2.1:** Kurutma denemelerinde kullanılan kırmızıbiberler

Denemelerde kullanılan kırmızıbiber örneklerinin, kurutma işlemine başlamadan önce ilk nem içeriği, vakumlu kurutma fırınında 70°C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulmasıyla saptanmıştır. Kuru madde miktarı %9,45 olarak bulunmuş ve ilk nem

içeriği de 9,58 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Başlangıç su aktivite değeri de 0,88 olarak belirlenmiştir.

### 2.1.2 Denemelerde Kullanılan Havuç

Kurutma denemelerinde kullanılan bir diğer sebze havuçtur (*Daucus carota* L. cv Nantes). Havuçlar da kırmızıbiberlerin teminin de olduğu gibi Denizli’de bulunan yerel bir marketten satın alınarak bölüm laboratuvarına getirilmiştir. Şekil 2.2’de temin edilen havuçların fotoğrafı verilmiştir. Yıkama, tazyikli su altında, havuçların tek tek alınıp dış yüzeylerinin elle yıkanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yıkama işleminden sonra havuçlardan mümkün olduğunca eşit boyda (13-17 cm) olanlarından seçilerek kurutma işlemlerine kadar 4°C’de muhafaza edilmiştir.



**Şekil 2.2:** Kurutma denemelerinde kullanılan havuçlar

Havuç örneklerinin de kurutma işlemine başlamadan önce ilk nem içeriği, vakumlu kurutma fırınında 70°C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulmasıyla saptanmıştır. Kuru madde miktarı %10,02 olarak bulunan havuçların ilk nem içeriği de 8,98 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Başlangıç su aktivite değeri de 0,86 olarak belirlenmiştir.

## 2.2 Denemelerde Kullanılan Sistemler ve Ölçüm Aletleri

### 2.2.1 Sıcak Havalı Kabin Tipi Kurutucu

Kırmızıbiberler ve havuçlar, Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti. (İzmir) tarafından üretimi ve bölüm laboratuvarına kurulumu gerçekleştirilen sıcak havalı kabin tipi kurutucuda kurutulmuştur. Kurutma kabininin genel görünümü Şekil 2.3'te ve kurutma kabinine ait teknik özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.



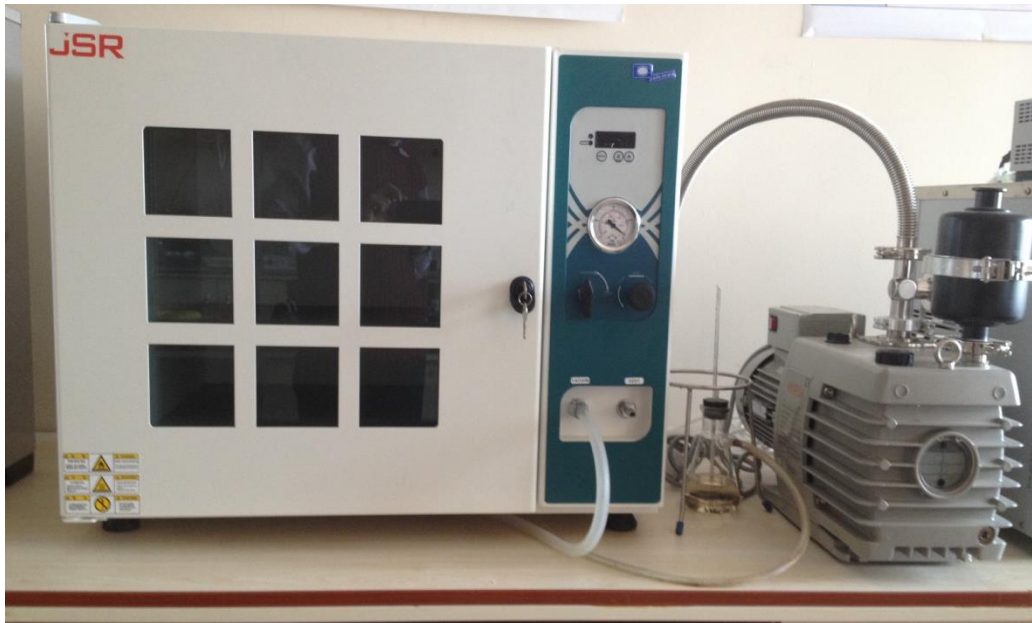
Şekil 2.3: Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun genel görünümü

**Tablo 2.1:** Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Dış Genişlik	80 cm
Dış Derinlik	60 cm
Dış Yükseklik	110 cm
Kabin İç Boyutları	70 x 55 x 100 cm
Sıcaklık Aralığı	40°C - 120°C
Bağıl Nem (RH) Aralığı	%20 - %95
Çalışabilir Hava Hızı Aralığı	0 – 2 m/s
Programlama	Kabin içindeki sıcaklık ve bağıl nem dijital olarak ayarlanır ve izlenebilir.
Tepsi Özellikleri	40x60 cm ebadında, delikli paslanmaz çelik telden elek şeklinde yapılmış sabit olmayan 4 adet tepsi

### 2.2.2 Vakumlu Kurutma Kabini

Kırmızıbiber ve havuçların, vakumlu kurutma işlemleri için vakumlu etüv (JSR, JSVO-60T, Güney Kore) kullanılmıştır. Bu kurutucuda vakum, bir vakum pompası vasıtasıyla sağlanmaktadır (Woosung, MVP24 yağlı tip vakum pompası) ve bu pompa ile istenilen vakuma değerlerine ulaşılabilir. Kurutma denemelerinde kullanılan vakumlu etüvün genel görünümü Şekil 2.4'te ve vakumlu etüve ait teknik özellikler Tablo 2.2'de verilmiştir.



**Şekil 2.4:** Vakumlu etüv ve vakum pompasının genel görünümü

**Tablo 2.2:** Vakumlu etüvün teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Hacim	60 litre
İç Ebatlar (GxDxY)	40 x 42 x 35 cm
Sıcaklık	Oda Sıcaklığı +10 – 250°C
Sıcaklık Hassasiyeti	1°C
Vakum	10 – 760 mm Hg
Raf Sayısı	2 adet standart
Besleme Gerilimi	220 V AC/50 Hz
Dış Ebatlar (GxDxY)	61 x 65 x 67 cm

### 2.2.3 Mikrodalga Fırın

Kırmızıbiber ve havuçların, mikrodalga ile kurutma denemelerinde mikrodalga fırın (Vestel, MD-23, Türkiye) kullanılmıştır. Kurutma denemelerinde kullanılan mikrodalga fırınının genel görünümü Şekil 2.5'te ve mikrodalga fırınına ait teknik özellikler Tablo 2.3'te verilmiştir.



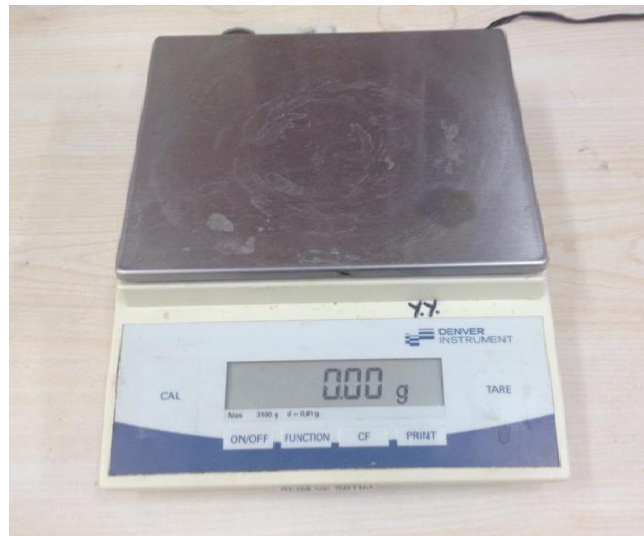
**Şekil 2.5:** Mikrodalga fırınının genel görünümü

**Tablo 2.3:** Mikrodalga fırınının teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Dış Genişlik	50,8 cm
Dış Derinlik	39,8 cm
Dış Yükseklik	30,5 cm
Fırın Hacmi	23 litre
Net Ağırlık	15,6 kg
Mikrodalga Frekansı	2450 MHz
Besleme Gerilimi	230 V AC/50 Hz
Mikrodalga Çıkış Gücü	900 Watt

#### 2.2.4 Denemelerde Kullanılan Ölçüm Aletleri

Kurutma denemeleri süresince örneklerin ağırlıkları 0,01 g hassasiyetli elektronik terazi ile (Denver Instrument, Model No: TP-3002, Almanya), su aktiviteleri su aktivite ölçüm cihazı (Testo Instruments, Model: Testo-650, Almanya,) kullanılarak ölçülmüştür. Renk değişimleri, renk ölçüm cihazı (Hunter Associates Laboratory, Model: MiniScan XE, A.B.D.) ile belirlenmiştir. Sıcak hava kurutma kabini içinde kullanılan hava hızı; sıcaklık, nem-hava hızı belirlemesi için kullanılabilen cihaz (Tri-Sense, Model: 37000-60, A.B.D.) ile ölçülmüştür. Denemelerde kullanılan ölçüm cihazlarının fotoğrafları Şekil 2.6-2.9’da gösterilmiştir.



**Şekil 2.6:** Terazinin genel görünümü



**Şekil 2.7:** Hava hızı ölçüm cihazı genel görünümü



**Şekil 2.8:** Su aktivitesi ölçüm setinin genel görünümü





**Şekil 2.9:** Renk ölçüm cihazının genel görünümü

## **2.3 Metot**

### **2.3.1 Ön Denemeler**

Kurutma denemelerinde sıcak havalı kabin tipi kurutucu, vakumlu kurutma kabini, mikrodalga fırın, mikrodalga fırın + sıcak havalı kabin tipi kurutucu ve mikrodalga fırın + vakumlu kurutma kabini kullanılmıştır. Asıl kurutma denemelerinden önce her bir cihazla ön denemeler yapılmıştır. Ön denemeler sonucunda örneklerin kuruma davranışını ortaya koymak için çalışmanın gerçekleştirildiği koşullara göre örnekleme zamanları belirlenmiş, denemelerin tamamlanması için uygun olabilecek nem içerikleri ve bu nem içeriklerine ulaşılması için gerekli olan zamanlar belirlenmiştir. Asıl denemeler, ön denemelerde elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yürütülmüştür.

## 2.3.2 Uygulanan Kurutma Yöntemleri

### 2.3.2.1 Sıcak Havalı Kabin Tipi Kurutucu ile Yapılan Kurutma Çalışmaları

#### 2.3.2.1.1 Sıcak Hava ile Kırmızıbiber Kurutma

Sıcak hava ile kırmızıbiber kurutma işlemi Şekil 2.10'daki plana göre yapılmıştır. Sıcak hava ile kurutma işlemlerinde her bir sıcaklık derecesi için 1500 g kadar kırmızıbiber örneğine ihtiyaç vardır. Örneğin 65°C'de yapılacak olan kurutma işlemi için iş akışı şu şekilde yürütülmektedir; Kurutma denemelerine başlamadan en az 30 dakika önce seçilen kırmızıbiberler (1500 g) sıcaklığının, ortam sıcaklığına ulaşması için buzdolabından çıkarılmıştır. Kırmızıbiber örnekleri, 4 cm eninde, 7±2 cm arasında boyunda ve 0,6±0,1 cm kalınlıkta olacak şekilde dilimlenmiştir (Şekil 2.11).



\*Tekrarlar, iki paralelli olarak yapılmış olup her bir paralel için 1.5 kg kırmızı biber kullanılmıştır.

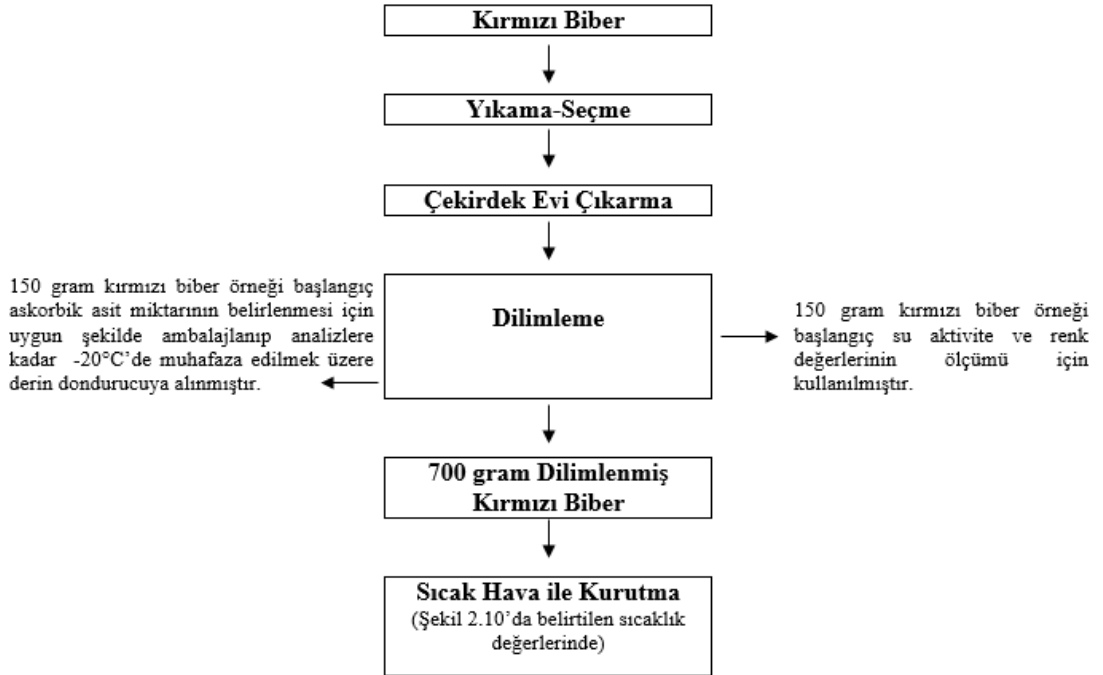
Şekil 2.10: Sıcak hava ile kırmızıbiber kurutma işlem planı

Ön işlemlerden sonra elde edilen yaklaşık 1000 g kırmızıbiber örneklerinden 300 g alınıp bunun 150 g'ı başlangıç su aktivite ve renk değerlerinin ölçümü için kullanılmıştır. Diğer 150 g'lık örnek ise başlangıç askorbik asit miktarının belirlenmesi için uygun şekilde ambalajlanıp analizlere kadar -20°C'de muhafaza edilmek üzere derin dondurucuya alınmıştır. Geriye kalan 700 g örnek kurutma tepsilerine tek tabaka halinde yerleştirilmiştir. Daha sonra 65°C'de kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir

(Şekil 2.12). Başlangıç anından itibaren tartım için kullanılan tepsi her yarım saatte bir kurutucudan çıkarılarak tartılmıştır ve veriler kaydedilmiştir. Kurutma işlemi, %20 bağıl nemde ve 0,2 m/s hava hızında hedeflenen su aktivite değerine (<0,4) kadar yapılmıştır.



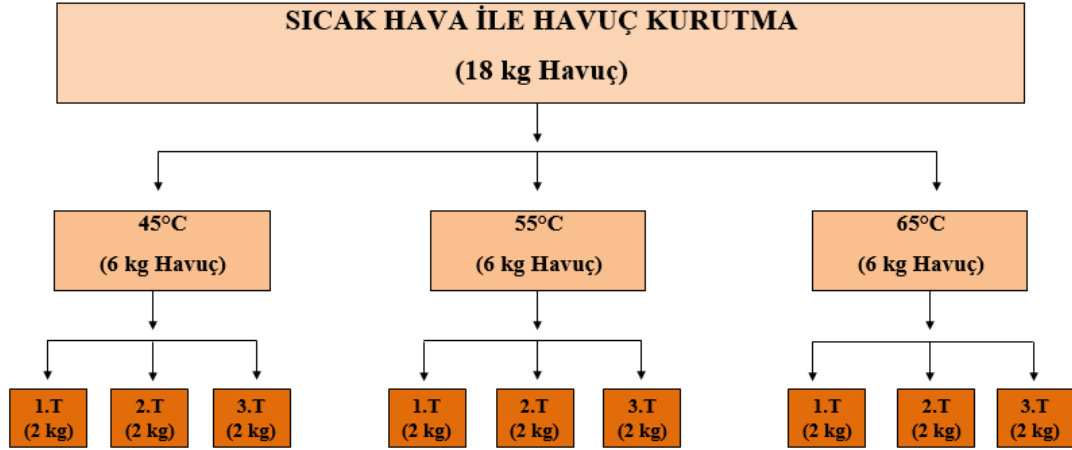
Şekil 2.11: Dilimlenmiş kırmızı biber



Şekil 2.12: Kırmızı biberin sıcak hava ile kurutmadaki akış diyagramı

### 2.3.2.1.2 Sıcak Hava ile Havuç Kurutma

Sıcak hava ile kurutma işlemi Şekil 2.13'teki plana göre yapılmıştır. Kurutma denemelerine başlamadan en az 30 dakika önce seçilen havuçlar sıcaklığının, ortam sıcaklığına ulaşması için buzdolabından çıkarılmıştır. Havuç örneklerinin çapı  $28 \pm 2,3$  mm olup,  $7 \pm 1$  mm kalınlığında dilimlenmiştir (Şekil 2.14).



\*Tekrarlar, iki paralelli olarak yapılmış olup her bir paralel için 1 kg havuç kullanılmıştır.

**Şekil 2.13:** Sıcak hava ile havuç kurutma işlem planı

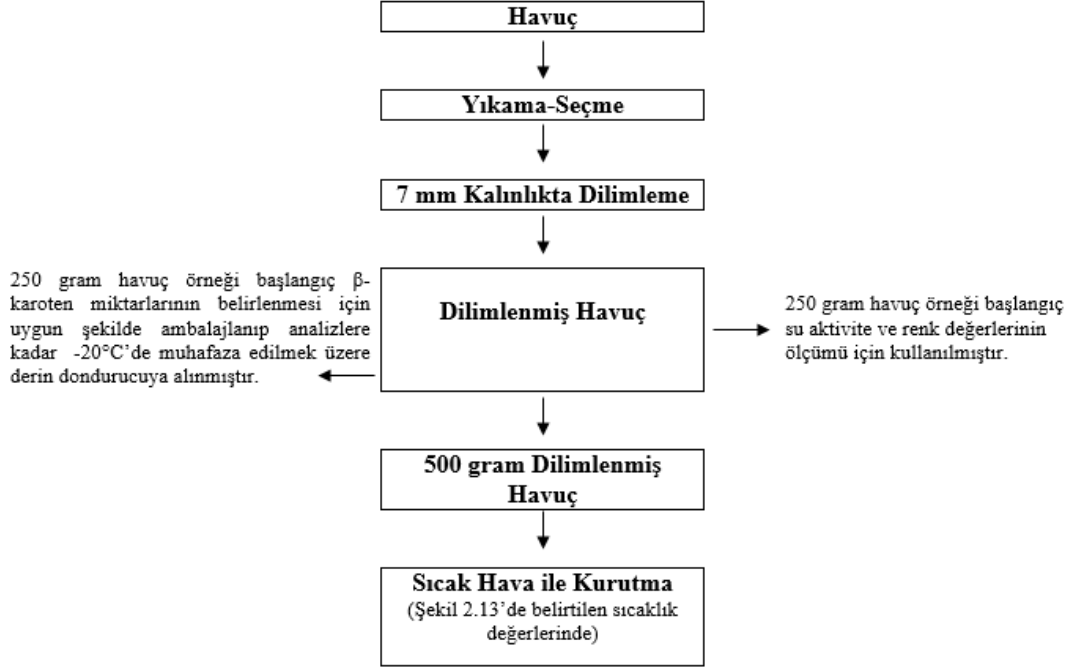
Her bir kurutma işleminde, ön işlemlerden sonra havuç örneklerinden 500 g alınıp bunun 250 g'ı başlangıç su aktivite ve renk değerlerinin ölçümü için kullanılmıştır. Diğer 250 g'lık örnek ise başlangıç  $\beta$ -karoten miktarlarının belirlenmesi için uygun şekilde ambalajlanıp analizlere kadar  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmek üzere derin dondurucuya alınmıştır. Geriye kalan 500 g dilimlenmiş örnekler, kurutma tepsisine tek tabaka halinde Şekil 2.15'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Daha sonra kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sıcak hava ile kurutma işleminin akış diyagramı Şekil 2.16'da verilmiştir. Örneklerin kurutucuya yerleştirildiği andan itibaren tartım için kullanılan tepsi her yarım saatte bir kurutucudan çıkarılarak tartılmıştır ve veriler kaydedilmiştir. Kurutma işlemi, %20 bağıl nemde ve 0,2 m/s hava hızında hedeflenen su aktivite değerine ( $<0,4$ ) kadar yapılmıştır.



**Şekil 2.14:** Dilimlenmiş havuç



**Şekil 2.15:** Kurutma tepsisine tek tabaka halinde dizilmiş havuçlar



**Şekil 2.16:** Havucun sıcak hava ile kurutmadaki akış diyagramı

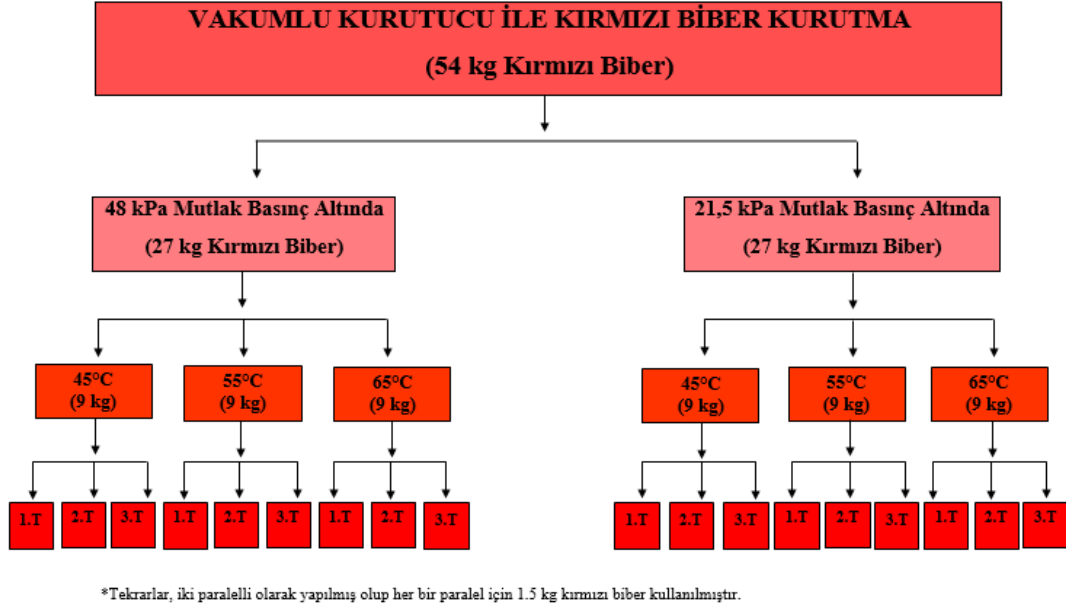
### 2.3.2.2 Vakumlu Kurutucu ile Yapılan Kurutma Çalışmaları

#### 2.3.2.2.1 Vakumlu Kurutucu ile Kırmızıbiber Kurutma

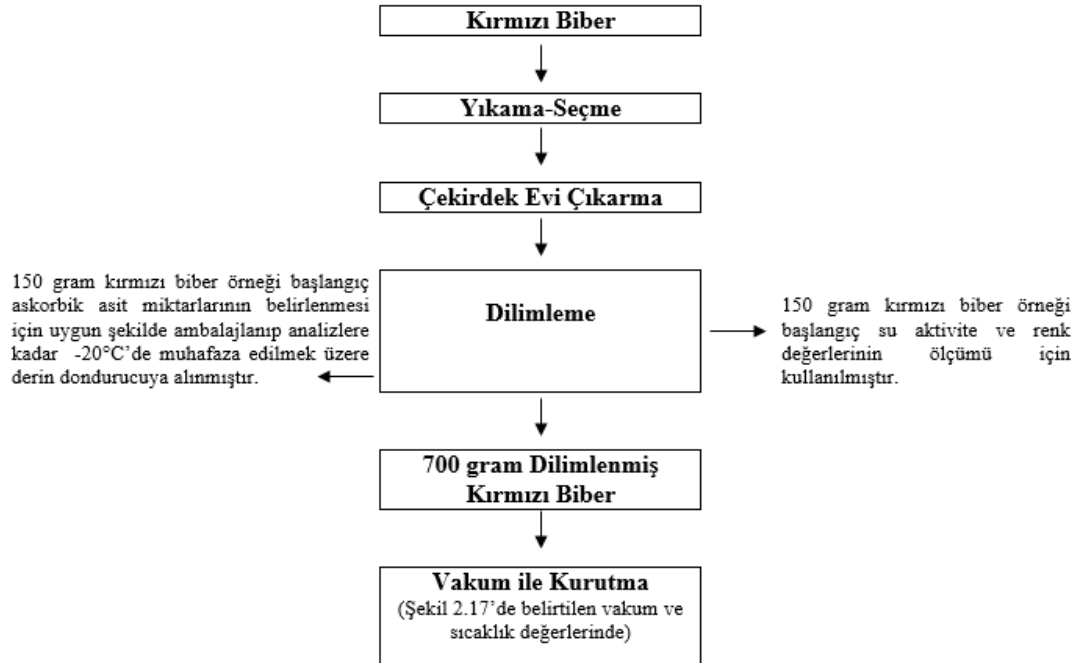
Seçme, ayıklama, yıkama ve dilimleme işlemlerinden sonra elde edilen kırmızıbiber dilimleri vakum kurutucuda, farklı mutlak basınç ortamlarında (48 ve 21,5 kPa) ve farklı sıcaklıklarda (45, 55 ve 65°C) kurutulmuşlardır. Kırmızıbiberlerin vakum ile kurutulmasında uygulanan kurutma planı Şekil 2.17'de verilmiştir.

Vakum ile kırmızıbiberlerin kurutulmasında her deneme için 1500 gram örnek kullanılmıştır. Şekil 2.18'de belirtilen kurutma akış diyagramına göre kırmızıbiberler ön işlemlerden sonra vakumlu kurutucuda kurutulmuştur. Kurutulan kırmızıbiber dilimlerinde, farklı kurutma koşullarının askorbik asit miktarı ve renk değişimi üzerine olan etkisi incelenmiştir. Kurutulmakta olan örneklerden her iki saatte bir numune alınarak tartım yapılmış ve ağırlık değişimi incelenmiştir. Askorbik asit analizleri de iki saatte bir alınan kırmızıbiber örneklerinde yapılmıştır. Bu amaçla alınan örnekler analiz

yapılıncaya kadar -20°C’de muhafaza edilmiştir. Kurutma kinetiği kapsamında teorik modellerden en uygun olanı belirlenmiş; bunun yanında efektif nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi hesaplaması da yapılmıştır.



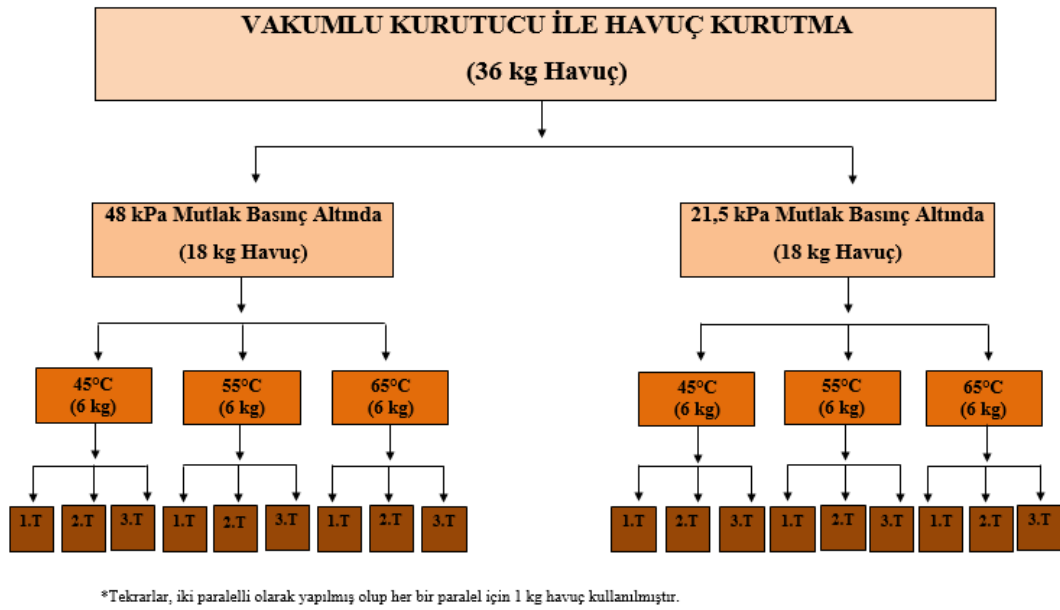
Şekil 2.17: Vakumlu kurutucu ile kırmızı biber kurutma işlem planı



Şekil 2.18: Kırmızı biberin vakumlu kurutucu ile kurutmasındaki akış diyagramı

### 2.3.2.2.2 Vakumlu Kurutucu ile Havuç Kurutma

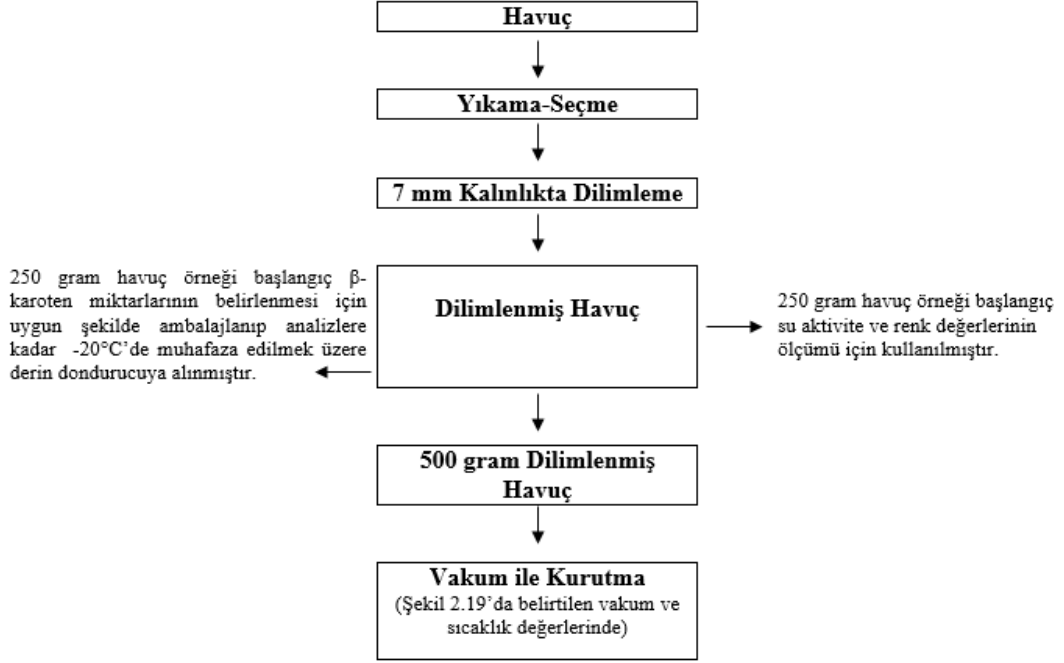
Sıcak hava ile havuç kurutma işleminde olduğu gibi öncelikle laboratuara getirilen havuç örneklerinden uygun şekil ve boyutta olanları seçilmiş ve  $7\pm 1$  mm kalınlığında dilimlenmiştir. Dilimlenen havuçlar, vakumlu kurutucuda 48 ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamlarında, 45, 55 ve 65°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kurutma planı Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19: Vakumlu kurutucu ile havuç kurutma işlem planı

Her bir paralel için kullanılan 1 kg havucun, ön işlemlerden sonra 500 g’ı başlangıç su aktivite, renk değerleri ve  $\beta$ -karoten miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Geriye kalan 500g havuç örneği, vakumlu kurutucuda kurutulmuştur. Havucun vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait akış diyagramı Şekil 2.20’de verilmiştir.





**Şekil 2.20:** Havucun vakumlu kurutucu ile kurutulmasındaki akış diyagramı

### 2.3.2.3 Mikrodalga ile Yapılan Kurutma Çalışmaları

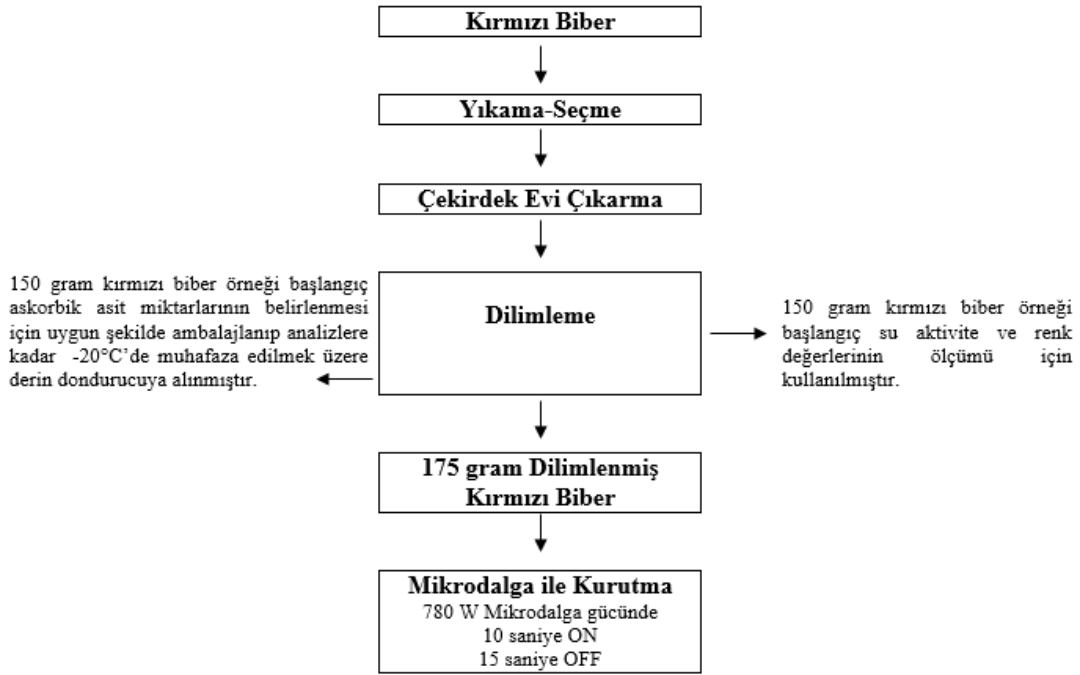
#### 2.3.2.3.1 Mikrodalga ile Kırmızıbiber Kurutma

Kırmızıbiberlerin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında ön işlemlerden geçirilip dilimlenen kırmızıbiberler, Şekil 2.21'deki kurutma planına göre mikrodalga fırınında kurutulmuştur. Kırmızıbiber dilimlerinin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında Şekil 2.22'de verilen akış diyagramı uygulanmıştır.



\*Tekrarlar, iki paralelli olarak yapılmış olup her bir paralel için 475 g kırmızı biber kullanılmıştır.

Şekil 2.21: Mikrodalga ile kırmızıbiber kurutma işlem planı

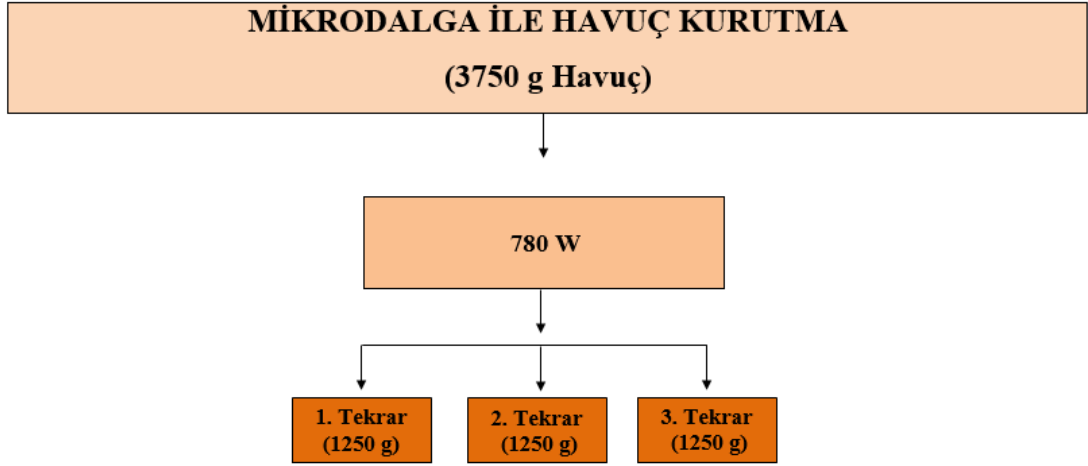


Şekil 2.22: Kırmızıbiberin mikrodalga ile kurutmadaki akış diyagramı

### 2.3.2.3.2 Mikrodalga ile Havuç Kurutma

Sıcak hava ile kurutma ve vakumla kurutma işlemlerinde de belirtildiği gibi  $7\pm 1$  mm kalınlığında dilimlenmiş havuç örnekleri mikrodalga fırınında 780W'da tek bir

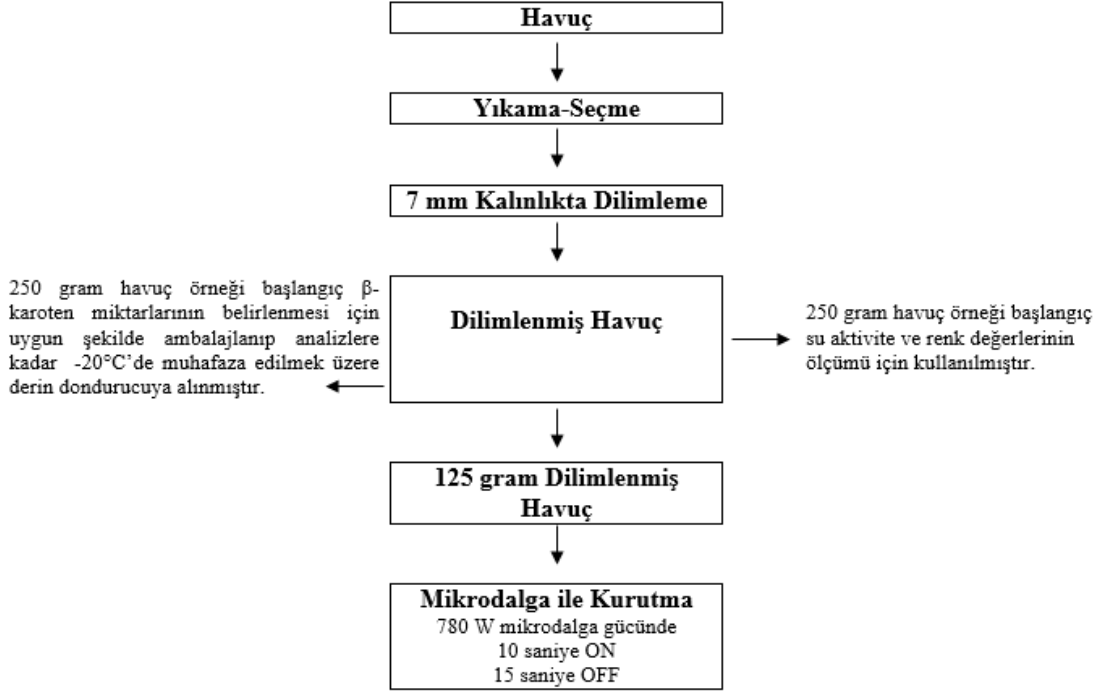
mikrodalga gücünde kurutulmuştur. Şekil 2.23'te mikrodalga ile havuç kurutma işleminin planı verilmiştir. Yapılan ön denemelerde sürekli mikrodalgaya maruz bırakılan havuç örneklerinde yanmalar meydana geldiği için mikrodalga kurutma işlemi kesikli olarak yapılmıştır. Kesikli işlemin prosedürü 10 saniye ON, 15 saniye OFF şeklinde belirlenmiş ve mikrodalga bu şekilde havuç örneklerine uygulanmıştır.



\*Tekrarlar, iki paralelli olarak yapılmış olup her bir paralel için 625 g havuç kullanılmıştır.

**Şekil 2.23:** Mikrodalga ile havuç kurutma işlem planı

Mikrodalga kurutma yöntemiyle havuç kurutma işleminde, diğer iki kurutma yöntemlerinde olduğu gibi havuçlar ön işlemlerden sonra mikrodalgaya dayanıklı camdan yapılmış bir kap içerisine alınıp mikrodalga fırınına yerleştirilmiştir. Havuç dilimlerinin mikrodalga yöntemiyle kurutulmasında Şekil 2.24'te verilen akış diyagramı uygulanmıştır.



**Şekil 2.24:** Havucun mikrodalga ile kurutmadaki akış diyagramı

### 2.3.2.4 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava Kurutma ve Mikrodalga Destekli Vakum Kurutma

Kırmızıbiber ve havuçlar sıcak hava ve vakumlu kurutma yöntemleri ile kurutulmaları sürecinde nem içerikleri önemli seviyede azalır, kuruma hızları da belirgin bir düşüş gösterdiği noktadan itibaren mikrodalga fırına alınarak kurutma işlemine burada devam edilmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde yine 780 W altında kurutma gerçekleştirilmiş ve 10 saniye ON 15 saniye OFF şeklinde mikrodalga işlemi uygulanmış daha sonra tartım yapılarak okunan değer kaydedilmiştir. Örneklerin su aktivite değerleri 0,4'ün altına düştüğünde mikrodalga altında yapılan kurutma işlemine son verilmiştir.

### 2.3.3 Analiz Yöntemleri

#### 2.3.3.1 Renk Değişimlerinin İncelenmesi

Kurutma işleminin, kırmızıbiber ve havuç örneklerinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmada; kurutma süresince önceden belirlenen zaman aralıklarında alınan örneklerin renk değerleri, renk ölçüm cihazı (Hunter Associates Laboratory, Model: MiniScan XE, A.B.D.) ile ölçülmüştür. Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  renk koordinat sisteminde  $L$  değeri renk parlaklığını göstermekte olup değeri 0 ile 100 arasında değişmektedir. Renk koordinatları olan Hunter  $a$  ve  $b$  değerleri ise belirli bir ölçüm aralığına sahip olmayıp, Hunter  $a$  değeri pozitif olduğunda kırmızı, negatif olduğunda yeşil rengi ifade ederken, Hunter  $b$  değeri pozitif olduğunda sarı, negatif olduğunda ise mavi rengi göstermektedir (Anonymous, 1996).

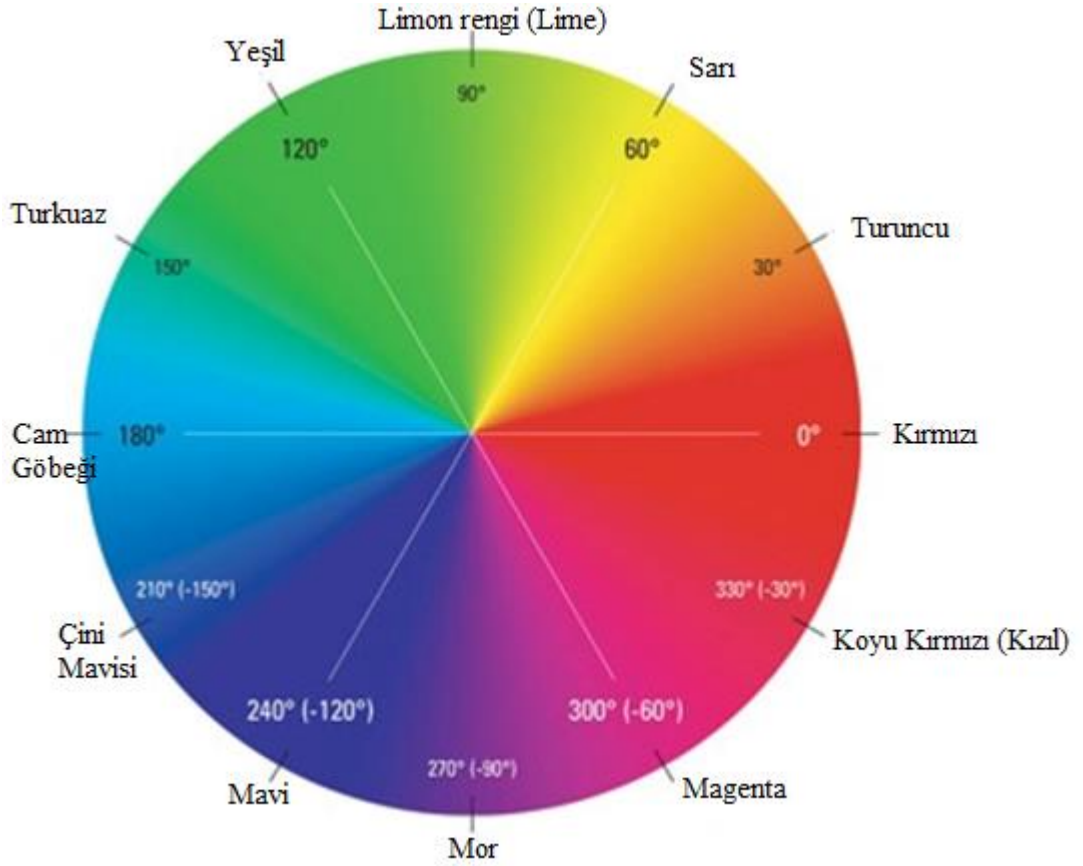
Renk ölçümleri sonucunda elde edilen Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri piyasada doğrudan alıcı ve satıcı tarafından algılanan renk olguları olmadığı için bu değerlerden insanların renk algısına hitap eden Hue açısı yani renk tonu açısı (*Hue Angle*), Kroma değeri (*Chroma*) ve toplam renk sapması ( $\Delta E$ ) gibi renk kriterleri sırasıyla Eşitlik 2.1, 2.2 ve 2.3 yardımıyla hesaplanmıştır. Hue açısı bir renk dairesi olarak tanımlanmakta olup kırmızı-mor renkleri  $0^\circ$ - $270^\circ$  açı değerlerinde, sarı rengi  $60^\circ$  açı değerinde mavi ve yeşil renkleri arasını da  $240^\circ$ - $120^\circ$  açı değerlerinde almaktadır. Şekil 2.25'te renklere ait açı değerleri detaylı olarak gösterilmiştir. Kroma değeri, rengin doygunluğunu göstermektedir. Donuk renklerde kroma değerleri düşerken canlı renklerde ise kroma değeri yükselmektedir.

$$\text{Hue Açısı} = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right) \quad (2.1)$$

$$\text{Kroma} = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (2.2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (2.3)$$

Renk ölçümleri gerçekleştirilmeden önce Hunterlab MiniScan XE renk ölçüm cihazı, beyaz ve siyah standart kalibrasyon plakaları ile kalibre edilmiştir. Renk ölçümleri, 3 farklı noktadan yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.25: Renklere ait Hue açısı değerleri

### 2.3.3.2 Mikrodalga Güç Ölçümü

Mikrodalga güç ölçümünde Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü (IMPI) 2 Litre testi kullanılmıştır (Buffler, 1993). Mikrodalga fırın içine, içinde  $2000 \pm 5$  g saf su bulunan 2 adet 1'er litrelik beher yerleştirilmiş olup, fırın maksimum (%100) güçte çalıştırılmıştır. Beher içerisine konulan saf suyun ısıtma öncesi sıcaklığı  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Beherler, mikrodalga fırınının merkezine yan yana gelecek

şekilde yerleştirilmişlerdir. Mikrodalga fırın, 2 dakika 2 saniye çalıştırılmış ve beherler içerisinde bulunan suyun sıcaklıkları zaman geçirmeden ayrı ayrı ölçülmüştür. Bu güç ölçüm testi üçer kez tekrarlanmış ve Eşitlik 2.4 kullanılarak mikrodalga çıkış güçleri belirlenmiştir.

$$P_m = \frac{mc_p(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{2\Delta t} \quad (2.4)$$

Burada;

- $P_m$  ortalama mikrodalga çıkış gücü (W),
- $\Delta T_1$  ve  $\Delta T_2$  her iki beherde bulunan saf suda meydana gelen sıcaklık değişimleri ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- $m$  toplam su kütlesi (kg),
- $c_p$  suyun özgül ısısı ( $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ),
- $\Delta t$  mikrodalga uygulama süresi (s)'dir.

### 2.3.3.3 Su Aktivitesi Tayini

Taze ve kurutulmuş haldeki kırmızıbiber ve havuç örneklerinin su aktiviteleri  $\pm 0.001$  hassasiyete sahip su aktivitesi ölçüm seti (Testo Instruments, Model: Testo-650, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla yaklaşık 3-4 g parçalanmış örnek hızlı bir şekilde aletin paslanmaz çelikten yapılmış sızdırmaz haznesine yerleştirilmiştir. Su aktivitesi değerinde, 10 dakika boyunca 0.001'den az bir değişim olduğunda sistemin dengeye ulaştığı kabul edilmiş ve cihazın göstergesinden su aktivitesi değeri doğrudan okunmuştur.

#### **2.3.3.4 Toplam Kuru Madde İçeriklerinin Belirlenmesi**

Bu çalışmada kırmızıbiber ve havuç örneklerinin kuru madde miktarları, vakumlu kurutma fırınında 70°C sıcaklıkta, sabit tartıma ulaşınca kadar kurutulması yoluyla saptanmıştır (Anonymous 1995).

#### **2.3.3.5 Askorbik Asit İçeriklerinin Belirlenmesi**

##### **2.3.3.5.1 Ekstraksiyon**

Giovanelli ve diğ. (2002) tarafından önerilen ekstraksiyon yöntemi bazı değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. Bu amaçla, taze ve kuru kırmızıbiber örnekleri, 1:10 (ağırlık/hacim) oranında olacak şekilde %1'lik metafosforik asit içeren suyla karıştırılıp, blender kullanılarak pulp haline getirilmiştir. Elde edilen pulp süratle polipropilenden yapılmış santrifüj tüplerine aktarılmıştır. 4°C'de 11.000 x g'de 20 dakika süreyle santrifüj işlemi yapılmıştır. Bu süre sonunda santrifüj tüplerinde faz ayrımı gerçekleşmiştir ve üst kısımda toplanan süpernatantlar pasteur pipeti ile amber şişelere aktarılmıştır. Amber şişelerde toplanan süpernatantlar, HPLC cihazına enjekte edilmeden önce 0,45µm'lik membran filtreden geçirilmiştir.

##### **2.3.3.5.2 Tanımlama ve Hesaplama**

Askorbik asidin tanımlanması ve miktarının hesaplanmasında (Şekil 2.26) "yüksek performanslı sıvı kromatografisi; HPLC" cihazı kullanılmıştır. HPLC cihazı; 4'lü pompa (quarternary pump), UV dedektör, gaz giderici (degasser) ve kolon fırınından oluşmaktadır. Elde edilen kromatogramlar "Shimadzu LC Solution" yazılım programı ile değerlendirilmiştir.





Şekil 2.26: HPLC cihazının genel görünümü

### 2.3.3.5.3 Kromatografi Koşulları

- **Kolon:** C-18 kolonu (250 x 4,6mm ID, 5µm) (ACE, Aberdeen, İskoçya)
- **Akış hızı:** 0,5 mL/min
- **Elüsyon süresi:** 15 min
- **Enjeksiyon hacmi:** 20µL
- **Dalga boyu:** 254 nm
- **Hareketli faz (Mobile phase):** H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile pH'sı 3'e ayarlanmış su
- **Kolon fırın sıcaklığı:** 35°C

Kromatogramlardan elde edilen askorbik asit pikleri, standart maddelerin geliş süreleri ve UV spektrumlarının karşılaştırılmasıyla tanımlanmıştır. Örnekteki askorbik asit miktarı, bu bileşenin standartları ile hazırlanmış olan standart eğrilerden hesaplanmıştır.

### 2.3.3.6 β-Karoten İçeriklerinin Belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş havuç örneklerinde β-karoten miktarı, HPLC yöntemiyle 2 aşamadan (ekstraksiyon ile tanımlama ve hesaplama) oluşan bir uygulama sonunda belirlenmiş olup, bu aşamalar aşağıda açıklanmıştır.

### 2.3.3.6.1 Ekstraksiyon

Karotenoidlerin analizi ile ilgili kaynaklarda standart bir ekstraksiyon metodu bulunmadığından bu çalışmada, Lin ve diğ. (2005) ile Giovanelli ve diğ. (2002) tarafından önerilen metotlardan yararlanılarak yeni bir metot oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, taze ve kuru havuç örneklerinden 7 g tartılıp içinde %1 oranında BHT bulunan 70 mL etanol ve hekzandan (4:3, v/v) oluşan ekstraksiyon çözeltisiyle karıştırılıp, blender kullanılarak pulp haline getirilmiştir. Elde edilen pulp süratle polipropilenden yapılmış santrifüj tüplerine aktarılmıştır. Tüpler, 5°C’de 11.000 x g’de 15 dakika süreyle santrifüj işlemi yapılmıştır. Bu süre sonunda santrifüj tüplerinde faz ayrımı gerçekleşmiş ve üst kısımda toplanan etanol-hekzan fazı pasteur pipeti ile amber şişelere aktarılmıştır. Amber şişelerde toplanan supernatantlar HPLC cihazına enjekte edilmeden önce 0,45µm’lik membran filtreden geçirilmiştir.

### 2.3.3.6.2 Tanımlama ve Hesaplama

Havuç örneklerinde β-karotenin tanımlanması ve miktarının hesaplanmasında “yüksek performanslı sıvı kromatografisi” cihazından yararlanılmıştır. Elde edilen kromatogramlar “Shimadzu LC Solution” yazılım programı ile değerlendirilmiştir.

### 2.3.3.6.3 Kromatografi Koşulları

- **Kolon:** C-18 kolonu (250 x 4,6mm ID, 5µm) (ACE, Aberdeen, İskoçya)
- **Akış hızı:** 0,45 mL/min
- **Elüsyon süresi:** 20 min
- **Enjeksiyon hacmi:** 20µL
- **Dalga boyu:** 445 nm
- **Hareketli faz (Mobile phase):** %40 Asetonitril, %20 Metanol, %20 Diklormetan, %20 Hekzan
- **Kolon fırın sıcaklığı:** 25°C

Kromatogramlardan elde edilen  $\beta$ -karoten pikleri, standart maddelerin geliş süreleri ve UV spektrumlarının karşılaştırılmasıyla tanımlanmıştır. Örnekteki  $\beta$ -karoten miktarları, bu bileşenlerin standartları ile hazırlanmış olan standart eğrilerden hesaplanmıştır.

## 2.4 Hesaplamalar

### 2.4.1 Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

#### 2.4.1.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması

Kırmızıbiber ve havuç örneklerinin kurutulması sırasında, nem içeriği değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$M_t = (m - KM) / KM \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5'te;

$M_t$ : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

$m$ : Örneğin ağırlığı (g)

$KM$ : Örneğin içerdiği kuru madde miktarı (g)'dir.

#### 2.4.1.2 Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur.

$$\text{Kuruma Hızı} = (M_{t+dt} - M_t) / dt \quad (\text{kg su / kg kuru madde. h}) \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.6'da;

$M_{t+dt}$ :  $t + dt$  anındaki nem içeriği ( kg su / kg kuru madde)

$M_t$ : Herhangi bir  $t$  anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

$dt$ : Kuruma zamanını (h) ifade etmektedir.

### 2.4.1.3 Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranı Eşitlik 2.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$MR = (M_t - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (2.7)$$

Burada;

$MR$ : Nem oranı (birimsiz)

$M_t$ : Herhangi bir  $t$  anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

$M_e$ : Denge anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

$M_0$ : Başlangıçtaki nem içeriğini (kg su / kg kuru madde) tanımlamaktadır.

Gıdaların sıcak hava ile kurutulması işleminde;  $M_e$  değeri  $M_t$  ve  $M_0$  ile kıyaslandığında çok küçük olduğu saptanabilir. Bu nedenle hesaplamalarda  $M_e$  değerinin sıfır alınabileceği belirtilmektedir (Maskan 2001). Bu nedenle  $MR$  değerleri hesaplanırken,  $M_e$  değeri sıfır alınarak işlemler yapılmıştır.

## 2.5 Modelleme Çalışmaları

### 2.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

#### 2.5.1.1 Page Model

Gıdaların kuruma kinetiğinin açıklanması sırasında en çok kullanılan modellerden olan Page modeli, Eşitlik 2.8'de sunulmuştur (Sarsavadia ve diğ. 1999).

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (2.8)$$

Eşitlik 2.8’de

$k$ : Kinetik sabit ( $\text{min}^{-1}$ )

$n$ : Page modele ait katsayı

$t$ : Kuruma zamanı (min) olarak tanımlanmıştır.

### 2.5.1.2 Henderson ve Pabis Model

Henderson ve Pabis modeli, Eşitlik 2.9’da sunulmuştur (Bengston ve diğ. 1998).

$$MR = a \exp(-kt) \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9’da

$a$ : Katsayı (birimsiz)

$k$ : Kinetik sabit ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$ : Kuruma zamanı (min) olarak tanımlanmıştır.

### 2.5.1.3 Lewis Model

Lewis modeli, Eşitlik 2.10’da sunulmuştur (Dadalı 2007).

$$MR = \exp(-kt) \quad (2.10)$$

Eşitlik 2.10’da

$k$ : Kinetik sabit ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$ : Kuruma zamanı (min) olarak tanımlanmıştır.

### 2.5.1.4 Logaritmik Model

Logaritmik model, Eşitlik 2.11’de sunulmuştur (Ertekin ve Yıldız 2001).

$$MR = a \exp(-kt) + b \quad (2.11)$$

Eşitlik 2.11’de

$a$ : Katsayı (birimsiz)

$b$ : Katsayı (birimsiz)

$k$ : Kinetik sabit ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$ : Kuruma zamanı (min) olarak tanımlanmıştır.

### 2.5.1.5 Modifiye Page Model

Modifiye Page model Eşitlik 2.12’de sunulmuştur (Yaldız ve diğ. 2000).

$$MR = \exp [(-kt)^n] \quad (2.12)$$

Eşitlik 2.12’de

$k$ : Kinetik sabit ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$ : Kuruma zamanı (min)

$n$ : Modele ait katsayı olarak tanımlanmıştır.

## 2.5.2 Askorbik Asit, $\beta$ -Karoten ve Renk Değişimlerinin İncelenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalışmaları

### 2.5.2.1 Sıfıncı Dereceden Kinetik Model

Sıfıncı dereceden kinetik model Eşitlik 2.13’te sunulmuştur.

$$C = C_0 \pm kt \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.13’te;

$C$ : Herhangi bir  $t$  anındaki bileşen veya renk parametresi değeri

$C_0$ :  $t=0$  anındaki bileşen veya renk parametresi değeri

$k$ : Kinetik sabit

$t$ : Kuruma zamanını (h) ifade etmektedir.

### 2.5.2.2 Birinci Dereceden Kinetik Model

Birinci dereceden kinetik model Eşitlik 2.14'te sunulmuştur.

$$C = C_0 \exp(\pm kt) \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14'te;

$C$ : Herhangi bir  $t$  anındaki bileşen veya renk parametresi değeri

$C_0$ :  $t=0$  anındaki bileşen veya renk parametresi değeri

$k$ : Kinetik sabit ( $h^{-1}$ )

$t$ : Kuruma zamanını ( $h$ ) tanımlamaktadır.

Eşitlik 2.13 ve 2.14'de belirtilen (+) ve (-) bozunma ve oluşma reaksiyonlarını temsil etmektedir (Maskan ve diğ. 2002).

### 2.5.3 Aktivasyon Enerjisinin ( $E_a$ ) Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklık derecesine bağımlılık düzeyi, hem  $Q_{10}$  ve hem de aktivasyon enerjisinin ( $E_a$ ) hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Reaksiyon hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tarafından 1889'da tanımlanmış olup, bugün de geçerliliğini koruyan bu ifade Eşitlik 2.15'te verilmiştir.

$$k = k_0 \exp^{-E_a/RT} \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.15'de;

$k$ : Kinetik sabit ( $h^{-1}$ )

$k_0$ : Arrhenius sabiti veya frekans faktörü

$E_a$ : Aktivasyon enerjisi ( $kJ mol^{-1}$ )

$R$ : Gaz sabiti ( $8.314 \times 10^{-3} kJ mol^{-1} K^{-1}$ )

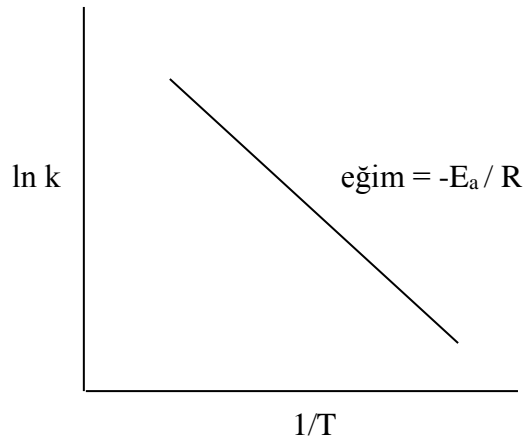
$T$ : Sıcaklık (K)

Eşitlik 2.15 ile verilen Arrhenius bağıntısının logaritması alınarak,

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16 elde edilir. Bu eşitlikten yararlanılarak aktivasyon enerjisi hesaplanır.  $1/T - \ln k$  grafiği çizilerek (Şekil 2.27) elde edilen doğrunun eğiminden yararlanılarak ve Eşitlik 2.17 kullanılarak,  $E_a$  hesaplanır.

$$E_a = - (\text{eğim})R \quad (2.17)$$



Şekil 2.27: Arrhenius grafiği

#### 2.5.4 Q<sub>10</sub> Değerinin Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklığa bağımlılığını gösteren diğer bir kinetik katsayı olan Q<sub>10</sub> değeri, sıcaklığın 10°C yükseltilmesinin reaksiyon hızına etkisini gösteren bir kriter olup (Cemeroğlu ve diğ. 2011), Eşitlik 2.18'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{10} = (k_2 / k_1)^{10 / (T_2 - T_1)} \quad (2.18)$$

k<sub>1</sub>: T<sub>1</sub> sıcaklığındaki kinetik sabit (h<sup>-1</sup>)

k<sub>2</sub>: T<sub>2</sub> sıcaklığındaki kinetik sabit (h<sup>-1</sup>)

T<sub>1</sub>: Sıcaklık (K)

T<sub>2</sub>: Sıcaklık (K)



### 2.5.5 Yarı Ömür Süresinin ( $t_{1/2}$ ) Hesaplanması

Yarı ömür süresi, askorbik asitin ve  $\beta$ -karotenin %50'sinin kaybı için gerekli süre olup (Cemeroğlu ve diğ. 2011), birinci dereceden olan tepkimeler için Eşitlik 2.19'da sunulmuştur.

$$t_{1/2} = - \ln (0,5) \times k^{-1} \quad (2.19)$$

### 2.5.6 Regresyon Analizleri

Karekök ortalamasının hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca ki-kare ( $\chi^2$ ) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir (Mengeş ve Ertekin 2007).

RMSE ve  $\chi^2$  değerleri Eşitlik 2.20 ve Eşitlik 2.21 ifadeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2 \right]^{1/2} \quad (2.20)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N - n} \quad (2.21)$$

$N$ : Deneysel veri sayısı

$n$ : Kullanılan modeldeki katsayı sayısı

### 2.5.7 İstatistiksel Analizler

İki paralelli ve üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilen denemeler sonucunda elde edilen veriler SPSS istatistik paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. Ortalamaların farklılık düzeyi Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir.

### **3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

#### **3.1 Havucun Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulmasıyla İlgili Araştırma Sonuçları ve Tartışması**

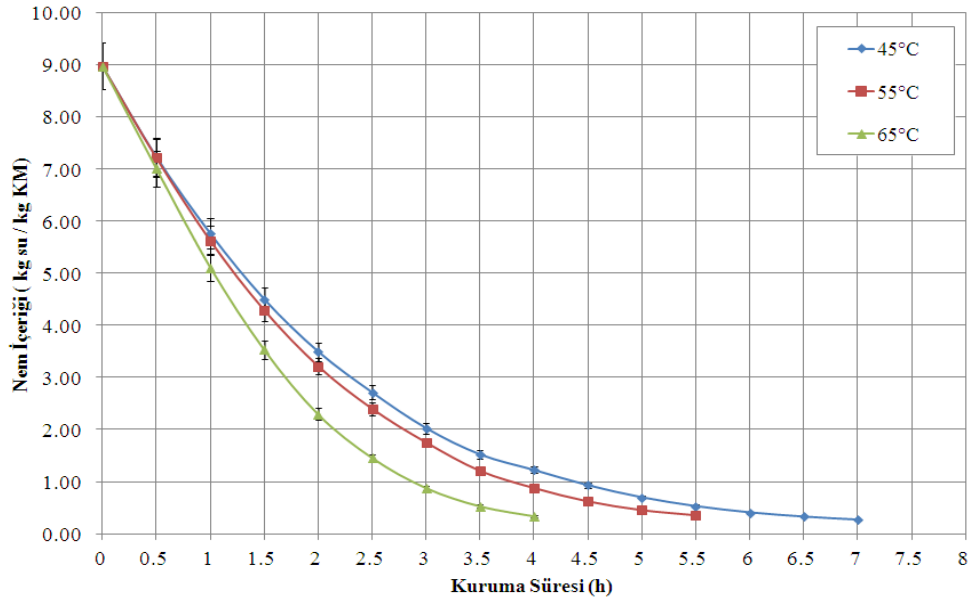
##### **3.1.1 Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar**

###### **3.1.1.1 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Havuçların Kuruması Üzerindeki Etkisi**

###### **3.1.1.2 Nem İeriği Değişimi**

Kullanılan havuç örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriği  $M_0 = 8,98$  kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Üç farklı kurutma sıcaklığında (45, 55 ve 65°C), ve %20 bağıl nemde kurutulan havuç örneklerinin zamana bağılı olarak nem içeriğindeki değişimler EK A'da, Çizelge A.1-A.3'te sırası ile verilmiş ve Şekil 3.1'de grafiksel olarak sunulmuştur.

Şekil 3.1'den de görüleceği üzere kurutmada kullanılan sıcaklık değerlerinin artması ile kuruma sürelerinde önemli azalmalar saptanmıştır. Nitekim, 65°C sıcaklık derecesi için havuç örneğinin nem içeriğinin 8,98'den 0,34 kg su/kg kuru madde değerine düşmesi 4 saat sürerken, 45°C sıcaklık ortamında işlem 7 saatte tamamlanmıştır.



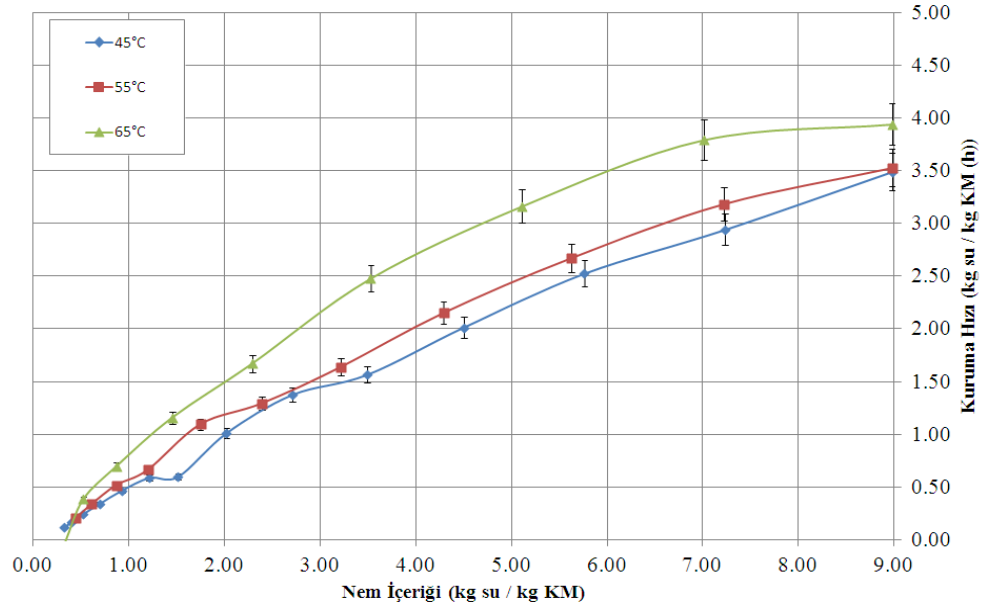
**Şekil 3.1:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

### 3.1.1.3 Kuruma Hızı Değişimi

45, 55 ve 65°C sıcaklık değerlerinde kurutulan havuç örneklerinin kuruma hızları, bu ortamlarda zamana bağlı olarak belirlenmiş olan nem oranlarının kullanımı ile Eşitlik 2.5'ten hesaplanmıştır. Her bir sıcaklık için elde edilen kuruma hız değerleri, örneğin nem içeriğine bağlı olarak Şekil 3.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Şekil 3.2 incelendiğinde, havuç örneklerinin kurutulması sırasında tüm sıcaklık derecelerinde yapılan kurutma işlemlerinde; çoğunlukla azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodu yer yer gözlemlenmiştir.

Kurutmanın genel prensiplerine göre yüksek sıcaklık ve yüksek hava hızı altında yapılan hızlı kurutmanın, kurutulan ürünün etrafında yüzeysel sert bir kuru tabaka oluşturup, iç kısımlardaki suyun uzaklaşmasını engellediği bilinirken, çalışmada sıcaklık arttıkça kuruma hızında dolayısıyla havuçtan nem taşınımında azalma görülmemiştir. Havuç dilimlerinin boyutunun, yüzeyde sert bir kuru tabakanın oluşumunu engellediği düşünülmektedir. Dilim boyutunun artmasıyla kuru tabakanın oluşabileceği ve daha geç kuruma görülebileceği düşünülmektedir.



**Şekil 3.2:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan havuç örneklerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

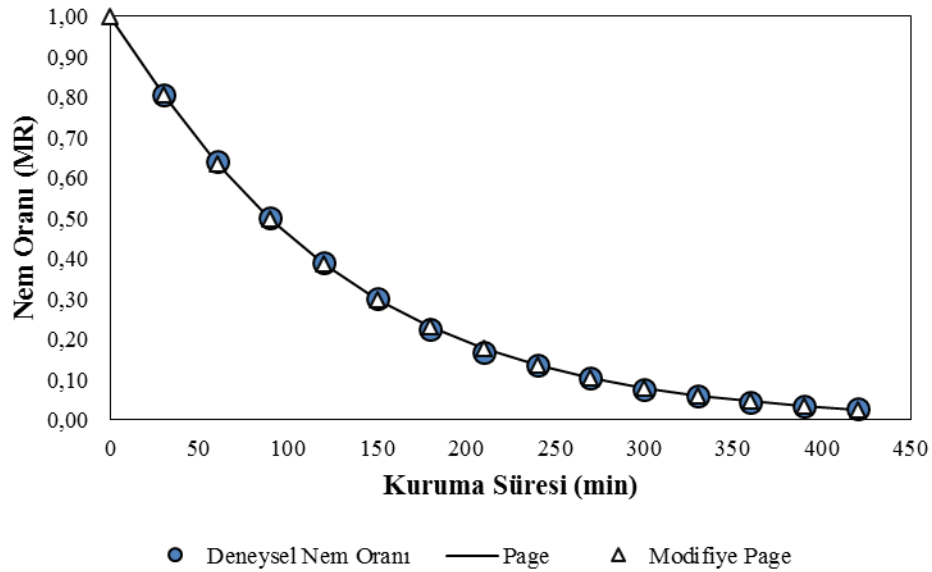
### 3.1.1.4 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Tepsili kurutma fırınında kurutulan havuç örneklerinin üç farklı sıcaklık ortamında kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler, doğrusal olmayan regresyon analizi ile beş ayrı ince tabaka kuruma modellerine uygulanmıştır. Bu analizin sonucunda elde edilen model uyum sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

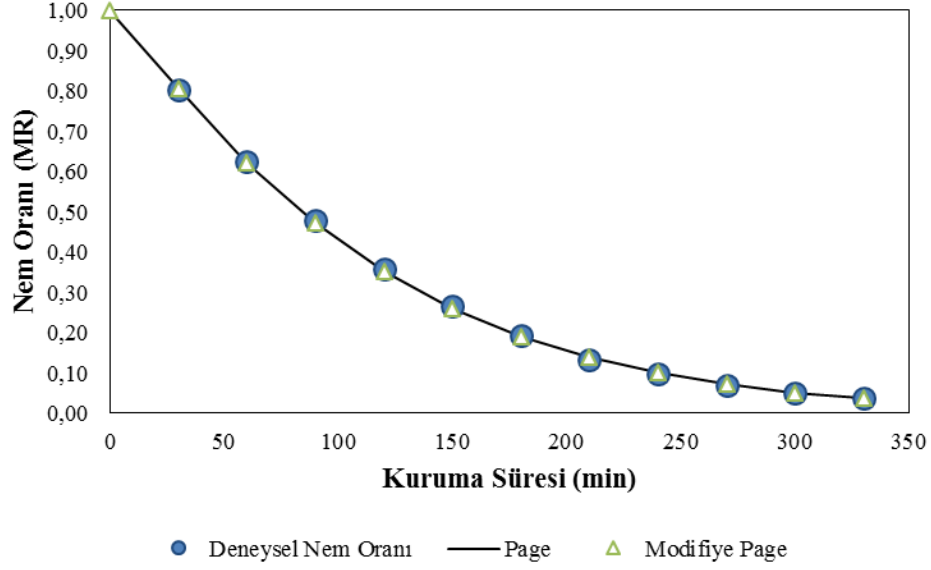
Deneysel verilere en iyi uyum veren iki modelin, en yüksek  $R^2$  ile en düşük RMSE (Root Mean Square Error) ve  $\chi^2$  değerlerini veren “Page” ile “Modifiye Page” modelleri olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, kurutma süreci boyunca deneysel nem içeriği değerlerinin azalışının, tüm kurutma sıcaklıklarında “Page” ve “Modifiye Page” modelleri ile oldukça iyi uyum gösterdiği saptanmıştır (Şekil 3.3a - Şekil 3.3c). Benzer şekilde, 100°C’de 5 dakika boyunca ısıl işleme tabi tutulmuş havuçlarda (Doymaz 2004) ve ön işlem uygulanmamış sarımsak (Demiray ve Tulek 2014) ile domates dilimlerinin (Demiray ve Tulek 2012b) ince tabaka kurutma modellenmesinde Page ve Modifiye Page modellerinin deneysel sonuçlara en iyi uyum verdiği belirtilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulmuş havuç örneklerinde elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi

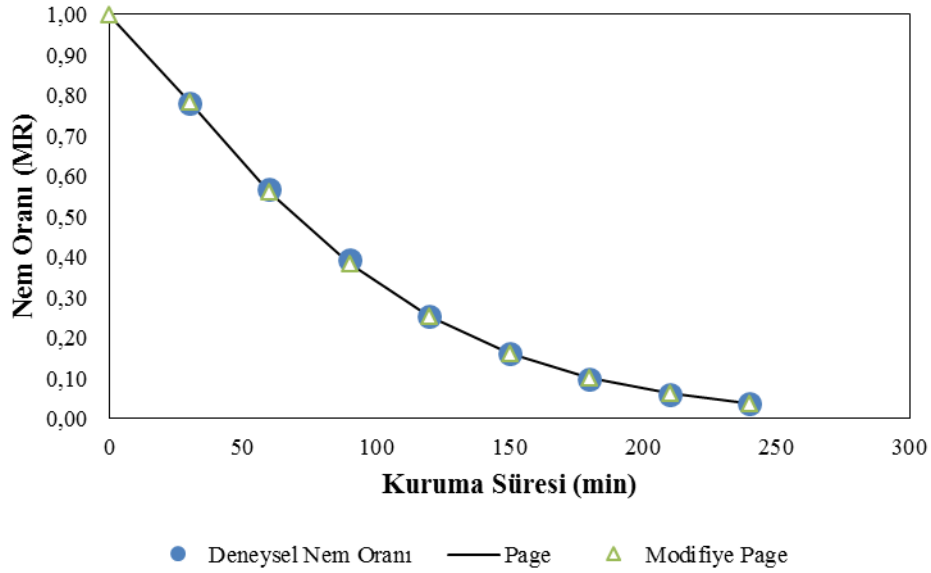
Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar		$\chi^2$	RMSE	$R^2$	
Lewis	45	$k = 0,0084$		$1,28 \times 10^{-3}$	$3,86 \times 10^{-2}$	0,9984	
	55	$k = 0,0096$		$5,55 \times 10^{-3}$	$7,13 \times 10^{-2}$	0,9927	
	65	$k = 0,0129$		$1,86 \times 10^{-2}$	$1,28 \times 10^{-1}$	0,9804	
Page	45	$k = 0,0057$	$n = 1,069$	$1,08 \times 10^{-6}$	$2,60 \times 10^{-5}$	0,9996	
	55	$k = 0,0045$	$n = 1,138$	$1,40 \times 10^{-6}$	$3,46 \times 10^{-3}$	0,9996	
	65	$k = 0,0034$	$n = 1,254$	$5,32 \times 10^{-5}$	$2,03 \times 10^{-2}$	0,9993	
Modifiye Page	45	$k = 0,0080$	$n = 1,069$	$2,22 \times 10^{-6}$	$4,39 \times 10^{-4}$	0,9996	
	55	$k = 0,0087$	$n = 1,138$	$1,70 \times 10^{-6}$	$3,75 \times 10^{-3}$	0,9996	
	65	$k = 0,0108$	$n = 1,254$	$5,34 \times 10^{-5}$	$2,06 \times 10^{-2}$	0,9993	
Henderson ve Pabis	45	$k = 0,0086$	$a = 1,059$	$1,19 \times 10^{-4}$	$1,13 \times 10^{-2}$	0,9992	
	55	$k = 0,0102$	$a = 1,134$	$5,63 \times 10^{-4}$	$2,16 \times 10^{-2}$	0,9967	
	65	$k = 0,0140$	$a = 1,222$	$8,25 \times 10^{-4}$	$2,53 \times 10^{-2}$	0,9902	
Logaritmik	45	$k = 0,0120$	$a = 1,384$	$c = 0,030$	$1,96 \times 10^{-2}$	$1,40 \times 10^{-1}$	0,9632
	55	$k = 0,0140$	$a = 1,395$	$c = 0,039$	$1,71 \times 10^{-2}$	$1,13 \times 10^{-1}$	0,9538
	65	$k = 0,0176$	$a = 1,358$	$c = 0,038$	$7,92 \times 10^{-3}$	$7,27 \times 10^{-2}$	0,9536



**Şekil 3.3a:** 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modellerden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

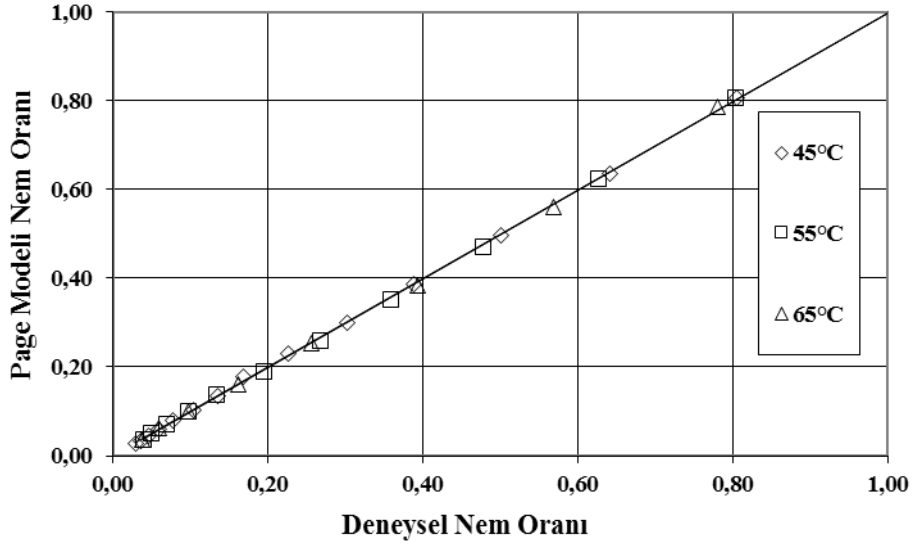


**Şekil 3.3b:** 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modellerden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

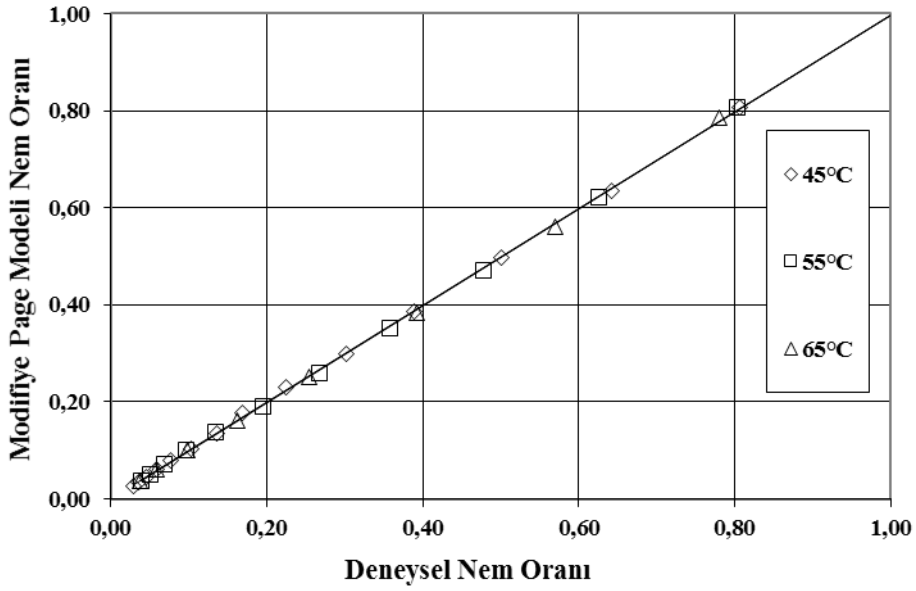


**Şekil 3.3c:** 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modellerden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

45, 55 ve 65°C sıcaklık için deneysel kuruma oranı değerleri ile Page ve Modifiye Page modellerinden elde edilen kuruma oranlarının uyumu sırasıyla Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4a: Deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu



Şekil 3.4b: Deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu

### 3.1.1.5 Sıcak Hava İle Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının Havucun Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Taze havuçlarda ve sıcak hava ile farklı sıcaklıklarda kurutulan havuçlarda ölçülen Hunter-Lab renk parametreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere, kurutma sıcaklıklarının  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri, Hue açısı ve kroma değerleri üzerine etkisi önemli ( $p < 0,05$ ) bulunmuştur. Ayrıca kurutma sonucunda elde

edilen renk parametrelerin taze örneğe göre yine önemli seviyede farklı ( $p<0,05$ ) olduğu saptanmıştır. Sadece 55°C ve 65°C sıcaklıkta kurutulan örneklerin *a* ve kroma değeri arasındaki fark önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

**Çizelge 3.2:** Taze havuç ve sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerindeki renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	<i>Kroma</i>	<i>Hue Açısı</i>
Taze Halde	39,54±0,41 <sup>a</sup>	28,29±1,11 <sup>a</sup>	21,85±0,52 <sup>a</sup>	0.00	35,75±0,87 <sup>a</sup>	37,68±0,85 <sup>a</sup>
45°C	35,53±0,70 <sup>b</sup>	27,29±0,88 <sup>b</sup>	19,92±0,33 <sup>b</sup>	4,56±0,74 <sup>a</sup>	33,79±0,51 <sup>b</sup>	36,13±0,47 <sup>b</sup>
55°C	34,15±0,35 <sup>c</sup>	24,58±0,26 <sup>c</sup>	19,40±0,30 <sup>c</sup>	6,76±0,14 <sup>b</sup>	31,31±0,16 <sup>c</sup>	38,28±0,27 <sup>c</sup>
65°C	32,84±1,64 <sup>d</sup>	24,48±0,87 <sup>c</sup>	18,19±0,22 <sup>d</sup>	7,06±0,37 <sup>b</sup>	30,50±0,28 <sup>c</sup>	36,61±0,43 <sup>b</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p<0,05$ ).

### 3.1.1.5.1 “*L* Değeri” Değişimi

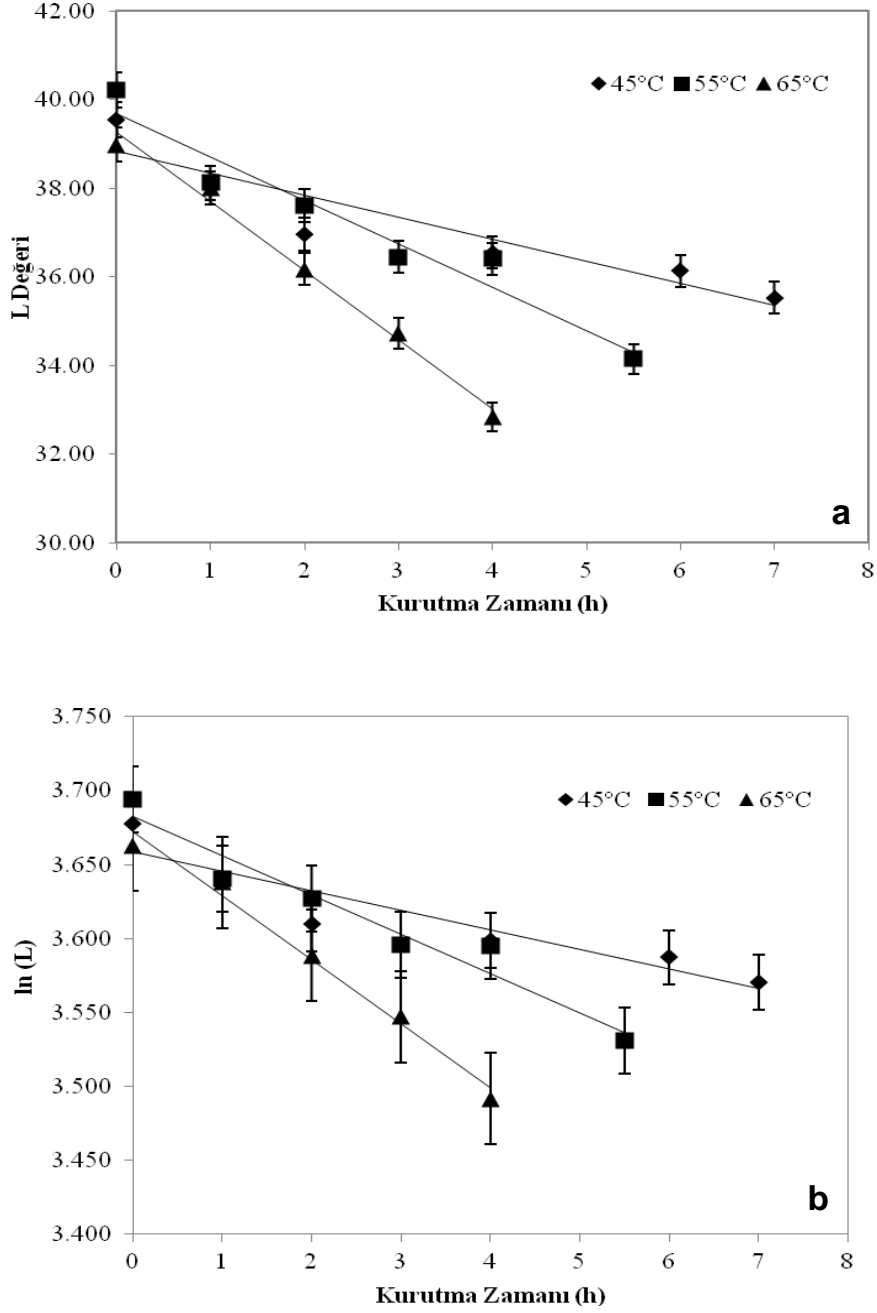
Çizelge 3.2’ye bakıldığında renk parlaklığını ifade eden *L* değerinde taze ürüne göre en az kaybın 45°C’de kurutulan havuç örneklerinde olduğu görülmektedir. Kurutma sıcaklık derecesi arttıkça *L* değerindeki kayıp da artmaktadır. Literatürde havucun kurutulması ile ilgili çalışmalar incelendiğinde benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Nitekim Hiranvarachat ve diğ. (2011) sıcak hava yöntemiyle farklı sıcaklıklarda kuruttukları havuç örneklerinde, kurutma sıcaklığının artmasıyla kararmanın arttığını ifade etmişlerdir.

Farklı ortam sıcaklıklarında kuruma zamanına göre havuç örneklerinin *L* değerlerindeki değişim hem sıfıncı dereceden hem de birinci dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir (Şekil 3.5a ve Şekil 3.5b). *L* değerinin zamana göre değişimini temsil eden sıfıncı ve birinci dereceden kinetik modeller için hesaplanmış olan reaksiyon hız sabiti, determinasyon katsayısı,  $Q_{10}$  ve aktivasyon enerji değerleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 incelendiğinde *L* değerine ait reaksiyon hız sabitleri her iki modelde de kurutma sıcaklık derecesi arttıkça artmaktadır. Her iki model için elde edilen  $R^2$  değerleri birbirine yakın olduğu için *L* değerlerinin sıcaklıkla değişimini hem sıfıncı hem de birinci dereceden kinetik modele uyduğunu söyleyebiliriz. Sıcaklığa bağlı olarak *L* değerinin değişiminde ortaya çıkan bu sonuç genel literatür verileri ile de



uyumludur. Nitekim, Maskan (2001) yaptığı bir çalışmada, kivi örneklerini sıcak hava ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutmuş ve kuruma sırasındaki renk değişimlerinin modellemesini yapmıştır. Sonuç olarak hem sıfırıncı hem de birinci dereceden reaksiyon modellerinin kivilerin kurutulmaları sırasındaki renk değişim kinetiğini tanımlayabileceğini belirtmiştir.



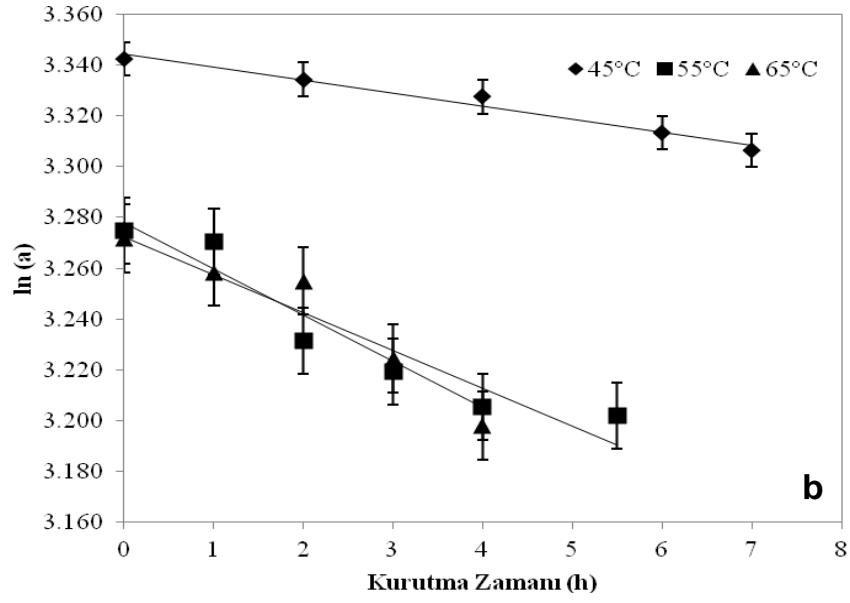
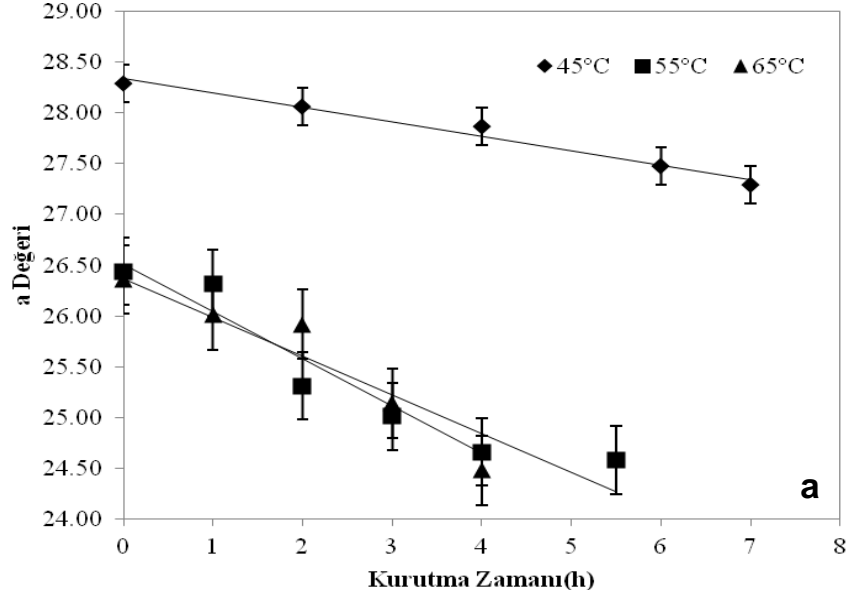
Şekil 3.5: Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait  $L$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

### 3.1.1.5.2“*a* Değeri” Değişimi

Sıcak hava ile kurutma yöntemleriyle kurutulan havuç örneklerinin renk kırmızılığını ifade eden *a* değerlerinde taze ürüne göre kurutma sıcaklığının artmasıyla önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir ( $p<0,05$ ). 55°C ve 65°C kurutulan havuç örneklerinin *a* değerlerinde belirgin bir fark belirlenmemiştir (izelge 3.2).

45°C, 55°C ve 65°C sıcaklık değerlerinde kurutulan havuç örneklerinde, kuruma zamanına göre *a* değerlerindeki değişim, *L* değerlerinde olduğu gibi hem sıfırncı hem de birinci dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir (şekil 3.6a ve şekil 3.6b). *a* değerinin zamana göre değişimini temsil eden kinetik veriler hesaplanmış ve izelge 3.3'te verilmiştir. *a* değerinde de *L* değerinde olduğu gibi zamana bağlı olarak belirgin bir azalma gerçekleşmiştir. Bu azalmalar kurutma ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha da artmıştır.

Çizelge 3.3 incelendiğinde, *a* değerinin her iki modele göre belirlenmiş reaksiyon hız sabitlerinin, kurutma sıcaklığıyla arttığı görölmektedir. Gerek sıfırncı derece ve gerekse birinci derece modele göre yapılan değerlendirmelerde elde edilen  $R^2$  değerlerinin birbirine çok yakın olduğu saptandığı için, *a* değerine ait değişimi hem sıfırncı derece ve hem de birinci derece kinetik modele uygun olduğu ifade edilebilir.



**Şekil 3.6:** Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait  $a$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

### 3.1.1.5.3“ $b$ Değeri” Değişimi

$b$  değeri sarı rengi ifade eden bir parametre olup, sarı renkli meyve ve sebzelerin kurutulmasında önemli bir kalite kriteridir. Kurutma işlemi uygulanan kayısı, havuç,

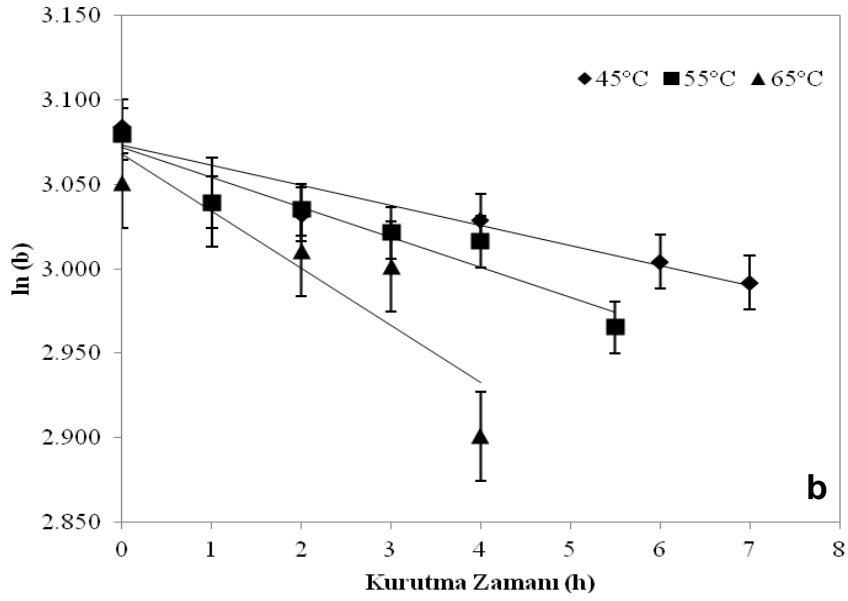
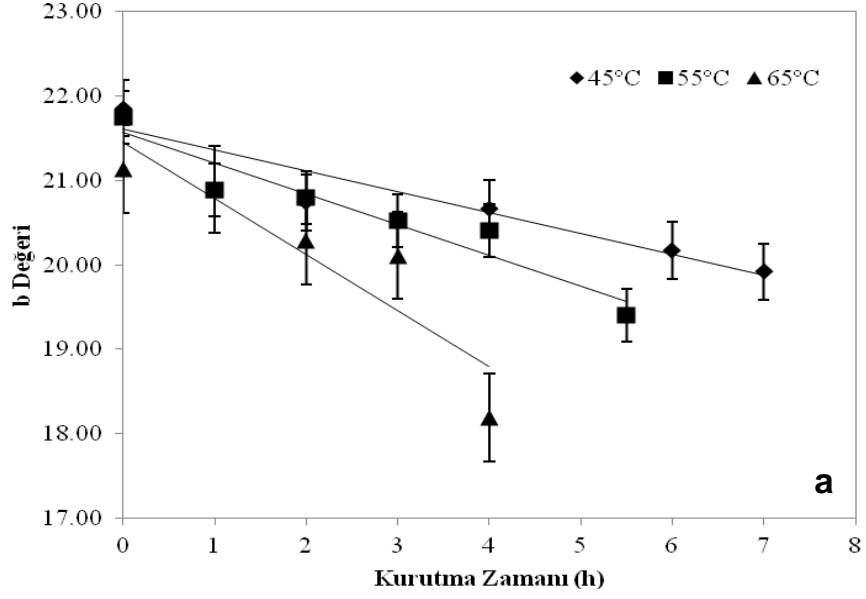
muz, elma ve patates gibi meyve ve sebzelerle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar da elde edilen  $b$  değerleri benzerlik gösterirken bazıları ise göstermemektedir. Çalışmada havuç örneklerinin farklı sıcaklık değerlerinde sıcak hava ile kurutulması sırasında ölçülen  $b$  değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi  $L$  ve  $a$  değerlerinde de olduğu gibi hem sıfıncı hem de birinci dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir (Şekil 3.7a ve Şekil 3.7b). Çizelge 3.3'te her iki model için  $b$  değerinin zamana göre değişimini temsil eden kinetik modellere ait reaksiyon hız sabiti,  $R^2$  değeri ve diğer kinetik parametreler verilmiştir. Reaksiyon derecelerine ait  $R^2$  değerlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı  $b$  değerini her iki modelin de temsil ettiği söylenebilir.

$L$  ve  $a$  değerlerinde olduğu gibi zamana bağlı olarak  $b$  değerinde de belirgin bir azalma söz konusudur. Bu azalmalar kurutma ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha da artmıştır. Çizelge 3.3'te verilen reaksiyon hız sabitleri de incelendiğinde  $65^{\circ}\text{C}$ 'de  $b$  değerindeki düşüşün  $45^{\circ}\text{C}$ 'ye göre 2,76-2,93 kat arasında daha hızlı gerçekleştiği görülebilecektir.

Krokida ve diğ. (1998) sıcak hava kurutma yöntemiyle, üç farklı sıcaklıkta  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$  ve  $90^{\circ}\text{C}$ 'de elma, muz, havuç ve patates kurutmuşlardır. Kurutma boyunca örneklerin Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri saptanmıştır. Yapılan kinetik hesaplamalar sonucunda  $a$  ve  $b$  değerlerindeki değişimin tüm ürünlerde birinci dereceden kinetik modele uyduğu belirlenmiştir. Yapılan bir başka çalışmada Krokida ve diğ. (2001) havuç örneklerini 10 mm kalınlığında silindir şeklinde kestikten sonra  $70^{\circ}\text{C}$ 'de sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutmuşlar ve kurutma başında ve sonunda örneklerin renk değerlerini saptamışlardır. Sonuç olarak taze örneklere göre kurutulmuş havuç örneklerinin renk değerlerinden  $L$  değerinin azaldığını,  $a$  değerinin değişmediğini ve  $b$  değerinin ise arttığını ifade etmişlerdir.

**Çizelge 3.3:** Sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler

Renk Parametreleri	Sıcaklık (°C)	Sıfırıncı Dereceden Reaksiyon Modeli				Birinci Dereceden Reaksiyon Modeli			
		$k_0$	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$k_1$ (h <sup>-1</sup> )	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
<i>L</i>	45	0,5645	0,9604	1,94	45,50	0,0150	0,9634	1,97	47,53
	55	1,0969	0,9904			0,0296	0,9950		
	65	1,5570	0,9907	1,42		0,0433	0,9868	1,46	
<i>a</i>	45	0,1418	0,9774	3,15	53,41	0,0051	0,9760	3,43	57,42
	55	0,4463	0,9784			0,0175	0,9808		
	65	0,4630	0,9880	1,04		0,0182	0,9859	1,04	
<i>b</i>	45	0,2766	0,9982	1,53	45,08	0,0132	0,9991	1,56	48,01
	55	0,4222	0,9961			0,0206	0,9961		
	65	0,7594	0,9403	1,80		0,0387	0,9336	1,88	
$\Delta E$	45	0,6442	0,9745	1,72	45,00	0,2174	0,9541	1,44	40,33
	55	1,1077	0,9549			0,3138	0,9026		
	65	1,7613	0,9821	1,59		0,5367	0,9513	1,71	
<i>Kroma</i>	45	0,2792	0,9985	1,91	45,69	0,0080	0,9978	2,04	49,26
	55	0,5336	0,9901			0,0163	0,9920		
	65	0,7737	0,9003	1,45		0,0240	0,8915	1,47	



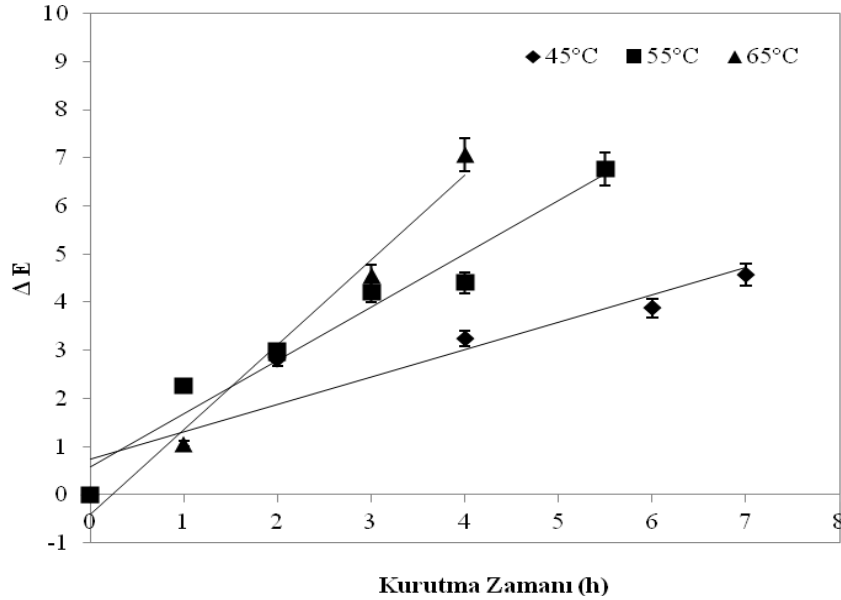
**Şekil 3.7:** Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait  $b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

#### 3.1.1.5.4 $\Delta E$ Değerinin Değişimi

Önemli bir renk karakteristiği olan toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ), taze havuç örnekleri ile kurutulmuş havuç örnekleri arasındaki renk değişimini ifade etmektedir. Çizelge 3.2’de  $\Delta E$  değerleri incelendiğinde 55°C ve 65°C’de kurutulan havuç örnekleri arasında istatistiki açıdan belirgin bir fark belirlenmemiştir ( $p>0,05$ ). Fakat 45°C’de

kurutulan havuç örnekleri diğer iki sıcaklıkta kurutulanlara ve taze örneklere göre farklı ( $p < 0,05$ ) olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.3 incelendiğinde, sıfıncı ve birinci dereceden kinetik modellere göre hesaplanmış olan  $R^2$  değerlerine göre farklı sıcaklıklar için  $\Delta E$  değerlerindeki değişimlerin sıfıncı dereceden kinetik modele daha iyi uyum gösterdiği görülebilecektir. Ayrıca Şekil 3.8’de farklı kurutma sıcaklıklarında zamana göre  $\Delta E$  değerlerinin değişimi sıfıncı dereceden kinetik modele göre grafik olarak da gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların, literatürde bulunabilecek bazı çalışmalarla (Barreriro ve diğ. 1997; Maskan 2001; Chutintrasri ve Noomhorm 2007) uyum içinde olduğu saptanmıştır.



Şekil 3.8: Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait  $\Delta E$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfıncı dereceden kinetik modele uygunluğu

### 3.1.1.5.5 Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi

Ölçülen  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri ürün rengine ait temel bileşenler hakkında bilgi verirken, tüketicinin renk algılamasını tam olarak temsil etmemektedir. Bu değerlerin yerine, bu değerlerden hesaplanan Hue açısı ve kroma değeri tüketicinin renk algılamasını daha iyi temsil etmektedir. Hue açısı bir renk dairesi olarak tanımlanmakta

olup kırmızı-mor renkleri  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$  açı değerleri arasında, sarı rengi  $90^{\circ}$  açı değerinde ve mavimsi yeşil rengi de  $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$  açı değerleri arasında almaktadır. Kroma değeri, rengin yoğunluğunu gösteren bir parametredir. Donuk renklerde kroma değeri düşerken, canlı renklerde artmaktadır.

Çalışmada, taze haldeki havuç örneklerinin Hue açısı değeri  $37,68^{\circ} \pm 0,85$  olarak hesaplanmıştır.  $45^{\circ}\text{C}$ ,  $55^{\circ}\text{C}$  ve  $65^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulan havuç örneklerinin Hue açısı değerleri sırasıyla  $36,13^{\circ} \pm 0,47$ ,  $38,28^{\circ} \pm 0,27$  ve  $36,61^{\circ} \pm 0,43$ 'tür. Taze haldeki havuç örneklerinin Hue açısı değerlerinin farklı sıcaklıklarda kurutulan havuç örneklerinkinden istatistiki olarak farklı olduğu ( $p < 0,05$ ) belirlenmiştir.  $45^{\circ}\text{C}$  ve  $65^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulan havuç örneklerinin Hue açısı değerleri arasında belirgin bir fark belirlenmemiştir (Çizelge 3.2).

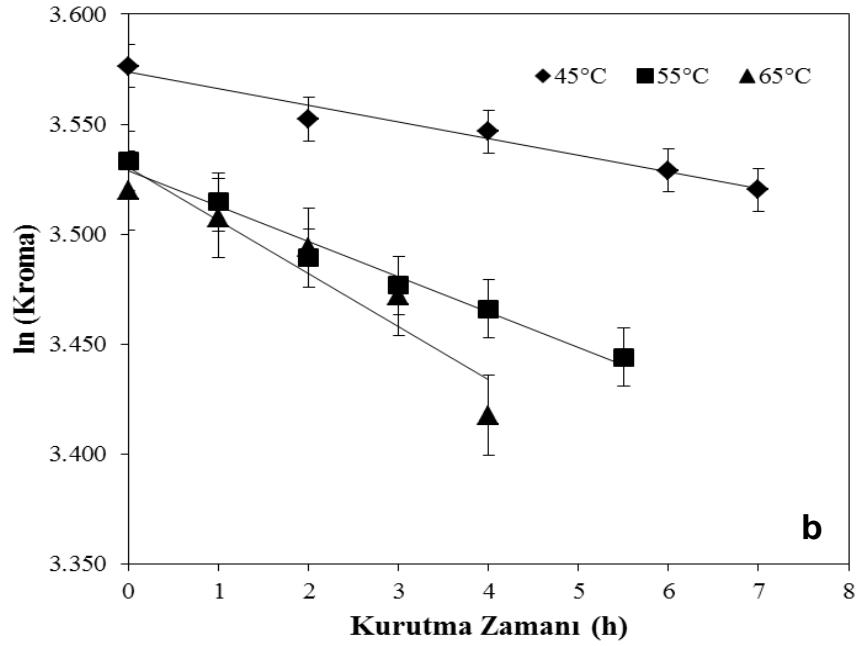
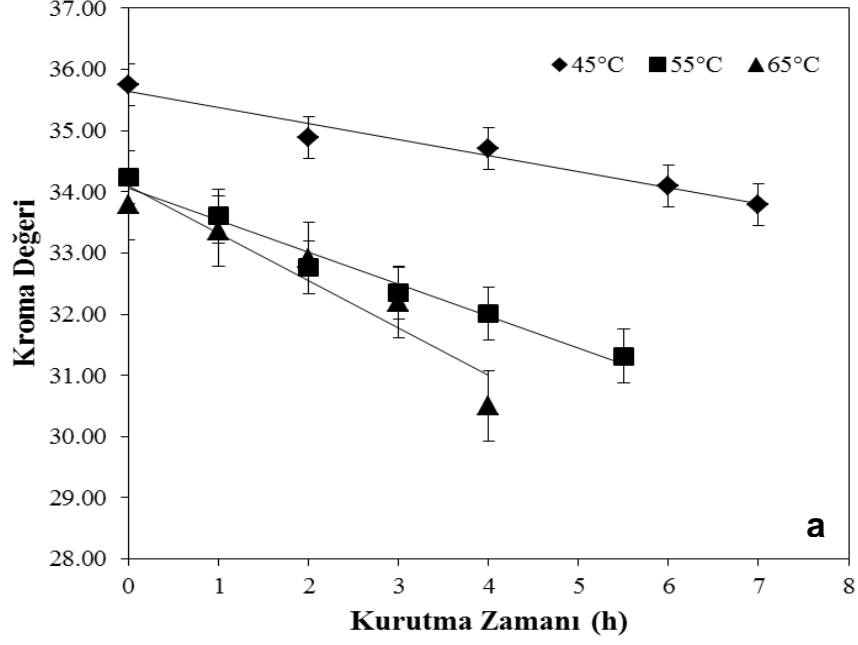
Çizelge 3.2'deki kroma değerleri incelendiğinde, taze haldeki havuç örneklerinin kroma değerinin kurutulmuş havuç örneklerine göre farklı olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ). Fakat  $55^{\circ}\text{C}$  ve  $65^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulan havuç örneklerinin kroma değerleri arasında önemli fark yoktur ( $p > 0,05$ ).  $55^{\circ}\text{C}$  ve  $65^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulan havuç örnekleri, taze ve  $45^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulan havuç örneklerine göre daha donuk renktedir.

$L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri kullanılarak hesaplanan kroma değerlerinin değişiminin kinetik modellenmesi yapılırken, Hue açısı değerlerinin çok değişken olmasından dolayı kinetik modellenmesi yapılamamıştır. Kroma değerlerinin değişiminin hem sıfırıncı dereceden hem de birinci dereceden kinetik modele uygun gerçekleştiği Çizelge 3.3, Şekil 3.9a ve Şekil 3.9b'den görülmektedir.

### **3.1.1.5.6 Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler**

Bu çalışma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş havuç örneklerindeki,  $L$ ,  $a$  ve  $b$  renk değerleri ölçülmüştür. Bu değerlerden türetilmiş  $\Delta E$ , Hue Açısı ve Kroma değerleri de hesaplanmış ve Çizelge 3.2'de verilmiştir. Renk değerleri değişimine ait reaksiyon hız sabiti, aktivasyon enerjisi ve  $Q_{10}$  değerleri de hesaplanmış ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.





**Şekil 3.9:** Sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

$Q_{10}$  değeri, bir reaksiyonun sıcaklık düzeyinden ne oranda etkilendiğini göstermektedir.  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde, kurutma sıcaklığın 45°C'den 55°C'ye artırılmasının  $L$ ,  $a$ ,  $\Delta E$  ve Kroma değerleri üzerindeki etkisinin, sıcaklığın 55°C'den 65°C'ye artışına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte,  $b$  değerinde ise kurutma sıcaklığının 55°C'den 65°C'ye yükseltilmesinin  $b$  değerini daha fazla etkilediği görülmüştür. Sıcaklığın 45°C'den 55°C'ye artışında  $a$  değerinin diğer renk değerlerine

göre daha fazla etkilendiğini fakat sıcaklığın 55°C'den 65°C'ye artışında ise en az etkilenen değer olduğu belirlenmiştir.

Aktivasyon enerjisi, reaksiyon hızının sıcaklığa bağlı olarak hangi düzeyde değiştiğini göstermektedir. Her sistemin aktivasyon enerji değeri kendine özgüdür ve bu değer, sistemin su aktivitesi düzeyi ile değişebilmektedir. Çizelge 3.3'teki aktivasyon enerjisi değerlerine bakıldığında  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri arasında kurutma sırasında sıcaklıktan en fazla  $b$  değerinin etkilendiği en az ise  $a$  değerinin etkilendiği görülmektedir.  $\Delta E$  değerinin reaksiyon derecesi sıfırıncı derecen kinetik modele uyduğu için bu modele ait aktivasyon enerji değeri 45,00 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

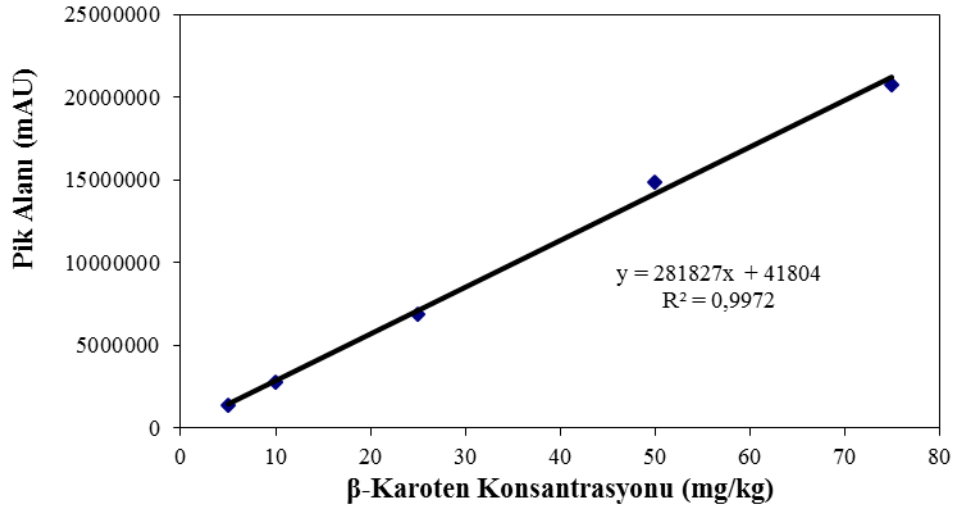
### **3.1.1.5.7 Sıcak Hava ile Kurutulmuş Havuç Örneklerinin $\beta$ -Karoten Miktarındaki Değişimler**

Kırmızı, sarı ve turuncu renkli meyve ve sebzeler  $\beta$ -karoten,  $\alpha$ -karoten, likopen,  $\beta$ -kriptoksantin ve  $\alpha$ -kriptoksantin gibi karotenoidlerce zengindir (von Elbe ve Schwartz 1996; Koca 2006). Havuçlarda karotenoid içeriğinin çeşit, olgunluk, yetiştirme koşulları, mevsim gibi faktörlerden etkilendiği bildirilmektedir (Hart ve Scott 1995; Koca 2006).

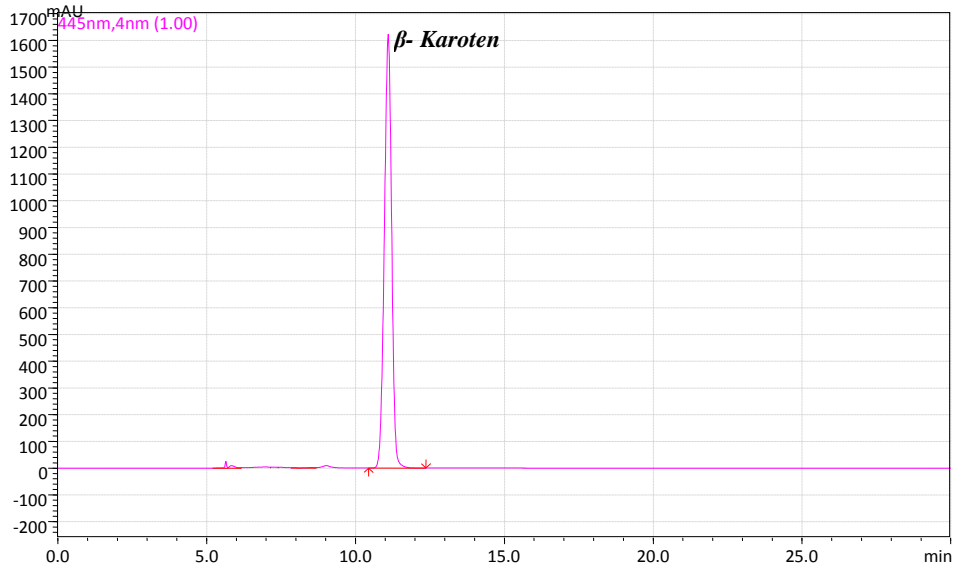
Meyve ve sebzelerin işlenmesi ve depolanması sırasındaki koşullara bağlı olarak karotenoidlerde oksidasyon ve izomerizasyon reaksiyonları meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlar ürünün renginde ve besin değerinde istenmeyen değişikliklere neden olmaktadır (Koca 2006). Güneşte kurutulmuş havuç dilimlerinde  $\alpha$ - ve  $\beta$ -karotende meydana gelen toplam kayıp %19,2 iken, vakumlu mikrodalga kurutucuda hızlı ısı işlem ve oksijenin uzaklaştırılmış olması nedeniyle bu kayıp %3,2'ye düşmüştür. Donmuş kurutmada ise başlangıca göre çok önemli bir fark belirlenmemiştir (Lin ve diğ. 1998).

Metot kısmında da bahsedildiği gibi, çalışmada kurutma koşullarına göre havuçların  $\beta$ -karoten seviyesindeki değişimin HPLC cihazı ile belirlenmesi yapılmıştır. Bu amaçla önce  $\beta$ -karoten standart eğrisi çizilmiştir (Şekil 3.10).  $\beta$ -karoten standardına ait kromatogram ve UV spektrumu Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir. Bu

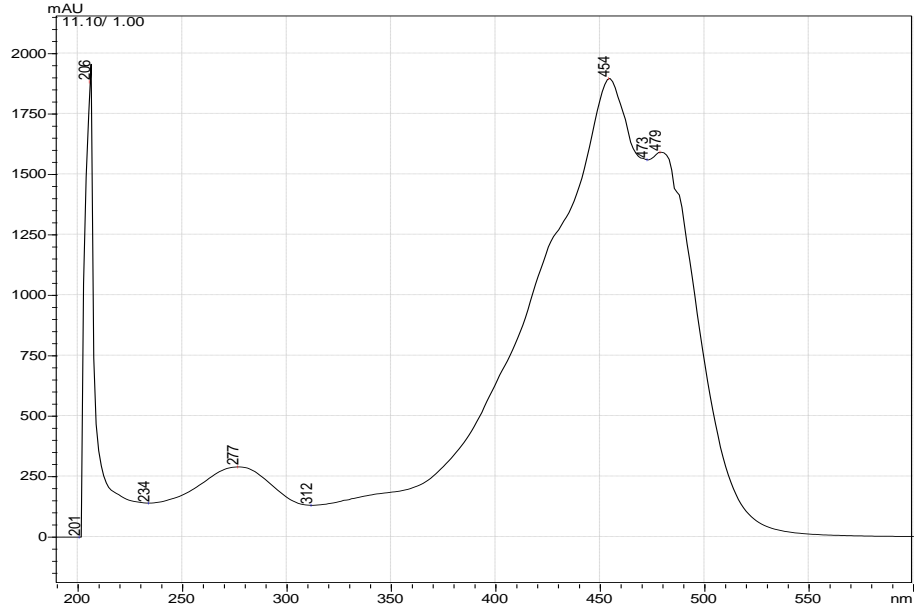
kromatogram ve UV spektrumun yardımıyla farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde havuç örneklerinin  $\beta$ -karoten içerikleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.10:  $\beta$ -Karoten standart eğrisi



Şekil 3.11:  $\beta$ -Karoten standart HPLC kromatogramı



Şekil 3.12:  $\beta$ -Karoten UV spektrumu

Kurutma sürecinde,  $\beta$ -karoten içeriğindeki değişimi belirlemek için yapılan kinetik hesaplamalara temel teşkil edecek örnek alımları saatte bir gerçekleştirilmiştir. Kayıplar her bir kurutma yönteminde uygulanan tüm şartlar için hesaplanmıştır.  $\beta$ -Karoten parçalanması ile ilgili sonuçlar Çizelge 3.4-3.6 arasında gösterilmektedir.

Çizelge 3.4: 45°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	%KM	$\beta$ -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	10,02	173,18	0,37	0,21
2	22,29	119,86	1,17	0,97
4	45,27	71,05	1,37	1,92
6	71,27	44,08	1,01	2,28
7	79,04	36,18	0,40	1,11

Çizelge 3.5: 55°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	%KM	$\beta$ -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	10,02	173,00	0,73	0,42
1	15,13	131,65	0,92	0,70
2	23,85	115,14	1,40	1,22
3	36,56	63,59	1,43	2,24
4	53,61	37,64	1,19	3,16
5.5	74,33	30,65	0,78	2,55

**Çizelge 3.6:** 65°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde β-karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	%KM	β-Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	10,02	173,27	1,34	0,78
1	16,26	118,23	4,53	3,83
2	30,40	62,76	2,72	4,34
3	53,16	36,82	1,14	3,09
4	74,57	27,61	1,15	4,17

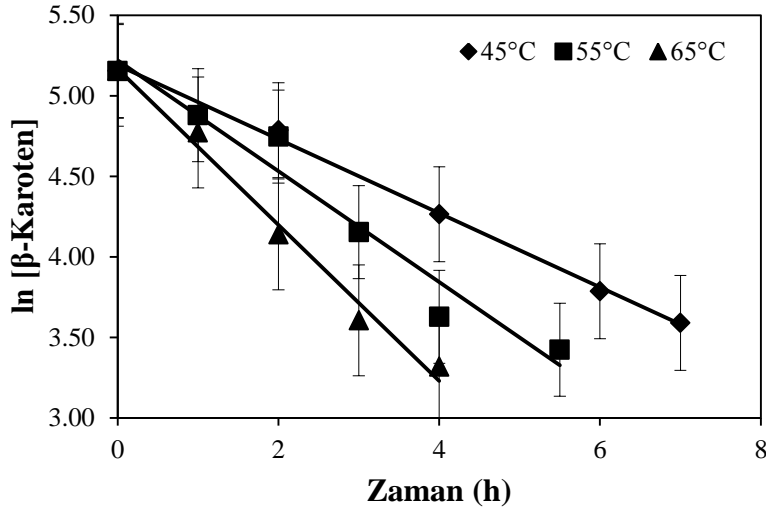
Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizlerde, β-karoten miktarı taze havuçlarda ortalama 173,15 mg/100g kuru madde olarak saptanmıştır. Belirlenen bu değer literatürdeki değerlerle uyum içerisindedir. Farklı araştırmacılar tarafından havuçlarda belirlenen β-karoten miktarları Çizelge 3.7’de verilmiştir.

**Çizelge 3.7:** Taze havuçlarda bulunan β-karoten miktarları

Havuç Türü	β-Karoten Miktarı (mg/100g KM)	Referans
<i>Daucus carota</i> L.	115,3	Lin ve diğ. (1998)
<i>Daucus carota</i> L. cv Nantes	31,99	Negi ve Roy (2000)
<i>Daucus carota</i> L.	76,37	Cui ve diğ. (2004)
<i>Daucus carota</i> var. Pusa Kesar	158	Prakash ve diğ. (2004)
<i>Daucus carota</i> var. sativa	51,11	Suvarnakuta ve diğ. (2005)
<i>Daucus carota</i> L.	30,3-100,5	Lavelli ve diğ. (2007)
<i>Daucus carota</i> var. sativa	68-76	Hiranvarachat ve diğ. (2008)
<i>Daucus carota</i> L. cv Nantes	216	Arıkan (2009)
<i>Daucus carota</i> var. sativa	63-77	Hiranvarachat ve diğ. (2011)
<i>Daucus carota</i> L. cv Macon F1	117,29	Zielinska ve Markowski (2010)
<i>Daucus carota</i> L. super Red Core F1	43,47	Zhao ve diğ. (2014)

β-Karoten miktarı 45°C’de 7 saat süren kurutma işleminde 173,18 mg/100g kuru madde değerinden 36,18 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. 65°C’de 4 saat süren kurutma işleminde ise 173,27 mg/100g kuru madde değerinden 27.61 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. Bu durum kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte β-karoten kaybının arttığının bir göstergesidir. Yapılan literatür incelemesinde konu ile ilişkili benzer bilimsel çalışmalarda da β-karoten kaybının sıcaklık artışıyla arttığı görülmüştür. Nitekim Suvarnakuta ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada, küp şeklinde kesip sıcak hava yöntemiyle üç farklı sıcaklıkta kuruttukları havuç örneklerinde, β-karoten kayıplarının kurutma sıcaklık derecesinin artmasıyla arttığını belirlemişlerdir.

Havuçta,  $\beta$ -karotenin ısıl degradasyonu birinci derece kinetik modele uygun olarak gerekleŒmiŒtir (Œekil 3.13). Kinetik veriler incelenince (izelge 3.8), beklenildiği gibi sıcaklık yükseldikçe  $\beta$ -karotenin parçalanma hızının arttığı görölmektedir. Örneğin, 45°C’de yapılan kurutma işleminde yarılanma süresi ( $t_{1/2}$ ) 3,02 saat iken, 65°C’de bu değer 1.43’e düşmüŒtür.  $t_{1/2}$  değerinin azalması,  $\beta$ -karotenin stabilitesinin sıcaklığa bağlı olarak azaldığını göstermektedir.



**Œekil 3.13:** Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş havuç örneklerindeki  $\beta$ -karoten içeriklerindeki değişimler

**Çizelge 3.8:** Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklık değerlerinde kurutulmuş havuç örneklerinin  $\beta$ -karoten parçalanmasına ait kinetik parametreler

Kurutma Yöntemi	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi (n)	$Q_{10}$ Değer	k ( $h^{-1}$ )	$t_{1/2}$ (h)	$E_a$ ( $kJmol^{-1}$ )
Sıcak Hava ile Kurutma	45	1	1,498	0,2298	3,02	33,33
	55	1		0,3442	2,01	
	65	1	1,406	0,4840	1,43	

alıŒmadan elde ettiğimiz bulgular, literatür verileriyle uyum içinde bulunmaktadır. Nitekim literatürde incelenen birçok alıŒmada havuçta  $\beta$ -karotenin parçalanmasının, birinci derece kinetik modele uyduğu belirtilmiŒtir (Hiranvarachat ve diğ. 2008; Koca ve diğ. 2007). Kurutma işleminin sonucu  $\beta$ -karotenin ısıl yolla parçalanmasına ait aktivasyon enerji değerleri 33,33 kJ/mol olarak hesaplanmıŒtır (izelge 3.8).  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde kurutma işleminde sıcaklıktaki 10°C’lik artış  $\beta$ -karoten parçalanma hızını 1,4-1,5 kat arttırmıŒtır. Yine yapılan incelemede, sıcaklığın

55°C'den 65°C'ye değişmesine göre 45°C'den 55°C'ye değişmesinin β-karoten parçalanma hızını daha da arttırdığı görülebilmektedir.

### **3.1.2 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar**

#### **3.1.2.1 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava İle Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Havucun Kurutulması Üzerindeki Etkisi**

Çalışmada, mikrodalga kurutma yöntemi tek başına kullanılmasının yanında sıcak hava ile kurutma yöntemi ile kombine edilerek de kullanılmıştır. Kuruma işleminin zorlaştığı 0,20-0,25 arasındaki nem oranı değerinden itibaren mikrodalga fırını kullanılarak hedeflenen su aktivitesi ve nem içeriği değerine kadar kurutma işlemi devam etmiştir.

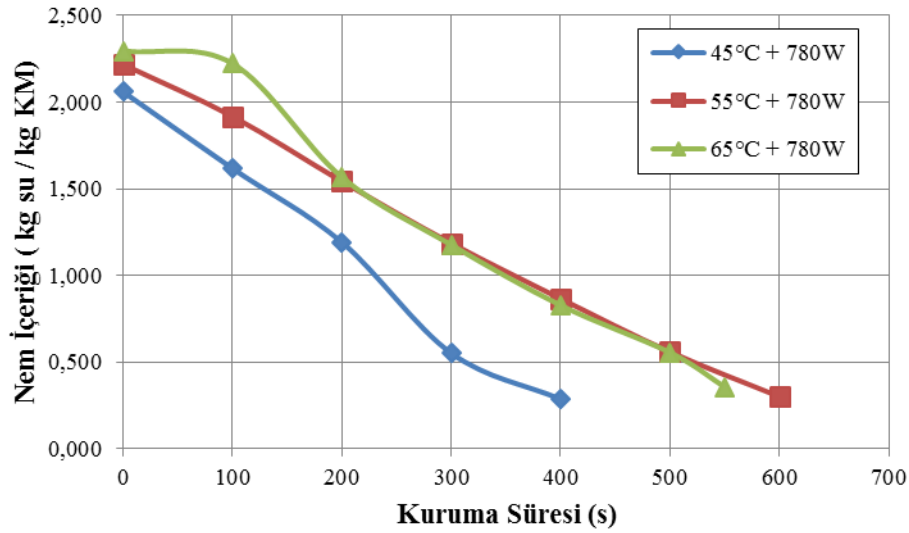
#### **3.1.2.2 Nem içeriği değişimi**

Kabin kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (45, 55 ve 65°C) kurutulan örneklerin hedeflenen son nem içeriğine ulaştırılması için mikrodalga fırında 780 W güçte kurutulmalarına devam edilmiştir. Bu süreçte örneklerin nem içeriklerindeki değişim belirlenmiş ve sonuçlar EK B'de, Çizelge B.1-B.3'te sırası ile verilmiştir.

Havuçların mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulması işleminde ön denemeler sonucunda belirlenen bir prosedür uygulanmıştır. Havuçların nem oranı değeri 0,20-0,25 arasındaki değerlere düşünceye kadar sıcak hava ile kurutulması yapılmış, bu nem oranı değerlerinden itibaren 0,03-0,04 arasındaki nem oranı değerine düşünceye kadar da mikrodalga fırınında kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Son üründe yapılan su aktivite analizleri sonucunda su aktivite değerlerinin 0,4 değerinin altında olduğu ölçülmüştür.

Şekil 3.14'te sıcak hava ile belli bir süre kurutulduktan sonra mikrodalga fırınına alınan havuç örneklerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde 65°C + 780W kombinasyonlu kurutma işleminde kısa bir ısınma

evresinden sonra kuruma hızının arttığı ve sabit hızda kurumanın devam ettiği ve bu şekilde sonlandığı görülmektedir. Changrue (2006) ozmotik ön işlem uygulanarak (%50 oranında kurutulmuş) sürekli ve kesikli vakum-mikrodalga ile kurutulan havuç ve çilekte sabit hızlı kuruma evresinin görülmediğini, buna karşılık ozmotik ön işlem uygulanmadan kurutulan çilek ve havuçta kesikli ve sürekli mikrodalga ile kurutmada sabit hızlı kuruma evrelerinin görüldüğünü bildirmiştir. Sıcak hava mikrodalga kombinasyonu uygulamadan sadece sıcak hava ile yapılan 65°C’de havuçlar 4 saatte kururken, mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma işlemi 4 saat 550 saniye sürmüştür. Diğer sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde de mikrodalga destekli yapılan kurutmaya göre kuruma sürelerinde farklılıklar vardır.



**Şekil 3.14:** Kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutması tamamlanan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin zamanla değişimi

### 3.1.2.3 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Havuçlarda Renk Değişimi

Havuçların, mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulması sırasındaki renk değişimlerini incelemek amacıyla, her kurutma denemesinden önce ve kurutma işlemi yapıldıktan sonra rastgele seçilen örnekler üzerinde renk ölçümleri yapılmıştır.

Havuçların başlangıç renk değerleri ile farklı sıcaklıklarda kurutulan havuçlar için yapılan renk ölçümlerinden elde edilen ortalama renk değerleri ( $L$ ,  $a$  ve  $b$ ) ve bu



değerlerden yararlanarak türetilen  $\Delta E$ , Hue açısı ve kroma değerleri Çizelge 3.9'da belirtilmiştir.

Kurutulan bütün ürünlerde renk parlaklığının taze ürüne göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.9 incelendiğinde taze havuç örneklerinin kroma değerinin, kurutulmuş havuç örneklerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sıcak hava ile kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerinin kırmızılığı ifade eden  $a$  değerlerinde taze ürüne göre önemli düzeyde bir azalma meydana gelmezken, mikrodalga kurutma ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma yöntemleriyle kurutulan havuç örneklerinin  $a$  değerlerinde önemli seviyede ( $p<0,05$ ) azalma meydana gelmiştir.

**Çizelge 3.9:** Taze havuç ve sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerindeki renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	$L$	$a$	$b$	$\Delta E$	Kroma	Hue Açısı
Taze Halde	39,54±0,41 <sup>a</sup>	28,29±1,11 <sup>a</sup>	21,85±0,52 <sup>a</sup>	0.00	35,75±0,87 <sup>a</sup>	37,68±0,85 <sup>a</sup>
45°C	35,53±0,70 <sup>cd</sup>	27,29±0,88 <sup>b</sup>	19,92±0,33 <sup>b</sup>	4,56±0,74 <sup>f</sup>	33,79±0,51 <sup>b</sup>	36,13±0,47 <sup>e</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>g</sup>	17,24±0,66 <sup>f</sup>	15,97±0,08 <sup>g</sup>	13,24±0,62 <sup>b</sup>	23,50±0,23 <sup>e</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
45°C + 780W	35,74±0,77 <sup>b</sup>	19,35±0,41 <sup>d</sup>	19,06±0,87 <sup>d</sup>	9,11±0,41 <sup>d</sup>	27,16±0,18 <sup>d</sup>	44,56±0,29 <sup>b</sup>
Taze Halde	40,21±0,17 <sup>a</sup>	26,44±0,95 <sup>a</sup>	21,75±0,10 <sup>a</sup>	0.00	34,24±0,32 <sup>a</sup>	39,44±0,64 <sup>a</sup>
55°C	34,15±0,35 <sup>e</sup>	24,58±0,26 <sup>c</sup>	19,40±0,30 <sup>c</sup>	6,76±0,14 <sup>e</sup>	31,31±0,16 <sup>c</sup>	38,28±0,27 <sup>d</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>g</sup>	17,24±0,66 <sup>f</sup>	15,97±0,08 <sup>g</sup>	13,24±0,62 <sup>b</sup>	23,50±0,23 <sup>e</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
55°C + 780W	35,66±0,81 <sup>bc</sup>	19,21±0,16 <sup>d</sup>	18,94±0,94 <sup>d</sup>	9,16±0,47 <sup>d</sup>	26,98±0,22 <sup>d</sup>	44,60±0,33 <sup>b</sup>
Taze Halde	38,98±1,50 <sup>a</sup>	26,36±0,49 <sup>a</sup>	21,13±1,51 <sup>a</sup>	0.00	33,78±0,54 <sup>a</sup>	38,72±0,21 <sup>a</sup>
65°C	32,84±1,64 <sup>f</sup>	24,48±0,87 <sup>c</sup>	18,19±0,22 <sup>f</sup>	7,06±0,37 <sup>e</sup>	30,50±0,28 <sup>c</sup>	36,61±0,43 <sup>e</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>g</sup>	17,24±0,66 <sup>f</sup>	15,97±0,08 <sup>g</sup>	13,24±0,62 <sup>b</sup>	23,50±0,23 <sup>e</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
65°C + 780W	35,40±0,94 <sup>d</sup>	18,98±1,14 <sup>e</sup>	18,60±1,10 <sup>e</sup>	9,79±0,15 <sup>c</sup>	26,57±0,17 <sup>d</sup>	44,42±0,31 <sup>b</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p<0,05$ ).

Diğer taraftan sıcak hava kurutma yönteminde, kurutulan havuçların  $b$  değerinde, uygulanan sıcaklıklara ve kuruma zamanına göre belirlenmiş olan değişimlerin önemli seviyede olmadığı ( $p>0,05$ ) saptanmıştır. Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerinin taze havuç örneklerine göre sarılık değerini ifade eden  $b$  değerlerindeki azalmanın da önemli seviyede olduğu ( $p<0,05$ ) belirlenmiştir. Diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan havuç örneklerinin  $b$  değerlerindeki azalma önemli düzeyde değildir ( $p>0,05$ ).

Genel olarak mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerinin renk kalitesi bakımından değerlendirildiğinde, sadece mikrodalga ile kurutulanlara göre daha parlak fakat sadece sıcak hava kurutma yöntemine göre ise daha donuk renkli

ürünler elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar da bulunan sonuçları destekler niteliktedir.

Baysal ve diğ. (2003), mikrodalga, infrared ve sıcak hava ile havuç kurutulmasında taze ürüne kıyasla ürün renk parlaklığının kurutulan ürünlerde bir miktar azaldığı ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olmadığını, renk kırmızılığı ve renk sarılığının ise önemli oranda azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada, havuç kurutmada uygulanan bütün kurutma yöntemlerinde ürün renk kalitesinin azaldığı ancak, sıcak hava ile kurutulan (70°C) ürünlerin renk kalitesinin mikrodalga ve infrared kurutmaya kıyasla daha iyi olduğu rapor edilmiştir. Benzer şekilde Howard ve Dewi (1996) yüksek kurutma sıcaklıklarının havucun renk parlaklığını azalttığını ve daha koyu renkli ürünler elde edildiğini rapor etmişlerdir.

#### **3.1.2.4 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Havuçta $\beta$ -Karoten Değişimi**

Mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulan havuç örneklerinde yapılan  $\beta$ -karoten analizleri sonucunda Çizelge 3.10'daki değerler elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 45°C'de 3 saatlik sıcak hava ile kurutmanın ardından uygulanan 780W'da 400 saniyelik kurutma işlemi sonrası %82,81 oranında bir kayıp belirlenmiştir. 65°C'de 2 saatlik sıcak hava ile kurutmanın ardından uygulanan 780W'da 550 saniyelik işlem sonunda ise havuç örneklerindeki  $\beta$ -karoten kaybı %85,84 oranında belirlenmiştir.

Çizelge 3.10'dan da görüldüğü gibi sıcak hava ile kurutma yöntemiyle kurutma işleminde kurutma sıcaklığının artmasıyla  $\beta$ -karoten kaybının da arttığı belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutma işleminin kısa sürede gerçekleşmesine rağmen  $\beta$ -karoten kaybının en fazla olduğu yine Çizelge 3.10'da görülmektedir. Mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma yönteminin,  $\beta$ -karoten kaybı açısından sadece mikrodalga kurutma yöntemine göre daha uygun olduğu ifade edilebilir.

**Çizelge 3.10:** Sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş havuç örneklerindeki  $\beta$ -karoten değerleri

Koşul	Kuruma Süresi	$\beta$ -karoten* (mg/100 g KM)
Taze Halde	---	173,18±0,37 <sup>a</sup>
45°C	7h	36,18±0,40 <sup>b</sup>
780W	2000s	21,16±0,34 <sup>c</sup>
45°C + 780W	3h + 400s	29,77±0,27 <sup>d</sup>
Taze Halde	---	173,00±0,73 <sup>a</sup>
55°C	5.5h	30,65±0,78 <sup>e</sup>
780W	2000 s	21,16±0,34 <sup>c</sup>
55°C + 780W	2.5h + 600s	27,16±0.21 <sup>f</sup>
Taze Halde	---	173,27±1,34 <sup>a</sup>
65°C	4h	27,61±1,15 <sup>g</sup>
780W	2000 s	21,16±0,34 <sup>c</sup>
65°C + 780W	2h + 550s	24,52±0,44 <sup>h</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p<0,05$ ).

### 3.1.3 Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar

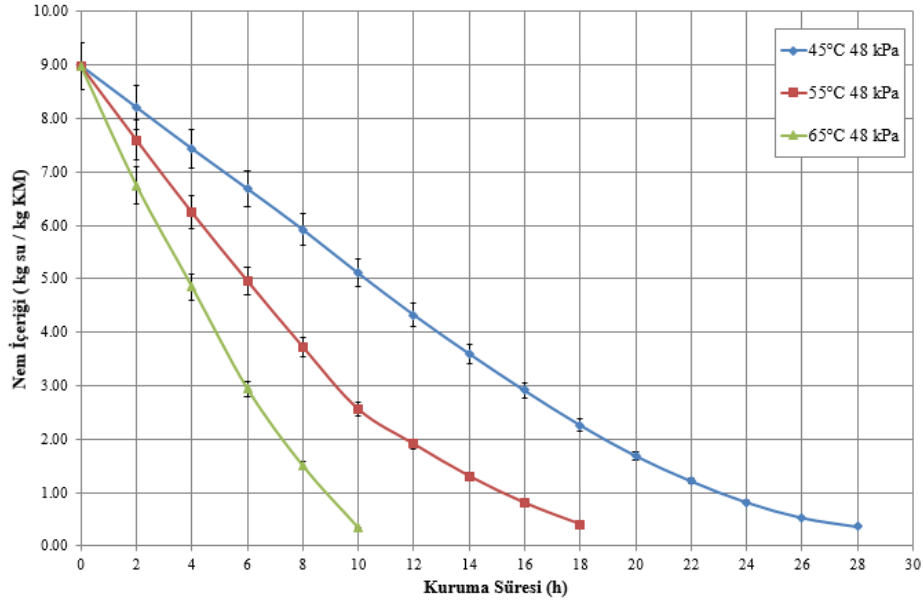
#### 3.1.3.1 Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Havucun Kuruması Üzerindeki Etkisi

Vakumlu kurutma yöntemi, daha düşük kurutma sıcaklığı ve oksijensiz ortamda kuruma gibi bazı karakteristik özelliklere sahip olup, daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlamaktadır (Jaya ve Dass 2003; Wu ve diğ. 2007; Şahin ve diğ. 2012). Meyve ve sebzelerin bu yöntemle kurutulması sırasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonları azalmakta ve vakum kurutucularda kurutulmuş meyve ve sebzelerin renk, tekstür ve gıda bileşenleri daha iyi korunabilmektedir (Erbay ve Küçüköner 2008).

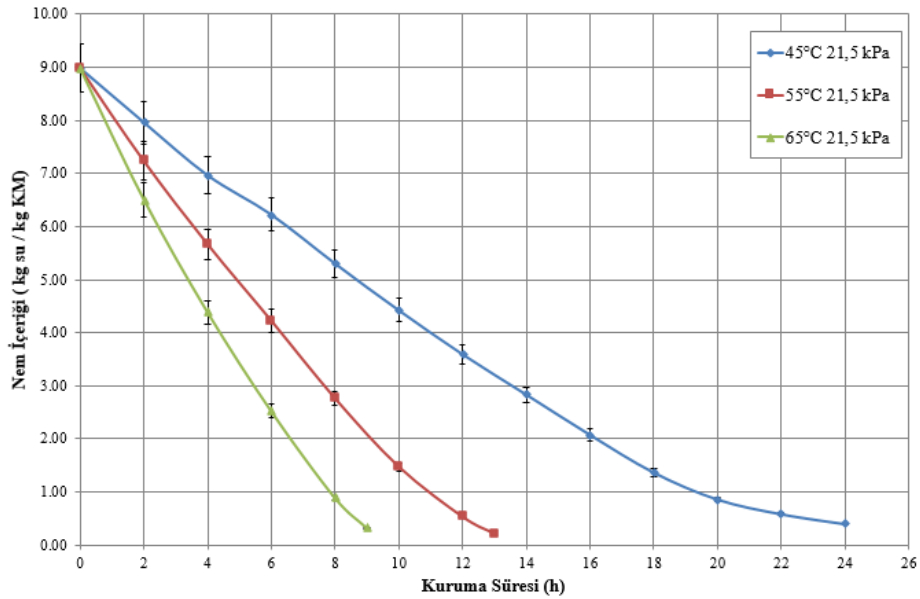
#### 3.1.3.2 Nem içeriği değişimi

Asıl denemelerde, kullanılan havuç örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriği  $M_0= 8,98$  kg su /kg kuru madde olarak bulunmuştur. Kurutma sıcaklıklarının ve ortam basıncının kuruma süreleri üzerine etkisi Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da görülmektedir. 45, 55 ve 65°C sıcaklıkta, 48 ve 21,5 kPa mutlak basınç altında yapılan havuç kurutma işlemleri karşılaştırıldığında 65°C'de ve 21,5 kPa mutlak basınç altında yapılan

kurutmanın daha kısa sürede gerçekleştiği görülmektedir. Ortam mutlak basıncının azalması ve kurutma sıcaklığının artmasıyla kuruma süresi belirgin bir şekilde kısalmaktadır.



**Şekil 3.15:** Farklı sıcaklıklarda ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



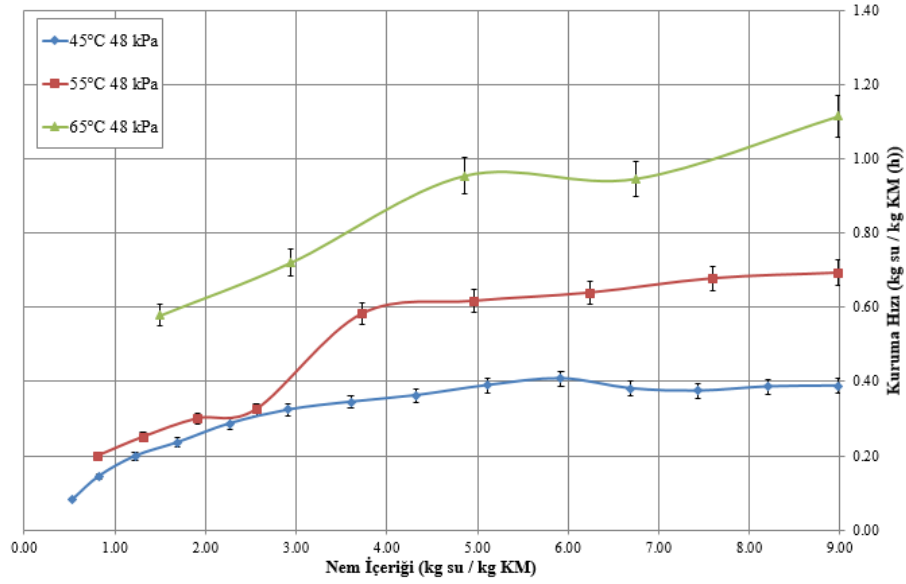
**Şekil 3.16:** Farklı sıcaklıklarda ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi

Havuç örneklerinin zamana bağlı nem içeriğindeki değişimler Ek C'de Çizelge C.1-C.6'da sırası ile verilmiştir. 21,5 kPa mutlak basınç altında yapılan kurutma işlemleri, beklenildiği gibi 48 kPa mutlak basınç altında yapılan uygulamalardan daha kısa sürmüştür. Nitekim, 65°C'de 21,5 kPa mutlak basınç altında havuç örneğinin nem

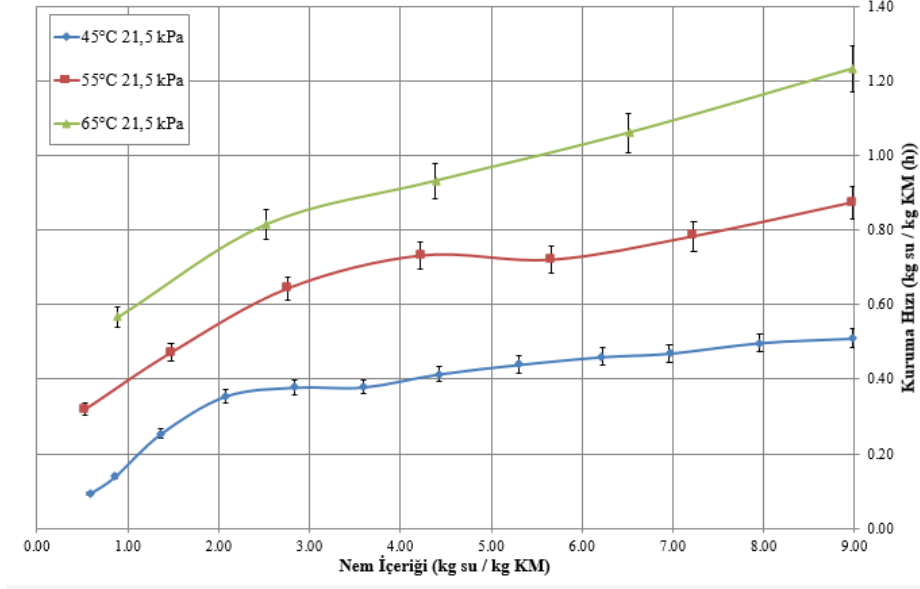
içeriğinin 8,98'den 0,32 kg su. kg kuru madde<sup>-1</sup> değerine düşmesi 9 saat sürerken, aynı sıcaklık derecesinde 48 kPa mutlak basınç altında bu işlem 10 saatte tamamlanmıştır.

### 3.1.3.3 Kuruma hızı değişimi

45, 55 ve 65°C sıcaklıkta, 48 ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerinin kuruma hızları, bu ortamlar için zamana bağlı olarak belirlenmiş olan nem oranlarının kullanımı ile Eşitlik 2.5'ten hesaplanmıştır. Her bir sıcaklık için elde edilen kuruma hız değerleri, örneğin nem içeriğine bağlı olarak Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.17: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi



**Şekil 3.18:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 incelendiğinde, havuç örneklerinin kurutulması sırasında tüm sıcaklık derecelerinde yapılan kurutma işlemlerinde; sabit hızda kuruma ve azalan hızda kuruma periyotları görülmektedir. Kurutma işleminde ortam sıcaklığı arttıkça ve ortam mutlak basıncı düştükçe kuruma hızının daha yüksek gerçekleştiği yine şekillerin incelenmesinden görülebilecektir.

### 3.1.3.4 Kuruma kinetiğine ait modelleme çalışmaları

Kurutulmakta olan havuç örneklerinden her iki saatte bir belirli bir miktar havuç örneği alınarak tartımı yapılmış ve ağırlık değişimi incelenmiştir. Bu işlem son ürün su aktivite değeri 0,4 oluncaya kadar devam etmiştir. Bu su aktivite değerindeki nem içeriğinin yaklaşık %10-12 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu ağırlık değişimi verileri, Eşitlik 2.6'da kullanılmış ve nem oranı değerleri hesaplanmıştır. Kurutma kinetiği ile ilgili modellemelerde nem oranı (MR) değerleri kullanılmıştır.

Nem oranı değerlerinin zamana karşı grafiği çizilerek beş farklı matematiksel modele ait istatistik parametreler hesaplanmış ve deneysel verilere uyum gösteren en iyi matematiksel model belirlenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistik veriler Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'de sunulmuştur. Korelasyon katsayısı olan  $R^2$  en uygun

matematiksel modelin belirlenmesinde önemli olan istatistiki değerdir. Ayrıca her bir model için hesaplanan  $\chi^2$  ve RMSE değerleri de en uygun matematiksel modelin belirlenmesini sağlamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda  $R^2$  değerinin en yüksek,  $\chi^2$  ve RMSE değerlerinin en düşük olduğu model en uygun matematiksel model olarak ifade edilmiştir.

Yapılan matematiksel modellemeler sonucunda elde edilen verilere göre en yüksek  $R^2$  değeri ve en düşük  $\chi^2$  ve RMSE değerleri Page ve Modifiye Page modele ait olduğu belirlenmiştir. Kurutma işlemi boyunca deneysel olarak belirlenen nem oranı değerlerindeki azalmayı tüm kurutma sıcaklıklarında Page ve Modifiye Page modellerinin daha iyi temsil ettiği saptanmıştır (Şekil 3.19a – Şekil 3.19f).

**Çizelge 3.11:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler

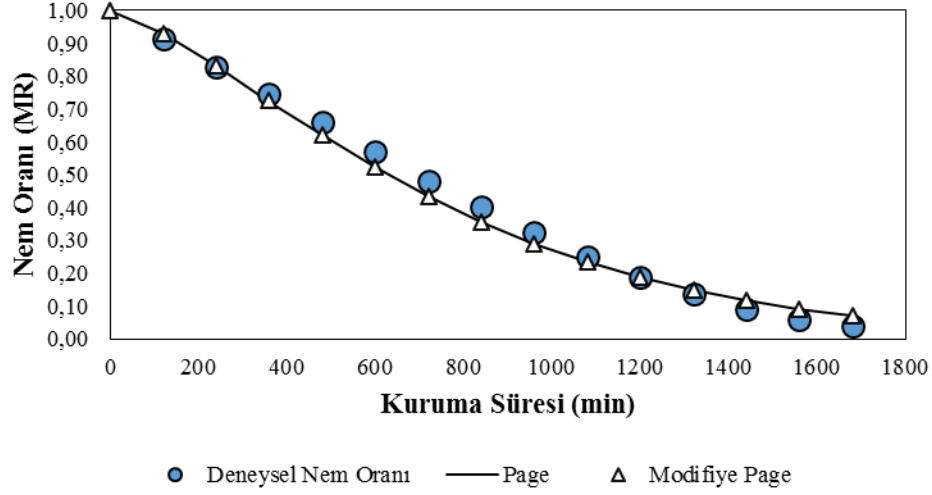
Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar		$\chi^2$	RMSE	$R^2$	
Lewis	45	$k = 0,0015$		0,075352	0,265196	0,9021	
	55	$k = 0,0024$		0,037889	0,162857	0,9428	
	65	$k = 0,0041$		0,041587	0,186161	0,8668	
Page	45	$k = 0,00010$	$n = 1,370$	0,001377	0,034547	0,9857	
	55	$k = 0,00024$	$n = 1,314$	0,000240	0,012965	0,9939	
	65	$k = 0,00028$	$n = 1,455$	0,000961	0,025311	0,9734	
Modifiye Page	45	$k = 0,00122$	$n = 1,370$	0,001300	0,033566	0,9857	
	55	$k = 0,00199$	$n = 1,314$	0,000264	0,013598	0,9939	
	65	$k = 0,00327$	$n = 1,455$	0,000930	0,024903	0,9734	
Henderson ve Pabis	45	$k = 0,0019$	$a = 1,453$	0,003204	0,052698	0,9413	
	55	$k = 0,0028$	$a = 1,301$	0,001857	0,036050	0,9643	
	65	$k = 0,0051$	$a = 1,420$	0,008742	0,076342	0,8984	
Logaritmik	45	$k = 0,0022$	$a = 1,560$	$c = 0,041$	0,022577	0,134393	0,8800
	55	$k = 0,0031$	$a = 1,273$	$c = 0,046$	0,004226	0,054391	0,9508
	65	$k = 0,0041$	$a = 1,120$	$c = 0,038$	0,006075	0,055114	0,9562

**Çizelge 3.12:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler

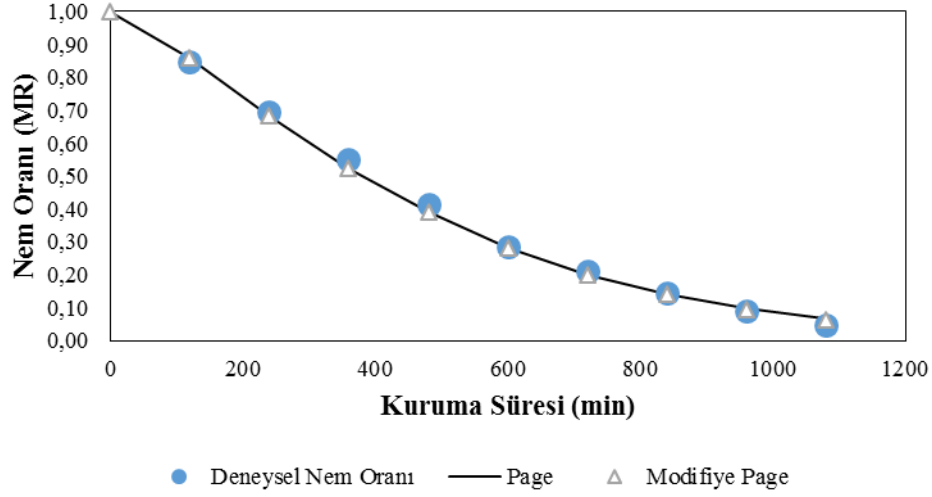
Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar			$\chi^2$	RMSE	$R^2$
Lewis	45	$k= 0,0018$			0,068071	0,250669	0,9095
	55	$k= 0,0037$			0,078440	0,261983	0,8506
	65	$k= 0,0049$			0,036637	0,174730	0,8783
Page	45	$k= 0,00015$	$n= 1,333$		0,001264	0,032700	0,9818
	55	$k= 0,00016$	$n= 1,480$		0,001838	0,037123	0,9670
	65	$k= 0,00020$	$n= 1,509$		0,000625	0,020412	0,9745
Modifiye Page	45	$k= 0,00144$	$n= 1,333$		0,001259	0,032644	0,9818
	55	$k= 0,00262$	$n= 1,480$		0,001873	0,037477	0,9670
	65	$k= 0,00364$	$n= 1,509$		0,000625	0,020412	0,9745
Henderson ve Pabis	45	$k= 0,0022$	$a= 1,421$		0,003128	0,051448	0,9444
	55	$k= 0,0044$	$a= 1,586$		0,021720	0,127633	0,8906
	65	$k= 0,0058$	$a= 1,428$		0,009312	0,078792	0,9067
Logaritmik	45	$k= 0,0026$	$a= 1,538$	$c= 0,044$	0,021077	0,127331	0,8814
	55	$k= 0,0042$	$a= 1,423$	$c= 0,024$	0,015015	0,096874	0,8821
	65	$k= 0,0054$	$a= 1,249$	$c= 0,036$	0,009747	0,069810	0,9127

Luampon ve diğ. (2013), havuç dilimlerini ısı pompalı vakumlu kurutucuda 50°C, 55°C ve 60°C’de kurutmuşlar ve Page modelin kendi çalışma koşullarına en uygun model olduğunu belirlemişlerdir. Zielinska ve Markawski (2010), yaptıkları çalışmada, havuçları küp şeklinde doğradıktan sonra akışkan yataklı kurutucuda dört farklı sıcaklıkta kurutmuşlardır. Uygulanan dört farklı matematiksel modelden en uygun olanının Çift terimli model olduğunu belirtmişlerdir. Doymaz (2004), havuçları küp şeklinde doğradıktan sonra sıcak havalı kurutucuda kurutmuştur. İncelemiş olduğu birçok teorik model içerisinde Page modelin daha uygun bir model olduğunu ifade etmiştir.

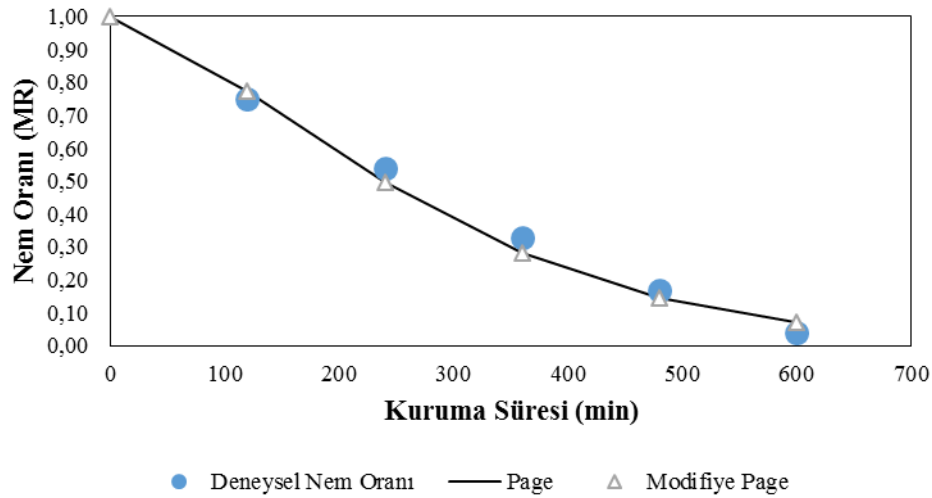




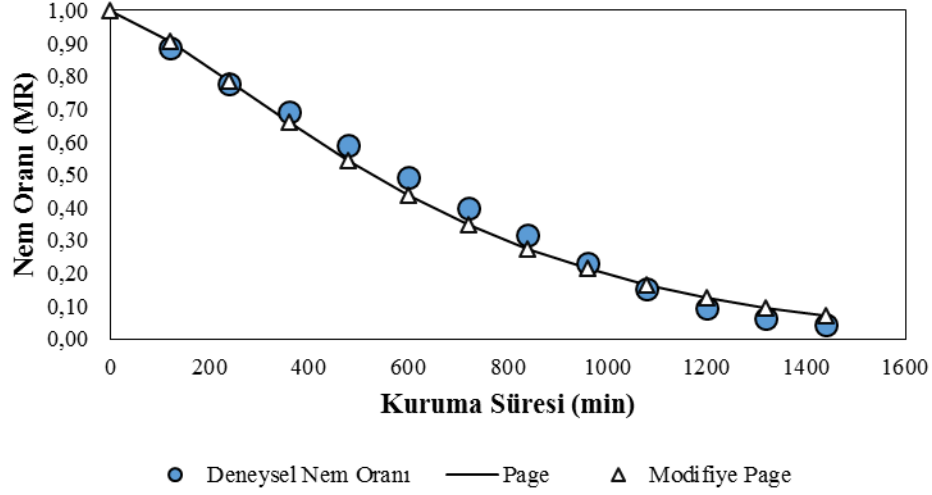
**Şekil 3.19a:** 48 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



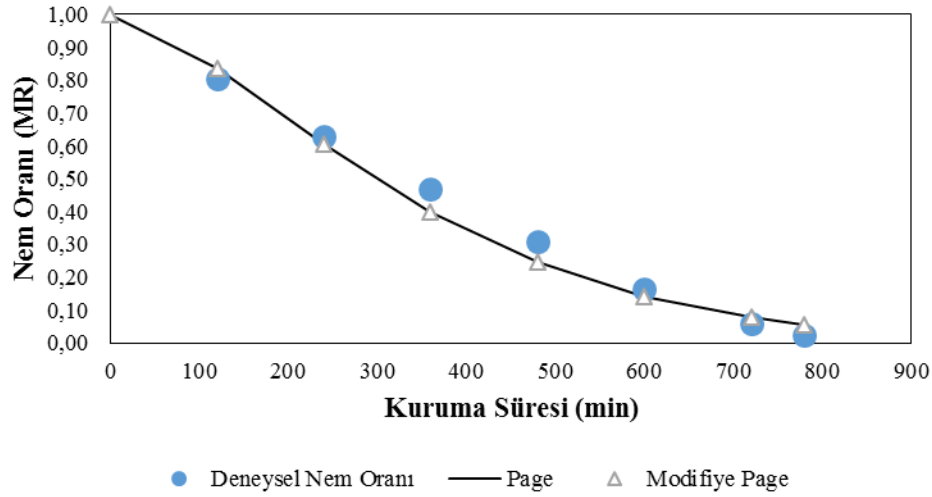
**Şekil 3.19b:** 48 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



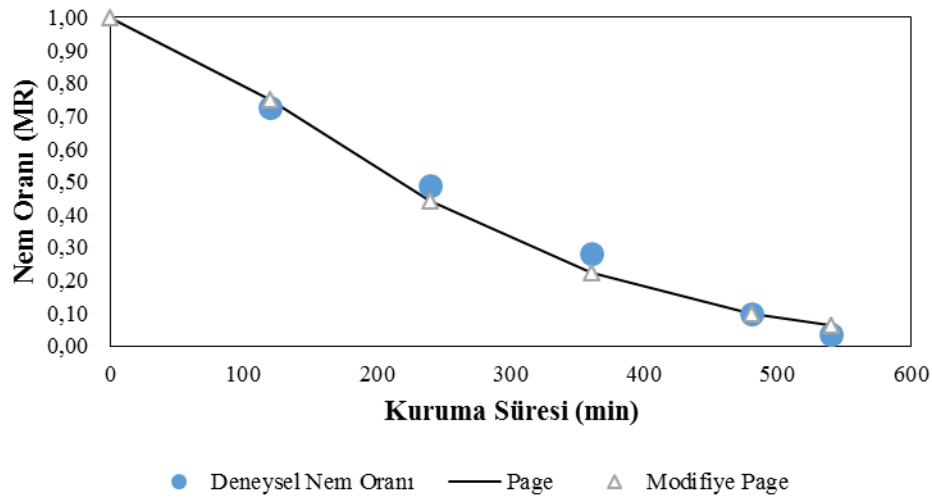
**Şekil 3.19c:** 48 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları Page ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



Şekil 3.19d: 21,5 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

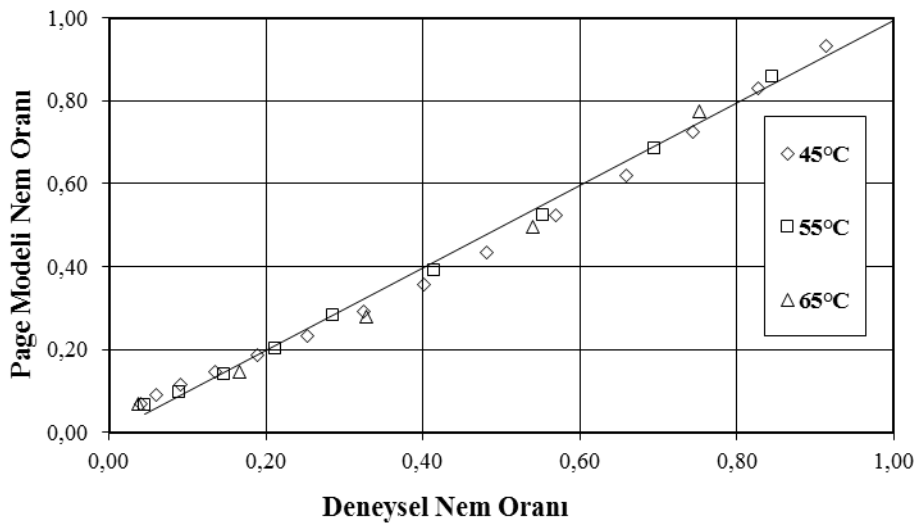


Şekil 3.19e: 21,5 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

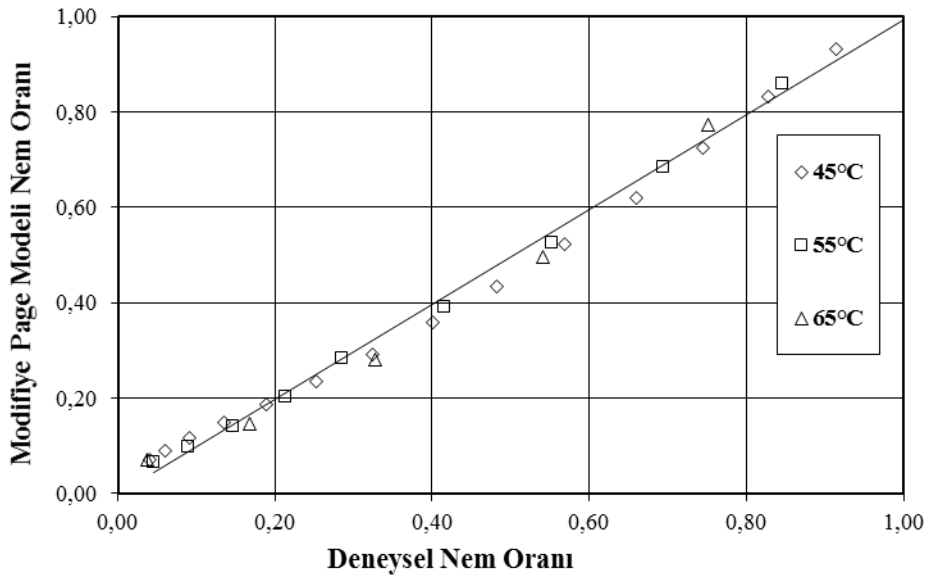


Şekil 3.19f: 21,5 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

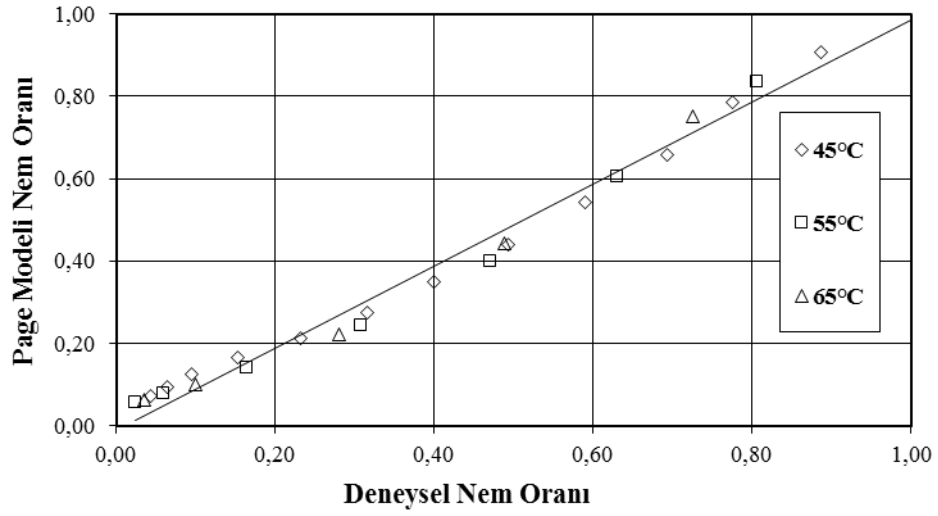
Yapılan çalışmada, vakum koşullarında farklı kurutma sıcaklıkları için nem oranlarının zamana bağlı olarak değişimini ortaya koyan deneysel sonuçları en iyi temsil edebilecek teorik modellerin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu ifade edilmişti. Şekil 3.20a ve Şekil 3.20b’de 48 kPa mutlak basınç altında üç farklı kurutma sıcaklığı için deneysel nem oranı değerleri ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranı değerlerinin uyumu gösterilmiştir. Şekil 3.20c ve Şekil 3.20d’de ise 21,5 kPa mutlak basınca ait deneysel ve teorik modellerin benzer bir karşılaştırılması yapılmıştır.



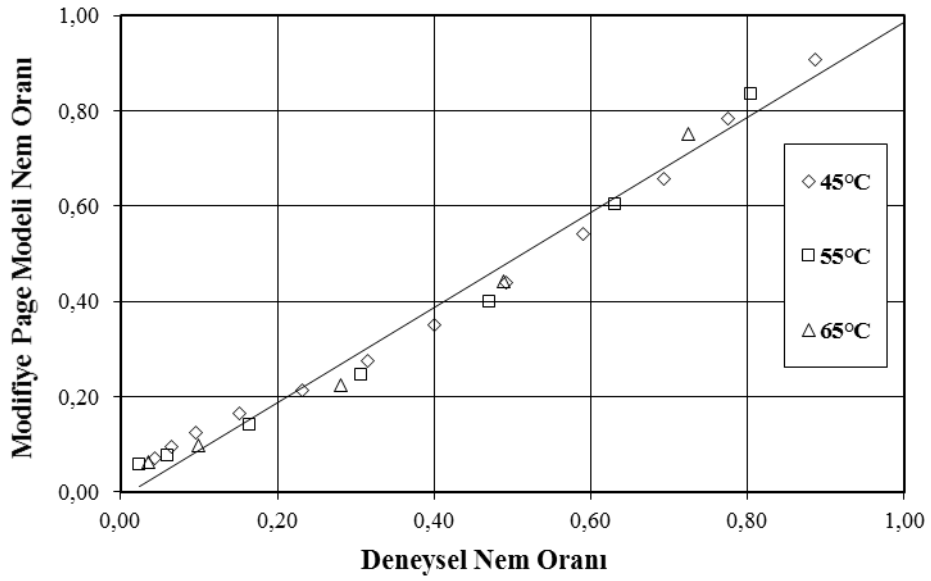
**Şekil 3.20a:** 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu



**Şekil 3.20b:** 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu



Şekil 3.20c: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu



Şekil 3.20d: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu

### 3.1.3.5 Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Havucun Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

İki farklı mutlak basınç değerinde ve üç farklı sıcaklıkta yapılan vakumlu kurutma işlemlerinde, sıcak hava ile kurutma işleminde olduğu gibi havuç örneklerinin

renk değerleri kuruma sırasında belli aralıklarla ölçülmüştür. Ölçülen Hunter *L*, *a* ve *b* değerleri ile  $\Delta E$ , kroma ve Hue açısı değerleri Çizelge 3.13’te verilmiştir.

**Çizelge 3.13:** Taze havuç ve vakum ile kurutulmuş havuç örneklerindeki renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*						
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	Kroma	Hue Açısı	
48 kPa	Taze Halde	40,41±0,46 <sup>a</sup>	26,58±0,84 <sup>a</sup>	21,69±0,93 <sup>a</sup>	0.00	34,31±0,47 <sup>a</sup>	39,22±0,24 <sup>a</sup>
	45°C	34,42±0,10 <sup>b</sup>	21,34±0,07 <sup>b</sup>	18,39±0,14 <sup>b</sup>	8,19±0,18 <sup>a</sup>	28,57±0,25 <sup>b</sup>	41,67±0,17 <sup>b</sup>
	55°C	32,83±0,05 <sup>c</sup>	21,47±0,03 <sup>b</sup>	19,11±0,05 <sup>b</sup>	9,82±0,16 <sup>b</sup>	28,74±0,11 <sup>b</sup>	41,67±0,16 <sup>b</sup>
	65°C	30,31±0,21 <sup>d</sup>	21,69±0,08 <sup>b</sup>	17,61±0,18 <sup>b</sup>	10,57±0,30 <sup>d</sup>	27,94±0,26 <sup>c</sup>	39,07±0,08 <sup>a</sup>
21,5 kPa	Taze Halde	39,57±0,88 <sup>a</sup>	26,28±1,41 <sup>a</sup>	21,41±0,65 <sup>a</sup>	0.00	33,90±1,48 <sup>a</sup>	39,19±0,76 <sup>a</sup>
	45°C	35,20±0,12 <sup>b</sup>	21,96±0,13 <sup>b</sup>	19,36±0,13 <sup>b</sup>	7,26±0,24 <sup>c</sup>	29,28±0,22 <sup>b</sup>	41,40±0,26 <sup>b</sup>
	55°C	33,53±0,42 <sup>c</sup>	21,24±0,88 <sup>b</sup>	18,79±0,33 <sup>b</sup>	9,88±0,32 <sup>b</sup>	28,36±0,29 <sup>e</sup>	41,50±0,18 <sup>b</sup>
	65°C	29,89±0,20 <sup>d</sup>	20,29±0,11 <sup>c</sup>	16,49±0,54 <sup>c</sup>	10,88±0,27 <sup>d</sup>	26,15±0,34 <sup>d</sup>	39,10±0,38 <sup>a</sup>

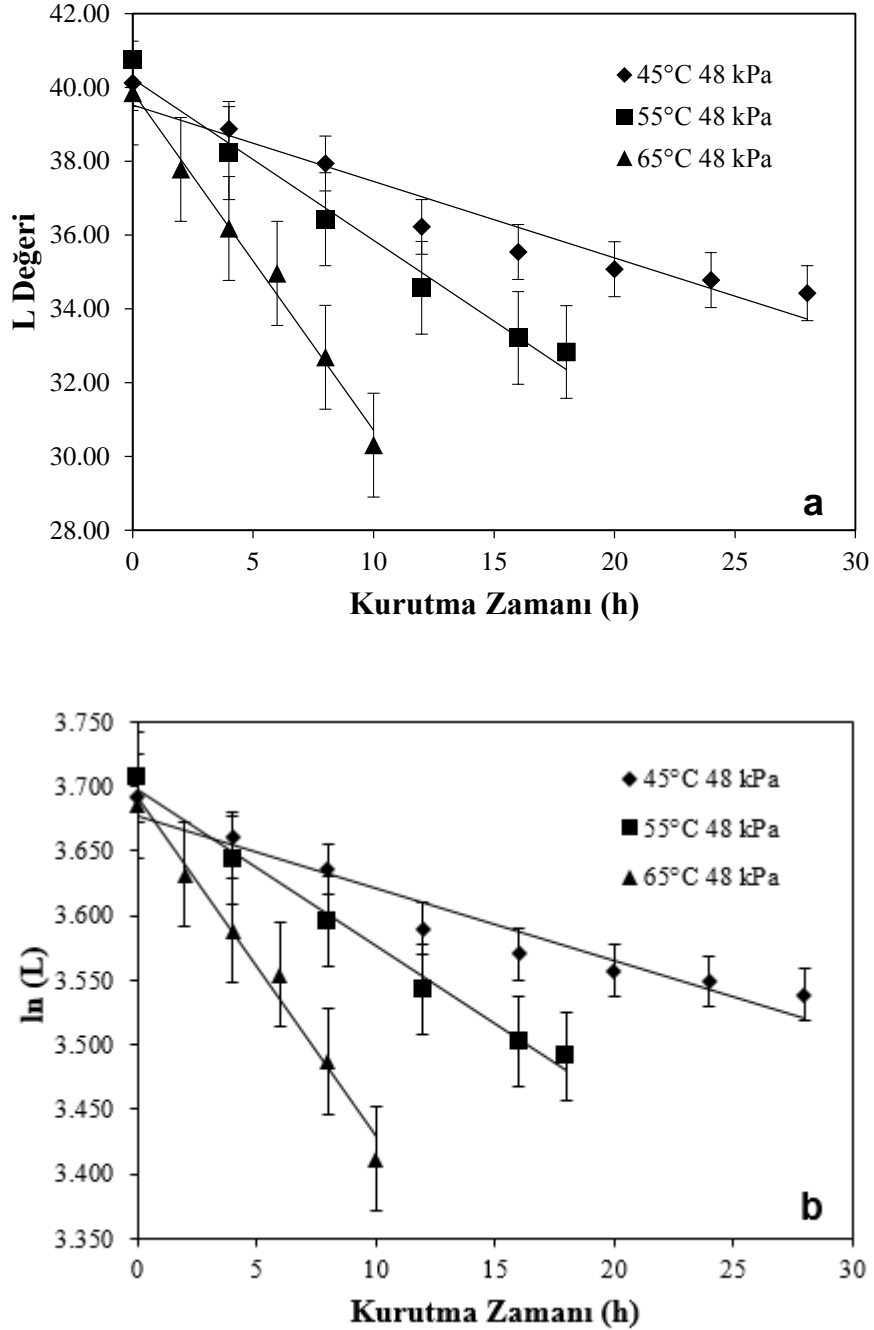
\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p<0,05$ ).

### 3.1.3.5.1 “*L* Değeri” Değişimi

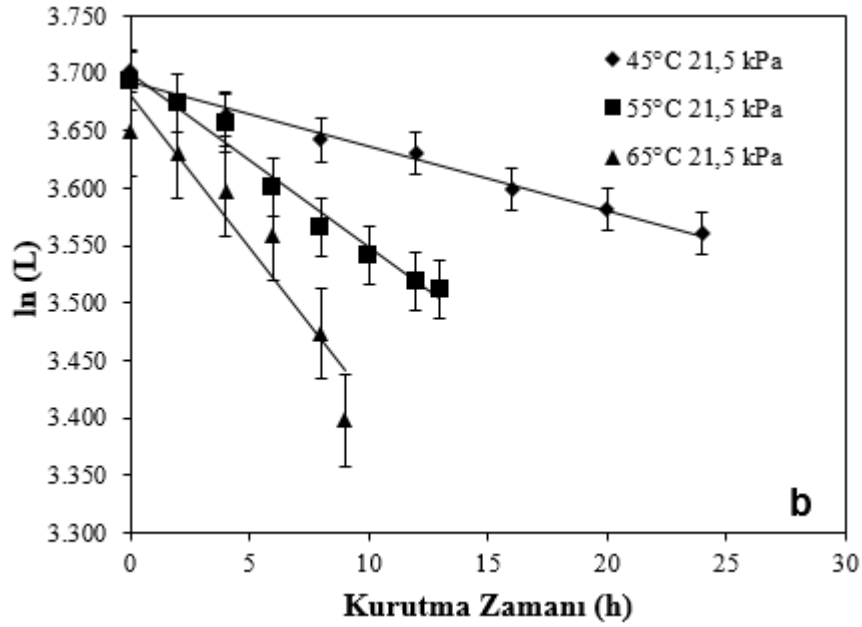
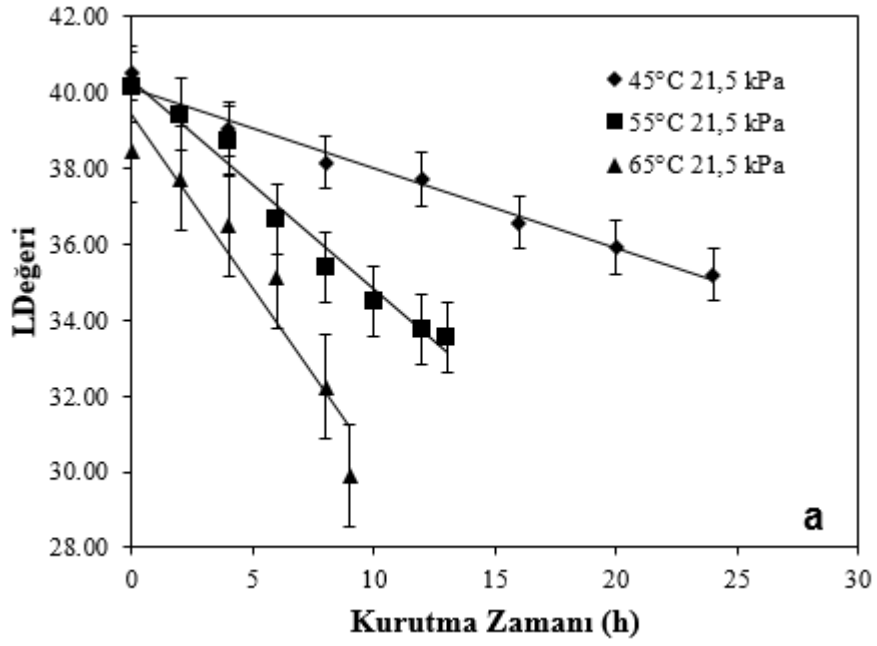
48 ve 21,5 kPa mutlak basınç altında ve üç farklı ortam sıcaklığında kurutulan havuç örneklerinin *L* değerleri Çizelge 3.13’te verilmiştir. Taze haldeki havuçların, *L* değeri ortalama 40,41 olarak ölçüldükten sonra 48 kPa mutlak basınç altında ve 45°C, 55°C ve 65°C’de kurutulmuştur. Kurutma işlemi boyunca ve sonunda *L* değeri ölçülmüş ve sırasıyla 34,42, 32,83 ve 30,31 olarak belirlenmiştir. Bu durum, *L* değerlerindeki kaybın sıcaklıkla birlikte arttığının göstergesidir. Benzer durum, 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerinde de gözlemlenmiştir.

Yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda, her iki vakum ortamında kurutulan havuç örneklerinin ölçülen *L* değerlerinin taze havucun *L* değerlerinden farklı olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Fakat 45°C’de hem 48 kPa hem de 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerinin *L* değerleri arasındaki fark önemsiz olduğu bulunmuştur ( $p>0,05$ ). Benzer durum 55°C ve 65°C’de yapılan kurutmalar için de saptanmıştır. Krokida ve diğ. (2001), 10 mm kalınlığında enine dilimlenmiş havuç örneklerini 70±0,2°C’de ve 33 mbar basınçta kurutmuşlardır. Kuruma işlemi başında ve sonunda dilimlenmiş havuç örneklerinin Hunter *L*, *a* ve *b* değerleri saptanmıştır. Taze havuç dilimlerinde *L* değeri 49,8 olarak belirlenmişken, kurutulmuş havuç dilimlerinin *L* değeri 42,9 olarak ölçülmüştür. Bu durum vakum ile kurutma işleminde havuç dilimlerinin bir miktar karardığının göstergesidir.

48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç altında üç farklı sıcaklıkta kurutulan havuçların ölçülen renk parametrelerine ait kinetik veriler sırasıyla Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15'te gösterilmiştir. Diğer taraftan vakum koşullarında kurutulan havuç dilimlerinin  $L$  değerindeki değişime ait kinetik modelin belirlenmesi için Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'deki grafikler çizilmiştir.



**Şekil 3.21:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait  $L$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



**Şekil 3.22:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait  $L$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 incelendiğinde her iki vakum ortamında kurutulan havuç örneklerinin  $L$  değerlerinin değişim kinetiğinin hem sıfırıncı dereceden hem de birinci dereceden reaksiyon modeline uyduğu görülebilecektir. Benzer sonuçlar Maskan (2001) tarafından kivi örneklerini sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutma çalışmasında elde edilmiştir. Araştırmacı, kuruma esnasında kivi örneklerinin,  $L$ ,  $a$  ve  $b$  renk değerlerin ölçmüş ve bu değerlerin değişiminin hangi kinetik modele uyduğunu belirlemeye çalışmıştır. Sonuç olarak  $L$  ve  $b$  değerlerinin

değişiminin hem sıfırcı dereceden hem de birinci dereceden kinetik modele uyduğunu saptamıştır.  $a$  değerinin değişiminin ise birinci dereceden kinetik modele uyduğunu ifade etmiştir.

Her iki vakum ortamında kurutulan havuç örneklerinin  $L$  değerlerine ait reaksiyon hız sabitleri ( $k$ ) Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15 incelendiğinde birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuç  $L$  değerinin, ortam basıncına çok fazla bağlı olmadığını göstergesidir.

### 3.1.3.5.1 “ $a$ Değeri” Değişimi

Çizelge 3.13 incelendiğinde, 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C, 55°C ve 65°C’de kurutulan havuç örneklerinin  $a$  değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı görülebilecektir ( $p>0,05$ ). 21,5 kPa mutlak basınç altında 45°C ve 55°C’de kurutulan örneklerin  $a$  değerleri arasında fark belirlenmezken, 65°C’de kurutulan havuç örneklerinin  $a$  değerlerinin diğer iki kurutma sıcaklığında kurutulanlara göre farklı olduğu saptanmıştır ( $p<0,05$ ). Her iki vakum ortamında 45°C ve 55°C’de kurutulan havuç örneklerinin  $a$  değerlerinde ise istatistiki açıdan belirgin bir farkın olmadığı belirlenmiştir ( $p>0,05$ ).

48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamında üç farklı sıcaklıkta kurutulan havuç örneklerinin  $a$  değerlerine ait kinetik veriler de Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15’te verilmiştir.  $L$  değerinde olduğu gibi  $a$  değerinin de vakum kurutma sürecinde değişiminin hem sıfırcı hem de birinci dereceden kinetik modele uygun gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).

Benzer sonuç Krokida ve diğ. (2001) tarafından ortaya konulmuştur. Nitekim araştırmacılar havuç dilimlerinin vakumlu kurutucuda kurutulması sırasında ölçülen renk değerlerinden  $a$  değerinin değişiminin birinci dereceden kinetik modele uyduğunu ifade etmiştir.

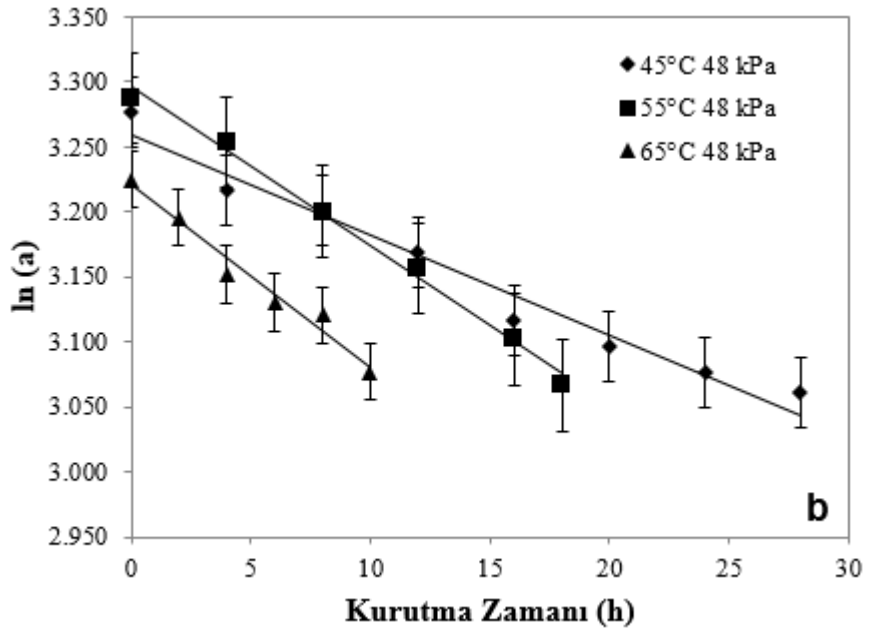
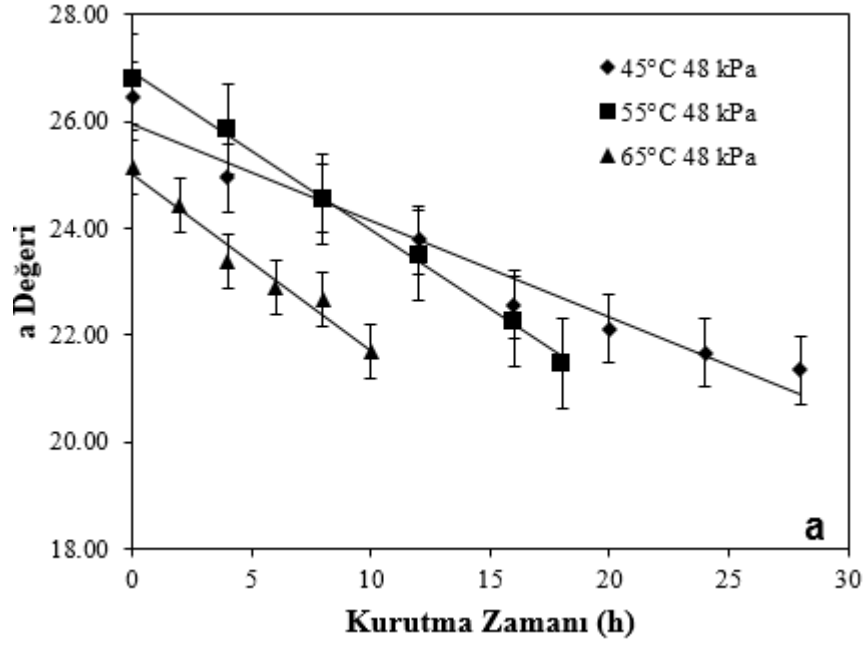


**Çizelge 3.14:** 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler

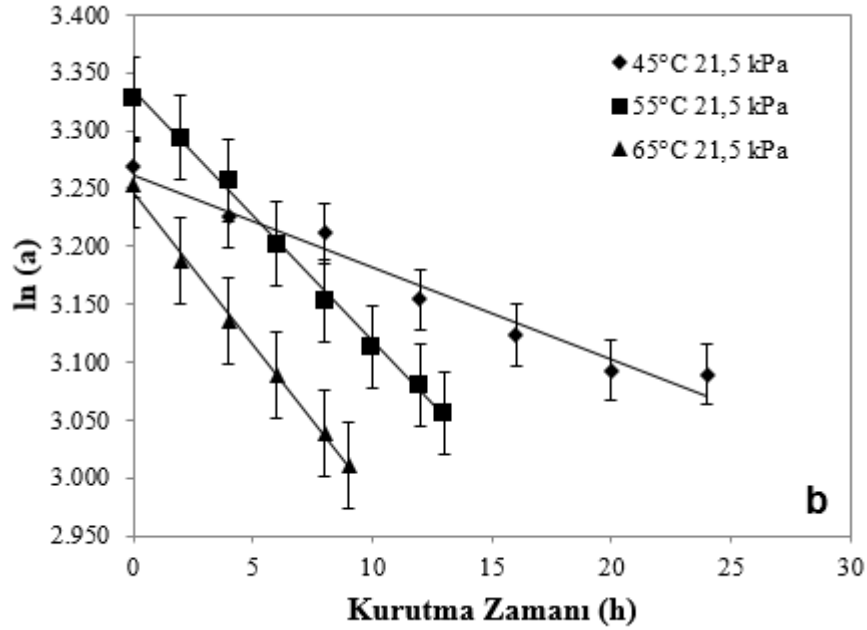
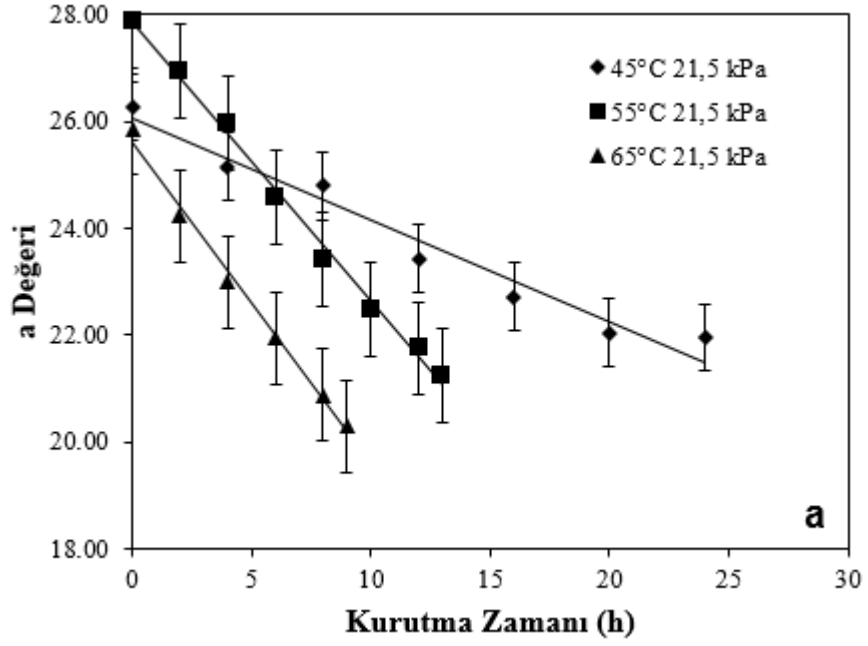
Renk Parametreleri	Sıcaklık (°C)	Sıfırıncı Dereceden Reaksiyon Modeli				Birinci Dereceden Reaksiyon Modeli			
		$k_0$	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$k_1$ (h <sup>-1</sup> )	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
<i>L</i>	45	0,2073	0,9309	2,11	66,48	0,0056	0,9381	2,14	68,98
	55	0,4378	0,9829			0,0120	0,9894		
	65	0,9170	0,9900	2,09		0,0262	0,9828	2,18	
<i>a</i>	45	0,1813	0,9627	1,63	26,81	0,0077	0,9706	1,60	27,20
	55	0,2951	0,9968			0,0123	0,9934		
	65	0,3290	0,9712	1,11		0,0141	0,9733	1,15	
<i>b</i>	45	0,0499	0,9404	2,82	81,50	0,0026	0,9406	2,69	81,86
	55	0,1409	0,9879			0,0070	0,9870		
	65	0,3081	0,9943	2,19		0,0162	0,9958	2,31	
$\Delta E$	45	0,2830	0,9319	1,70	57,29	0,0468	0,8884	1,92	61,66
	55	0,4813	0,9869			0,0898	0,9498		
	65	1,0217	0,9944	2,12		0,1860	0,9681	2,07	
<i>Kroma</i>	45	0,1926	0,9146	1,64	37,98	0,0062	0,9279	1,63	39,25
	55	0,3166	0,9978			0,0101	0,9958		
	65	0,4497	0,9880	1,42		0,0149	0,9902	1,48	

**Çizelge 3.15:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler

Renk Parametreleri	Sıcaklık (°C)	Sıfırıncı Dereceden Reaksiyon Modeli				Birinci Dereceden Reaksiyon Modeli			
		$k_0$	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$k_1$ (h <sup>-1</sup> )	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
<i>L</i>	45	0,2117	0,9829	2,61	65,60	0,0056	0,9866	2,70	69,86
	55	0,5527	0,9781	1,65		0,0151	0,9803	1,76	
	65	0,9141	0,9161	1,65		0,0266	0,8975	1,76	
<i>a</i>	45	0,1897	0,9640	2,76	52,03	0,0079	0,9679	2,72	54,13
	55	0,5235	0,9946	1,15		0,0215	0,9963	1,22	
	65	0,6021	0,9930	1,15		0,0263	0,9972	1,22	
<i>b</i>	45	0,0977	0,8808	2,38	46,51	0,0048	0,8893	2,42	49,42
	55	0,2329	0,9164	1,18		0,0116	0,9243	1,24	
	65	0,2745	0,9019	1,18		0,0144	0,8939	1,24	
$\Delta E$	45	0,2545	0,9894	3,08	71,40	0,0562	0,9618	2,91	66,68
	55	0,7839	0,9798	1,59		0,1635	0,8887	1,52	
	65	1,2483	0,9579	1,59		0,2481	0,9918	1,52	
<i>Kroma</i>	45	0,1983	0,9368	2,78	57,05	0,0063	0,9454	2,78	59,93
	55	0,5521	0,9844	1,28		0,0175	0,9894	1,37	
	65	0,7048	0,9869	1,28		0,0239	0,9793	1,37	



**Şekil 3.23:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait  $a$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



**Şekil 3.24:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç altında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde her bir sıcaklık derecesi için belirlenen  $R^2$  değerlerinin, her iki reaksiyon modeli için birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır. Örneğin 45°C'de 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulan havuç örneklerinin, sıfırncı dereceden reaksiyon modeli için belirlenen  $R^2$  değeri 0,9640 iken birinci dereceden model için 0,9679'dur. Bu durum, diğer sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemleri için geçerlidir. Ortaya konulan

sonuç, farklı sıcaklık ortamlarında  $a$  değerindeki değişimin hem sıfıncı hem de birinci dereceden kinetik model ile temsil edilebileceğini doğrulamaktadır.

### 3.1.3.5.2 “ $b$ Değeri” Değişimi

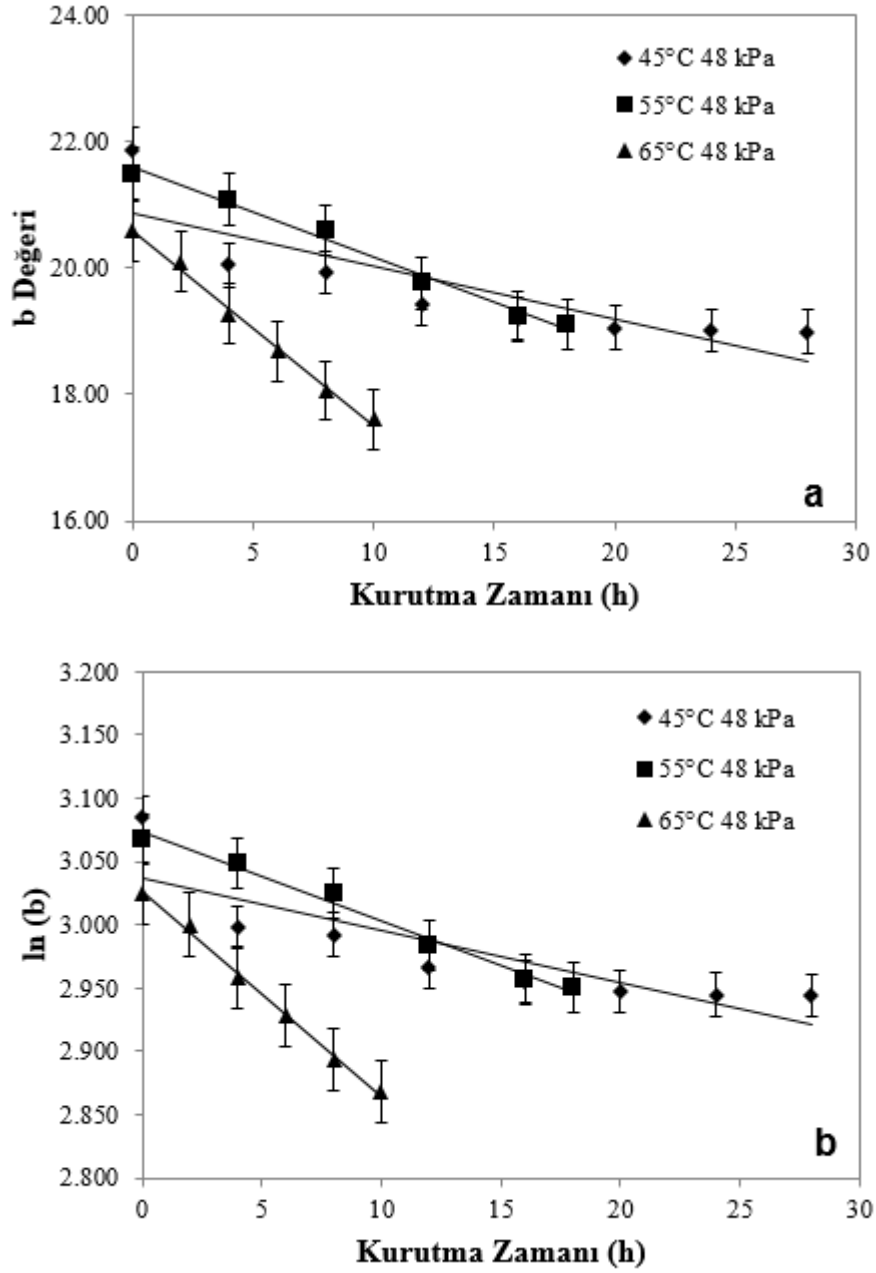
Taze havuç örneklerinin  $b$  değeri ortalama 21,55 olarak belirlenmiştir. Vakumlu kurutucuda 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamlarında üç farklı sıcaklıkta kurutulan havuç örneklerinin kurutma sonrası ölçülen  $b$  değerleri de Çizelge 3.13’te verilmiştir. 48 kPa mutlak basınç ortamında yapılan kurutma işlemlerinde, kurutma sıcaklığının artmasına rağmen ölçülen  $b$  değerlerinde istatistiki açıdan bir fark belirlenmemiştir ( $p>0,05$ ).

21,5 kPa mutlak basınç ortamında 65°C’de yapılan kurutma işleminde  $b$  değerinde taze ürüne göre daha fazla kayıp meydana gelmiştir. 45°C ve 55°C’de yapılan kurutma işlemi sonucu ölçülen  $b$  değerlerinde ise belirgin bir fark saptanmamıştır.

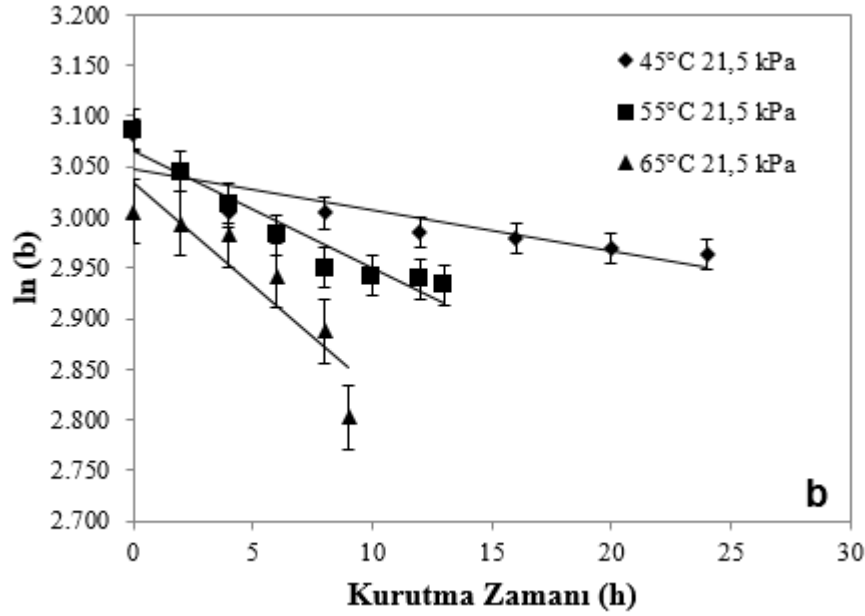
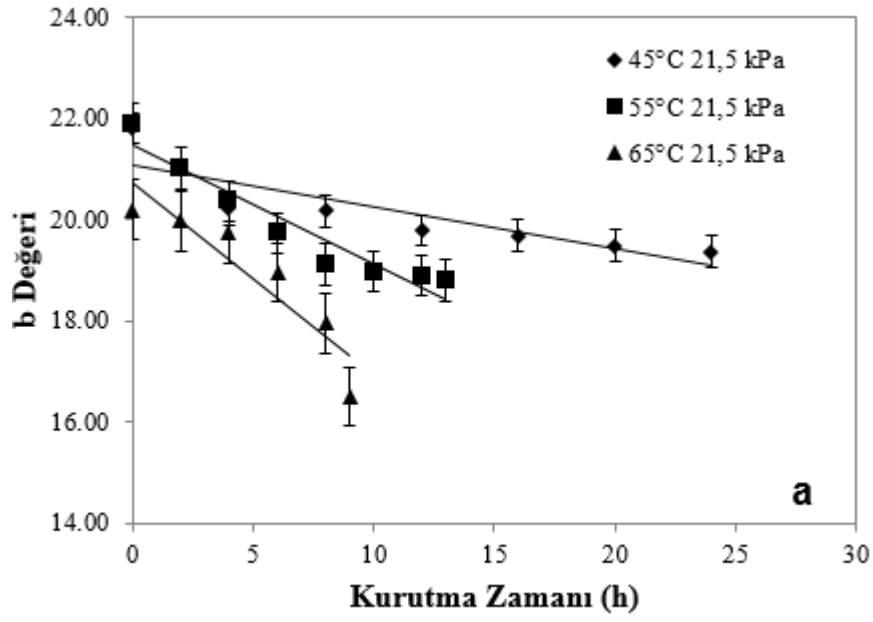
$L$  ve  $a$  değerlerinde olduğu gibi  $b$  değerinin değişimi de hem sıfıncı hem de birinci dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir. Modellerine ait grafikler Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’da verilmiştir.

Her bir sıcaklık derecesi için hesaplanan  $R^2$  değerleri birbirine çok yakındır. Örneğin, 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C’de kurutulan havuç dilimlerinin  $b$  değerlerine ait sıfıncı ve birinci dereceden kinetik modele ait  $R^2$  değerleri sırasıyla 0,9404 ve 0,9406’dır. Bu durumda her iki kinetik modelin de  $b$  değerindeki değişimi ifade ettiği söylenebilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında renk değerlerindeki değişimin hem sıfıncı dereceden hem de birinci dereceden kinetik modele uygun olduğunu belirten sonuçlara rastlanabilmektedir. Örneğin, Maskan (2001) kivi örneklerinin kurutulması esnasında ölçülen renk değerlerinden biri olan  $b$  değerinin değişiminin hem sıfıncı dereceden hem de birinci dereceden kinetik modele uyduğunu belirtmiştir. Renk parametrelerindeki değişimin sadece tek bir kinetik modelle ifade edildiği çalışmalar da yine literatürde bulunmaktadır. Örneğin, Krokida ve diğ. (2001) havuç dilimlerinin

vakum ile kurutulması sırasında  $b$  değerindeki değişimin birinci dereceden kinetik modele uyduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 3.25: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait  $b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



**Şekil 3.26:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait  $b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

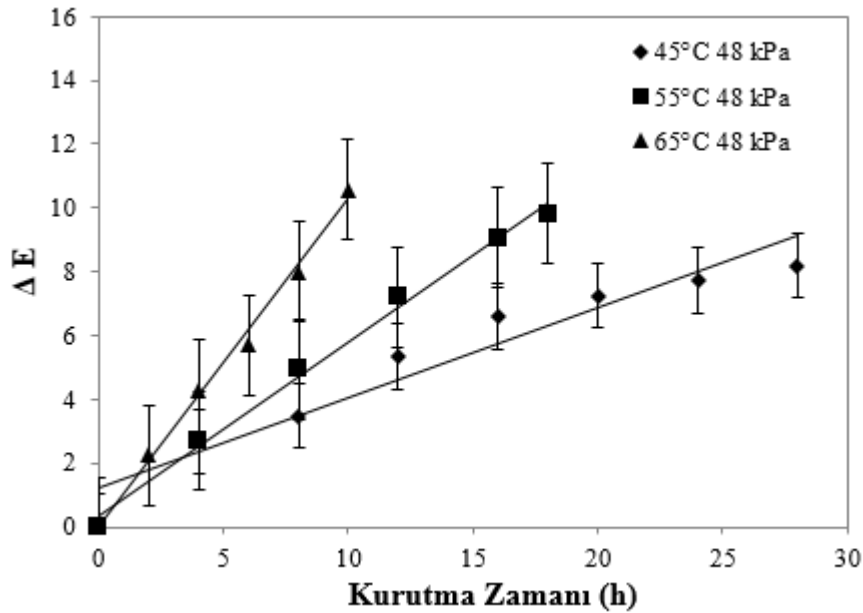
### 3.1.3.5.3 $\Delta E$ Değerinin Değişimi

Vakumlu kurutucu ile farklı sıcaklıklarda kurutulan havuç örneklerinin ölçülen  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri kullanılarak Eşitlik 2.1 yardımıyla toplam renk değişim değerleri ( $\Delta E$ ) hesaplanmıştır. Çizelge 3.13'te iki farklı vakum ortamında ve üç farklı sıcaklıkta kurutulan havuç örneklerine ait  $\Delta E$  değerleri gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde,

kurutma sıcaklığının artmasıyla  $\Delta E$  değerinde de artış olduğu görülmektedir. Bu durum kurutma işleminde sıcaklık artışıyla beraber renk kaybının da arttığının göstergesidir.

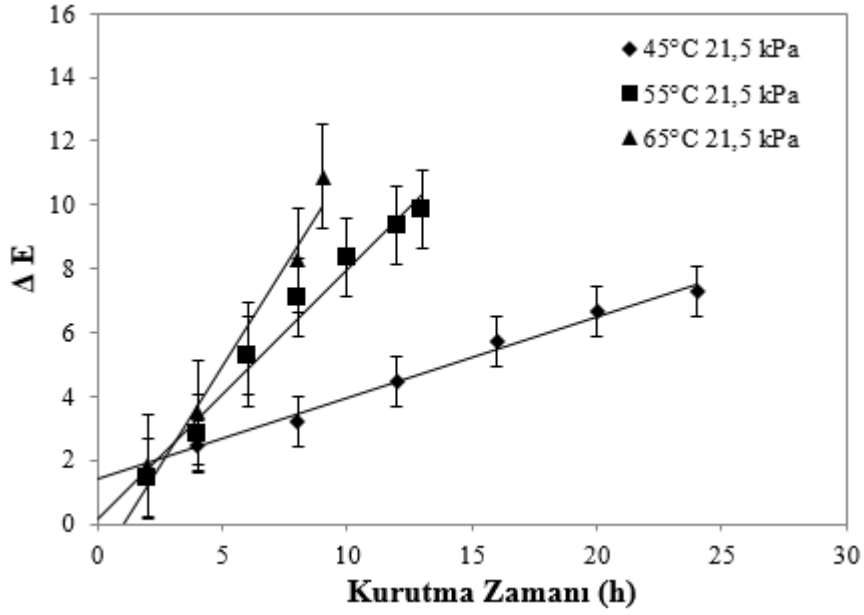
48 kPa mutlak basınç altında ve 45°C, 55°C ve 65°C’de kurutulan havuç örneklerine ait hesaplanan  $\Delta E$  değerlerinin istatistiki açıdan birbirinden farklı olduğu saptanmıştır ( $p<0,05$ ). Aynı durum 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulan havuç örneklerinin  $\Delta E$  değerlerinde de belirlenmiştir. Diğer taraftan 48 kPa mutlak basınç ortamında ve 55°C sıcaklıkta kurutulan havuç örneklerinin  $\Delta E$  değeri 9,82 olarak hesaplanmışken, 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 55°C’de kurutulanlarda da 9,88 olarak hesaplanmıştır. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda bu değerler arasında fark olmadığı ( $p>0,05$ ) belirlenmiştir. Benzer durum 65°C’de kurutulan örneklere ait sonuçlarda da gözlemlenmişken 45°C’de kurutulanlarda gözlemlenmemiştir.

48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait renk değerlerinin kinetik verileri Çizelge 3.14’te verilmiştir. Kurutma koşullarına bağlı olarak  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerlerindeki değişimin kinetiği hem sıfırıncı dereceden hem de birinci dereceden reaksiyon modeline uyduğu belirlenmiştir.  $\Delta E$  değerindeki değişimin ise sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Benzer durum 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulan havuç örnekleri için de belirlenmiştir (Çizelge 3.15).  $\Delta E$  değerlerinin sıfırıncı dereceden reaksiyon modeline uygunluğunu gösteren grafikler Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.27: 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait  $\Delta E$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluğu





**Şekil 3.28:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulmuş havuç örneklerine ait  $\Delta E$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırncı dereceden kinetik modele uygunluğu

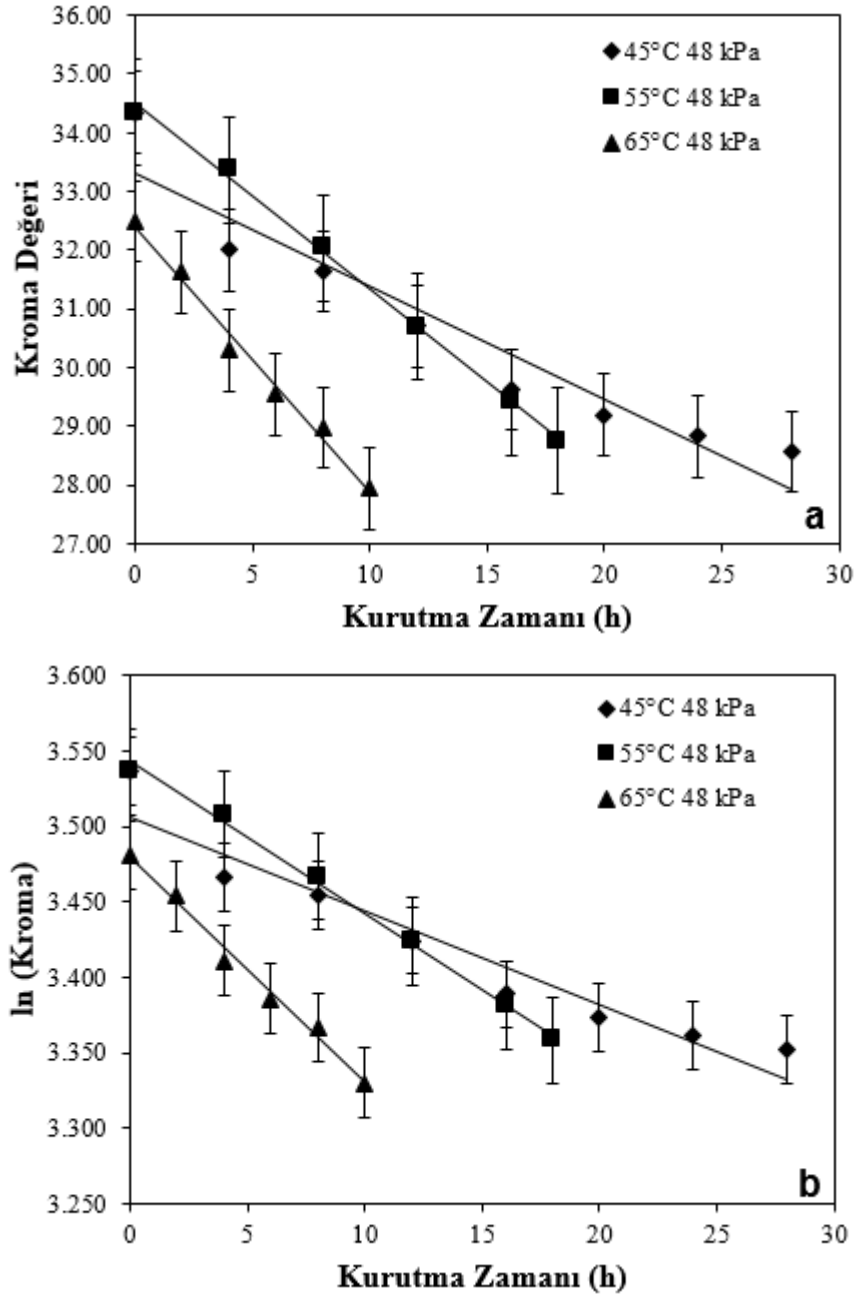
#### 3.1.3.5.4 Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi

Taze ve kurutulmuş havuç örneklerinin kroma değeri;  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerlerinin ölçülmesiyle Eşitlik 2.2 yardımıyla hesaplanmıştır. Ortalama 34,11 olarak bulunan kroma değeri kurutma işleminde sıcaklık derecesi arttıkça azalmıştır. Bu durum havuç örneklerinin renginin kuruma işlemiyle birlikte donuklaştığının göstergesidir. 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamında üç farklı sıcaklıkta kurutulmuş havuç örneklerine ait kroma değerleri Çizelge 3.13'te verilmiştir.

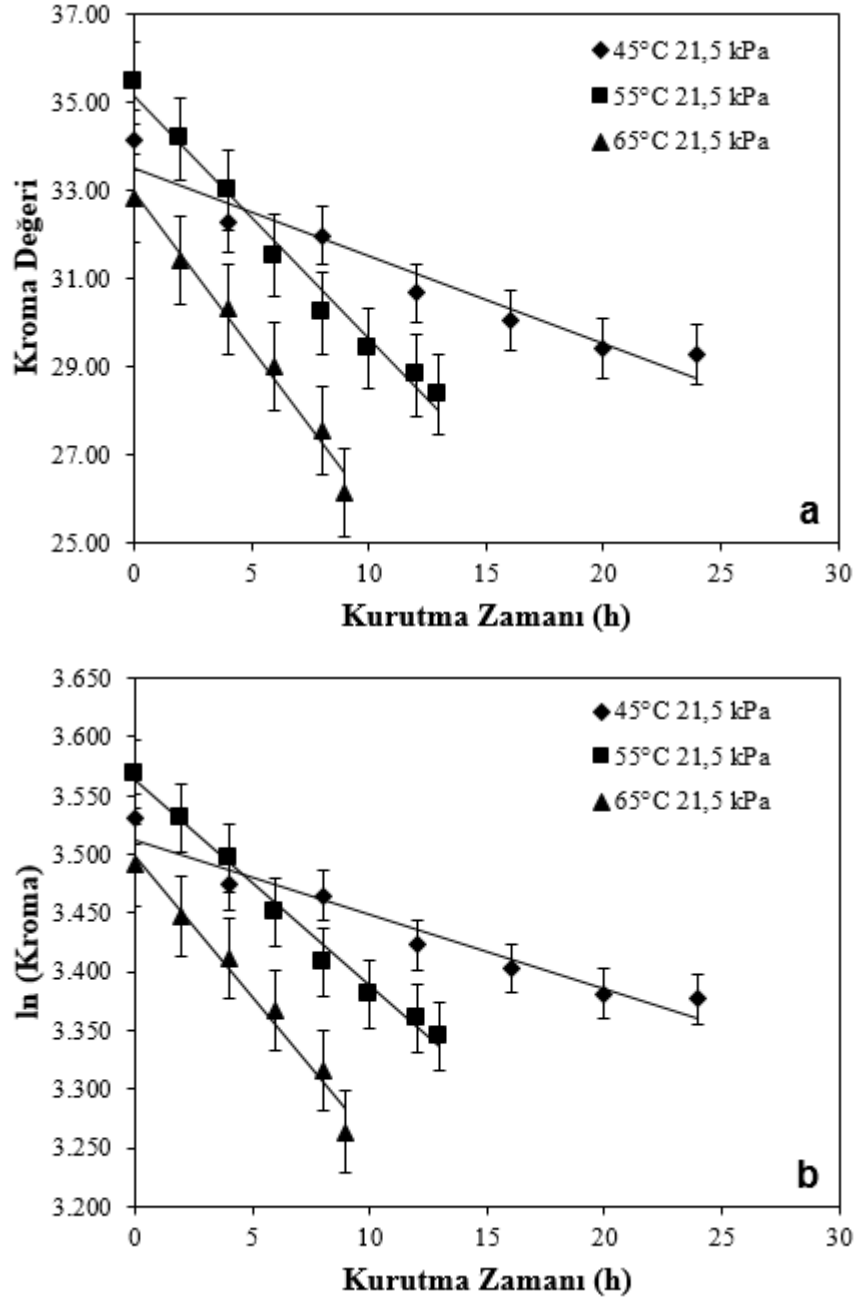
Çizelge 3.13 incelendiğinde, 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C ve 55°C'de kurutulmuş havuç örneklerinin kroma değerlerinde belirgin bir fark olmadığı ( $p>0,05$ ) belirlenmiştir. 21,5 kPa mutlak basınç altında üç farklı sıcaklıkta kurutulmuş havuç örneklerine ait kroma değerlerinin ise istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu ( $p<0,05$ ) ve kurutma sıcaklığı arttıkça kroma değerlerinin taze ürüne göre belirgin şekilde azaldığı saptanmıştır.

Kroma değerinin de diğer renk değerlerinde olduğu gibi değişim kinetiği belirlenmiştir. Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15'teki kroma değerine ait reaksiyon hız sabiti verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, değişimin hem sıfırncı hem de

birinci dereceden reaksiyon modeline uyduğu belirlenmiştir. Reaksiyon modellerine ait grafikler Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da verilmiştir.



**Şekil 3.29:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç rneklarine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



**Şekil 3.30:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan havuç örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

Ayrıca kurutma işlemleri sırasında, kurutulan havuç örneklerine ait ölçülen  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri kullanılacak Hue açısı değerleri de Eşitlik 2.3 yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.13'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi taze haldeki havuçların Hue açısı değeri ortalama 39,21 olarak belirlenmiştir. Bulunan bu değer, Şekil 2.13'te verilen Hue açısı renk dairesinde yerine konduğunda havuçların renginin sarı-turuncu arasında bir renge sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Kurutma sırasında Hue açısı değeri yani sarı-turuncu renk az da olsa değişmektedir. 48 kPa mutlak basınç altında 45°C ve 55°C’de kurutulan havuç örneklerinin Hue açısı değerleri arasında fark bulunmamıştır. Fakat taze havuç örneklerine göre bu değerlerin bir miktar yüksek olduğu görülmüştür. Hem 21,5 kPa hem de 48 kPa mutlak basınç altında 65°C’de kurutulan havuç örneklerinin Hue açısı değerleri istatistiksel olarak, 45°C ve 55°C’de kurutululardan farklı ( $p < 0,05$ ), taze ürünlerle aynı ( $p > 0,05$ ) bulunmuştur.

### 3.1.3.5.5 Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler

Sıcak hava ile havuç kurutma çalışmalarında olduğu gibi vakum altında yapılan kurutma çalışmalarında da  $Q_{10}$  ve aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) değerleri hesaplanmıştır. Kurutma işlemlerinde kullanılan ortam basıncına ve sıcaklık değerlerine göre elde edilen  $Q_{10}$  ve  $E_a$  kinetik parametreleri Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15’te verilmiştir.

Çizelge 3.14’te 48 kPa mutlak basınç ortamında ve 45, 55 ve 65°C’de yapılan kurutma sonucunda renk değerlerine ait  $E_a$  değerleri incelendiğinde, en yüksek değerin  $b$  renk parametresine ait olduğu görülmektedir. Bu durum  $b$  değerinin kurutma sıcaklığındaki değişimden daha fazla etkilendiğinin bir göstergesidir. Renk değerleri arasında, en düşük  $E_a$  değerine  $a$  değerinin sahip olduğu belirlenmiştir.

Sıfırıncı dereceden kinetik model dikkate alınarak Çizelge 3.15 incelendiğinde, en yüksek  $E_a$  değerine,  $\Delta E$  değerinin sahip olduğu görülmektedir.  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri arasında ise kurutma sıcaklığı değişimlerinden en fazla  $L$  değerinin, en az ise  $b$  değerinin etkilendiği belirlenmiştir.

48 kPa ve 21,5 kPa basınç için düzenlenmiş her iki çizelgedeki  $E_a$  değeri karşılaştırıldığında,  $L$  değeri üzerine ortam basıncının çok etkili olmadığı görülebilecektir. Bununla birlikte,  $b$  değerinde durum farklıdır. 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulan havuç örneklerinin  $E_a$  değeri 81,50-81,86 kJ/mol arasında iken, 21,5 kPa’da bu değer 46,51-49,42 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç vakumlu kurutma esnasında, uygulanan basıncın  $b$  değeri üzerine etkisinin önemli olduğunun bir

göstergesidir. Buna göre yüksek vakumlu ortamda kurutulan havuçların *b* değerlerinde kaybın daha az olduğu ve ürüne has sarı rengin daha iyi korunduğu söylenebilir.

48 kPa mutlak basınç ortamında üç farklı sıcaklıkta kurutulan havuç örneklerine ait  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde ise sıcaklığın 45°C'den 55°C'ye artmasının 55°C'den 65°C'ye artmasına göre renk değerlerinde daha fazla kayba neden olduğu görülecektir. Aynı durum 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulan havuç örneklerinde de belirlenmiştir.

### **3.1.3.6 Vakumlu Kurutucu ile Kurutulan Havuçlarda $\beta$ -Karoten Miktarındaki Değişimler**

Vakumlu kurutucuda yapılan kurutma işleminde en yüksek  $\beta$ -karoten değeri, 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 45°C'de kurutulan havuç örneklerinde belirlenmiştir. Ayrıca 21,5 kPa mutlak basınç ortamında yapılan kurutma işlemleri sonucunda elde edilen  $\beta$ -karoten değerlerinin, 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulanlara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu sonuç aynı kurutma sıcaklıklarında vakum miktarı arttıkça  $\beta$ -karotenin daha iyi korunduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 3.16 ve Çizelge 3.17). Bunun nedeni olarak kurutma ortamında ki havanın dolayısıyla oksijenin yüksek vakum koşullarında daha fazla uzaklaştırılmasıyla  $\beta$ -karoten oksidasyonunun daha az seviyelerde gerçekleşmesidir.

Yapılan çalışmada vakumun etkisinin yanında ortam sıcaklığının da  $\beta$ -karoten üzerine etkisinin olduğu görülmüştür. Nitekim her iki vakum ortamında da kurutma sıcaklık derecesi arttıkça  $\beta$ -karoten kaybı da artmıştır. Örneğin; 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C'de yapılan kurutma işlemi sonunda  $\beta$ -karoten miktarı  $37,64 \pm 0,33$  mg/100 g KM olarak belirlenmişken 65°C'de kurutulan havuç örneklerinde  $34,10 \pm 0,18$  mg/100 g KM olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.16:**Taze havuç ve 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerindeki  $\beta$ -karoten değerleri

	<b>Koşul</b>	<b>Kurutma Süresi (h)</b>	<b><math>\beta</math>-Karoten* (mg/100 g KM)</b>
48 kPa	Taze Halde	---	172,37 $\pm$ 1,45 <sup>a</sup>
	45°C	28	37,64 $\pm$ 0,33 <sup>b</sup>
	55°C	18	36,62 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>
	65°C	10	34,10 $\pm$ 0,18 <sup>c</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

**Çizelge 3.17:**Taze havuç ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş havuç örneklerindeki  $\beta$ -karoten değerleri

	<b>Koşul</b>	<b>Kurutma Süresi (h)</b>	<b><math>\beta</math>-Karoten* (mg/100 g KM)</b>
21,5 kPa	Taze Halde	---	172,58 $\pm$ 0,52 <sup>a</sup>
	45°C	24	42,31 $\pm$ 0,67 <sup>b</sup>
	55°C	13	38,69 $\pm$ 0,66 <sup>c</sup>
	65°C	9	35,90 $\pm$ 0,17 <sup>d</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

48 kPa ve 21,5 kPa vakum koşullarında farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma işlemleri sürecinde  $\beta$ -karoten içeriğindeki değişime ait kinetik hesaplamalar için iki saatte bir alınan örneklerde yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.18-3.23'de gösterilmektedir.

**Çizelge 3.18:** 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

<b>Örnek Alım Aralıkları (h)</b>	<b>KM (%)</b>	<b><math>\beta</math>-Karoten (mg/100 g KM)</b>	<b>Std Sapma</b>	<b>RSD</b>
0	10,02	173,37	2,50	1,44
4	11,86	125,06	0,42	0,34
8	14,45	98,91	1,96	1,98
12	18,77	89,86	0,80	0,89
16	25,56	74,47	0,40	0,53
20	37,15	61,54	1,10	1,79
24	54,84	45,93	1,07	2,32
28	73,08	37,64	0,33	0,89

**Çizelge 3.19:** 48 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

<b>Örnek Alım Aralıkları (h)</b>	<b>KM (%)</b>	<b><math>\beta</math>-Karoten (mg/100 g KM)</b>	<b>Std Sapma</b>	<b>RSD</b>
0	10,02	171,80	0,60	0,35
4	13,83	105,96	1,33	1,26
8	21,19	73,06	0,33	0,45
12	34,42	54,27	1,08	1,99
16	55,39	43,32	1,45	3,36
18	70,93	36,62	0,06	0,15

**Çizelge 3.20:** 48 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	$\beta$ -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	10,02	171,93	1,25	0,72
2	12,92	103,78	1,44	1,39
4	17,11	82,22	2,05	2,49
6	25,39	56,72	0,78	1,37
8	40,26	44,56	0,79	1,77
10	75,18	34,10	0,18	0,54

Farklı basınç ve sıcaklıklarda vakumlu kurutucu ile yapılan kurutma işlemleri sonunda havuç örneğindeki  $\beta$ -karotenin değişim kinetiğinin birinci dereceden kinetik modele uyduğu belirlenmiştir (Şekil 3.31 ve Şekil 3.32). Materyal ve Metod bölümünde değinildiği gibi  $\beta$ -karoten değişim reaksiyonlarına ait aktivasyon enerjileri ( $E_a$ ) Arrhenius eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Saptanan değerler Çizelge 3.24’te verilmiştir. Buna göre 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C - 65°C sıcaklıklarda kurutulan havuç örneklerindeki  $\beta$ -karotenin parçalanmasına ilişkin  $E_a$  değeri 48,81 kJ/mol;  $Q_{10}$  değerleri ise 45°C – 55°C arasında 1,52 ve 55°C – 65°C arasında 1,96 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.21:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	$\beta$ -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	10,02	171,89	0,85	0,50
4	12,53	133,74	0,39	0,29
8	15,84	104,66	1,13	1,08
12	21,74	86,46	0,82	0,95
16	32,47	71,25	0,43	0,61
20	53,78	56,97	0,89	1,57
24	71,86	42,31	0,67	1,58

**Çizelge 3.22:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	$\beta$ -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	10,02	173,27	0,50	0,29
4	15,03	116,53	0,49	0,42
8	26,69	80,01	0,95	1,18
12	65,62	57,36	1,41	2,45
13	82,58	38,69	0,66	1,70

**Çizelge 3.23:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde  $\beta$ -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	$\beta$ -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	10,02	172,57	0,22	0,13
2	13,33	113,88	1,24	1,09
4	18,59	95,79	0,20	0,21
6	28,45	68,09	0,26	0,39
8	53,01	49,84	0,84	1,69
9	75,71	35,90	0,17	0,48

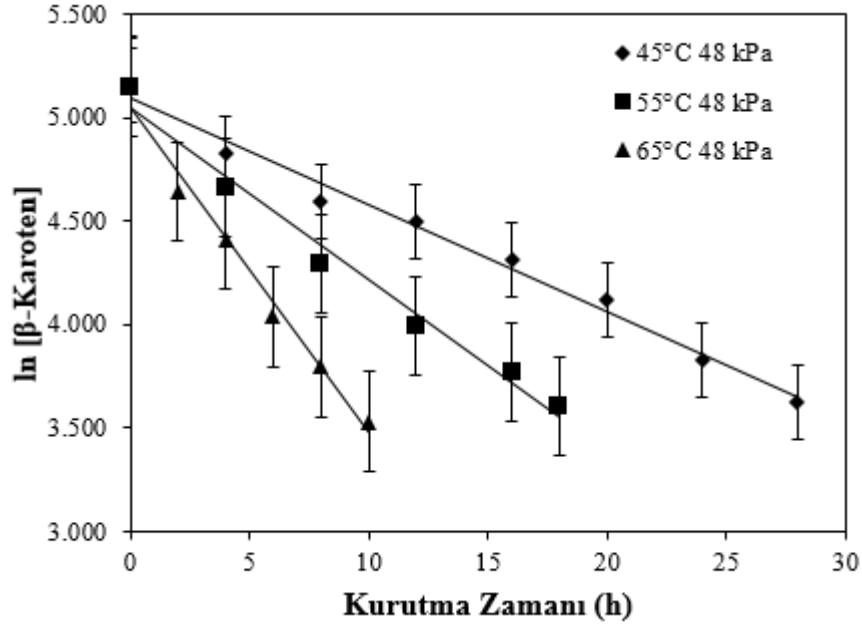
21,5 kPa mutlak basınç ortamında belirtilen kurutma sıcaklıklarında yapılan kurutma sonucunda  $\beta$ -karotenin parçalanmasına ilişkin  $E_a$  değeri 49,25 kJ/mol;  $Q_{10}$  değerleri de 45°C – 55°C arasında 1,63 ve 55°C – 65°C arasında 1,84 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.24:** Vakumlu kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan havuç örneklerinde  $\beta$ -karoten parçalanmasına ait kinetik parametreler

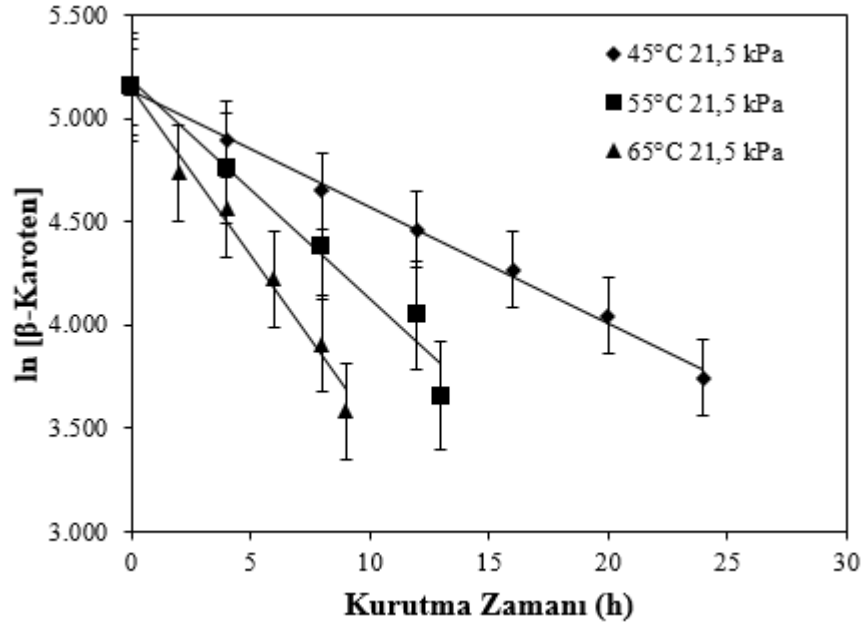
Kurutma Yöntemi	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi (n)	$Q_{10}$ Değeri	k ( $h^{-1}$ )	$t_{1/2}$ (h)	$E_a$ (kJmol <sup>-1</sup> )
Vakumlu Kurutma (48 kPa)	45	1		0,0544	12,74	
	55	1	1,52	0,0827	8,38	48,81
	65	1	1,96	0,1625	4,26	
Vakumlu Kurutma (21,5 kPa)	45	1		0,0560	12,38	
	55	1	1,63	0,0915	7,57	49,25
	65	1	1,84	0,1687	4,11	

Her iki mutlak basınç ortamında kurutulan havuç örneklerine ait  $\beta$ -karotenin parçalanmasını ifade eden aktivasyon enerjisi değerleri incelendiğinde, 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutma sonucu elde edilen aktivasyon enerjisi değeri (48,81 kJ/mol), 21,5 kPa mutlak basınç ortamındaki aktivasyon enerjisi değeri ile (49,25 kJ/mol) hemen hemen aynı olduğu saptanmıştır. Bu sonuç,  $\beta$ -karoten parçalanmasının reaksiyon sıcaklığından etkilenme seviyesi üzerine ortam basıncının bir etkisinin olmadığını göstergesi olarak değerlendirilebilir.





Şekil 3.31: 48 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş havuç örneklerindeki  $\beta$ -karoten içeriklerinin zamana göre değişimi



Şekil 3.32: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş havuç örneklerindeki  $\beta$ -karoten içeriklerinin zamana göre değişimi

Vakumlu kurutucada 3 farklı sıcaklık derecesinde kurutulan havuçların  $\beta$ -karoten içeriklerinde ki değişime ait belirlenmiş olan kinetik parametreler Çizelge 3.24'te verilmiştir. Çizelge 3.24'teki kinetik parametrelerden  $Q_{10}$  değerlerinin incelenmesiyle vakumlu ortamda kurutulmuş havuçların  $\beta$ -karoten içeriğinin azalmasında, sıcaklığın 45°C'den 55°C'ye artırılmasının etkisi, sıcaklığın 55°C'den

65°C'ye yükseltilmesinden daha az olduğu görülecektir. Her iki vakum ortamı için Q<sub>10</sub> değerlerinin sıcaklık aralığına göre değişiminin benzer olduğu saptanmıştır. Elde edilen Q<sub>10</sub> değerlerine göre, havuçların β-karoten içeriğinde gerçekleşen kayıpların, yüksek sıcaklıklarda daha da arttığı ifade edilebilir.

Kurutma sürecinde β-karotenin %50'sinin parçalanması için geçen süre (t<sub>1/2</sub>), 48 kPa mutlak basınçta 45°C'de 12,74 saat, 55°C'de 8,38 saat, 65°C'de 4,26 saat iken; 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 45°C'de 12,38 saat, 55°C'de 7,57 saat ve 65°C'de 4,11 saat olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.24). Sonuçlar, β-karoten yarı ömür süresi üzerine ortam sıcaklığının istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğunu bununla birlikte vakum seviyesinin belirgin bir etkisinin olmadığını ortaya koymaktadır.

### **3.1.4 Mikrodalga Destekli Vakum Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar**

#### **3.1.4.1 Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Havucun Kurutulması Üzerine Etkisi**

Vakumlu kurutma sırasında, yüksek enerjili su molekülleri büyük bir hızla maddenin yüzeyine difüzlenerak buharlaşmaktadırlar. Kuruma ortamındaki vakum, gıda maddesinin yüzeyindeki su buharı konsantrasyonunu ve merkezinde bulunan suyun kaynama noktasını düşürür. Önemli ölçüde yüksek kuruma hızı ile sonuçlanan bu durum, gıda maddesinin merkezi ile yüzeyi arasında vakum nedeniyle oluşan yüksek buhar basıncı farklılığından kaynaklanmaktadır. Böylece verilen bir kuruma hızı için ürün vakum altında, normal atmosferik basınçla karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıklarda kurutulabilmektedir. Bunun yanında oksijenin kuruma boyunca ortamda olmaması oksidasyon riskini de ortadan kaldırmaktadır (Çağdaş ve diğ. 2011). Fakat vakum kurutma yöntemiyle, gıda maddesinin yüzeyinden konveksiyonla bir ısı transferi gerçekleşmez. Suyun, gıdanın yüzeyinden evaporasyonu için vakumla birlikte mikrodalga veya radyasyon gibi uygulamalar yapılmalıdır. Ayrıca, vakumla kurutma yöntemi vakumun oldukça uzun süre

sağlanması gerektiğinden pahalı bir uygulamadır (Gunasekaran 1999; Xu ve diğ. 2004).

Çalışmada yukarıda belirtilen hususlar da ayrı dikkate alınarak, vakumlu kurutma yönteminin tek başına uygulanmasının yanında, mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemleri de yapılmıştır. Vakumlu kurutma yöntemiyle kurumanın zorlaşmaya başladığı andan itibaren kurutma işlemleri mikrodalga yöntemiyle devam ettirilmiştir. İstenilen son nem içeriği ve su aktivitesi değerine bu şekilde ulaşılmıştır.

### 3.1.4.2 Nem İçeriği Değişimi

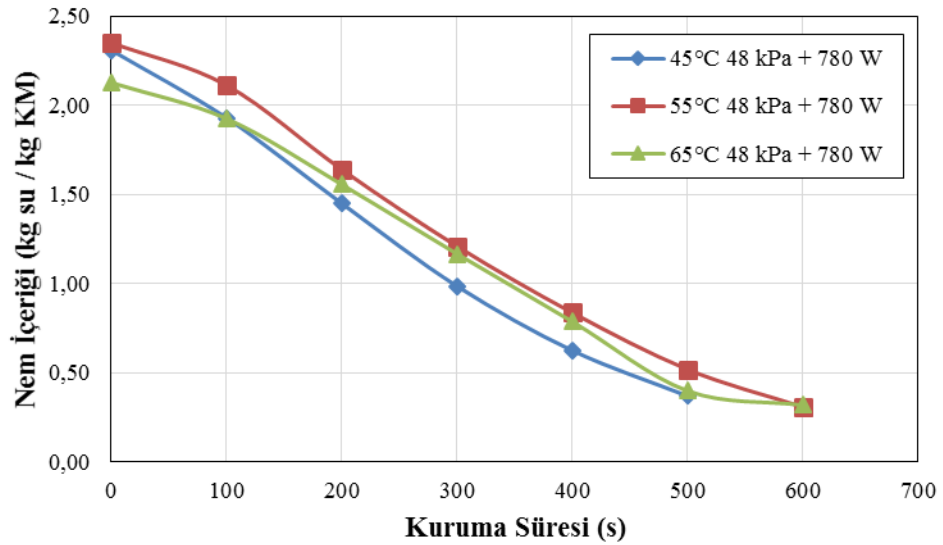
Üç farklı sıcaklıkta (45°C, 55°C ve 65°C) ve iki farklı mutlak basınç değerinde (48 kPa ve 21,5 kPa) kuruma işleminin zorlaştığı zamana kadar havuç örnekleri vakum kurutma yöntemiyle kurutulmuştur. Bu andan itibaren mikrodalga fırınına alınan havuç örnekleri, 780 W mikrodalga gücünde istenilen son nem içeriği ve su aktivitesi değerine kadar kurutulmuştur. Mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulan havuç örneklerine ait zamana bağlı nem içeriğindeki değişimler Ek D'de Çizelge D.1-D.6'da sırası ile verilmiştir.

Mikrodalga destekli sıcak hava ile havuç kurutma işlemlerinde uygulanan işlemler, mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemlerinde de uygulanmıştır. Havuçların nem oranı 0,20-0,25 arasındaki değerlere düşünceye kadar vakumlu kurutucuda kurutulması yapılmış, bu nem oranından itibaren 0,03-0,04 arasındaki nem oranına düşünceye kadar da mikrodalga fırınında kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Son üründe yapılan su aktivite analizleri sonucunda su aktivite değerinin 0,4 değerinin altında olduğu saptanmıştır.

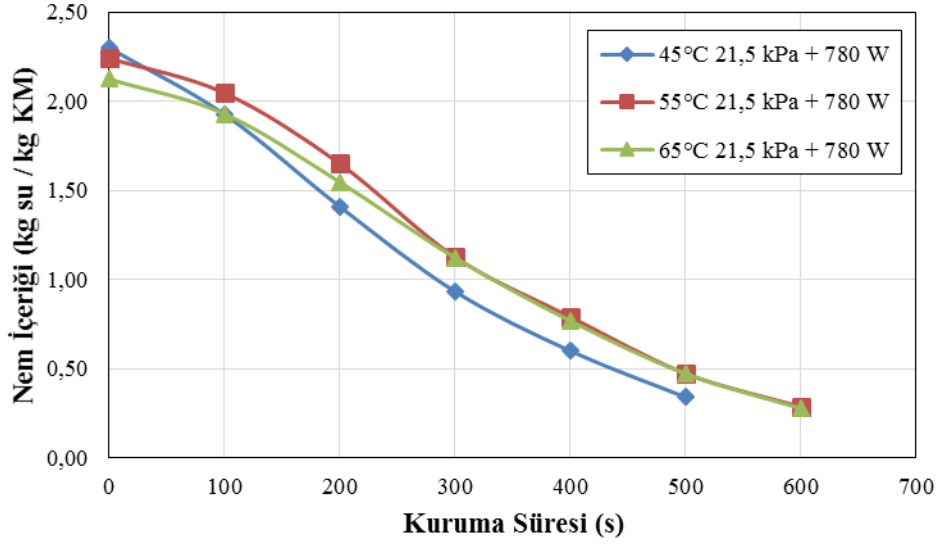
Şekil 3.33 ve Şekil 3.34'te vakumlu kurutma yöntemiyle belirli bir süre kurutulduktan sonra mikrodalga fırınına alınan havuç örneklerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği verilmiştir.

Sadece vakumlu kurutma işleminde havuç örneklerinin zamana bağlı nem içeriğindeki değişimler Ek C'de Çizelge C.1-C.6'da vakum kurutma ve mikrodalga

kombinasyonu kullanılarak yapılan kurutma işlemine ait sonuçlar ise Çizelge 3.25'te verilmiştir. Çizelgeler karşılaştırılarak incelendiğinde mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemlerinin sadece vakumlu kurutma yöntemiyle yapılan kurutma işlemlerine göre hep daha kısa sürede gerçekleşmiş olduğu görülecektir. Örneğin vakumlu kurutma ile 48 kPa mutlak basınç ortamında 65°C'de havuç örneklerinin kuruması 10 saat sürerken, mikrodalga destekli vakumlu kurutma işleminde 7 saat 600 saniye sürmüştür. Ortam vakum değerinin artmasıyla kuruma süreleri daha da kısalmıştır. Örneğin başlangıçta 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C'de belli bir süre kurutulduktan sonra mikrodalga fırınına alınıp kurutulan havuç örneklerinin toplam kuruma süresi 18 saat 500 saniye olarak belirlenmişken, mutlak basınç değeri 21,5 kPa olarak uygulandığında toplam kuruma süresi 16 saat 500 saniye olarak gerçekleşmiştir. Kurutma ortamında vakum değerinin artmasıyla kuruma süresinde yaklaşık 2 saatlik bir azalma belirlenmiştir. Benzer sonuç Giri ve Prasad (2007) yaptıkları çalışmada saptanmıştır. Araştırmacılar, mantarları dilimledikten sonra mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutmuşlar ve kuruma işleminin, ortam vakum değerinin artmasıyla daha kısa sürede gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Söz konusu bu çalışmada havuç dilimlerinin, 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C'de 28 saatte mikrodalga destekli vakumlu kurutma yönteminde ise 18 saat 500 saniyede kurumalarının tamamlandığı rapor edilmiştir.



**Şekil 3.33:** Farklı sıcaklık değerlerinde 48 kPa mutlak basınç ortamında belirli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi



**Şekil 3.34:** Farklı sıcaklık değerlerinde 21,5 kPa mutlak basınç ortamında belirli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan havuç örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

**Çizelge 3.25:** Mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemiyle havuç kurutma süreleri

	Kurutma Ortamı ve Sıcaklığı (°C)	Kuruma Süresi (h)	Mikrodalga Gücü (W)	Kuruma Süresi (s)	Toplam Kuruma Süresi
48 kPa	45	18	780	500	18 saat 500 saniye
	55	10		600	10 saat 600 saniye
	65	7		600	7 saat 600 saniye
21 kPa	45	16	780	500	16 saat 500 saniye
	55	9		600	9 saat 600 saniye
	65	6		600	6 saat 600 saniye

Lin ve diğ. (1998), yaptıkları çalışmada, özel olarak tasarlanmış vakumlu mikrodalga kurutucu kullanmışlardır. Havuçları 4 mm kalınlığında ve halka şeklinde olacak şekilde dilimledikten sonra kurutucuya almışlar ve 100 mm Hg vakum ortamında ve 300 W mikrodalga gücünde kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kurutma işlemi 33 dakika sürmüştür. Aynı çalışmada havuç dilimlerini, sıcak hava kurutma yöntemiyle de kurutmuşlar ve kuruma 8 saat sürmüştür. Bir başka çalışmada Cui ve diğ. (2004), havuçları 3-5 mm kalınlıkta dilimlemişler ve kendilerinin tasarladıkları vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutma işlemlerini yapmışlardır. Kurutma deneyleri, 336,5, 267,5, 162,8 W mikrodalga gücünde ve 30, 51 ve 71 mbar

vakumda gerekleŒmiŒtir. Sonuç olarak kuruma iŒleminin vakum değerinin ve mikrodalga gücünün artmasıyla daha kısa sürede gerekleŒtięi belirlenmiŒtir.

### **3.1.4.3 Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İŒleminin Havuçların Renk Değerleri zerine Etkisi**

alıŒmada kullanılan tüm kurutma yöntemlerinde olduğu gibi mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile havuç kurutma iŒlemi sırasında da kurutulan örneklerin renk değerleri belirli zaman aralıklarında saptanmıŒtır.

Vakum kurutma, mikrodalga kurutma ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak yapılan kurutma iŒlemlerinde Hunter Lab MiniScan XE cihazı ile havuç örneklerine ait saptanan renk değerlerinin karŒılaŒtırılabilmesine olanak sağlamak için sonuçlar izelge 3.26 ve izelge 3.27’de verilmiŒtir.

Çizelge 3.26 ve izelge 3.27 incelendiğinde, mikrodalga destekli vakum kurutma ile kurutulan havuç örneklerinin taze ürüne göre Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  ve kroma değerlerinde azalma meydana geldiği, Hue açısı değerlerinde ise artma olduğu görülecektir. Mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerine ait  $L$  değerleri ile sadece mikrodalga yöntemiyle kurutulan örneklerin  $L$  değerleri kıyaslandığında mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin  $L$  değerlerinin, taze ürünün  $L$  değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiŒtir.

Kurutma sırasında renk kalitesi açısından önemli bir parametre olan  $b$  değeri, en az mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerinde kayba uęramıŒtır. Çizelge 3.26 ve izelge 3.27 yine birlikte incelendiğinde taze ürüne ait  $b$  değerlerine en yakın değerlerin mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerine ait değerler olduğu görülecektir.

**Çizelge 3.26:** Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerine ait renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	<i>Kroma</i>	<i>Hue Açısı</i>
Taze Halde	40,41±0,46 <sup>a</sup>	26,58±0,84 <sup>a</sup>	21,69±0,93 <sup>a</sup>	0.00	34,31±0,47 <sup>a</sup>	39,22±0,24 <sup>a</sup>
45°C	34,42±0,10 <sup>b</sup>	21,34±0,07 <sup>b</sup>	18,39±0,14 <sup>b</sup>	8,19±0,18 <sup>a</sup>	28,57±0,25 <sup>b</sup>	41,67±0,17 <sup>b</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>c</sup>	17,24±0,66 <sup>c</sup>	15,97±0,08 <sup>c</sup>	13,24±0,62 <sup>c</sup>	23,50±0,23 <sup>c</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
45°C + 780W	34,18±0,18 <sup>b</sup>	19,84±0,28 <sup>d</sup>	19,11±0,20 <sup>d</sup>	9,77±0,20 <sup>b</sup>	27,55±0,24 <sup>d</sup>	43,93±0,34 <sup>d</sup>
Taze Halde	40,41±0,46 <sup>a</sup>	26,58±0,84 <sup>a</sup>	21,69±0,93 <sup>a</sup>	0.00	34,31±0,47 <sup>a</sup>	39,22±0,24 <sup>a</sup>
55°C	32,83±0,05 <sup>d</sup>	21,47±0,03 <sup>b</sup>	19,11±0,05 <sup>d</sup>	9,82±0,16 <sup>b</sup>	28,74±0,11 <sup>b</sup>	41,67±0,16 <sup>b</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>c</sup>	17,24±0,66 <sup>c</sup>	15,97±0,08 <sup>c</sup>	13,24±0,62 <sup>c</sup>	23,50±0,23 <sup>c</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
55°C + 780W	35,14±0,41 <sup>e</sup>	18,87±0,21 <sup>e</sup>	18,04±0,09 <sup>b</sup>	9,88±0,14 <sup>b</sup>	26,11±0,28 <sup>e</sup>	43,71±0,32 <sup>d</sup>
Taze Halde	40,41±0,46 <sup>a</sup>	26,58±0,84 <sup>a</sup>	21,69±0,93 <sup>a</sup>	0.00	34,31±0,47 <sup>a</sup>	39,22±0,24 <sup>a</sup>
65°C	30,31±0,21 <sup>f</sup>	21,69±0,08 <sup>b</sup>	17,61±0,18 <sup>e</sup>	10,57±0,30 <sup>d</sup>	27,94±0,26 <sup>d</sup>	39,07±0,08 <sup>a</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>c</sup>	17,24±0,66 <sup>c</sup>	15,97±0,08 <sup>c</sup>	13,24±0,62 <sup>c</sup>	23,50±0,23 <sup>c</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
65°C + 780W	35,97±0,12 <sup>e</sup>	18,59±0,19 <sup>e</sup>	18,78±0,20 <sup>b</sup>	11,08±0,28 <sup>e</sup>	26,42±0,34 <sup>e</sup>	45,29±0,11 <sup>e</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

**Çizelge 3.27:** Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerine ait renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	<i>Kroma</i>	<i>Hue Açısı</i>
Taze Halde	39,57±0,88 <sup>a</sup>	26,28±1,41 <sup>a</sup>	21,41±0,65 <sup>a</sup>	0.00	33,90±1,48 <sup>a</sup>	39,19±0,76 <sup>a</sup>
45°C	35,20±0,12 <sup>b</sup>	21,96±0,13 <sup>b</sup>	19,36±0,13 <sup>b</sup>	7,26±0,24 <sup>a</sup>	29,28±0,22 <sup>b</sup>	41,40±0,26 <sup>b</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>c</sup>	17,24±0,66 <sup>c</sup>	15,97±0,08 <sup>c</sup>	13,24±0,62 <sup>c</sup>	23,50±0,23 <sup>c</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
45°C + 780W	36,74±0,14 <sup>g</sup>	19,98±0,43 <sup>d</sup>	19,47±0,55 <sup>b</sup>	8,16±0,24 <sup>b</sup>	27,90±0,41 <sup>d</sup>	44,26±0,15 <sup>d</sup>
Taze Halde	39,57±0,88 <sup>a</sup>	26,28±1,41 <sup>a</sup>	21,41±0,65 <sup>a</sup>	0.00	33,90±1,48 <sup>a</sup>	39,19±0,76 <sup>a</sup>
55°C	33,53±0,42 <sup>d</sup>	21,24±0,88 <sup>b</sup>	18,79±0,33 <sup>d</sup>	9,88±0,32 <sup>d</sup>	28,36±0,29 <sup>d</sup>	41,50±0,18 <sup>b</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>c</sup>	17,24±0,66 <sup>c</sup>	15,97±0,08 <sup>c</sup>	13,24±0,62 <sup>c</sup>	23,50±0,23 <sup>c</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
55°C + 780W	35,66±0,81 <sup>b</sup>	19,21±0,16 <sup>e</sup>	18,94±0,94 <sup>d</sup>	9,16±0,24 <sup>e</sup>	26,98±0,31 <sup>e</sup>	44,59±0,18 <sup>d</sup>
Taze Halde	39,57±0,88 <sup>a</sup>	26,28±1,41 <sup>a</sup>	21,41±0,65 <sup>a</sup>	0.00	33,90±1,48 <sup>a</sup>	39,19±0,76 <sup>a</sup>
65°C	29,89±0,20 <sup>e</sup>	20,29±0,11 <sup>d</sup>	16,49±0,54 <sup>e</sup>	10,88±0,27 <sup>f</sup>	26,15±0,34 <sup>f</sup>	39,10±0,38 <sup>a</sup>
780W	31,66±0,10 <sup>c</sup>	17,24±0,66 <sup>c</sup>	15,97±0,08 <sup>c</sup>	13,24±0,62 <sup>c</sup>	23,50±0,23 <sup>c</sup>	42,81±0,15 <sup>c</sup>
65°C + 780W	32,25±0,78 <sup>f</sup>	17,36±1,42 <sup>c</sup>	17,39±0,96 <sup>f</sup>	11,02±0,34 <sup>g</sup>	24,57±0,14 <sup>g</sup>	45,05±0,22 <sup>e</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

Kroma değeri, renk doygunluğunu ifade eden bir parametre olup 0 ile 60 arasında değişen değerlerdedir. 0 değerine yaklaştıkça renk matlaşırken 0 değerinden uzaklaştıkça parlaklık artar. Çizelge 3.26 ve Çizelge 3.27'deki kroma değerleri incelendiğinde taze havuç örneklerine ait değerlerin en yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerlere en yakın değerler farklı sıcaklıklarda vakum kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerine ait değerlerin olduğunu belirlenmiştir. Mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerine ait kroma değerlerinin, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulanlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak sadece mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan havuç

örneklerine ait rengin vakum ve mikrodalga destekli vakum yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha mat olduğu belirlenmiştir.

Renk değişimleriyle ilgili olarak bu çalışmada elde edilen sonuçlarla literatürdeki çalışmalar karşılaştırıldığında genel olarak benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Nahimana ve Zhang (2011) 4±1 mm kalınlığında halka şeklinde dilimledikleri havuçları mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Kuruma işleminden önce ve sonra örneklerin CIE  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini saptamışlardır. Sonuç olarak  $L^*$  değerinin kuruma işlemi sonunda arttığını,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin ise azaldığını belirtmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada, Lin ve diğ. (1998) havuç örneklerini, 4 mm kalınlığında halka şeklinde dilimledikten sonra 90°C'de 7 dakika boyunca haşlamışlardır. Ön işlemlerden sonra, dilimlenen havuçlar, vakum-mikrodalga kombinasyonu, donmuş kurutma ve sıcak hava ile kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Kuruma işlemi başında ve sonunda Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  renk değerleri ölçülmüş ve tüm kurutma işlemlerinde kuruma sonunda renkte belirgin bir kararma meydana geldiği ifade edilmiştir.

#### **3.1.4.4 Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Havuçların $\beta$ -Karoten Seviyesi Üzerine Etkisi**

Çizelge 3.28 ve Çizelge 3.29'da mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulan havuç örneklerine ait  $\beta$ -karoten değerleri verilmiştir. Mikrodalga destekli vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerinin  $\beta$ -karoten değerleri her kurutma sonunda belirlenmiştir. Çizelge 3.28 ve Çizelge 3.29 incelendiğinde mikrodalga destekli vakumlu kurutma işleminin  $\beta$ -karoten üzerine etkisi sadece vakum ve sadece mikrodalga kullanılarak yapılan kurutma işlemine ait sonuçlarla kıyaslandığında, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan havuç dilimlerine göre daha az, vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha fazla  $\beta$ -karoten kaybı meydana geldiği belirlenmiştir.



**Çizelge 3.28:** Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerinin  $\beta$ -karoten değerleri

Koşul	Kurutma Süresi	$\beta$ -karoten* (mg/100 g KM)
Taze Halde	---	173,37±2,50 <sup>a</sup>
45°C	28h	37,64±0,33 <sup>b</sup>
780W	2000s	21,16±0,34 <sup>e</sup>
45°C + 780W	18h + 500s	30,56±0,32 <sup>d</sup>
Taze Halde	---	171,80±0,60 <sup>a</sup>
55°C	18h	36,62±0,06 <sup>b</sup>
780W	2000 s	21,16±0,34 <sup>c</sup>
55°C + 780W	10h + 600s	29,40±0,21 <sup>d</sup>
Taze Halde	---	171,93±1,25 <sup>a</sup>
65°C	10h	34,10±0,18 <sup>c</sup>
780W	2000 s	21,16±0,34 <sup>c</sup>
65°C + 780W	7h + 600s	28,60±0,44 <sup>d</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p<0,05$ ).

**Çizelge 3.29:** Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş havuç örneklerinin  $\beta$ -karoten değerleri

Koşul	Kurutma Süresi	$\beta$ -karoten* (mg/100 g KM)
Taze Halde	---	171,89±0,85 <sup>a</sup>
45°C	24h	42,31±0,67 <sup>b</sup>
780W	2000s	21,16±0,34 <sup>h</sup>
45°C + 780W	16h + 500s	33,99±0,19 <sup>e</sup>
Taze Halde	---	173,27±0,50 <sup>a</sup>
55°C	13h	38,69±0,66 <sup>c</sup>
780W	2000 s	21,16±0,34 <sup>h</sup>
55°C + 780W	9h + 600s	31,56±0,16 <sup>f</sup>
Taze Halde	---	172,57±0,22 <sup>a</sup>
65°C	9h	35,90±0,17 <sup>d</sup>
780W	2000 s	21,16±0,34 <sup>h</sup>
65°C + 780W	6h + 600s	30,08±0,20 <sup>g</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p<0,05$ ).

Nahimana ve Zhang (2011) yaptıkları çalışmada mikrodalga destekli vakumlu kurutma sonunda havuç dilimlerinde meydana gelen karotenoid değişimlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, çalışmalarını 40 mbar sabit mutlak basınç altında yapmışlardır. Beş farklı mikrodalga gücünün kullanıldığı çalışmada, mikrodalga gücünün artmasıyla karotenoid kaybının daha fazla olduğu saptanmıştır. Yapılan benzer başka bir çalışmada Bettega ve diğ. (2014) havuçları farklı şekillerde (küp, şerit ve halka) dilimledikten sonra 450 mm Hg vakum altında ve üç farklı mikrodalga gücünde mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Kurutma

işlemi sonunda son ürünlerin  $\beta$ -karoten içerikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak mikrodalga güç değerinin artmasıyla  $\beta$ -karoten kaybının arttığı saptanmıştır.  $\beta$ -Karoten seviyesinde gerçekleşen kaybın taze ürüne göre %6,6-41,9 arasında  $\beta$ -karoten seviyesinde gerçekleşen kaybın daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

### **3.2 Kırmızıbiberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulmasıyla İlgili Araştırma Sonuçları**

#### **3.2.1 Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar**

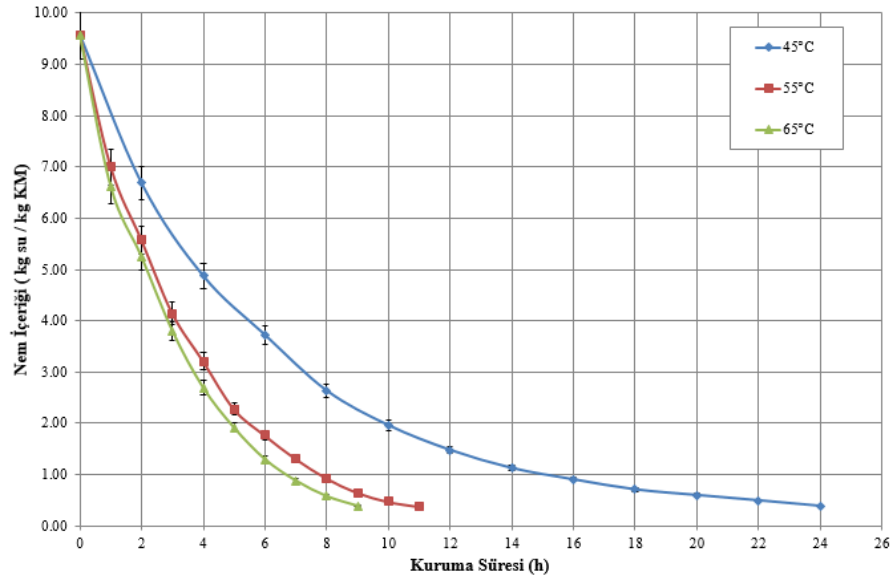
##### **3.2.1.1 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberlerin Kuruması Üzerindeki Etkisi**

##### **3.2.1.2 Nem İçeriği Değişimi**

Sıcak hava ile kurutma denemelerinde kullanılan kırmızıbiber örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriği değeri 9,58 kg su/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. %20 bağıl nem içeren, 45, 55 ve 65°C sıcaklığa sahip ortamlarda kurutulan kırmızıbiber örneklerinin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler Ek E'de, Çizelge E.1-E.3'te sırası ile verilmiştir. Şekil 3.35'te ise bu değişimler grafiksel olarak sunulmuştur.

Üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde, kurutma sıcaklığının artması ile kuruma süresinde beklendiği gibi azalmalar meydana gelmektedir. Kırmızıbiber örneklerinin kurutma işlemleri nem içeriği değerinin 0,40 kg su/kg kuru madde değerinin altına düşünceye kadar devam etmiştir. Son nem içeriği değeri olarak 0,40 kg su/kg kuru madde değerinin seçilmesinin sebebi, bu andaki su aktivite değerinin tüm kurutma denemelerinde 0,55'in altında belirlenmiş olmasıdır. Bilindiği üzere, su aktivite değerinin, kurutulmuş ürünlerde 0,65'in altına düşürülmesiyle mikrobiyolojik bozulmalar başta olmak üzere enzimatik ve enzimatik olmayan birçok değişim engellenmiş olur (Saldamlı ve Saldamlı 2004). Ayrıca

kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin yüzde nem miktarı %10-15 arasında belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır. Nitekim Doymaz ve Pala (2002), yaptıkları bir çalışmada, başlangıç nem içeriği %81,90 olan kırmızıbiberleri bazı ön işlemler uyguladıktan sonra sıcak hava ile kurutma yöntemiyle %11 nem içeriğine kadar kurutmuşlardır. Akpınar ve diğ. (2003) kırmızıbiberleri üç farklı sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Kurutmada kullanılan kırmızıbiberlerin ilk nem içeriği %87,25 olarak belirlenmiş olup %10 nem içerene kadar kurutmuşlardır.

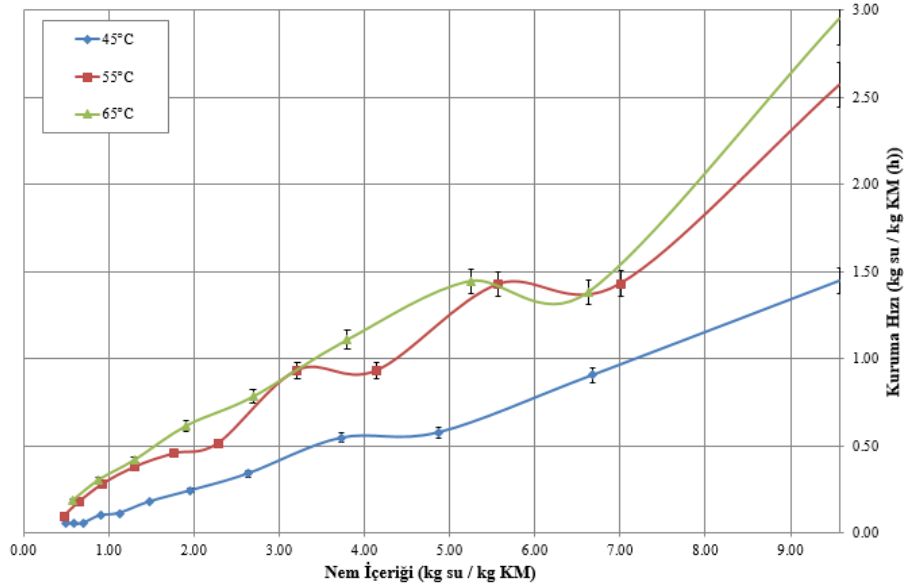


**Şekil 3.35:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

### 3.2.1.3 Kuruma Hızı Değişimi

Eşitlik 2.6 kullanılarak üç farklı sıcaklıkta sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutulan kırmızıbiber örneklerinin kuruma hızları hesaplanmıştır. Hesaplanan kuruma hızı değerlerinin nem içeriği değerleri ile değişimini gösteren grafik Şekil 3.36'da verilmiştir. Kırmızıbiber örneklerinin kurutulması sırasında tüm sıcaklık derecelerinde yapılan kurutma işlemlerinde, başlangıçta azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Daha sonra kısa süreli olarak yine tüm kurutma işlemlerinde sabit hızda kuruma periyodunun gerçekleştiği görülmüştür. Kurutma işleminin sonlarına doğru zaman zaman sabit hızda kuruma periyotları görülse de azalan hızda kuruma periyodunun daha fazla olduğu belirlenmiştir. 55°C'deki

kurutma işlemi incelendiğinde diğer sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerine göre sabit ve azalan hızda kuruma periyotları net bir şekilde gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.36:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

### 3.2.1.4 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

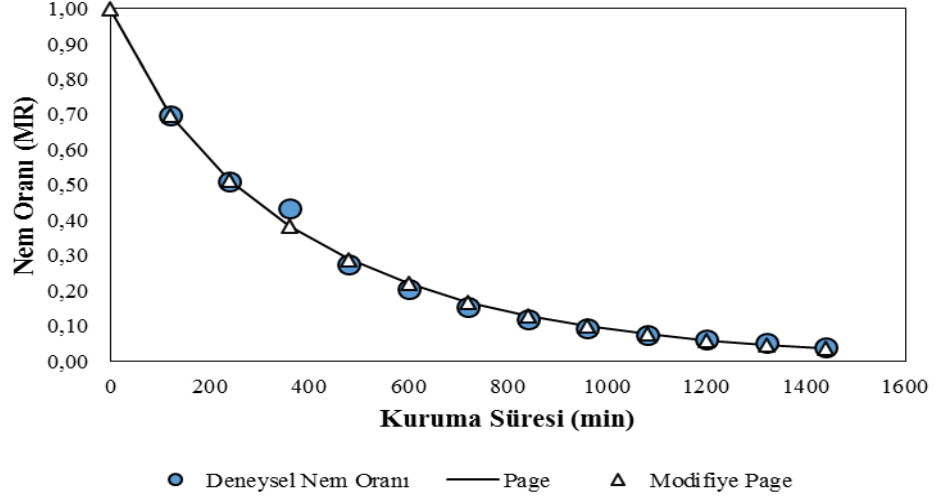
Üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işlemi sırasında %10-15 nem içeriğine kadar kurutulan kırmızıbiber dilimlerinden elde edilen veriler kullanılarak üç farklı sıcaklık değerindeki kuruma işleminin modellenmesi yapılmıştır. Çalışmada beş farklı model kullanılmıştır. Nem içeriği değerleri kullanılarak nem oranı (MR) değerleri hesaplanmış ve bu parametreler uygun kurutma modelinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Çizelge 3.30'da çalışmada kullanılan teorik modellere ait sabit ve katsayılarla birlikte RMSE,  $\chi^2$  ve  $R^2$  değerleri de verilmiştir. Çizelge 3.30'daki veriler incelendiğinde;  $R^2$  değeri yüksek olan ve RMSE değeri düşük olan Page ve Modifiye Page modellerinin kırmızıbiber örneğinin kuruma kinetiğini tanımlayan en iyi modeller olduğu saptanmıştır. Kurutmanın gerçekleştirildiği her bir sıcaklık değerinde nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan Page ve Modifiye Page modellerinden elde edilen değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 3.37a,b,c'de verilmiştir.

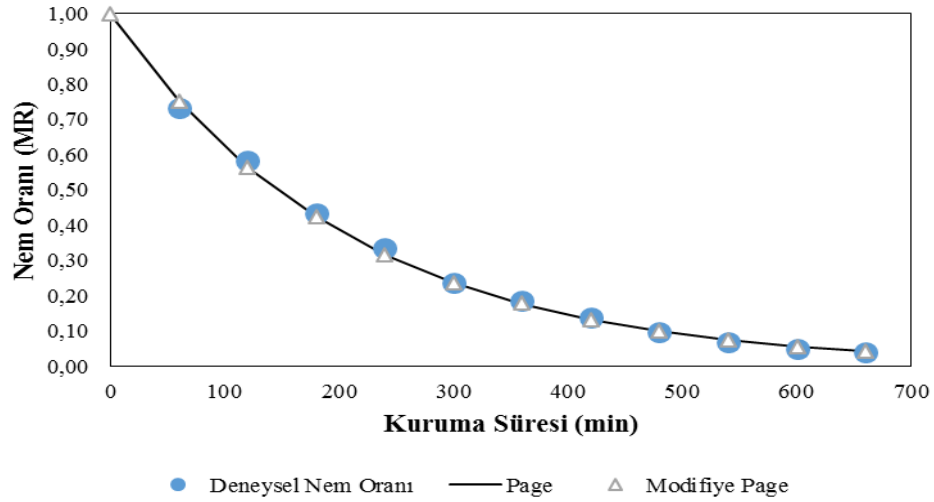
Kuruma kinetiği ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Arslan ve Özcan (2011) kırmızıbiber örneklerini  $10\pm 0,1$  mm kalınlığında dilimledikten sonra kurutma fırınında  $50^{\circ}\text{C}$  ve  $70^{\circ}\text{C}$ 'de kurutmuşlardır. Yapılan modelleme çalışmaları sonunda “Midilli ve Küçük” modelinin yanında Page ve Modifiye Page modellerinin de kuruma kinetiğini ifade eden modeller olduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada, Vega ve diğ. (2007), kırmızıbiber örneklerini  $1\text{cm}^3$  hacminde olacak şekilde küp şeklinde dilimlemişlerdir. Dilimlenen örnekler, konvektif bir kurutucuda,  $50$ ,  $60$ ,  $70$  ve  $80^{\circ}\text{C}$ 'de ve  $2,5$  m/s hava hızında kurutulmuştur. Elde edilen kuruma verilerine göre kinetik modellemeleri yapılmış ve en uygun modelin Modifiye Page modeli olduğu sonucuna varılmıştır

**Çizelge 3.30:** Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan kırmızıbiber örneklerinde, elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi

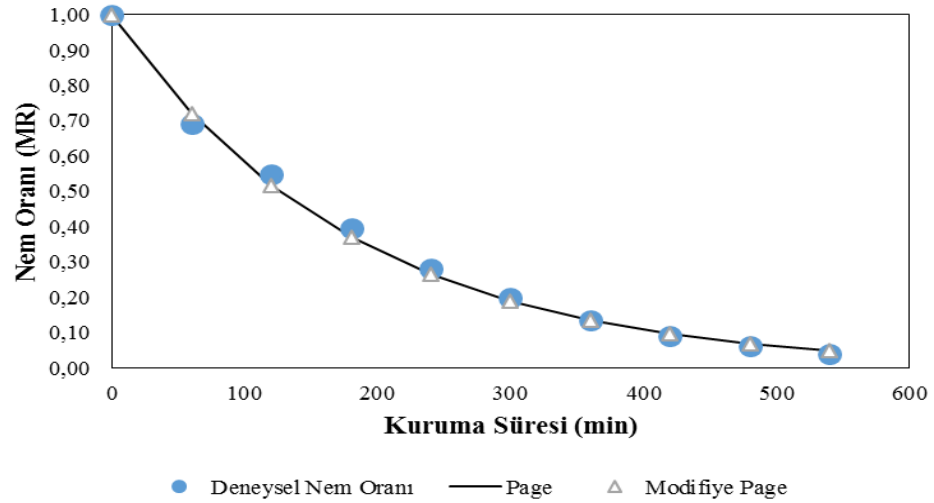
Model	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sabitler ve Katsayılar			$\chi^2$	RMSE	$R^2$
Lewis	45	$k = 0,0024$			0,002830	0,051116	0,9846
	55	$k = 0,0049$			0,000690	0,025115	0,9978
	65	$k = 0,0057$			0,001296	0,034153	0,9942
Page	45	$k = 0,0046$	$n = 0,896$		0,000001	0,001054	0,9943
	55	$k = 0,0049$	$n = 1,005$		0,000050	0,006351	0,9969
	65	$k = 0,0052$	$n = 1,011$		0,000140	0,010752	0,9908
Modifiye Page	45	$k = 0,0026$	$n = 0,896$		0,000001	0,000777	0,9943
	55	$k = 0,0047$	$n = 1,005$		0,000040	0,005774	0,9969
	65	$k = 0,0055$	$n = 1,011$		0,000120	0,009803	0,9908
Henderson ve Pabis	45	$k = 0,0022$	$a = 0,869$		0,000790	0,025821	0,9901
	55	$k = 0,0050$	$a = 1,043$		0,000030	0,004619	0,9983
	65	$k = 0,0059$	$a = 1,077$		0,000480	0,019606	0,9958
Logaritmik	45	$k = 0,0033$	$a = 1,089$	$c = 0,041$	0,001640	0,035556	0,9920
	55	$k = 0,0070$	$a = 1,300$	$c = 0,040$	0,013460	0,100459	0,9506
	65	$k = 0,0076$	$a = 1,209$	$c = 0,041$	0,007557	0,072732	0,9632



**Şekil 3.37a:** 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

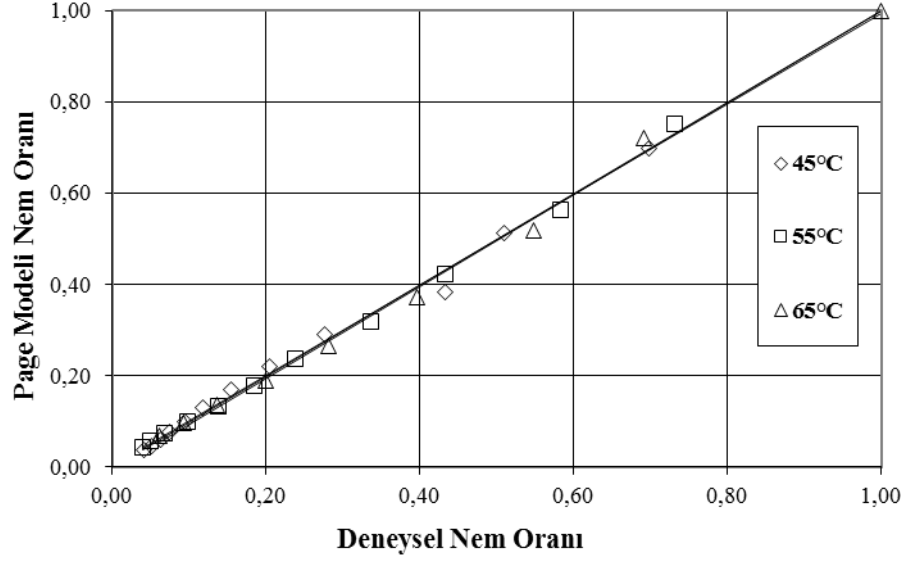


**Şekil 3.37b:** 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

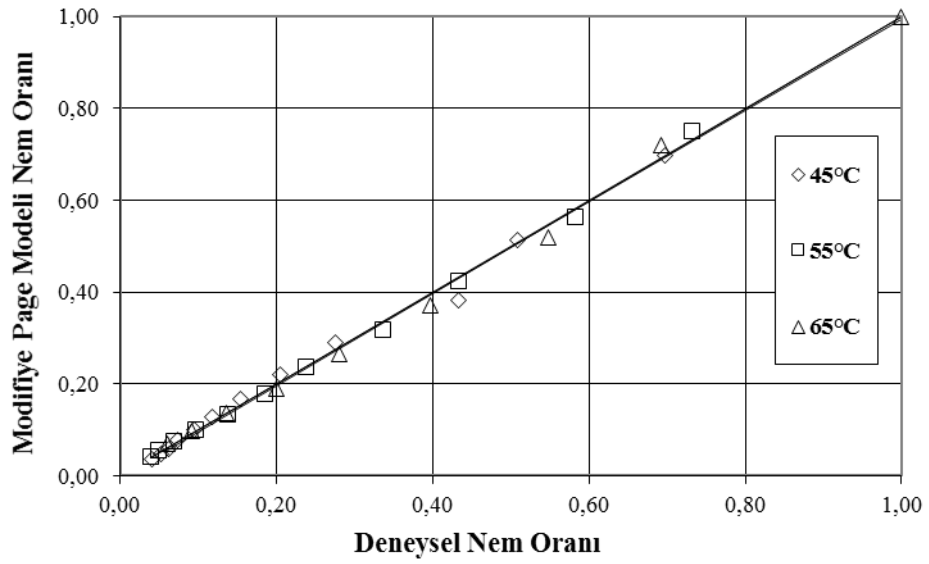


**Şekil 3.37c:** 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

Farklı sıcaklıklar için deneysel yolla elde edilen nem oranı değerleri ile Page ve Modifiye Page modellerinden hesaplanan nem oranlarının uyumu Şekil 3.38a ve Şekil 3.38b’de verilen grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 3.38a: Deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu



Şekil 3.38b: Deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu

### 3.2.1.5 Sıcak Hava İle Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberin Renk Değişimi Üzerine Etkisi

Sıcak hava ile kurutma işlemlerinde kurutma öncesi, kurutma sırasında ve kurutma işlemi bittiğinde alınan kırmızıbiber örneklerinin renk değerleri renk tayin cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Çizelge 3.31’de taze ve kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk değerleri verilmiştir.

**Çizelge 3.31:** Taze ve sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	<i>Kroma</i>	<i>Hue Açısı</i>
Taze Halde	26,84±0,95 <sup>a</sup>	29,81±0,84 <sup>a</sup>	9,61±0,71 <sup>a</sup>	0.00	31,32±0,84 <sup>a</sup>	17,87±0,34 <sup>a</sup>
45°C	23,85±0,48 <sup>b</sup>	23,57±0,64 <sup>b</sup>	7,23±0,28 <sup>b</sup>	7,32±0,68 <sup>c</sup>	24,65±0,28 <sup>b</sup>	17,05±0,29 <sup>a</sup>
55°C	22,22±0,43 <sup>b</sup>	22,47±0,32 <sup>b</sup>	6,94±0,35 <sup>b</sup>	9,07±0,14 <sup>b</sup>	23,52±0,26 <sup>b</sup>	17,16±0,34 <sup>a</sup>
65°C	21,65±0,87 <sup>b</sup>	21,09±0,51 <sup>b</sup>	5,50±0,48 <sup>b</sup>	10,95±0,24 <sup>a</sup>	21,80±0,39 <sup>b</sup>	14,62±0,49 <sup>b</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p<0,05$ ).

Taze kırmızıbiber örneklerinin renginde farklı sıcaklıklarda yapılan sıcak hava ile kurutma işlemleri sonrası kararırma meydana gelmiştir. Bu durum Çizelge 3.31 incelendiğinde, *L* değerlerindeki azalmalardan da görülmektedir. İstatistiksel açıdan 45, 55 ve 65°C’de yapılan kurutma işlemleri sonrasında ölçülen *L* değerleri arasında farkın olmadığı ( $p>0,05$ ) saptanmıştır. Benzer durum *a* ve *b* renk değerleri için de geçerlidir. Onlarda da taze ürünlerde ölçülen değerler kurutulmuş ürünlerde ölçülen değerlerden daha düşüktür. Toplam renk değişiminin en fazla olduğu kurutma işlemi, 65°C’de gerçekleştirilen işlem olarak saptanmıştır. Diğer sıcaklık derecelerinde yapılan kurutma işlemlerindeki toplam renk değişimi birbirinden farklı olup en az değişim 45°C’de yapılan kurutma işleminde belirlenmiştir. Kroma değerleri incelendiğinde, taze kırmızıbiberlere ait değerler kurutma işlemleri sonucunda elde edilen değerlerden farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Fakat tüm kurutma işlemleri sonucunda elde edilen kroma değerleri arasında istatistiksel açıdan fark olmadığı belirlenmiştir ( $p>0,05$ ). İstatistiksel açıdan taze kırmızıbiberlere ait Hue açısı değerinin 45 ve 55°C’de yapılan kurutma işlemleri sonucunda elde edilen değerlerden farklı olmadığı ( $p>0,05$ ) tespit edilmiştir.



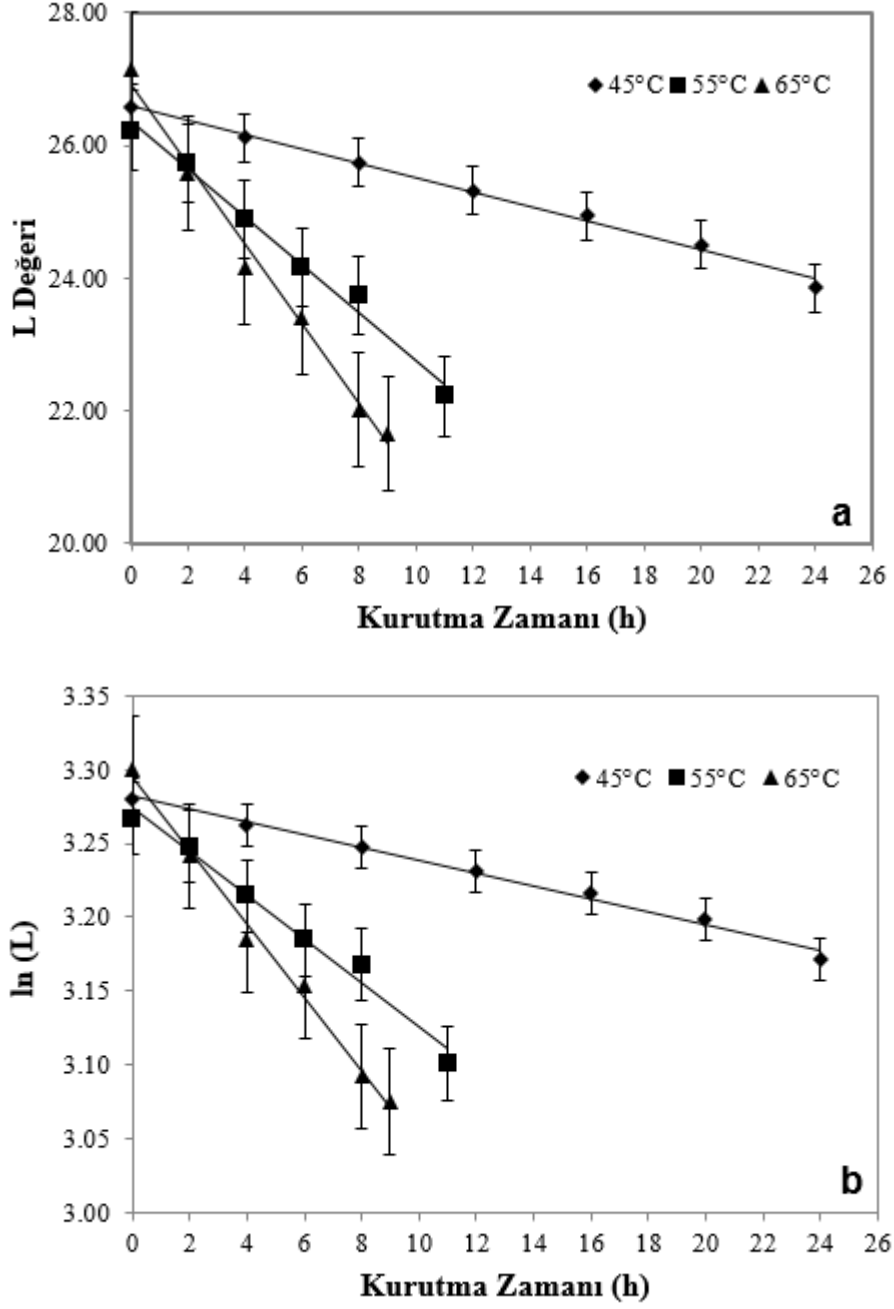
### 3.2.1.5.1 “*L* Değeri” Değişimi

*L* değeri, sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiberlerde taze ürüne göre azalmıştır. Park ve Lee (1975) *L* değerinde meydana gelen azalmanın kırmızıbiberde şeker ve aminoasit miktarının fazla olmasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Bu bileşenlerin enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesinde asıl rolü oynadıkları bilinmektedir. Bunun yanında, kurutma sıcaklığının da kararmayı tetiklediği söylenebilir. Nitekim, kurutma sıcaklığı arttıkça *L* değeri, taze ürüne göre daha fazla azalmıştır. Örneğin, 45°C’de kurutulan kırmızıbiberlerin *L* değeri 23,85 olarak belirlenmişken 65°C’de kurutulanların ise 21,65 olarak saptanmıştır. Çizelge 3.31 incelendiğinde, istatistiksel açıdan tüm kurutma işlemleri sonrasında ölçülen *L* değerleri arasında farkın olmadığı belirlenmiştir ( $p>0,05$ ).

Farklı ortam sıcaklıklarında sıcak hava ile kurutma işleminde kuruma zamanına göre kırmızıbiber örneklerinin *L* değerlerindeki değişim hem sıfırıncı dereceden hem de birinci dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir (Şekil 3.39a ve Şekil 3.39b). *L* değerinin zamana göre değişimini temsil eden sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik model için hesaplanmış olan reaksiyon hız sabiti (*k*), korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve standart sapma değerleri Çizelge 3.32’de verilmiştir.

### 3.2.1.5.2 “*a* Değeri” Değişimi

*a* Değeri kırmızılık indeksi olup kırmızıbiberlerin kurutulmasında önemli bir kalite kriteridir. Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait renk değerlerinden biri olan *a* değeri kurutma sıcaklık derecesinin artmasıyla azalmıştır (Çizelge 3.31). Taze kırmızıbibere ait *a* değeri ortalama 29,81±0,84 olarak belirlenmiştir. Sıcak hava ile üç farklı sıcaklıkta yapılan kurutma sonucunda belirlenen *a* değerlerinin taze ürüne ait *a* değerinden istatistiksel açıdan farklı olduğu saptanmıştır. Fakat her kurutma sonrası belirlenen *a* değerleri arasında istatistiksel açıdan farkın olmadığı sonucuna varılmıştır. 45, 55 ve 65°C’de yapılan kurutmalar sonucunda elde edilen *a* değerleri sırasıyla 23,57±0,64, 22,47±0,32 ve 21,09±0,51 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.31). Arslan ve Özcan (2011) yaptıkları çalışmada

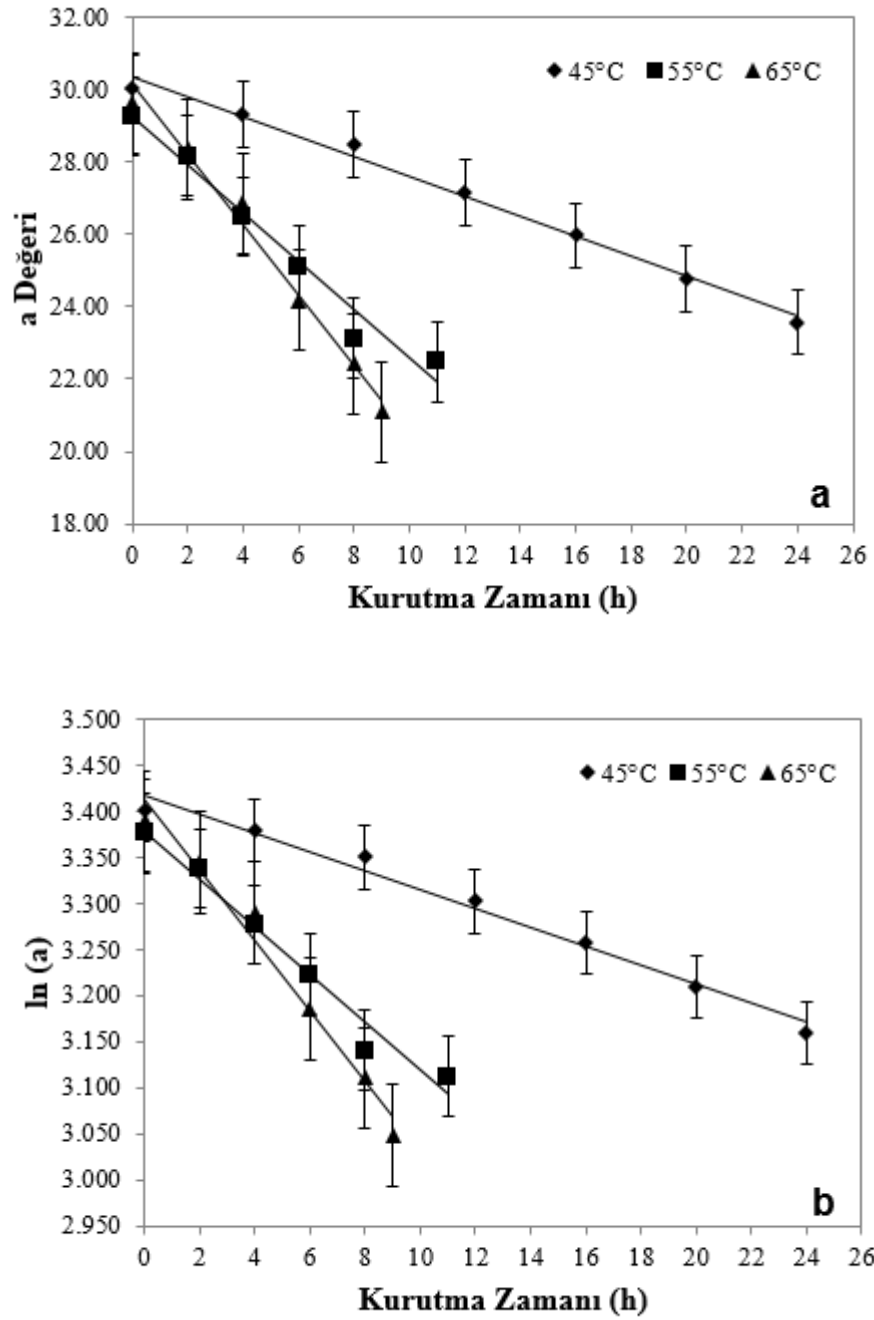


**Şekil 3.39:** Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $L$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

kırmızıbiberleri güneşte, fırında ve mikrodalga fırınında olmak üzere üç farklı şekilde kurutmuşlardır. Kurutma işlemine başlamadan önce ve kurutma sonunda örneklerin renk değerlerini ölçmüşlerdir. Çalışma sonucunda,  $a$  değerinin güneşte kurutulmuş kırmızıbiberlerde en yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca güneşte kurutulmuş kırmızıbiberlerin  $a$  değerlerinin taze kırmızıbibere göre de daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bir başka çalışmada, Shi ve diğ. (1999) domateslerin sıcak hava

ile kurutulması sırasında, kurutma sıcaklığının artmasıyla renk kaybının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Üç farklı sıcaklıkta kurutulan kırmızıbiber örneklerinde kuruma zamanına göre  $a$  değerlerindeki değişim,  $L$  değerlerinde olduğu gibi hem sıfırıncı hem de birinci dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir. Modellere ait grafikler Şekil 3.40a ve Şekil 3.40b’de gösterilmiştir.



Şekil 3.40: Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $a$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

**Çizelge 3.32:** Sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler

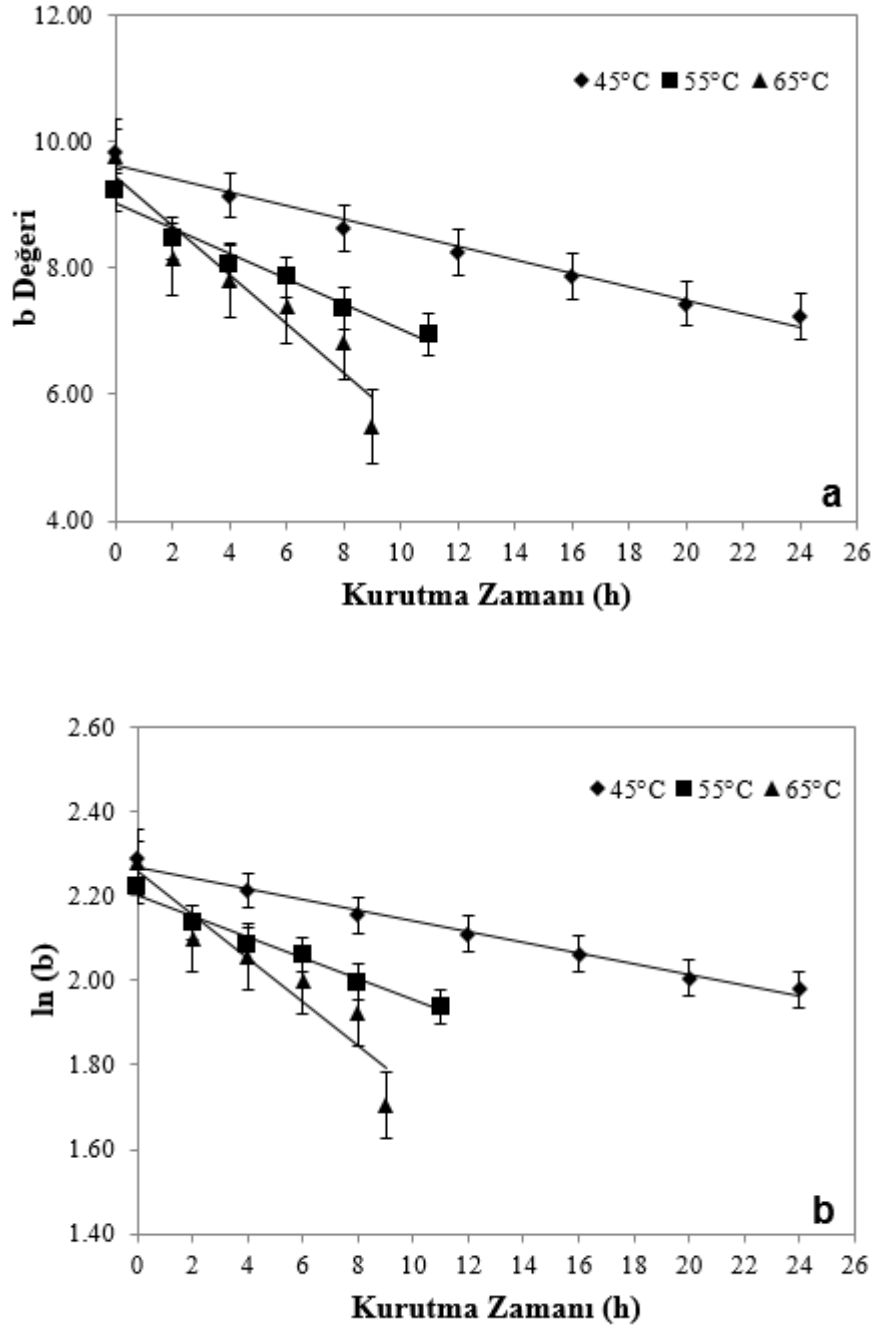
Renk Parametreleri	Sıcaklık (°C)	Sıfıncı Dereceden Reaksiyon Modeli				Birinci Dereceden Reaksiyon Modeli			
		$k_0$	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$k_1$ (h <sup>-1</sup> )	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
<i>L</i>	45	0,1090	0,9932	3,29	76,55	0,0043	0,9908	3,44	78,67
	55	0,3590	0,9873	1,67		0,0148	0,9828	1,68	
	65	0,5999	0,9896			0,0248	0,9933		
<i>a</i>	45	0,2762	0,9917	2,40	56,21	0,0051	0,9760	2,51	58,96
	55	0,6642	0,9721	1,45		0,0175	0,9808	1,48	
	65	0,9661	0,9870			0,0182	0,9859		
<i>b</i>	45	0,1072	0,9777	1,85	57,44	0,0128	0,9884	1,95	62,38
	55	0,1985	0,9652	1,95		0,0249	0,9776	2,08	
	65	0,3876	0,9099			0,0517	0,8897		
$\Delta E$	45	0,3138	0,9978	2,49	59,82	0,0938	0,9454	2,01	34,67
	55	0,7798	0,9882	1,53		0,1882	0,8824	1,08	
	65	1,1902	0,9970			0,2024	0,9816		
<i>Kroma</i>	45	0,2956	0,9956	2,35	56,30	0,0105	0,9913	2,46	59,23
	55	0,6933	0,9750	1,50		0,0258	0,9781	1,52	
	65	1,0367	0,9901			0,0393	0,9801		

Çizelge 3.32’de  $a$  değerine ait reaksiyon modellerin kinetik parametreleri verilmiştir. Çizelge 3.32 incelendiğinde,  $a$  değeri için sıfırcı ve birinci dereceden reaksiyon modellerine ait  $R^2$  değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Örneğin 65°C’de yapılan kurutma işlemi sırasında  $a$  değerine ait sıfırcı dereceden reaksiyona ait modelin  $R^2$  değeri 0,9870 olarak belirlenmişken, bu değer birinci dereceden reaksiyon modeli için 0,9859 olarak hesaplanmıştır. Bu durum her iki modelin de reaksiyonu tanımladığının bir göstergesidir. Benzer durum havuç örneklerine ait  $a$  değeri için de belirlenmiştir. Literatürde bu duruma benzer sonuçlar ortaya koyan çalışmalara rastlandığı gibi, sadece bir reaksiyon modelinin geçerli olduğunu belirten çalışmalar da vardır. Çalışmanın havuç örneği ile ilgili araştırma sonuçları kısmında da bahsedilen Maskan (2001)’ın yaptığı çalışmada, kivi örneklerinin sıcak hava ile kurutulması sırasındaki renk değişimlerinin modellenmesi sonucunda hem sıfırcı hem de birinci dereceden reaksiyon modellerinin renk değişim kinetiğini ifade ettiği belirtilmiştir. Bir başka çalışmada Nisha ve diğ. (2011) domates püresine sekiz farklı sıcaklıkta (50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 ve 120°C) 60 dakika boyunca ısıl işlem uygulamışlardır. Isıl işlemler boyunca domates pürelerin Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  renk değerleri ölçülmüş ve tüm değerlerin zamanla azaldığı belirlenmiştir.  $a$  değerindeki değişimin birinci dereceden kinetik modele uyduğu ifade edilmiştir.

### 3.2.1.5.3 “ $b$ Değeri” Değişimi

Kırmızıbiberlerin kurutulmasında kalite açısından  $L$  ve  $a$  değerine göre daha az öneme sahip olan  $b$  değeri de taze kırmızıbiber örneklerinde, kurutulmakta olan ve kurutulmuş örneklerde saptanmıştır. Taze kırmızıbiber ve sıcak hava ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş olan kırmızıbiber örneklerine ait Çizelge 3.31’de verilen  $b$  değerlerini incelendiğinde, kurutma sıcaklığının artmasıyla değerlerin azaldığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada Arslan ve Özcan (2011) kırmızıbiberleri 10 ±0,1 mm kalınlıkta olacak şekilde dilimledikten sonra 50 ve 70°C’de olmak üzere iki farklı sıcaklıkta kurutulmuşlardır. Kurutma sonunda örneklerin renk değerleri ölçülmüştür. Araştırmacılar, taze ve kurutulmuş kırmızıbiberlere ait  $b$  değerleri kıyasladıklarında istatistiksel açıdan aralarında fark olmadığı sonucuna varmışlardır.

Çizelge 3.32’de verilen  $b$  değerine ait kinetik parametreler incelendiğinde  $b$  değerindeki değişimin  $L$  ve  $a$  değerlerinde olduğu gibi hem sıfırıncı hem de birinci dereceden kinetik modele uyduğu görülecektir (Şekil 3.41a ve Şekil 3.41b). Her iki reaksiyon modeli için hesaplanan  $R^2$  değerlerinin birbirine çok yakın olması hem sıfırıncı hem de birinci dereceden kinetik modelin  $b$  değerindeki değişimi ifade edebileceği şeklinde yorumlanmıştır.



**Şekil 3.41:** Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

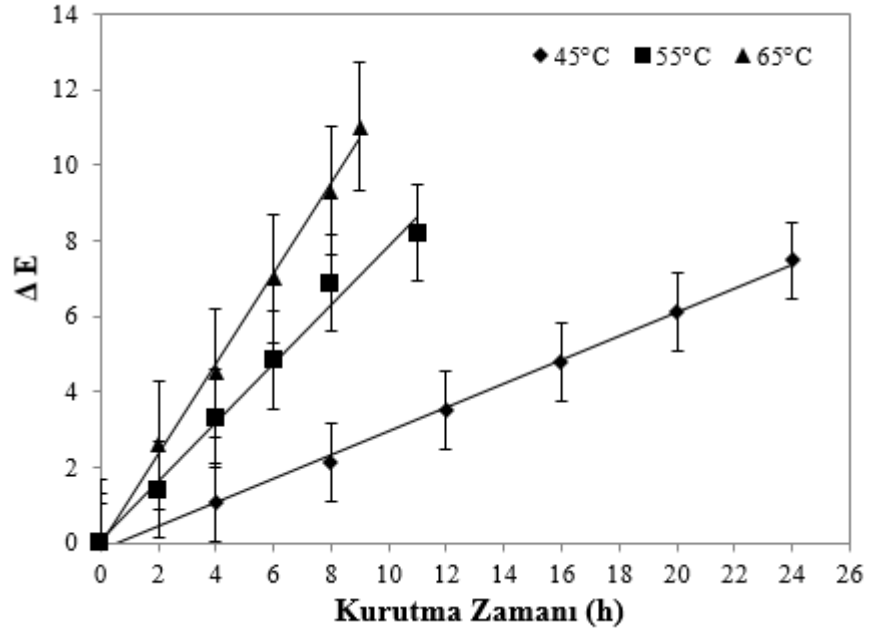
#### 3.2.1.5.4 $\Delta E$ Değerinin Değişimi

Sıcak hava ile kırmızıbiber kurutma işlemleri sırasında belirli zaman aralıklarında ölçülen Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerlerinden yararlanılarak  $\Delta E$  değeri tüm kurutma sıcaklıkları için hesaplanmıştır. Çizelge 3.31’de üç farklı sıcaklıkta kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait  $\Delta E$  değerleri verilmiştir. Çizelge 3.31’deki değerler incelendiğinde istatistiksel açıdan tümünün birbirinden farklı olduğu görülecektir. Toplam renk değişiminin en fazla olduğu kurutma  $65^{\circ}\text{C}$ ’de yapılan işlem olarak saptanmıştır.  $45$ ,  $55$  ve  $65^{\circ}\text{C}$ ’deki kurutma işlemleri sonucunda hesaplanan  $\Delta E$  değerleri sırasıyla  $7,32\pm 0,68$ ,  $9,07\pm 0,14$  ve  $10,95\pm 0,24$  olarak elde edilmiştir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla kırmızıbiber örneklerinin  $\Delta E$  değerleri de artmıştır. Literatürde benzer sonuçlar ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır. Larrauri ve diğ. (1997) kırmızı üzüm posası örneklerini  $60$ ,  $100$  ve  $140^{\circ}\text{C}$ ’de kurutmuşlar ve  $\Delta E$  değerinin  $140^{\circ}\text{C}$ ’de yapılan kurutma işleminde daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Bir başka çalışmada, Guine ve Barroca (2012) yeşil biberleri dilimledikten sonra  $30^{\circ}\text{C}$  ve  $70^{\circ}\text{C}$ ’de sıcak hava ile kurutmuşlar ve kurutma işleminin başında ve sonunda örneklerin renk değerlerini ölçmüşlerdir.  $30^{\circ}\text{C}$  ve  $70^{\circ}\text{C}$ ’de yapılan kurutma işlemleri için  $\Delta E$  değerleri sırası ile  $0,514$  ve  $11,162$  olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.32’deki  $\Delta E$  değerine ait kinetik veriler incelendiğinde,  $\Delta E$  değerinin sıfırcı dereceden kinetik modele uyduğu görülebilecektir. Şekil 3.42’de kırmızıbiber örneklerinin sıcak hava ile farklı ortam sıcaklıklarında gerçekleştirilen işlemlerde elde edilen kuruma zamanlarına göre  $\Delta E$  değerlerindeki değişimin sıfırcı dereceden kinetik modele uyduğunu gösteren grafik verilmiştir.

Benzer sonuç Aguerre ve Suarez (1987) tarafından elde edilmiştir. Araştırmacılar, mısır tanelerini  $57$ ,  $81$  ve  $100^{\circ}\text{C}$ ’de sıcak hava ile kurutmuşlar ve örneklerin renk değerlerini kurutma işlemleri süresince ölçmüşlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda  $\Delta E$  değerindeki değişimin sıfırcı dereceden kinetik modele uyduğunu ifade etmişlerdir. Benzer olarak, Rhim ve diğ. (1989) üzüm suyunu  $60^{\circ}\text{C}$ ’den  $95^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ısıtma işlemi uygulamıştır. İşlem boyunca belirli zaman aralıklarında üzüm suyunun renk değerleri araştırmacılar tarafından ölçülmüştür.

Yapılan kinetik hesaplamalar sonucunda  $\Delta E$  değerindeki değişimin sıfırıncı dereceden kinetik modele uyduğu belirtilmiştir.



Şekil 3.42: Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $\Delta E$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluğu

### 3.2.1.5.5 Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi

Havuç örneklerinde olduğu gibi kırmızıbiber örneklerinde de kurutma işlemleri boyunca Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri ölçülmüş ve bu değerler kullanılarak kroma ve Hue açısı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.31). 45, 55 ve 65°C’de yapılan sıcak hava ile kurutma işlemlerinde kroma değerlerinin istatistiksel açıdan farklı olmadığı belirlenmiştir ( $p>0,05$ ). Fakat taze kırmızıbiber örneklerine ait kroma değerlerinin kurutulmuş örneklere ait değerlerden farklı olduğu saptanmıştır ( $p<0,05$ ). Bu sonuçlar kroma değerinin kurutma işleminden etkilendiğinin fakat uygulanan sıcaklıkların kroma değerine fazla bir etkisinin olmadığını göstergesidir. Nitekim, taze ürüne ait kroma değeri  $31,32\pm 0,84$  olarak hesaplanmışken 45, 55 ve 65°C’de kurutulan örneklerin kroma değerleri sırasıyla  $24,65\pm 0,84$ ,  $23,52\pm 0,26$  ve  $21,80\pm 0,39$  olarak hesaplanmıştır.



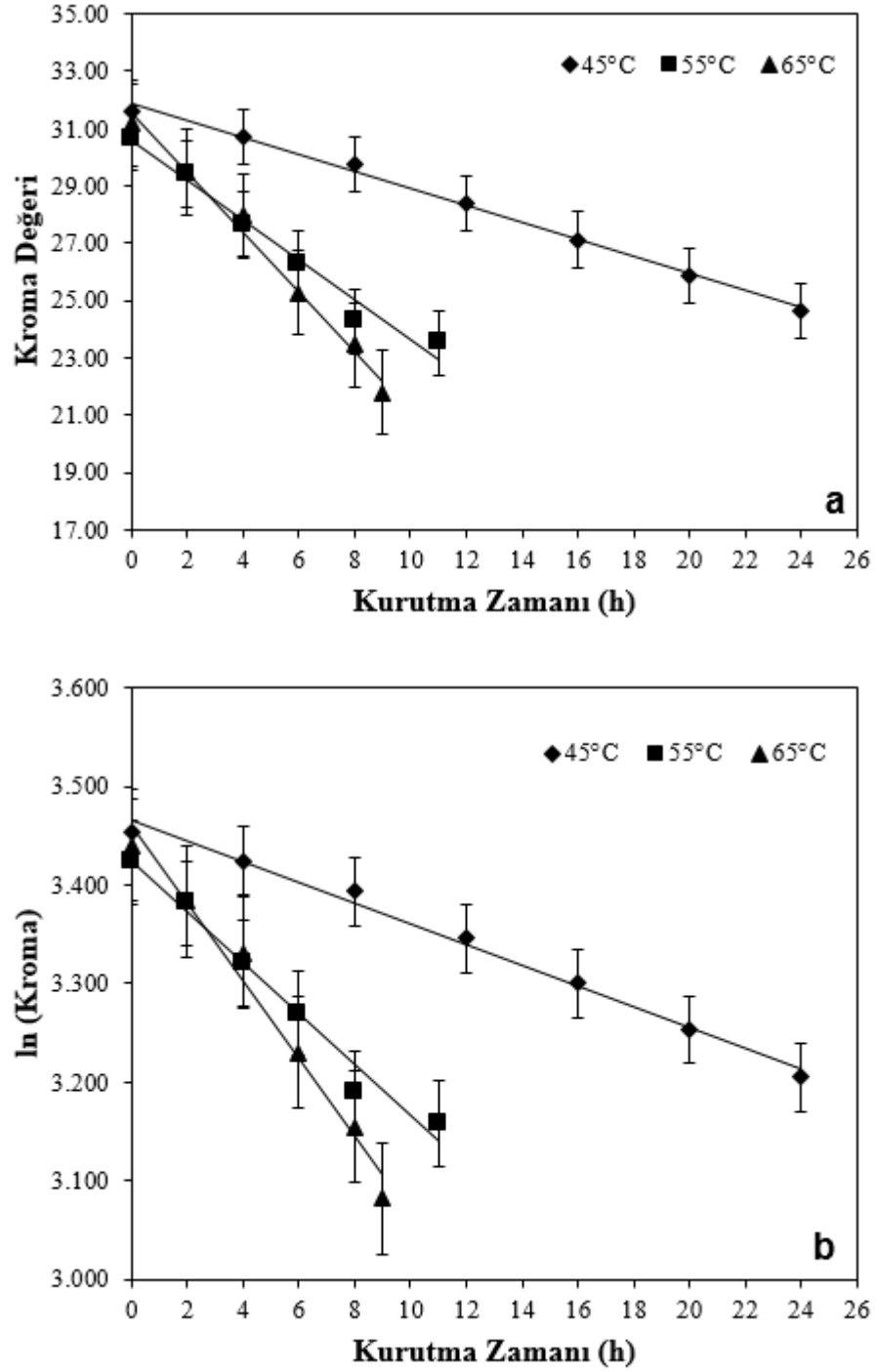
Çizelge 3.31’de taze ve sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait Hue açısı değerleri de verilmiştir. Taze kırmızıbiber örneklerine ait Hue açısı değeri  $17,87\pm 0,34$  olarak hesaplanmıştır. 45, 55 ve  $65^{\circ}\text{C}$ ’de yapılan kurutma işlemleri sonucunda kırmızıbiber örneklerinin Hue açısı değerleri de sırasıyla  $17,05\pm 0,29$ ,  $17,16\pm 0,34$  ve  $14,62\pm 0,49$  olarak saptanmıştır. Yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda taze kırmızıbiber örneklerinin Hue açısı değeri ile 45 ve  $55^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulan örneklerin Hue açısı değerleri arasında önemli düzeyde bir fark belirlenmemiştir ( $p>0,05$ ). Fakat  $65^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulan örneklerin Hue açısı değerleri hem taze örneklerinkinden hem de 45 ve  $55^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulan örneklerin Hue açısı değerlerinden farklıdır ( $p<0,05$ ). Vega-Galvez ve diğ. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, kırmızıbiberler (*Capsicum annuum* L. var. Hungarian) 50, 60, 70, 80 ve  $90^{\circ}\text{C}$ ’de kabin tipi kurutucuda kurutulmuş ve taze kırmızıbiberde ve kurutulmuş ürünlerde Hunter renk değerlerini ölçmüşlerdir. Kroma ve Hue açısı değerleri de ölçülen değerlerden hesaplanmıştır. Sonuç olarak, taze ve kurutulmuş kırmızıbiberlerin kroma ve Hue açısı değerlerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde birbirinden farklı olmadığını ifade etmişlerdir.

Diğer renk değerleri için yapıldığı gibi kroma ve Hue açısı değerlerinde meydana gelen değişimin kinetik modellenmesi için çalışılmıştır. Bununla birlikte, kroma değerinin kinetik modellenmesi yapılırken herhangi bir sorun yaşanmazken, havuç örneklerinde de olduğu gibi kırmızıbiber örneklerinde de Hue açısı değerinin kinetik modellenmesi değerlerin, belli bir değişim yönü olmamasından dolayı yapılamamıştır.

Çizelge 3.32’deki kroma değerine ait kinetik veriler incelendiğinde değişimin hem sıfıncı dereceden hem de birinci dereceden kinetik modele uyduğu görülmektedir. Şekil 3.43a ve Şekil 3.43b, bu durumu daha somut olarak ortaya koymak için düzenlenmiştir.

Her iki modele ait  $R^2$  değerleri 1’e ve birbirine çok yakındır. Örneğin,  $45^{\circ}\text{C}$ ’de yapılan kurutma sonucunda, kroma değerine ait sıfıncı ve birinci dereceden reaksiyon modellerinin  $R^2$  değerleri sırasıyla 0,9956 ve 0,9913 olarak hesaplanmıştır. Dadalı ve diğ. (2007b) ıspanak örneklerini mikrodalga yöntemiyle beş farklı güçte kurutmuşlar ve kurutma işlemleri süresince örneklerin renk

değerlerini ölçmüşlerdir. Ölçülen renk değerlerinden hesaplanan kroma ve Hue açısı değerlerinin mikrodalga gücünün artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Yapılan kinetik modellemeler sonucunda kroma değerindeki değişimin birinci dereceden kinetik modele, Hue açısı değerindeki değişimin ise sıfırıncı dereceden kinetik modele uyduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.



**Şekil 3.43:** Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait kroma değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

### 3.2.1.5.6 Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler

Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin Hunter renk değerlerindeki değişimin kinetik modellenmesi yapıp yukarıda belirtilmiştir. Yanı sıra, renk değerlerine ait reaksiyon hız sabiti, aktivasyon enerjisi ve  $Q_{10}$  değerleri de hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.32’de verilmiştir. Çizelge 3.32’de verilen reaksiyon hız sabitleri incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla bu değerlerin de arttığı görülmektedir. Örneğin sıfırncı dereceden reaksiyon modeli için  $L$  değerinin 45, 55 ve 65°C’deki kurutma işlemleri sonunda elde edilen reaksiyon hız sabiti değerleri sırasıyla 0,1090, 0,3590 ve 0,5999 olarak hesaplanmıştır.

Reaksiyon hız sabiti ve kurutma sıcaklığı değerlerinden yararlanılarak renk değerlerine ait aktivasyon enerjisi ve  $Q_{10}$  değerleri hesaplanmış ve yine Çizelge 3.32’de verilmiştir. Çizelge 3.32’deki  $L$ ,  $a$  ve  $b$  renk değerleri için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri incelendiğinde,  $L$  değerinin değişimine ait aktivasyon enerjisi değerinin diğer renk parametreleri için hesaplanan aktivasyon değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.  $a$  değerinin değişimine ait aktivasyon enerjisi değerinin ise en düşük olduğu saptanmıştır. Bu durum  $L$  değerinin kurutma işlemi sırasında sıcaklık değişimlerinden daha fazla etkilendiğini gösterirken  $a$  değerinin ise daha az etkilendiğini ifade etmektedir. Toplam renk değişimini ifade eden  $\Delta E$  değerindeki değişimi sıfırncı dereceden kinetik modele uyduğu yukarıda belirtilmişti. Buna göre Çizelge 3.32’deki  $\Delta E$  değerinin sıfırncı dereceden kinetik model verileri incelendiğinde aktivasyon enerji değerinin 59,82 kJ/mol olduğu görülmektedir. Benzer sonuç, Barreiro ve diğ. (1997) domates pulpunun konsantre edilmesi esnasında ısı işleminin renk üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada elde edilmiştir. Araştırmacılar bu çalışma sonucunda domates örneklerine ait, toplam renk değişiminin sıfırncı dereceden kinetik modele uyduğunu ve aktivasyon enerjisinin de 42,64 kJ/mol olarak hesaplandığını ifade etmişlerdir.

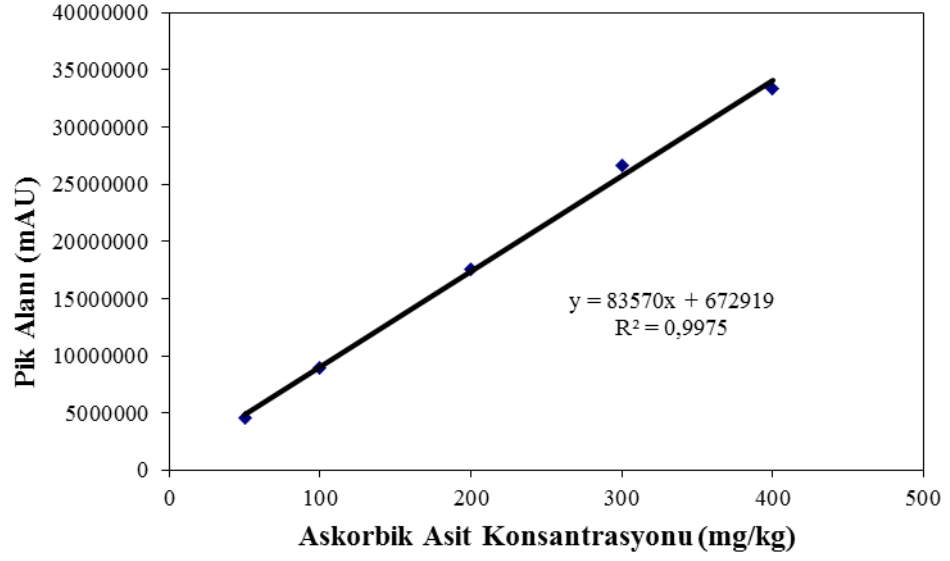
Kurutma işleminde, sıcaklık artışının renk parametrelerine ait değişim hızını ne ölçüde etkilendiğini ortaya koyabilmek için hesaplanmış ve Çizelge 3.32’de verilmiş olan  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde, kuruma sıcaklığının 45°C’den 55°C’ye artırılmasının  $L$ ,  $a$ ,  $\Delta E$  ve kroma değerleri üzerindeki etkisinin sıcaklığın 55°C’den 65°C’ye artışına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.  $b$  değerinde ise durum tam

tersi olup kuruma sıcaklığının 55°C'den 65°C'ye artışından  $b$  değerinin daha fazla etkilendiği saptanmıştır. Bu olay çalışmada kullanılan diğer sebze olan havuç örneklerindeki durumla benzerlik göstermektedir. Sıcaklığın 45°C'den 55°C'ye arttırılmasında,  $L$  değerine ait olarak hesaplanan  $Q_{10}$  değerinin diğer renk parametrelerine göre daha büyük olduğu da yine Çizelge 3.32'de görülmektedir.  $L$  değeri için ortaya konulan bu sonuç,  $a$  ve  $b$  renk parametrelerine göre  $L$  değerinin sıcaklık artışından daha fazla etkilenmiş olabileceğini göstermektedir.

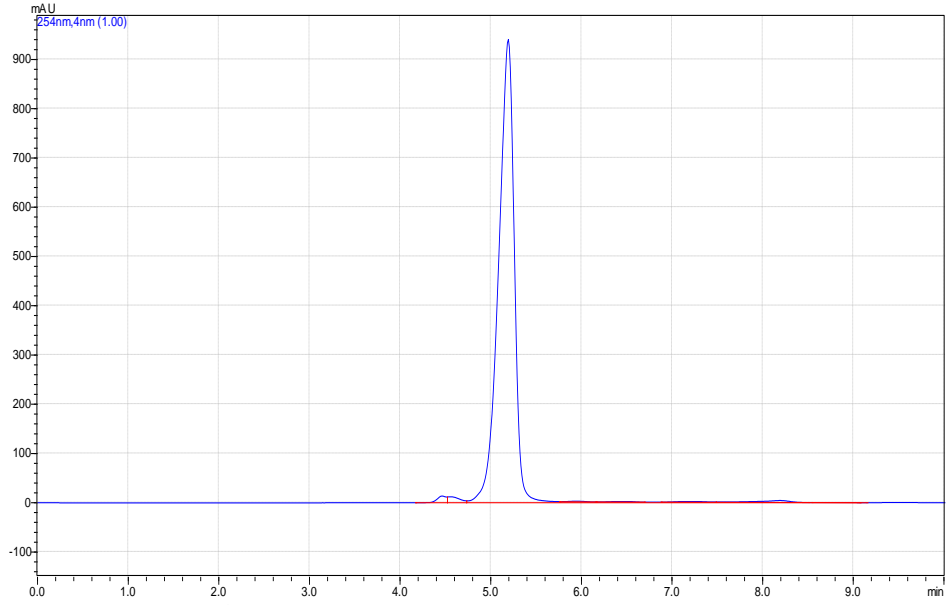
### **3.2.1.6 Sıcak Hava ile Kurutulmuş Kırmızıbiber Örneklerinin Askorbik Asit Miktarındaki Değişimler**

Askorbik asit, gıdalardaki diğer gıda bileşenleri ile karşılaştırıldığında, gıdanın etkisi altında bulunduğu koşullardan fazlaca etkilenerak hızla parçalanma yönünde değişim göstermesinden dolayı genellikle gıda kalitesinin göstergesi olarak seçilmektedir. Askorbik asitin parçalanması oksijen, ışık, sıcaklık ve nem içeriği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Rojas ve Gerschenson 2001). Erentürk ve diğ. (2005), sıcaklık artışının, parçalar halinde kesilmiş meyvelerde, özellikle kurumanın başlangıcında, askorbik asit kaybını arttırdığını belirtmişlerdir. Yüzey alanının hava ile teması arttıkça askorbik asit kayıpları da artmaktadır. Zaroni ve diğ. (1999) ise, askorbik asit kaybının önemli derecede yüksek sıcaklık etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

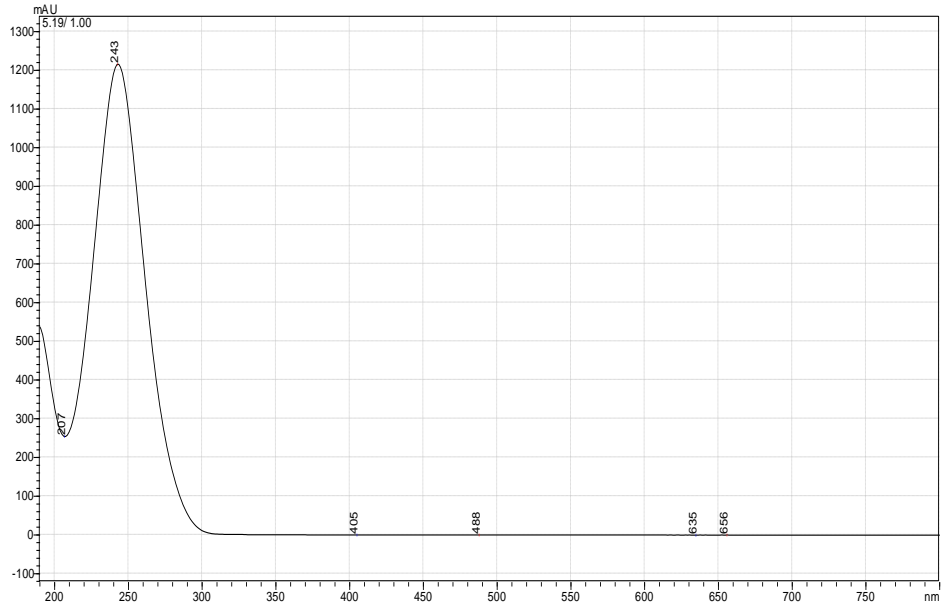
Yapılan bu çalışmada kurutulan kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit düzeylerini belirlemek için HPLC ile analizler yapılmıştır. Bu amaçla askorbik asit tayini için gerekli olan askorbik asit standart eğrisi öncelikle belirlenmiş ve Şekil 3.44'te verilmiştir. Askorbik asit standardına ait kromatogram ve UV spektrumu Şekil 3.45a ve Şekil 3.45b'de verilmiştir. Bu kromatogram ve UV spektrumun yardımıyla farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit içerikleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.44: Askorbik asit standart eğrisi



Şekil 3.45a: Askorbik asit standart HPLC kromatogramı



**Şekil 3.45b:** Askorbik asit UV spektrumu

Kurutma süresince askorbik asit içeriğinde gerçekleşen kayıpları belirlemek için yapılan kinetik hesaplamalara temel teşkil edecek örnek alımları iki saatte bir gerçekleştirilmiştir. Kayıplar her bir kurutma yönteminde uygulanan tüm şartlar için hesaplanmıştır. Elde edilen askorbik asit değerleri Çizelge 3.33-3.35’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.33:** 45°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
2	13,014	1463,14	1,08	0,1
4	17,023	1233,02	22,57	1,8
6	19,433	946,04	9,44	1,0
8	27,478	747,64	3,52	0,5
10	33,745	633,46	0,92	0,1
12	40,306	561,64	3,08	0,5
14	46,997	508,90	7,73	1,5
16	52,463	471,62	3,07	0,7
18	58,470	405,56	1,54	0,4
20	62,487	369,81	0,82	0,2
22	66,773	338,94	0,98	0,3
24	71,969	307,44	0,89	0,3

**Çizelge 3.34:** 55°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
2	15,209	1235,36	6,79	0,5
4	23,722	954,55	28,03	2,9
6	36,109	722,97	21,65	3,0
8	51,710	544,25	0,42	0,1
11	72,439	284,69	0,07	0,0

**Çizelge 3.35:** 65°C sıcaklıkta sıcak hava ile kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

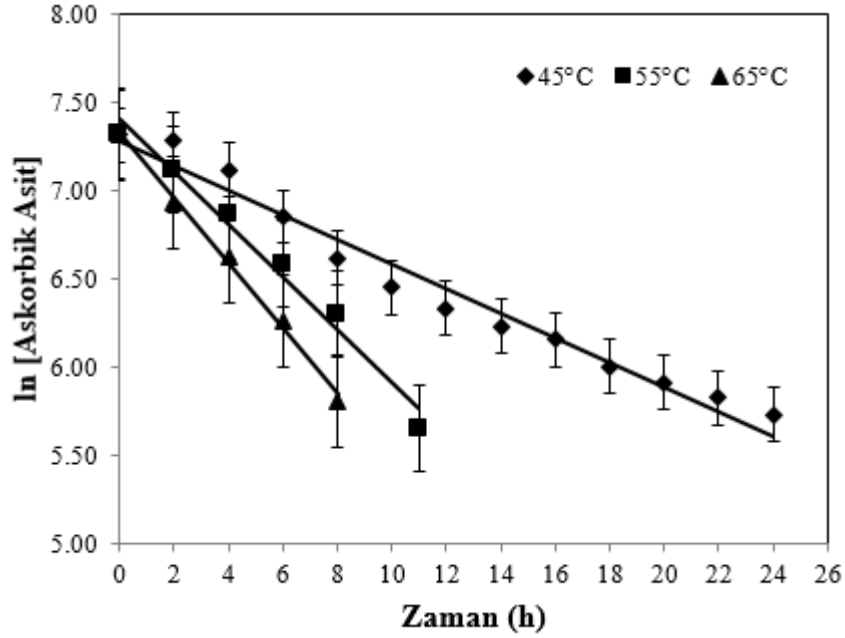
Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
2	16,011	1021,90	8,09	0,8
4	27,072	757,29	0,61	0,1
6	43,488	523,11	3,64	0,7
8	63,328	330,94	1,31	0,4
9	71,871	-	-	-

Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizlerde, askorbik asit miktarı taze kırmızıbiberlerde 1507,75 mg/100g kuru madde olarak saptanmıştır. Yapılan benzer bir çalışmada, olgun taze kırmızıbiberlerin 932 mg/100g kuru madde düzeyinde askorbik asit içerdiği bildirilirken (Rufian-Henares ve diğ. 2013), bir başka çalışmada ise 1780 mg/100g kuru madde düzeyinde askorbik asit içerdiği bildirilmiştir (Hallmann ve Rembialkowska 2012).

Askorbik asit miktarı 45°C’de 24 saat süre ile yapılan kurutma işleminde 1507,75 mg/100g kuru madde değerinden 307,44 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. 65°C’de 9 saat süren kurutma işleminde ise 8 saat sonunda 330,94 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. 8. saat sonrasında kurutma kabininden alınan örneklerde askorbik asit tespit edilememiştir. Bu durum askorbik asitin yüksek sıcaklıklardan çok daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir.

Kırmızıbiberde, askorbik asitin ısıl degradasyonu birinci derece kinetik modele uygun olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.46). Kinetik veriler incelenince (Çizelge 3.36), beklenildiği gibi sıcaklık yükseldikçe askorbik asitin parçalanma hızının arttığı görülmektedir. Örneğin, 45°C’de yapılan kurutma işleminde yarılanma

süresi ( $t_{1/2}$ ) 9,96 saat iken, 65°C’de bu değer 3,74’e düşmüştür.  $t_{1/2}$  değerinin azalması, askorbik asitin stabilitesinin sıcaklığa bağlı olarak azaldığını göstermektedir.



**Şekil 3.46:** Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş kırmızıbiberlerdeki askorbik asit içeriklerindeki değişimler

Çalışmadan elde ettiğimiz bulgular, literatür verileriyle uyum içinde bulunmaktadır. Nitekim Rufian-Henares ve diğ. (2013) askorbik asitin parçalanmasının, kırmızıbiberde birinci derece kinetik modele uyduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada (Di Scala ve Crapiste 2008) araştırmacılar kırmızıbiberleri dilimledikten sonra 50-70°C’de kurutmuşlardır. Kurutma işlemi süresince örneklerin askorbik asit içeriklerini belirlemişlerdir. Yapılan kinetik modellemeler sonucunda, kırmızıbiberlerin kurutulması sırasında askorbik asitin değişim kinetiğinin birinci dereceden reaksiyon modeline uyduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, bu değişime ait aktivasyon enerjisi değerini de 26,90 kJ/mol olarak hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise kurutma işlemi sonucu askorbik asitin ısı yolla parçalanmasına ait aktivasyon enerjisi değeri 43,98 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.36).  $Q_{10}$  değerlerine bakıldığında ise sıcaklığın 45°C’den 55°C’ye arttırılmasının etkisinin 55°C’den 65°C’ye artmasına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.



**Çizelge 3.36:** Sıcak hava ile kurutma işleminde farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit parçalanmasına ait kinetik parametreler

Kurutma Yöntemi	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi (n)	Q <sub>10</sub> Değeri	k (h <sup>-1</sup> )	t <sub>1/2</sub> (h)	E <sub>a</sub> (kJmol <sup>-1</sup> )
Sıcak Hava ile Kurutma	45	1	2.144	0.0696	9.96	43.98
	55	1		0.1492	4.64	
	65	1	1.241	0.1851	3.74	

### 3.2.2 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar

#### 3.2.2.1 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberin Kurutulması Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga yöntemi; havuç örneklerinde de olduğu gibi kırmızıbiber örneklerinde tek başına kullanılmasının yanında sıcak havalı kabin kurutma, yöntemi ile kombine edilerek de kullanılmıştır. Kurutma işleminin zorlaştığı andan itibaren mikrodalga fırını kullanılarak hedeflenen su aktivitesi ve nem içeriği değerine kadar kurutma işlemi devam etmiştir.

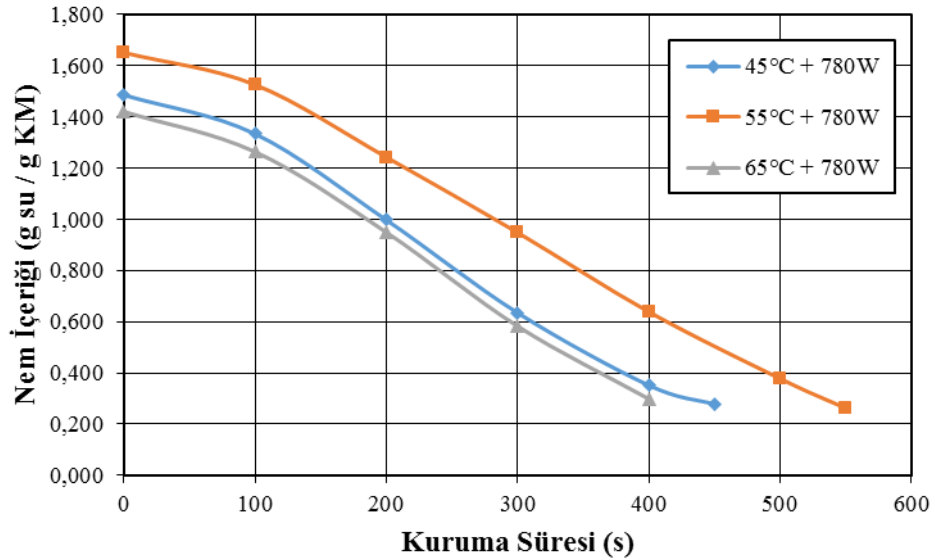
#### 3.2.2.2 Nem içeriği değişimi

Yüzde 20 bağıl nem ve 780W güçte, üç farklı kurutma sıcaklığında (45, 55 ve 65°C) kurutulan kırmızıbiber örneklerinin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler Ek F'de, Çizelge F.1-F.3'te sırası ile verilmiştir.

Kırmızıbiberlerin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, havuç örneklerinin kurutulmasına benzer bir işlem uygulanmıştır. Kırmızıbiber örneklerinin nem oranı değeri 0,15-0,13 arasındaki değerlere düşünceye kadar sıcak hava ile kurutulması yapılmış, bu nem oranı değerinden itibaren 0,04 nem oranına düşene kadar mikrodalga yöntemiyle kurutma işlemi devam etmiştir. Son üründe yapılan su

aktivite analizleri sonucunda su aktivite değerinin 0,4 veya bu değerin altında olduğu ölçülmüştür.

Sıcak hava ile belli bir süre kurutulduktan sonra mikrodalga fırınına alınan kırmızıbiber örneklerinin nem içeriği-kuruma süresi grafiği Şekil 3.47’de verilmiştir. Şekil 3.47 incelendiğinde, mikrodalga işleminin uygulandığı tüm kurutma işlemlerinde kurumanın sabit hızda devam ettiği görülmektedir. Literatürdeki mikrodalga yöntemiyle ile kurutma çalışmaları incelendiğinde yapılan çalışma ile benzerlikler göstermektedir. Nitekim Dadalı ve diğ. (2007a) bamyaya örneklerini mikrodalga yöntemiyle beş farklı güçte kurutmuşlardır. Tüm kurutma işlemlerinde kurumanın sabit hızda devam ettiğini ifade etmişlerdir. Sıcak hava ile 65°C’de yapılan kurutma işlemi 9 saatte tamamlanırken, mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma işlemi 6 saat 400 saniye (yaklaşık 6,1 saat) sürmüştür. Ortaya konulan sonuç literatürdeki bir çalışmayla benzerlik göstermektedir. Maskan (2000) muz örneklerini 4,3 mm kalınlığında silindir şekilde dilimledikten sonra mikrodalga destekli sıcak hava yöntemiyle kurutmuştur. Araştırmacı, sıcak hava ile kurutma işleminin uzun sürdüğünü (8,03 saat) fakat mikrodalga destekli sıcak hava yöntemiyle kurutmanın daha kısa sürede (2,87 saat) gerçekteştiğini ifade etmiştir.



Şekil 3.47: Kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutması tamamlanan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

### 3.2.2.3 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının Kırmızıbiberlerde Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Havuç örneklerinde olduğu gibi mikrodalga destekli sıcak hava ile kırmızıbiber kurutma işlemleri sırasında da Hunter *L*, *a* ve *b* renk değerleri ölçülmüştür. Çizelge 3.37’de taze kırmızıbiber, mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga destekli sıcak hava yöntemleri ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait Hunter renk değerleri verilmiştir.

Kurutulmuş ve taze haldeki örneklerin *L* değerleri incelendiğinde değerler arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde fark olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ). Mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma işleminde 45°C’de yapılan kurutmada örneklerin *L* değerleri arasında önemli düzeyde fark olmadığı ( $p > 0,05$ ) görülmüştür. Mikrodalga destekli sıcak hava ile 55°C sıcaklıkta kurutulan kırmızıbiber örneğinin *L* değeri ile mikrodalga destekli 65°C’de ve 45°C’de kurutulan örneklerin *L* değerleri arasında önemli düzeyde fark belirlenmemiştir ( $p > 0,05$ ). Bununla birlikte, mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma işlemlerinde 45°C’de ve 65°C’de ölçülen *L* değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu saptanmıştır ( $p < 0,05$ ).

**Çizelge 3.37:** Taze kırmızıbiber ve sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	Kroma	Hue Açısı
Taze Halde	26,93±0,87 <sup>a</sup>	29,76±0,65 <sup>a</sup>	9,89±0,32 <sup>a</sup>	0.00	31,36±0,45 <sup>a</sup>	18,38±0,28 <sup>b</sup>
45°C	23,85±0,48 <sup>d</sup>	23,57±0,64 <sup>c</sup>	7,23±0,28 <sup>b</sup>	7,32±0,68 <sup>c</sup>	24,65±0,28 <sup>c</sup>	17,05±0,29 <sup>b</sup>
780W	25,46±0,18 <sup>b</sup>	21,94±0,37 <sup>cd</sup>	8,25±0,26 <sup>ab</sup>	7,24±0,43 <sup>c</sup>	23,44±0,37 <sup>cd</sup>	20,61±0,23 <sup>a</sup>
45°C + 780W	24,83±0,12 <sup>bc</sup>	26,72±0,24 <sup>b</sup>	8,65±0,18 <sup>a</sup>	3,90±0,41 <sup>d</sup>	28,09±0,14 <sup>b</sup>	17,94±0,28 <sup>b</sup>
Taze Halde	26,23±0,21 <sup>a</sup>	27,25±0,42 <sup>a</sup>	8,23±0,18 <sup>a</sup>	0.00	28,47±0,27 <sup>a</sup>	16,81±0,45 <sup>b</sup>
55°C	22,22±0,43 <sup>e</sup>	22,47±0,32 <sup>cd</sup>	6,94±0,35 <sup>b</sup>	9,07±0,14 <sup>b</sup>	23,52±0,26 <sup>cd</sup>	17,16±0,34 <sup>b</sup>
780W	25,46±0,18 <sup>b</sup>	21,94±0,37 <sup>cd</sup>	8,25±0,26 <sup>ab</sup>	7,24±0,43 <sup>c</sup>	23,44±0,37 <sup>cd</sup>	20,61±0,23 <sup>a</sup>
55°C + 780W	24,28±0,32 <sup>cd</sup>	23,62±0,28 <sup>c</sup>	7,12±0,14 <sup>b</sup>	4,27±0,10 <sup>d</sup>	24,67±0,26 <sup>c</sup>	16,78±0,39 <sup>b</sup>
Taze Halde	26,58±0,47 <sup>a</sup>	30,01±0,22 <sup>a</sup>	9,84±0,19 <sup>a</sup>	0.00	31,58±0,47 <sup>a</sup>	18,14±0,23 <sup>b</sup>
65°C	21,65±0,87 <sup>c</sup>	21,09±0,51 <sup>d</sup>	5,50±0,48 <sup>c</sup>	10,95±0,24 <sup>a</sup>	21,80±0,39 <sup>d</sup>	14,62±0,49 <sup>c</sup>
780W	25,46±0,18 <sup>b</sup>	21,94±0,37 <sup>cd</sup>	8,25±0,26 <sup>ab</sup>	7,24±0,43 <sup>c</sup>	23,44±0,37 <sup>cd</sup>	20,61±0,23 <sup>a</sup>
65°C + 780W	23,79±0,45 <sup>d</sup>	23,46±0,29 <sup>c</sup>	7,05±0,21 <sup>b</sup>	7,65±0,19 <sup>c</sup>	24,50±0,42 <sup>c</sup>	16,73±0,14 <sup>bh</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p < 0,05$ ).

*a* Değerinin kırmızılığı ifade ettiği daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Çalışmada ortaya konulan sonuçlara göre; kırmızıbiberin kurutulması sırasında renk açısından önemli kalite kriterlerinden biri olan *a* değerinin mikrodalga destekli sıcak

hava yöntemiyle yapılan işlemlerden etkilendiği belirlenmiştir. Çizelge 3.37’de verilmiş olan  $a$  değerleri incelendiğinde, taze kırmızıbiber örneklerinin  $a$  değerinin farklı sıcaklıklarda yapılan mikrodalga destekli sıcak hava yöntemiyle kurutulan örneklerin  $a$  değerinden önemli düzeyde farklı olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Mikrodalga destekli  $55^{\circ}\text{C}$ ’de ve  $65^{\circ}\text{C}$ ’de sıcak hava ile kurutulan örneklerin  $a$  değerleri arasında önemli düzeyde fark belirlenmemiştir ( $p>0,05$ ). Mikrodalga destekli  $45^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulan örneklerin  $a$  değeri, mikrodalga destekli  $55^{\circ}\text{C}$ ’de ve  $65^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulan örneklerin  $a$  değerinden farklı olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Mikrodalga yöntemiyle kurutulan örneklerin  $a$  değeri ile mikrodalga destekli  $55^{\circ}\text{C}$ ’de ve  $65^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulan örneklerin  $a$  değerleri arasında önemli düzeyde fark belirlenmemiştir ( $p>0,05$ ).

Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasında, toplam renk değişimini ifade eden  $\Delta E$  değerleri de hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.37’de verilmiştir. Mikrodalga destekli  $45^{\circ}\text{C}$ ’de ve  $55^{\circ}\text{C}$ ’de sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan örneklerin  $\Delta E$  değerleri arasında önemli düzeyde fark belirlenmemiştir ( $p>0,05$ ). Fakat mikrodalga destekli  $65^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulan örneğin  $\Delta E$  değeri istatistiksel açıdan diğer iki koşulda kurutulan örneklerin  $\Delta E$  değerinden farklıdır ( $p<0,05$ ).

Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma yöntemiyle üç farklı sıcaklıkta kurutulan kırmızıbiber örneklerinin kroma değerleri, taze örneklerin kroma değerinden önemli düzeyde farklıdır ( $p<0,05$ ). Çizelge 3.37’deki Hue açısı değerleri incelendiğinde ise durum kroma değerinkinden farklıdır. Yapılacak incelemede taze örneklerin Hue açısı değeri ile mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş örneklerin Hue açısı değerleri arasında belirgin bir farkın olmadığı ( $p>0,05$ ) görülecektir.

Literatürdeki konu ile ilgili benzer çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Alibas (2007) balkabağı örneklerini 5 mm kalınlığında, 40 mm uzunluğunda ve 20 mm eninde kestikten sonra mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga destekli sıcak hava olmak üzere üç farklı yöntemle kurutmuştur. Araştırmacı taze ve kurutulmuş örneklerde,  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerlerini ölçmüş ve bu değerleri kullanarak kroma ve Hue açısı değerlerini de hesaplamıştır.

Sonuçta mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulan örneklerin *L* değerinin taze örneklerin *L* değerinden istatistiksel açıdan farklı olduğunu ifade etmiştir. Taze balkabağı ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulan balkabağı örneklerinin Hue açısı değerleri arasında ise belirgin bir farkın olmadığını belirtmiştir. Sonuç olarak araştırmacı, balkabağının kurutulmasında en iyi kurutma yönteminin renk kalitesi açısından mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma işleminin olduğunu ifade etmiştir. Bir başka çalışmada, muz örnekleri  $4,3 \pm 0,177$  mm kalınlığında dilimlendikten sonra mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga destekli sıcak hava yöntemleri ile kurutulmuştur. Taze ve kurutulmuş örneklerin renk değerlerini karşılaştıran araştırmacı, mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulan örneklerin *L* ve *b* değerlerinin, taze muz örneklerinin *L* ve *b* değerlerine daha yakın olduğunu saptamıştır (Maskan 2000).

#### **3.2.2.4 Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde Kırmızıbiberde Askorbik Asit Değişimi**

Mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerinde yapılan askorbik analizleri sonucunda Çizelge 3.38'deki değerler elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 45°C'de 12 saatlik sıcak hava ile kurutmanın ardından uygulanan 780W'da 450 saniyelik mikrodalga kurutma işlemi sonrasında askorbik asitte %83,95 oranında bir kayıp belirlenmiştir. Diğer taraftan mikrodalga destekli 55°C'de yapılan kurutma işlemi sonunda ise askorbik asitte %84,74 oranında kayıp meydana geldiği saptanmıştır. 65°C'de 6 saatlik sıcak hava ile kurutmanın ardından uygulanan 780W mikrodalga gücünde 400 saniyelik işlem sonunda ise kırmızıbiber örneklerinde askorbik asitin tümünden parçalanarak yok olduğu görülmüştür.

Yapılan araştırma sonucunda hangi kurutma yöntemi olursa olsun taze örneklere göre kurutulmuş örneklerde belli oranda askorbik asit kaybının gerçekleştiği söylenebilir. İstatistiksel açıdan, taze örneklerdeki askorbik asit miktarı ile yapılan kurutma işlemleri sonunda örneklerde belirlenen askorbik asit miktarları arasındaki farkın önemli olduğu ( $p < 0,05$ ) saptanmıştır. Diğer taraftan mikrodalga destekli 45°C'de ve 55°C'de kurutulan örneklerin askorbik asit miktarları arasında belirgin bir fark belirlenmemiştir ( $p > 0,05$ ).

**Çizelge 3.38:** Sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit değerleri

Koşul	Kuruma Süresi	Askorbik Asit* (mg/100 g KM)
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
45°C	24h	307,44±0,89 <sup>b</sup>
780W	2100s	-
45°C + 780W	12h + 450s	242,03±0,96 <sup>bc</sup>
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
55°C	11h	284,69±0,07 <sup>bc</sup>
780W	2100s	-
55°C + 780W	7h + 550s	230,13±1,58 <sup>c</sup>
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
65°C	9h	-
780W	2100s	-
65°C + 780W	6h + 400s	-

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

Çalışmada mikrodalga destekli sıcak hava kurutma işleminde, mikrodalga kurutma işlemine göre mikrodalga uygulama süresi daha kısa olmuştur. Kırmızıbiberlerin Çizelge 3.38’de verilen askorbik asit değerleri incelendiğinde mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerde askorbik asit tespit edilemediği görülecektir. Bu durumun uzun süre mikrodalga uygulamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim literatürdeki çalışmalar incelendiğinde benzer sonuçlar saptanmıştır. Ozkan ve diğ. (2007), ıspanak örneklerini mikrodalga kurutma yöntemiyle farklı güçlerde kurutmuşlar ve askorbik asit içeriklerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, mikrodalga kurutma işleminin süresinin uzamasıyla askorbik asit kaybının daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Bir başka çalışmada, Zhang ve Hamauzu (2004a), brokoli örneklerini mikrodalga ile pişirmişler ve mikrodalga uygulamasının uzaması ile son üründe daha fazla askorbik asit kaybının olduğunu saptamışlardır.

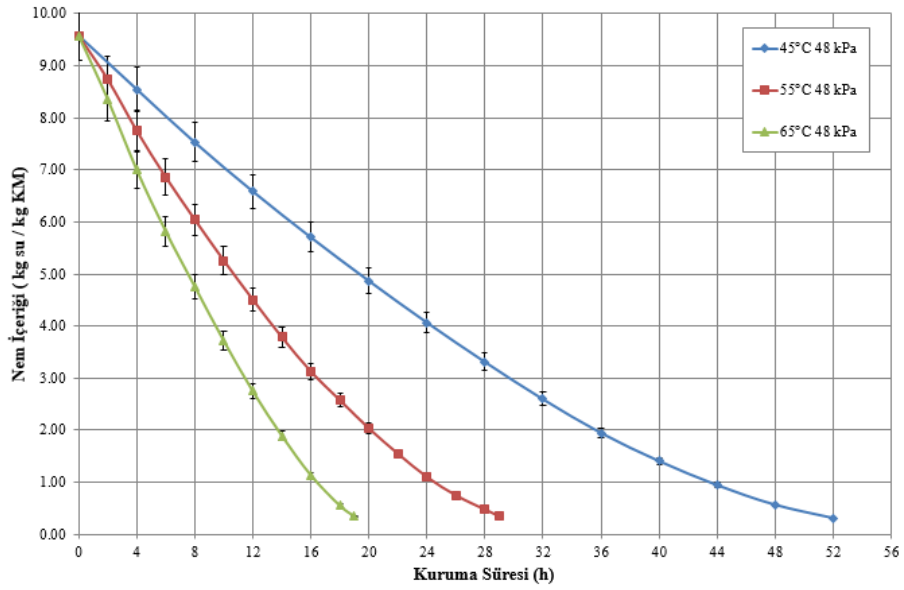
### **3.2.3 Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar**

#### **3.2.3.1 Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Kırmızıbiberin Kuruması Üzerindeki Etkisi**

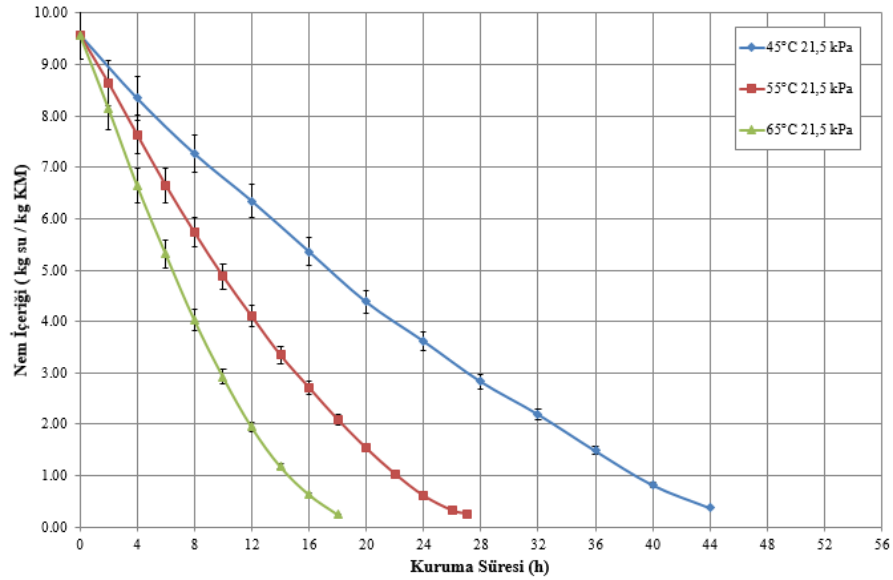
Havuç örneklerinde olduğu gibi kırmızıbiber örnekleri de vakumlu kurutucuda kurutulmuştur. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde kurutulan örneklerin kuruma süreleri, kuruma hızları, renk değerleri ve askorbik asit içerikleri belirlenmiş ve hangi koşulların daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

#### **3.2.3.2 Nem İçeriği Değişimi**

Vakumlu kurutucu ile kırmızıbiberlerin kurutulmasında 45, 55 ve 65°C sıcaklık, 48 ve 21,5 kPa mutlak basınç değerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kurutma denemelerinde, kullanılan kırmızıbiber örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriği  $M_0 = 9,58$  kg su/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. 48 kPa mutlak basınca sahip farklı sıcaklık ortamları için zamana göre nem içeriğindeki değişim Şekil 3.48'de, 21,5 kPa mutlak basınç ortamı için de nem içeriğinin zamana göre değişimi Şekil 3.49'da verilmiştir. Şekil 3.48 ve Şekil 3.49 incelendiğinde vakumlu kurutma yöntemlerinin sıcak hava ile kurutmaya göre oldukça uzun sürdüğü görülmektedir. Kırmızıbiber örneklerinin zamana bağlı olarak nem içerikleri ayrıca Ek G'de Çizelge G.1-G.6'da verilmiştir.



**Şekil 3.48:** Farklı sıcaklıklarda ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



**Şekil 3.49:** Farklı sıcaklıklarda ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi

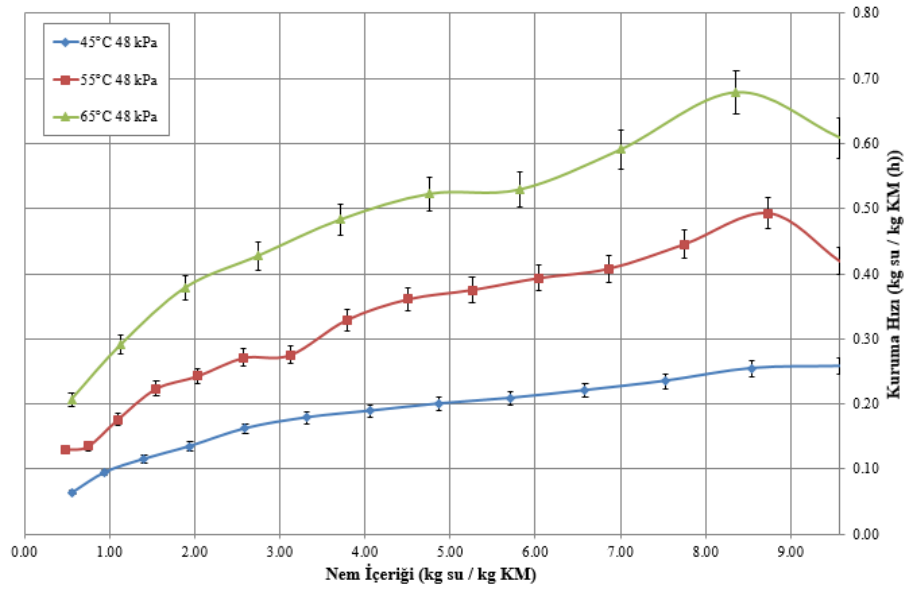
21,5 kPa mutlak basınç değerinde yapılan kurutma işlemleri, beklenildiği gibi 48 kPa mutlak basınç değerinde yapılan uygulamalardan daha kısa sürmüştür. Nitekim 65°C’de 21,5 kPa mutlak basınç değerinde kırmızıbiberlerin nem içeriğinin 9.58’den 0.25 kg su/ kg kuru madde değerine düşmesi 18 saat sürerken, aynı sıcaklık derecesinde 48 kPa mutlak basınç değerinde bu işlem 19 saatte tamamlanmıştır. Wu ve diğ. (2007), patlıcan örneklerini, 45mm boyunda, 25mm eninde ve 20mm kalınlığında, dikdörtgenler prizması şeklinde dilimlemişlerdir. 30°C ve 50°C sıcaklıkta, 2,5, 5 ve 10kPa mutlak basınç altında kurutmuşlardır. Araştırmacılar, kuruma süresi üzerinde basıncın belirgin bir etkisinin olmadığını bununla birlikte



sıcaklığın artmasıyla kuruma sürelerinde önemli düzeyde azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Benzer bir başka çalışmada ise, Arevalo-Pinedo ve Murr (2006), balkabağı örneklerinin 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta, 5, 15 ve 25kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucu ile kurutulmasında sıcaklık kadar basıncın da etkili olduğunu, basıncın artmasıyla kuruma süresinin arttığını ifade etmişlerdir.

### 3.2.3.3 Kuruma Hızı Değişimi

Kırmızıbiber örneklerinin vakumlu kurutucuda farklı sıcaklıkta ve farklı basınç değerlerinde kurutulması süresince belli zaman aralıklarında tartımlar yapılarak elde edilen değerlerle kuruma hızları da hesaplanmıştır. Elde edilen kuruma hız değerlerinin değişimi örneklerin nem içeriğine bağlı olarak Şekil 3.50 ve Şekil 3.51’de grafik edilmiştir.

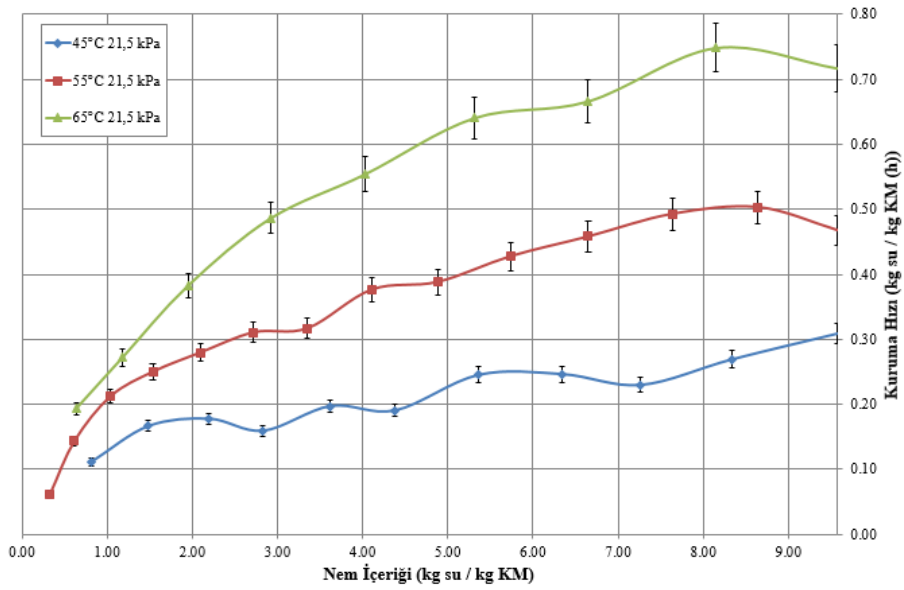


Şekil 3.50: Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa mutlak basınç altında kurutulmuş kırmızıbiber örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

Vakum koşullarında, 48 kPa mutlak basınç altında 45, 55 ve 65°C sıcaklıkta kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin kuruma hızları kıyaslandığında, 65°C’de yapılan kurutma işleminin daha kısa sürede tamamlandığı dolayısıyla kuruma hızının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.50’de de görüleceği üzere 65°C ve 55°C’de yapılan kurutma işlemlerinde başlangıçtaki ısınma evresinden sonra kuruma genel olarak azalan hızda devam etmiştir. 45°C’de yapılan kurutma işleminde ise

başlangıçta bir ısınma evresi gözlemlenmemiştir. Bu sıcaklıkta kuruma genel olarak azalan hızda devam etmiştir.

Kırmızıbiber örneklerinin 21,5 kPa mutlak basınç altında ve yine aynı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde 48 kPa mutlak basınç değerinde yapılan kurutma işlemlerine benzer olarak, 55°C ve 65°C’de yine başlangıçta ısınma evresi gerçekleşmiştir. Kuruma, daha sonra azalan hızda kuruma periyodunda devam etmiş ve tamamlanmıştır (Şekil 3.51). 45°C’deki kurutma işlemi ise azalan hızda başlamış ve sabit hızda kuruma periyotlarının da görülmesine rağmen genel olarak azalan hızda devam etmiştir.



**Şekil 3.51:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneğine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınca sahip ortamlar için elde edilen kuruma hızları kıyaslandığında, kuruma hızının 21,5 kPa mutlak basınç değerinde yapılan işlemlerde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durum Şekil 3.50 ve Şekil 3.51’de de görülmektedir. Kurutma ortamı basıncındaki azalma, üründeki nemin buharlaşma sıcaklığını düşürmekte, nemin üründen ortama geçiş hızını artırmakta ve bu şekilde daha hızlı kuruma gerçekleşmektedir.

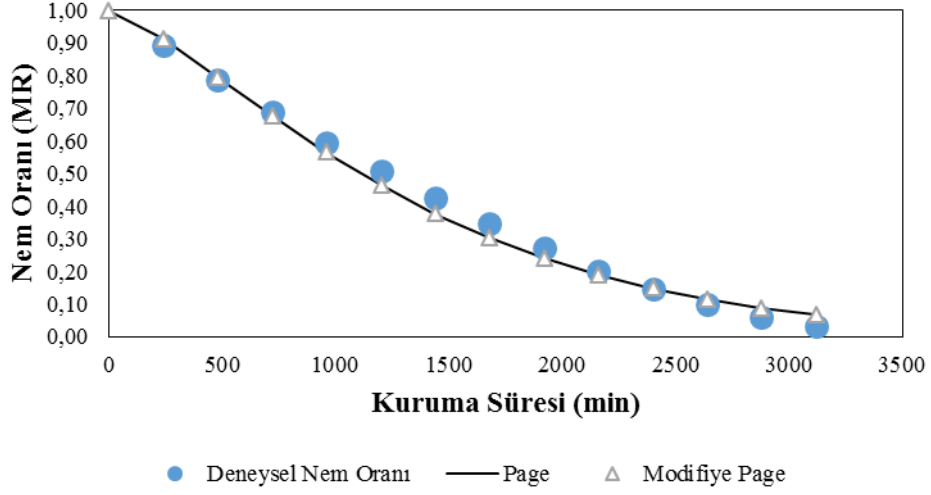
### 3.2.3.4 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Vakumlu kurutucuda, üç farklı sıcaklıkta ve iki farklı basınç değerinde kırmızıbiber örneklerinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler beş ayrı kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistik veriler Çizelge 3.39 ve Çizelge 3.40’da verilmiştir. Elde edilen verilerden; yüksek  $R^2$  ve düşük RMSE değerleri ile Page ve Modifiye Page modellerinin kırmızıbiber örneğinin kuruma kinetiğini tanımlayan en iyi modeller olduğu saptanmıştır.

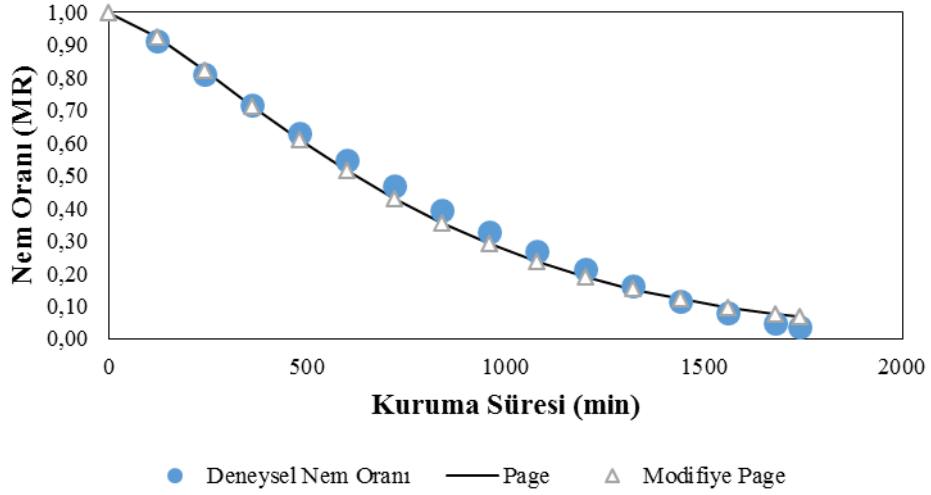
**Çizelge 3.39:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve 48 kPa basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler

Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar		$\chi^2$	RMSE	$R^2$	
Lewis	45	$k= 0,0009$		0,102617	0,308687	0,8980	
	55	$k= 0,0015$		0,066533	0,249750	0,9095	
	65	$k= 0,0023$		0,071910	0,255682	0,8995	
Page	45	$k= 0,00007$	$n= 1,317$	0,001220	0,032339	0,9853	
	55	$k= 0,00014$	$n= 1,323$	0,001360	0,034500	0,9897	
	65	$k= 0,00017$	$n= 1,360$	0,001179	0,031056	0,9852	
Modifiye Page	45	$k= 0,00068$	$n= 1,317$	0,000884	0,027528	0,9853	
	55	$k= 0,00120$	$n= 1,323$	0,001207	0,032500	0,9897	
	65	$k= 0,00180$	$n= 1,360$	0,002952	0,049146	0,9852	
Henderson ve Pabis	45	$k= 0,0010$	$a= 1,432$	0,015123	0,113853	0,9324	
	55	$k= 0,0018$	$a= 1,419$	0,008502	0,086250	0,9419	
	65	$k= 0,0027$	$a= 1,450$	0,009735	0,089247	0,9346	
Logaritmik	45	$k= 0,0011$	$a= 1,425$	$c= 0,033$	0,001447	0,106637	0,9031
	55	$k= 0,0021$	$a= 1,543$	$c= 0,036$	0,032500	0,162500	0,8816
	65	$k= 0,0030$	$a= 1,488$	$c= 0,036$	0,023005	0,129348	0,8703

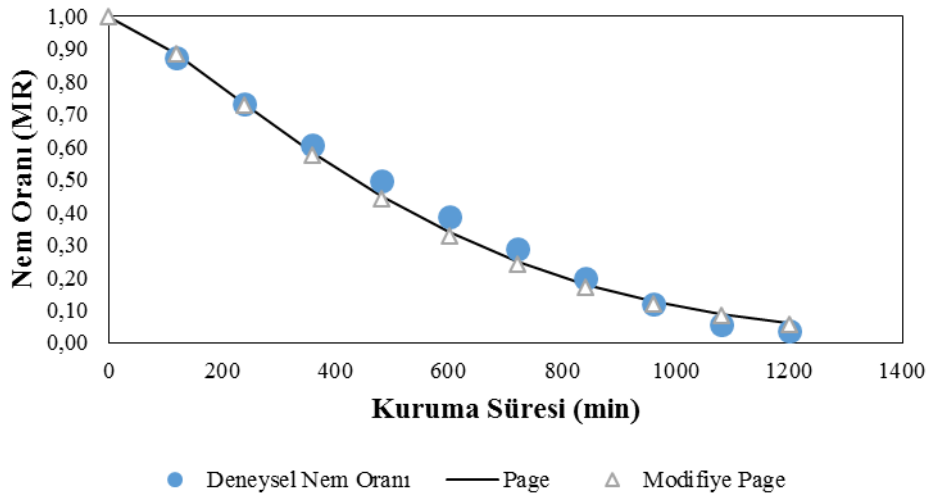
Çizelge 3.39’deki veriler incelendiğinde, Page ve Modifiye Page modellerine ait  $R^2$  değerlerinin diğer modellere ait  $R^2$  değerlerinden daha yüksek ve 1’e daha yakın olması nedeniyle bu modellerin en uygun modeller olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu modellerden elde edilen nem oranları ile deneysel nem oranlarının birlikte verildiği grafikler de çizilmiştir. Grafikler Şekil 3.52a, Şekil 3.52b ve Şekil 3.52c’de verilmiştir. Bu grafiklerden de Page ve Modifiye Page modellerin uyumu net bir şekilde gözlemlenmektedir.



Şekil 3.52a: 48 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



Şekil 3.52b: 48 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



Şekil 3.52c: 48 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

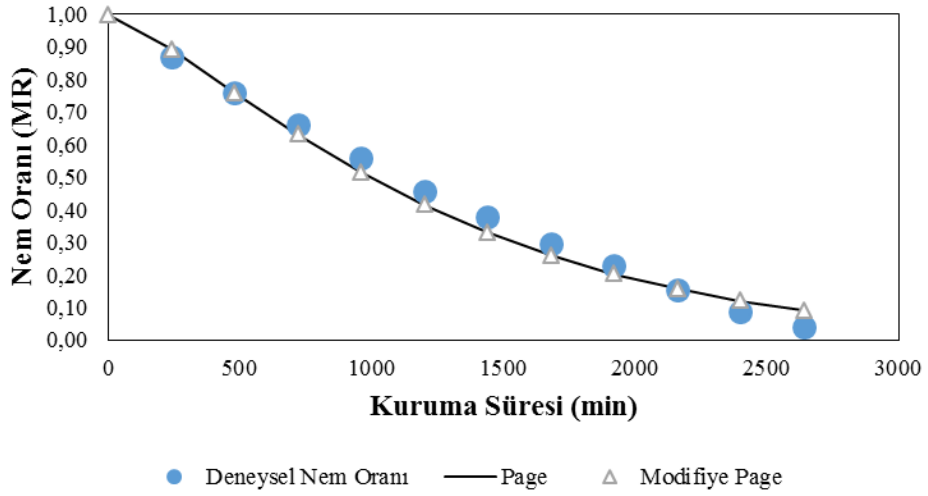
21,5 kPa mutlak basınç altında üç farklı sıcaklıkta vakumlu kurutucuda kurutulan kırmızıbiber örneklerinin de nem oranı değerleri kuruma boyunca hesaplanmıştır. Elde edilen nem oranı değerlerine en yakın dolayısıyla kurumayı en iyi tanımlayan modelin belirlenmesinde beş farklı modele ait istatistiksel parametreler hesaplanmıştır (Çizelge 3.40). Hesaplamalar sonucunda  $R^2$ ; 0,8302-0,9882 değerleri arasında,  $\chi^2$ ; 0,000020-0,107188 değerleri arasında ve RMSE; 0,004131-0,316294 değerleri arasında değişmektedir. 21,5 kPa mutlak basınç altında gerçekleştirilen, bu kurutma işleminde de nem oranı değişimi için en uygun modelin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 3.52d, Şekil 3.52e ve Şekil 3.52f'de 21,5 kPa mutlak basınçta ve üç farklı sıcaklıkta kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait deneysel nem oranı değerleri ile Page ve Modifiye Page modellerinden elde edilen nem oranı değerlerinin uyumunu gösteren grafikler verilmiştir.

**Çizelge 3.40:** Farklı sıcaklık değerlerinde ve 21,5 kPa basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneğinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler

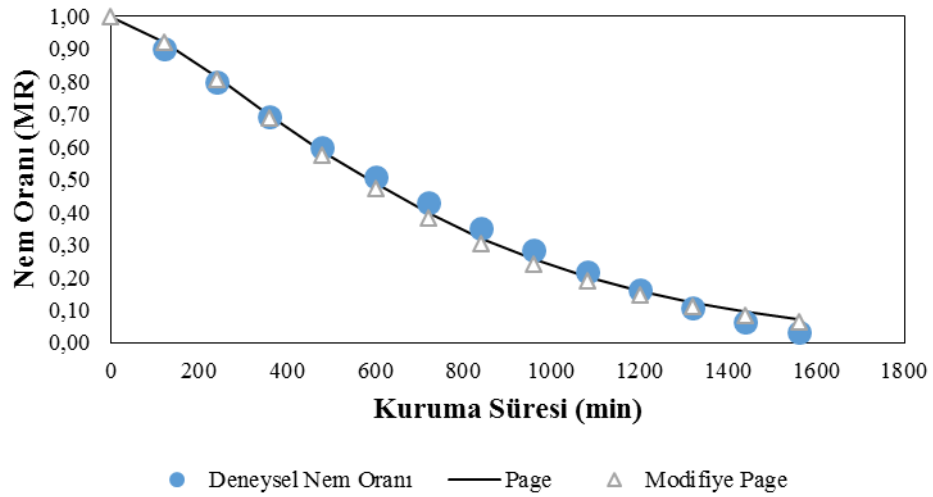
Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar			$\chi^2$	RMSE	$R^2$
Lewis	45	$k= 0,0009$			0,048445	0,210733	0,8753
	55	$k= 0,0018$			0,107188	0,316294	0,8878
	65	$k= 0,0027$			0,066392	0,244444	0,8973
Page	45	$k= 0,00011$	$n= 1,268$		0,001440	0,034641	0,9740
	55	$k= 0,00012$	$n= 1,360$		0,000020	0,004131	0,9854
	65	$k= 0,00018$	$n= 1,390$		0,000528	0,020555	0,9882
Modifiye Page	45	$k= 0,00075$	$n= 1,268$		0,001020	0,029156	0,9740
	55	$k= 0,00135$	$n= 1,360$		0,001529	0,036406	0,9854
	65	$k= 0,00203$	$n= 1,390$		0,000684	0,023401	0,9882
Henderson ve Pabis	45	$k= 0,0011$	$a= 1,385$		0,005108	0,065241	0,9085
	55	$k= 0,0021$	$a= 1,528$		0,021771	0,137362	0,9261
	65	$k= 0,0032$	$a= 1,470$		0,008845	0,084117	0,9311
Logaritmik	45	$k= 0,0011$	$a= 1,282$	$c= 0,039$	0,008040	0,077654	0,9063
	55	$k= 0,0025$	$a= 1,730$	$c= 0,027$	0,057824	0,215080	0,8302
	65	$k= 0,0031$	$a= 1,351$	$c= 0,026$	0,009583	0,081903	0,9310

Gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlara paralellik gösteren bazı çalışmalara literatürde ulaşılabilmektedir. Nitekim Cesur (2013) nar tanelerini vakumlu kurutucuda kurutmuş ve kurutma işleminde Page ve Modifiye Page

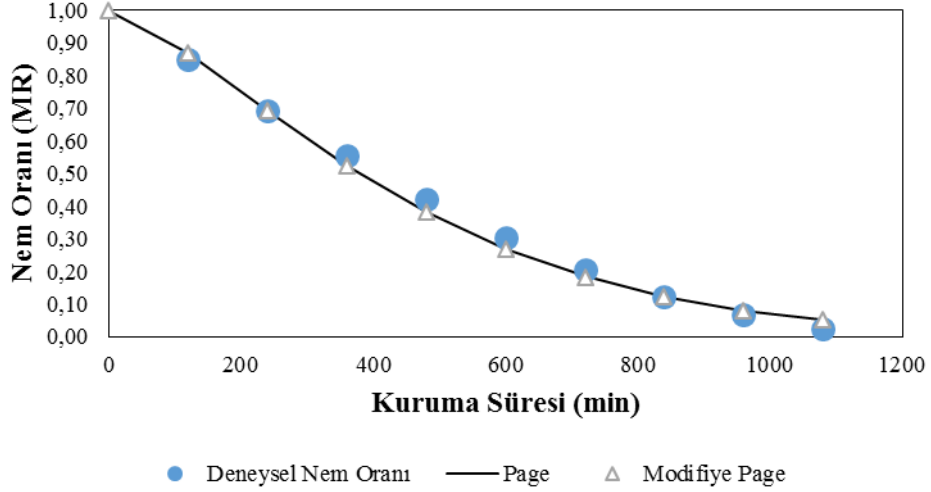
modelinin en uygun modeller olduğunu belirlemiştir. Şen (2010) vakumlu kurutucuda yaptığı kuşburnu meyvesi kurutma çalışması sonunda en uygun modelin Page ve Logaritmik modeller olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 3.52d: 21,5 kPa mutlak basınç ve 45°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

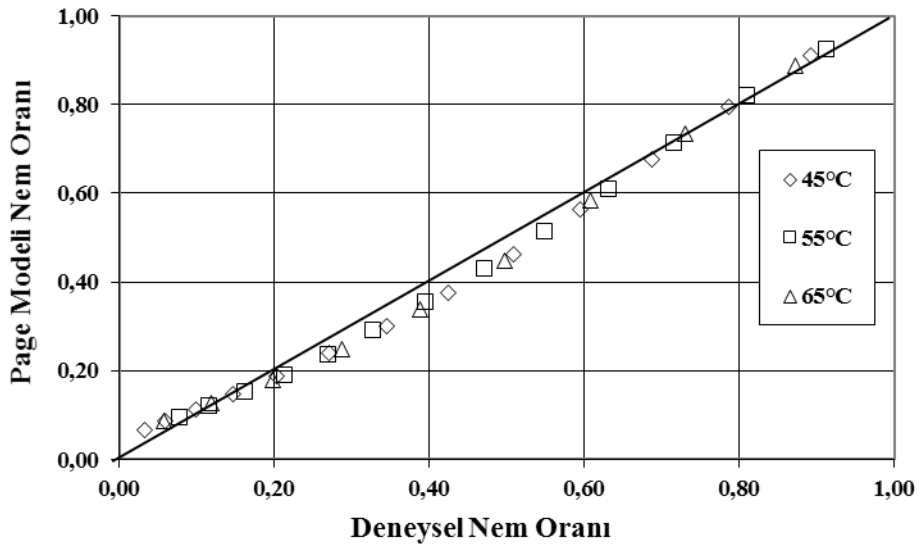


Şekil 3.52e: 21,5 kPa mutlak basınç ve 55°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

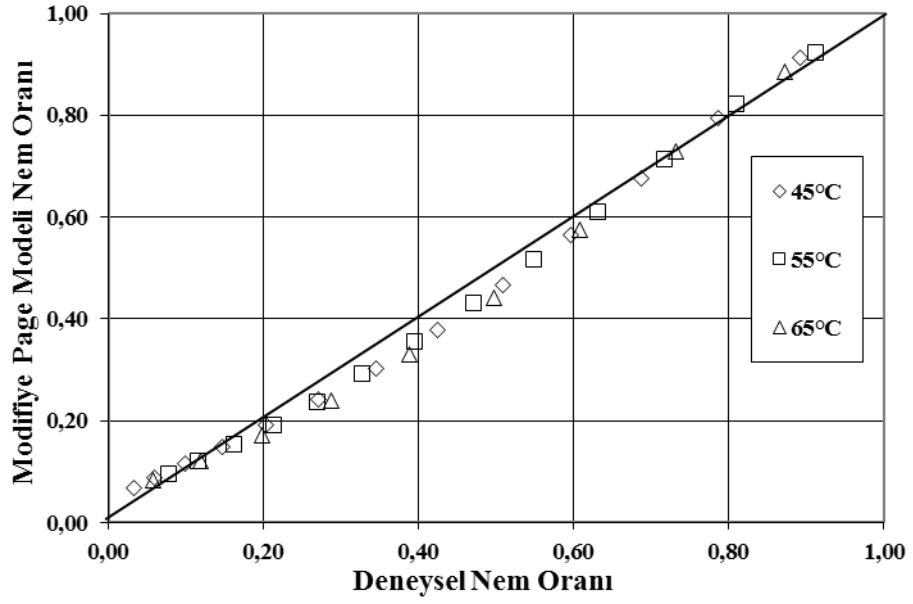


**Şekil 3.52f:** 21,5 kPa mutlak basınç ve 65°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

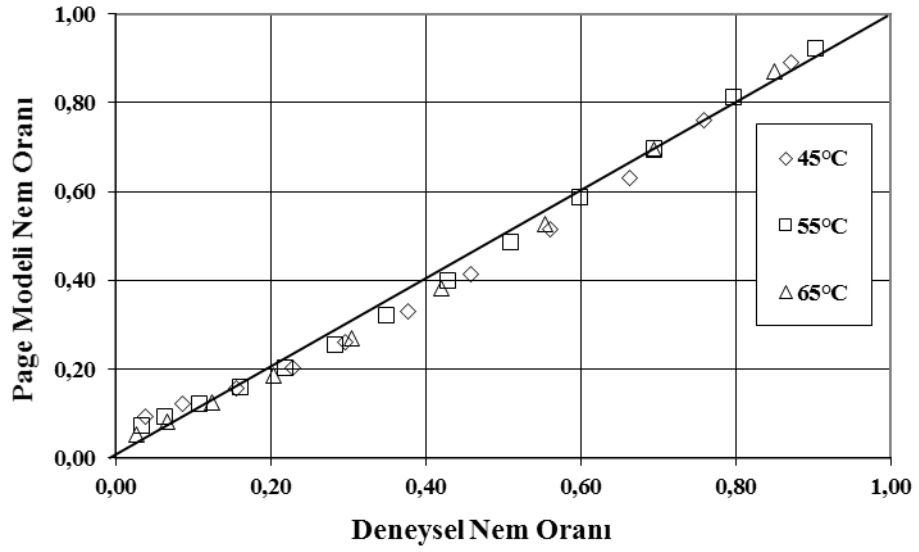
Vakumlu kurutucu ile 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç altında, farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait deneysel yolla elde edilen veriler ile Page ve Modifiye Page modelinden elde edilen verilerin uyumları da araştırılmıştır. Şekil 3.53a ve Şekil 3.53b'de 48 kPa mutlak basınç ortamı için deneysel ve teorik model verilerinin uyumu, Şekil 3.53c ve Şekil 3.53d'de ise 21,5 kPa mutlak basınç ortamı için deneysel ve teorik model verilerinin uyumu gösterilmiştir.



**Şekil 3.53a:** 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu

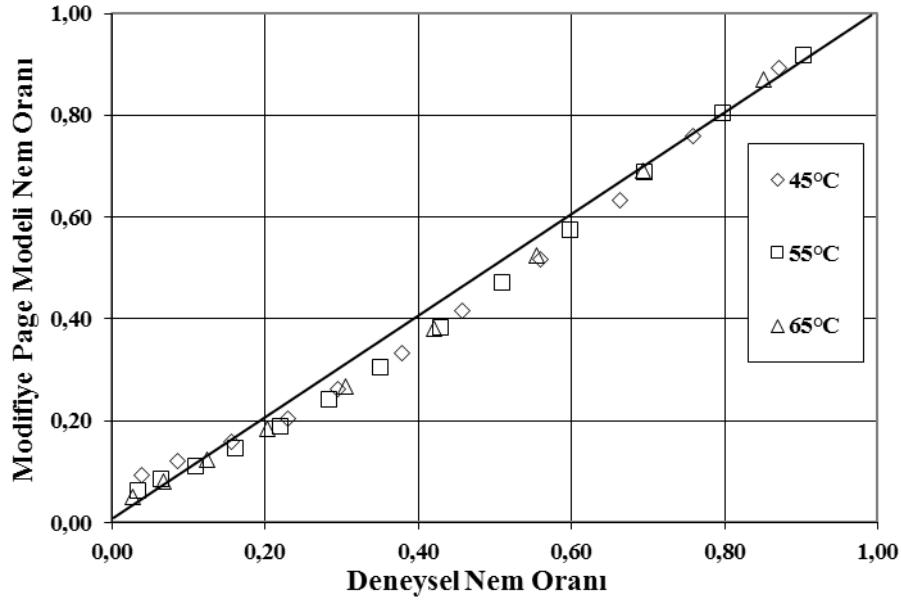


Şekil 3.53b: 48 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu



Şekil 3.53c: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu





Şekil 3.53d: 21,5 kPa mutlak basınç için elde edilen, deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının uyumu

### 3.2.3.5 Vakumlu Kurutucu ile Kurutma İşleminde Farklı Kurutma Ortam Sıcaklıklarının ve Vakum Seviyesinin Kırmızıbiberin Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Vakumlu kurutucu ile iki farklı mutlak basınç değerinde ve üç farklı sıcaklıkta kurutulan kırmızıbiber örneklerinin Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri kurutma sürecinde belli aralıklarla ölçülmüştür. Ölçülen değerlerden havuç örneklerinde olduğu gibi  $\Delta E$ , kroma ve Hue açısı değerleri hesaplanmıştır. Taze ve vakumlu kurutucu ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait renk değerleri Çizelge 3.41’de verilmiştir.

Çizelge 3.41: Taze kırmızıbiber ve vakum ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki renk değerleri

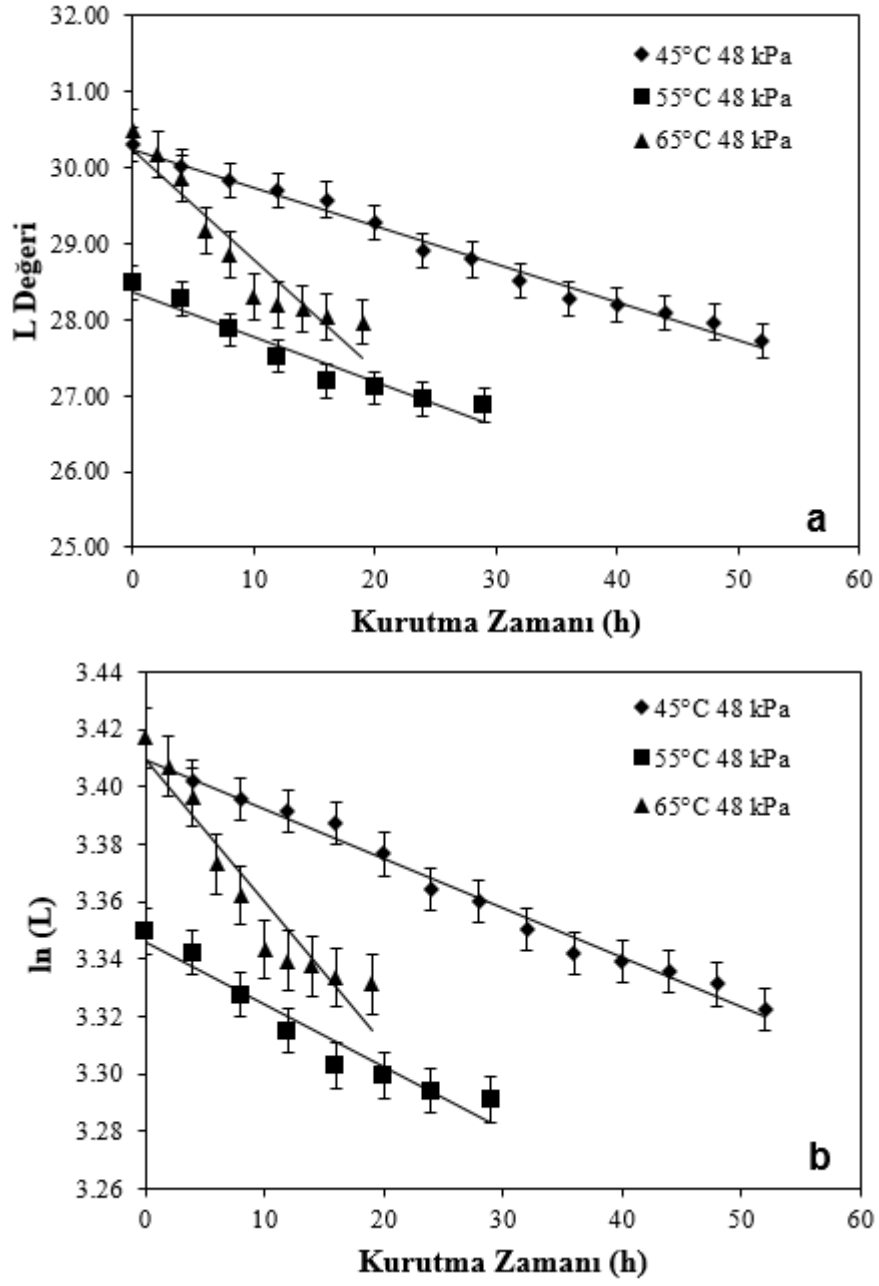
Koşul	Renk Değerleri*						
	$L$	$a$	$b$	$\Delta E$	Kroma	Hue Açısı	
48 kPa	Taze Halde	26,98±0,54 <sup>a</sup>	28,52±0,78 <sup>a</sup>	10,62±0,23 <sup>a</sup>	0.00	30,43±0,15 <sup>a</sup>	20,42±0,13 <sup>ab</sup>
	45°C	23,45±0,16 <sup>c</sup>	22,37±0,47 <sup>b</sup>	7,65±0,41 <sup>b</sup>	6,85±0,22 <sup>a</sup>	23,64±0,22 <sup>bc</sup>	18,88±0,47 <sup>ab</sup>
	55°C	23,12±0,33 <sup>c</sup>	21,96±0,11 <sup>b</sup>	6,43±0,35 <sup>b</sup>	7,90±0,39 <sup>a</sup>	22,88±0,18 <sup>bc</sup>	16,32±0,36 <sup>b</sup>
	65°C	25,04±0,17 <sup>bc</sup>	21,53±0,14 <sup>b</sup>	6,68±0,38 <sup>b</sup>	8,03±0,34 <sup>a</sup>	22,54±0,29 <sup>c</sup>	17,24±0,29 <sup>ab</sup>
21,5 kPa	Taze Halde	28,19±0,18 <sup>a</sup>	28,66±0,51 <sup>a</sup>	9,16±0,35 <sup>a</sup>	0.00	30,09±0,28 <sup>a</sup>	17,72±0,43 <sup>ab</sup>
	45°C	27,73±0,29 <sup>a</sup>	22,82±0,31 <sup>b</sup>	7,88±0,52 <sup>b</sup>	6,94±0,28 <sup>a</sup>	24,14±0,53 <sup>b</sup>	19,05±0,20 <sup>ab</sup>
	55°C	26,87±0,42 <sup>ab</sup>	21,98±0,15 <sup>b</sup>	7,32±0,19 <sup>b</sup>	7,93±0,15 <sup>a</sup>	23,17±0,19 <sup>bc</sup>	18,42±0,17 <sup>ab</sup>
	65°C	27,97±0,28 <sup>a</sup>	21,12±0,23 <sup>b</sup>	7,49±0,27 <sup>b</sup>	7,96±0,18 <sup>a</sup>	22,41±0,17 <sup>c</sup>	19,58±0,33 <sup>a</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p < 0,05$ ).

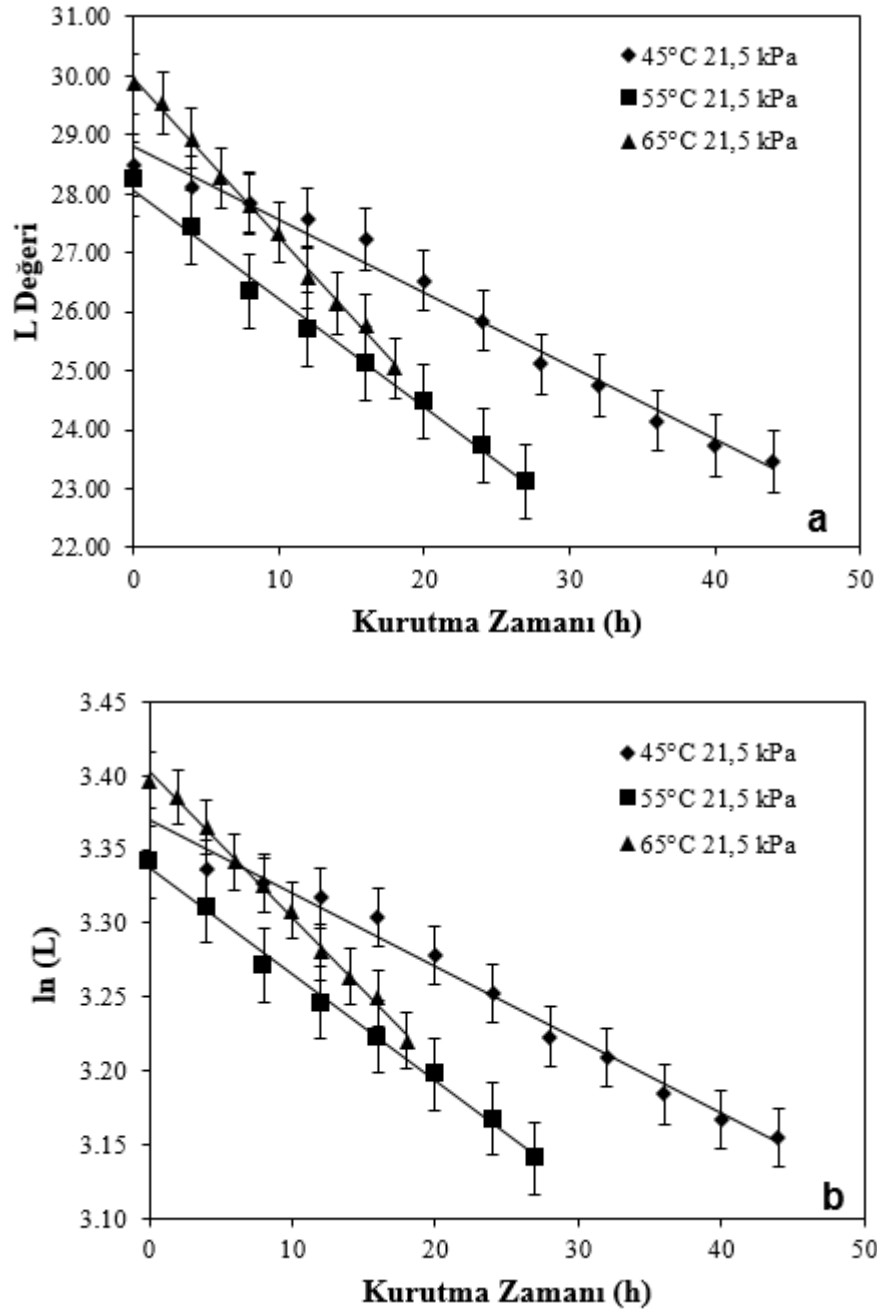
### 3.2.3.5.1 “L Değeri” Değişimi

Çizelge 3.41’de verilen taze ve vakumlu kurutucu ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait  $L$  değerleri incelendiğinde 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan örneklerin  $L$  değerlerinin taze örneklerin  $L$  değerleriyle çok yakın olduğu, değerler arasında istatistiksel açıdan farkın olmadığı ( $p>0,05$ ) görülecektir. 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan örneklere ait  $L$  değerlerinin ise taze kırmızıbibere göre farklı olduğu ( $p<0,05$ ) saptanmıştır. Yapılan çalışmada vakum kurutma işleminde ortam basıncının yüksek olması durumunda kuruma süresinin uzadığı tespit edilmiştir. 48 kPa mutlak basınç ortamında  $L$  değerlerinin taze örneklerden farklı olmasına karşılık, 21,5 kPa mutlak basınç ortamı için elde edilen  $L$  değerlerinin taze örneklerden farklı olmaması kurutma süresinin basınca bağlı değişmesi ile açıklanabilir. Alibaş (2011), kırmızı Şili biberlerini iki farklı sıcaklık ve üç farklı mutlak basınç değerinde kurutmuştur. Araştırmacı, kurutma ortamı basıncının artmasıyla  $L$  değerinin daha fazla kayba uğradığını ifade etmiştir. Bu sonuç da, çalışmamızda elde edilen sonucu doğrulamaktadır.

Kırmızıbiberlerin vakumlu kurutucu ile 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç değerlerinde, 45, 55 ve 65°C sıcaklıkta kurutulması esnasında belli zaman aralıklarında yapılan renk ölçüm sonuçlarını kullanarak renk değişimine ait kinetik hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 3.42 ve Çizelge 3.43’te yapılan kinetik hesaplamalar sonucu elde edilen kinetik parametreler verilmiştir. Elde edilen sonuçlar  $L$  değerindeki değişimin hem sıfırcı hem de birinci dereceden reaksiyon modeline uyduğunu göstermiştir. Modellere ait grafikler Şekil 3.54 ve Şekil 3.55’te verilmiştir.



**Şekil 3.54:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $L$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



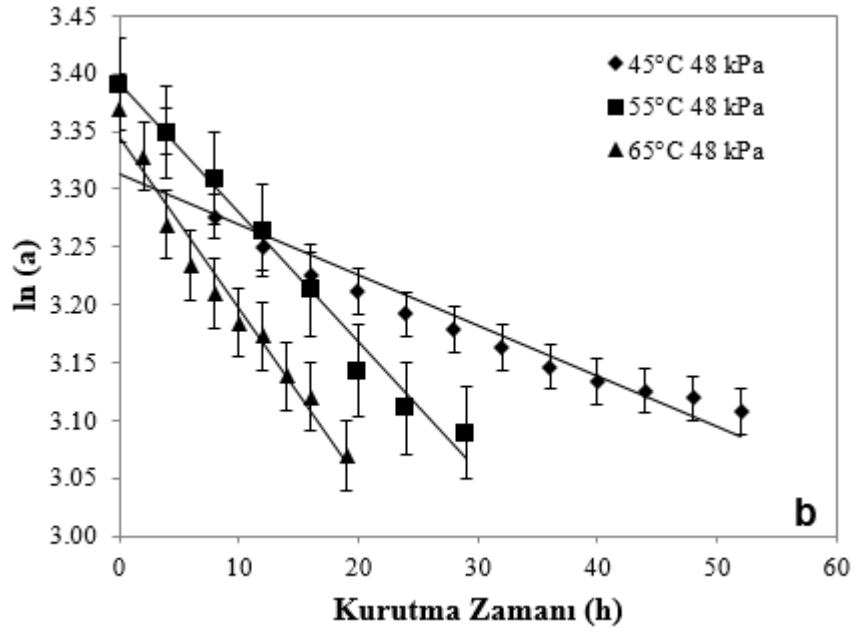
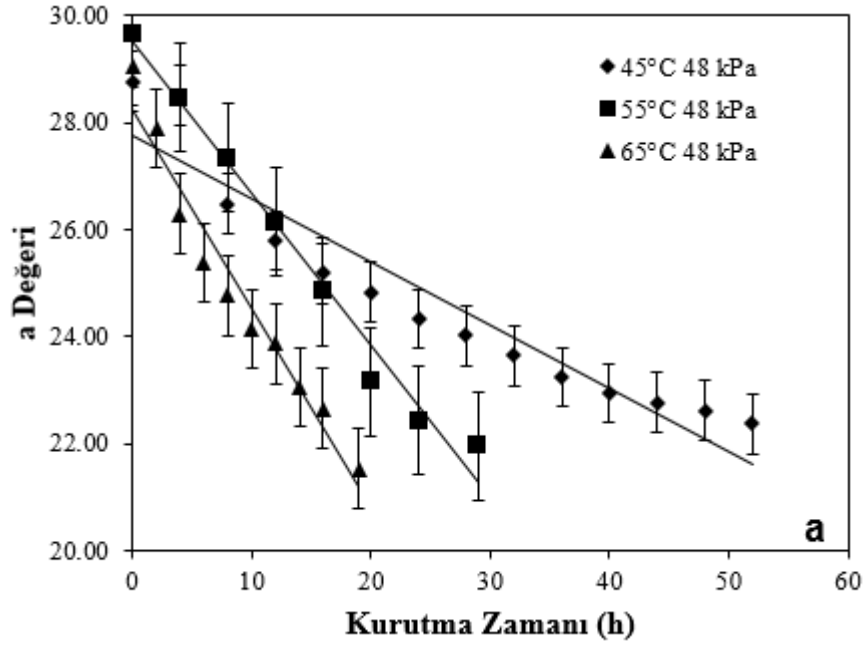
Şekil 3.55: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $L$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

### 3.2.3.5.2 “ $a$ Değeri” Değişimi

Taze kırmızıbiber ve vakumlu kurutucu ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin kırmızılığını ifade eden  $a$  değerleri Çizelge 3.41’de verilmiştir. Taze örneklerin  $a$  değerinin, vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin  $a$  değerlerinden önemli düzeyde ( $p < 0,05$ ) farklı olduğu belirlenmiştir. Bu durum  $a$

değerinin hangi basınçta olursa olsun yapılan ısı işleminden etkilendiğini göstermektedir. Bununla birlikte 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınçlı ortamlarda, 45, 55 ve 65°C'de yapılan kurutma işlemleri sonucu ölçülen  $a$  değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli düzeyde farkın olmadığı belirlenmiştir ( $p>0,05$ ).

48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulan kırmızıbiber örneklerinin  $a$  değerine ait hesaplanmış olan kinetik parametreler Çizelge 3.42 ve Çizelge 3.43'te verilmiştir. Çizelgelerdeki  $a$  değeri için hesaplanan  $R^2$  değerleri incelendiğinde, bu değerlerin birbirine ve 1'e çok yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle yapılan kurutma işleminde örneklerin  $a$  değerindeki değişimin hem sıfırıncı hem de birinci dereceden kinetik modele uyduğu ifade edilebilir.  $a$  değerindeki değişimi ifade eden kinetik modellere ait grafikler Şekil 3.56 ve Şekil 3.57'de verilmiştir.



**Şekil 3.56:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $a$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

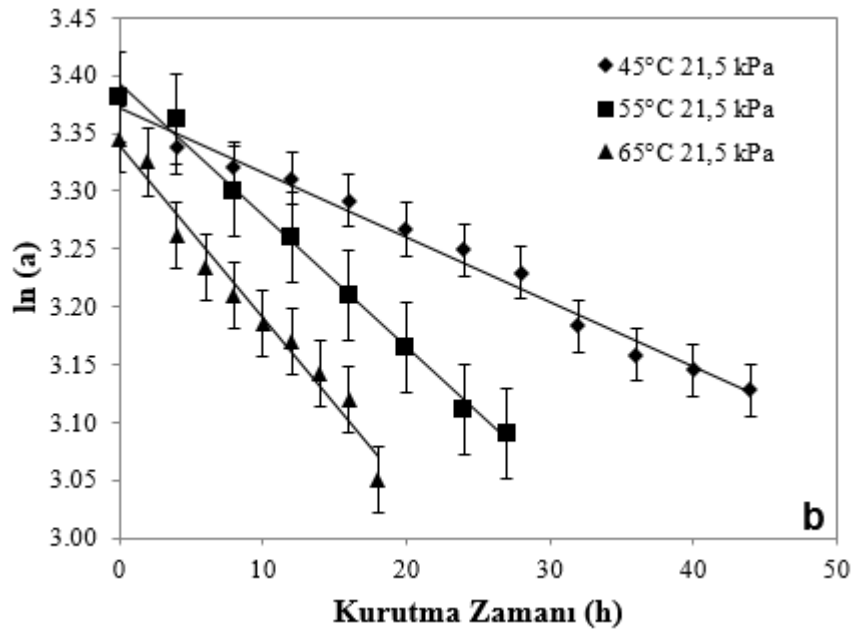
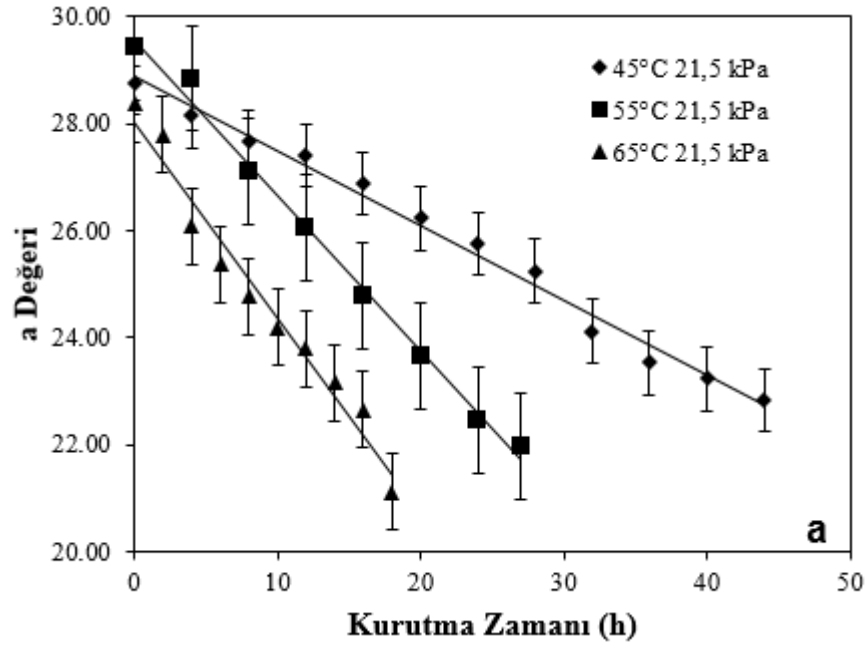
**Çizelge 3.42:** 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler

Renk Parametreleri	Sıcaklık (°C)	Sıfırıncı Dereceden Reaksiyon Modeli				Birinci Dereceden Reaksiyon Modeli			
		$k_0$	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$k_1$ (h <sup>-1</sup> )	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
<i>L</i>	45	0,0501	0,9864	1,19	47,13	0,0017	0,9845	1,29	47,98
	55	0,0598	0,9385			0,0022	0,9410		
	65	0,1448	0,8995	2,42		0,0050	0,9032	2,27	
<i>a</i>	45	0,1180	0,9046	2,41	51,41	0,0044	0,9181	2,55	54,53
	55	0,2848	0,9818			0,0112	0,9845		
	65	0,3703	0,9578	1,30		0,0148	0,9720	1,32	
<i>b</i>	45	0,0757	0,9910	1,57	32,04	0,0083	0,9861	1,80	37,18
	55	0,1186	0,9777			0,0149	0,9862		
	65	0,1547	0,9549	1,30		0,0190	0,9724	1,28	
$\Delta E$	45	0,1382	0,9533	2,27	50,47	0,0253	0,9314	2,94	54,97
	55	0,3132	0,9834			0,0745	0,8801		
	65	0,4251	0,9591	1,36		0,0857	0,8317	1,15	
<i>Kroma</i>	45	0,1291	0,9403	2,38	50,83	0,0049	0,9574	2,35	50,87
	55	0,3073	0,9833			0,0150	0,9865		
	65	0,4000	0,9592	1,30		0,0152	0,9736	1,32	

**Çizelge 3.43:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin renk parametrelerine ait kinetik veriler

Renk Parametreleri	Sıcaklık (°C)	Sıfırıncı Dereceden Reaksiyon Modeli				Birinci Dereceden Reaksiyon Modeli			
		$k_0$	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$k_1$ (h <sup>-1</sup> )	$R^2$	$Q_{10}$	$E_a$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
<i>L</i>	45	0,1239	0,9852	1,49	34,83	0,0050	0,9860	1,44	30,11
	55	0,1841	0,9932			0,0072	0,9955		
	65	0,2700	0,9968	1,47		0,0098	0,9959	1,36	
<i>a</i>	45	0,1402	0,9887	2,08	43,32	0,0056	0,9830	2,04	43,95
	55	0,2913	0,9937			0,0114	0,9946		
	65	0,3676	0,9704	1,26		0,0149	0,9732	1,31	
<i>b</i>	45	0,0273	0,9633	2,74	62,27	0,0031	0,9606	2,90	64,07
	55	0,0749	0,9780			0,0090	0,9865		
	65	0,1092	0,9853	1,46		0,0129	0,9875	1,43	
$\Delta E$	45	0,1922	0,9906	1,79	39,75	0,0511	0,9531	1,55	37,85
	55	0,3439	0,9959			0,0794	0,8691		
	65	0,4663	0,9865	1,36		0,1191	0,8172	1,50	
<i>Kroma</i>	45	0,1430	0,9883	2,10	44,28	0,0053	0,9855	2,11	45,83
	55	0,3002	0,9948			0,0112	0,9960		
	65	0,3831	0,9748	1,28		0,0147	0,9774	1,31	





Şekil 3.57: 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $a$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

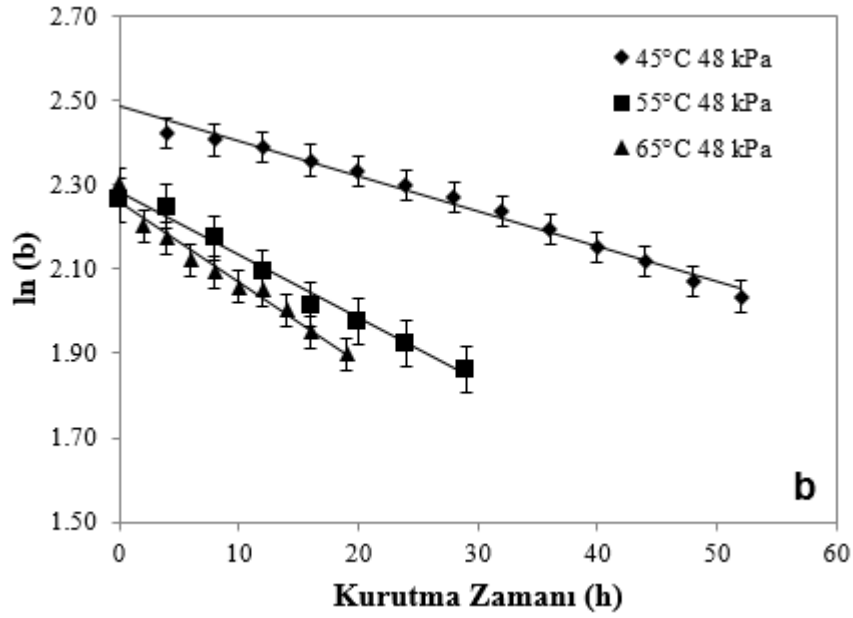
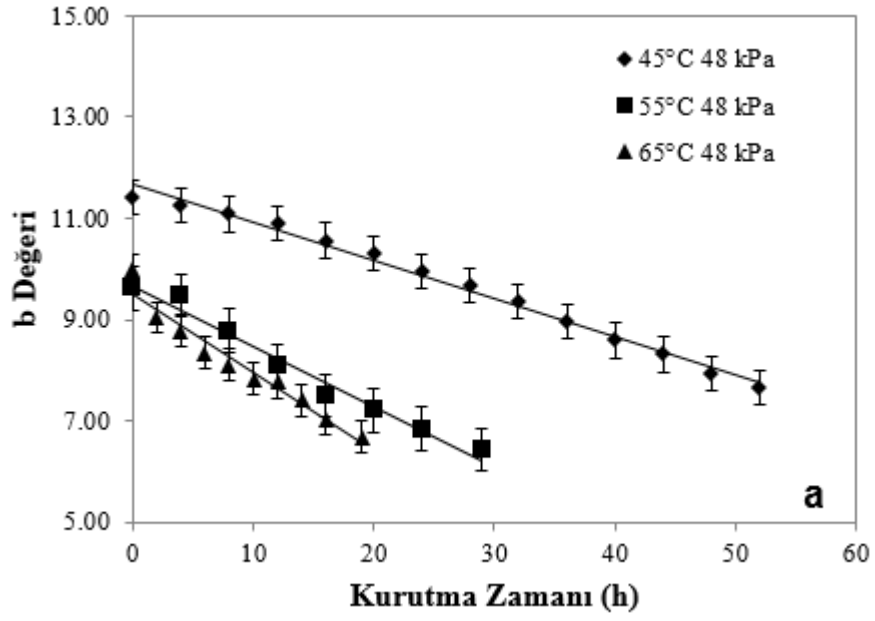
### 3.2.3.5.3 “ $b$ Değeri” Değişimi

Kırmızıbiberlerin farklı ortam basıncı ve farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemleri sürecinde ölçülen renk parametrelerinden birisi de  $b$  değeri olmuştur.  $b$  değerlerinin ölçüm sonuçları da Çizelge 3.41’de verilmiştir. Çizelge 3.41’deki  $b$  değerleri incelendiğinde,  $a$  değerine benzer bir durum olduğu görülmektedir.

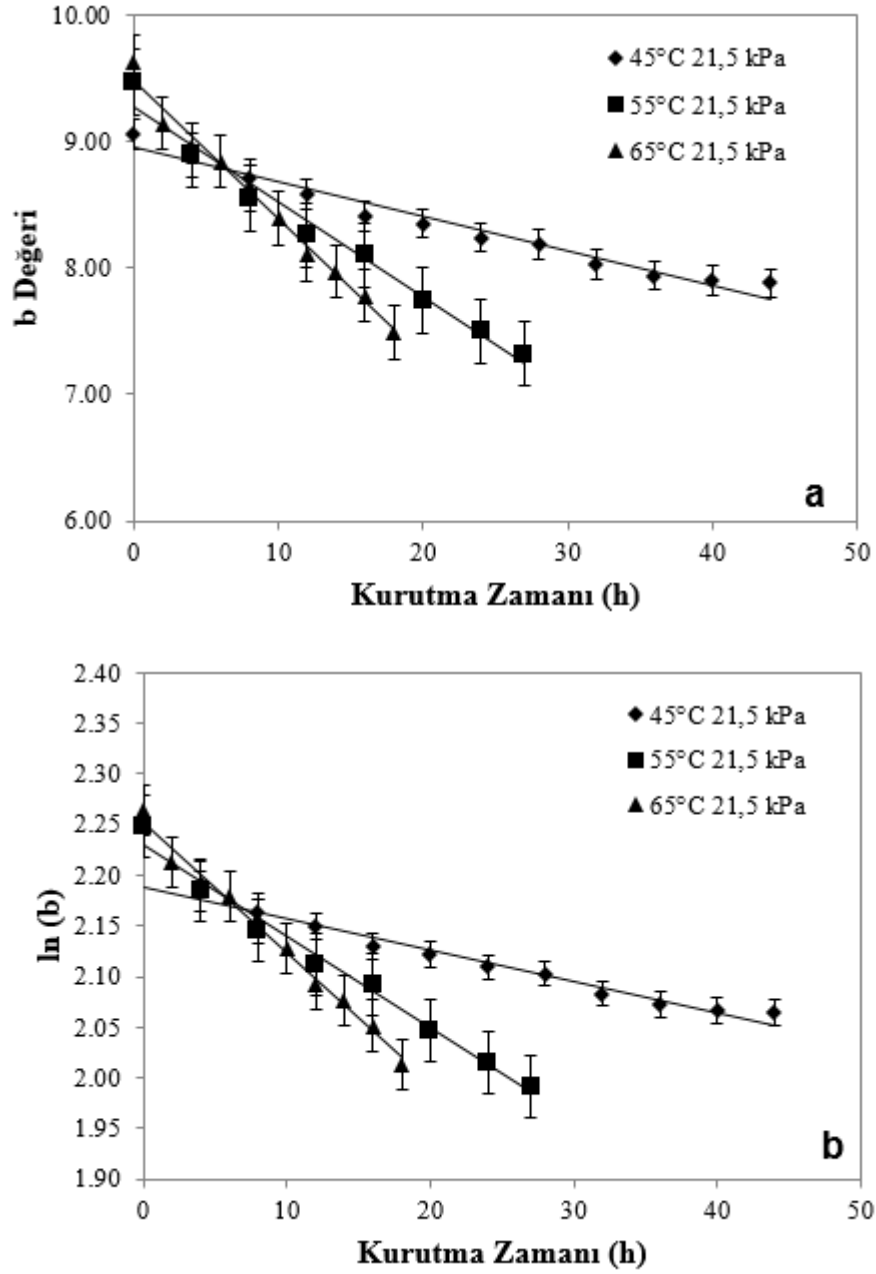
Nitekim, taze kırmızıbiber örneklerinin  $b$  değerinin kurutulmuş örneklerin  $b$  değerinden istatistiksel açıdan farklı olduğu ( $p<0,05$ ) belirlenirken hem 48 kPa hem de 21,5 kPa mutlak basınç altında 45, 55 ve 65°C’de kurutulan örneklerin  $b$  değerleri arasında ise istatistiksel açıdan belirgin bir farkın olmadığı ( $p>0,05$ ) saptanmıştır.

Vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan kırmızıbiber örnekleri için ölçülen  $b$  değerleri kullanılarak gerçekleştirilen kinetik modelleme çalışmaları sonrası Çizelge 3.42 ve Çizelge 3.43’de gösterilen kinetik parametreler elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.58 ve Şekil 3.59’da sırasıyla 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $b$  değerinin kuruma zamanı ile değişimi verilmiştir.

Çizelge 3.42 ve Çizelge 3.43’te sıfıncı ve birinci dereceden kinetik modellere ait  $R^2$  değerlerinin hem birbirlerine ve hem de 1’e çok yakın olması nedeniyle  $b$  değerindeki değişimin sıfıncı ve birinci derece kinetik modele uygun olduğu ifade edilebilir. Şekil 3.58 ve Şekil 3.59’da verilmiş olan vakumlu kurutmada kullanılan tüm koşullar için  $b$  değerinin zamana göre değişimlerini gösteren hem sıfıncı dereceden kinetik modele göre çizilen grafiklerde hem de birinci dereceden kinetik modele göre çizilen grafiklerde bir doğrunun elde edilmiş olması, değişimlerin sıfıncı ve birinci derecede kinetik modele uygun olduğunun bir diğer göstergesi olarak ifade edilebilir.



**Şekil 3.58:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



**Şekil 3.59:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

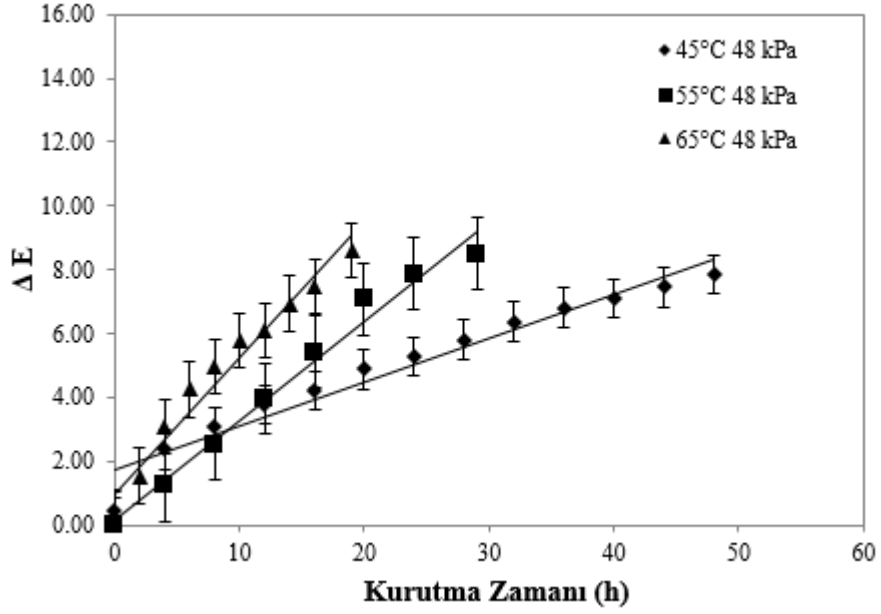
### 3.2.3.5.4 $\Delta E$ Değerinin Değişimi

Vakumlu kurutucu ile kurutulan kırmızıbiber örneklerinin ölçülen  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerlerinden yararlanılarak her sıcaklık için toplam renk değişimini ifade eden  $\Delta E$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler diğer renk değerleri ile birlikte Çizelge 3.41’de verilmiştir. Çizelgede verilmiş olan  $\Delta E$  değerleri incelendiğinde,

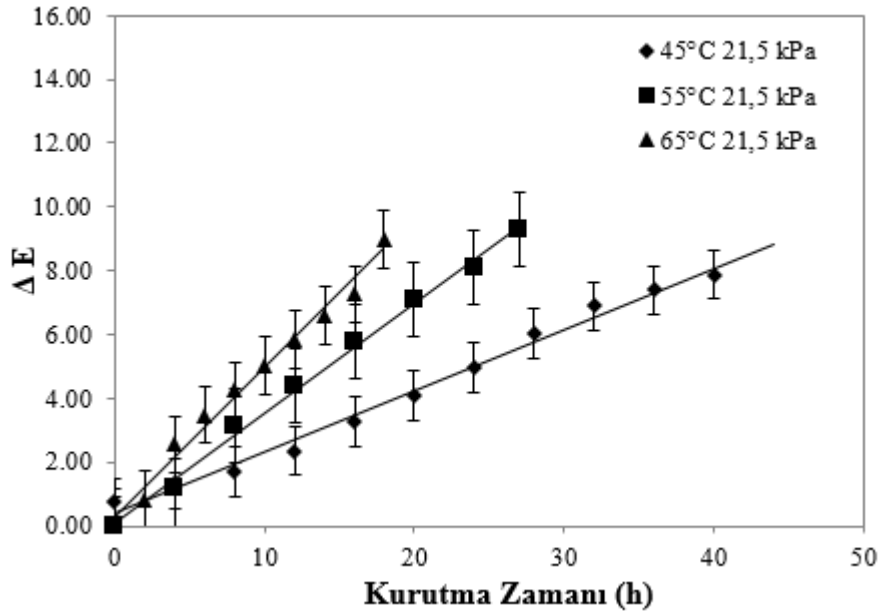
vakum kurutma işleminde farklı kurutma koşulları için belirlenmiş olan  $\Delta E$  değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli düzeyde farkın olmadığı görülmektedir.

Diğer renk parametrelerinde olduğu gibi  $\Delta E$  değerlerindeki değişimin de kinetik modellemesi yapılmıştır. Çizelge 3.42’de 48 kPa mutlak basınç altında üç farklı sıcaklıkta kurutulan kırmızıbiber örneklerinin  $\Delta E$  değerlerine ait hesaplanmış kinetik veriler görülmektedir. Ayrıca, Çizelge 3.43’de de 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan örneklerin kinetik verileri gösterilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde,  $\Delta E$  değerindeki değişimin sıfırıncı dereceden reaksiyon modeline daha uygun olduğu görülebilecektir. Sıfırıncı dereceden reaksiyon modeline ait  $R^2$  değerleri, birinci dereceden reaksiyon modeli için hesaplanan  $R^2$  değerlerine göre 1’e daha yakın bulunmuş olması nedeniyle, sıfırıncı dereceden kinetik modelin değişimi daha iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

Farklı kurutma koşulları için  $\Delta E$  değerlerinin zamana göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 3.60 ve Şekil 3.61’de gösterilmiştir. Şekiller,  $\Delta E$  değerlerindeki değişimin sıfırıncı dereceden kinetik modele uygun olduğunu doğrulamaktadır. Dadalı ve diğ. (2007a), mikrodalga kurutma yöntemiyle ile farklı mikrodalga güçlerinde bamya örneklerini kurutmuşlar ve kuruma sırasında örneklerin Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  renk değerlerini ölçmüşlerdir. Ölçülen renk değerleri kullanarak örneklere ait  $\Delta E$  değerlerini de hesaplamışlardır. Sonuç olarak, mikrodalga gücünün artmasıyla  $\Delta E$  değerlerinin de arttığını ve  $\Delta E$  değerlerinde meydana gelen değişimin sıfırıncı dereceden reaksiyon modeline uyduğunu ifade etmişlerdir.



**Şekil 3.60:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $\Delta E$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırncı dereceden kinetik modele uygunluğu



**Şekil 3.61:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait  $\Delta E$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin sıfırncı dereceden kinetik modele uygunluğu

### 3.2.3.5.5 Kroma ve Hue Açısı Değerlerinin Değişimi

Kroma ve Hue açısı değerleri daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi ölçülen  $L$ ,  $a$  ve  $b$  renk değerlerini kullanarak hesaplanan renk değerleridir. Kroma değeri, ürün renginin parlaklık veya matlığını ifade ederken, Hue açısı ise rengin tonu hakkında bilgi veren değerdir. Kroma değerinin 0-60 arasında değiştiğini ve

değerin 0'a yakın olması ürün renginin mat olduğunu, 60'a yaklaştıkça parlaklığın arttığı kabul edilir. Yapılan çalışmada kırmızıbiber örneklerinin vakumlu kurutucuda kurutulması sırasında elde edilen kroma ve Hue açısı değerleri Çizelge 3.41'de verilmiştir. Çizelge 3.41'deki taze örneklere ait kroma değerlerinin 30,43-30,09 olarak hesaplandığı görülmektedir. İki mutlak basınç ortamında ve üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen vakumlu kurutma işlemlerinin tamamında kırmızıbiber örnekleri için elde edilen kroma değerlerinin azaldığı, dolayısıyla ürün renginin matlaştığı saptanmıştır. Ayrıca kroma değerlerindeki değişimin kinetik modellenmesi yapılmış ve reaksiyonun hem sıfırıncı hem de birinci dereceden reaksiyon modeline uyduğu belirlenmiştir. Reaksiyon modellerine ait kinetik veriler Çizelge 3.42 ve Çizelge 3.43'de kroma değerlerindeki değişimi ifade eden grafikler de Şekil 3.62 ve Şekil 3.63'de verilmiştir.

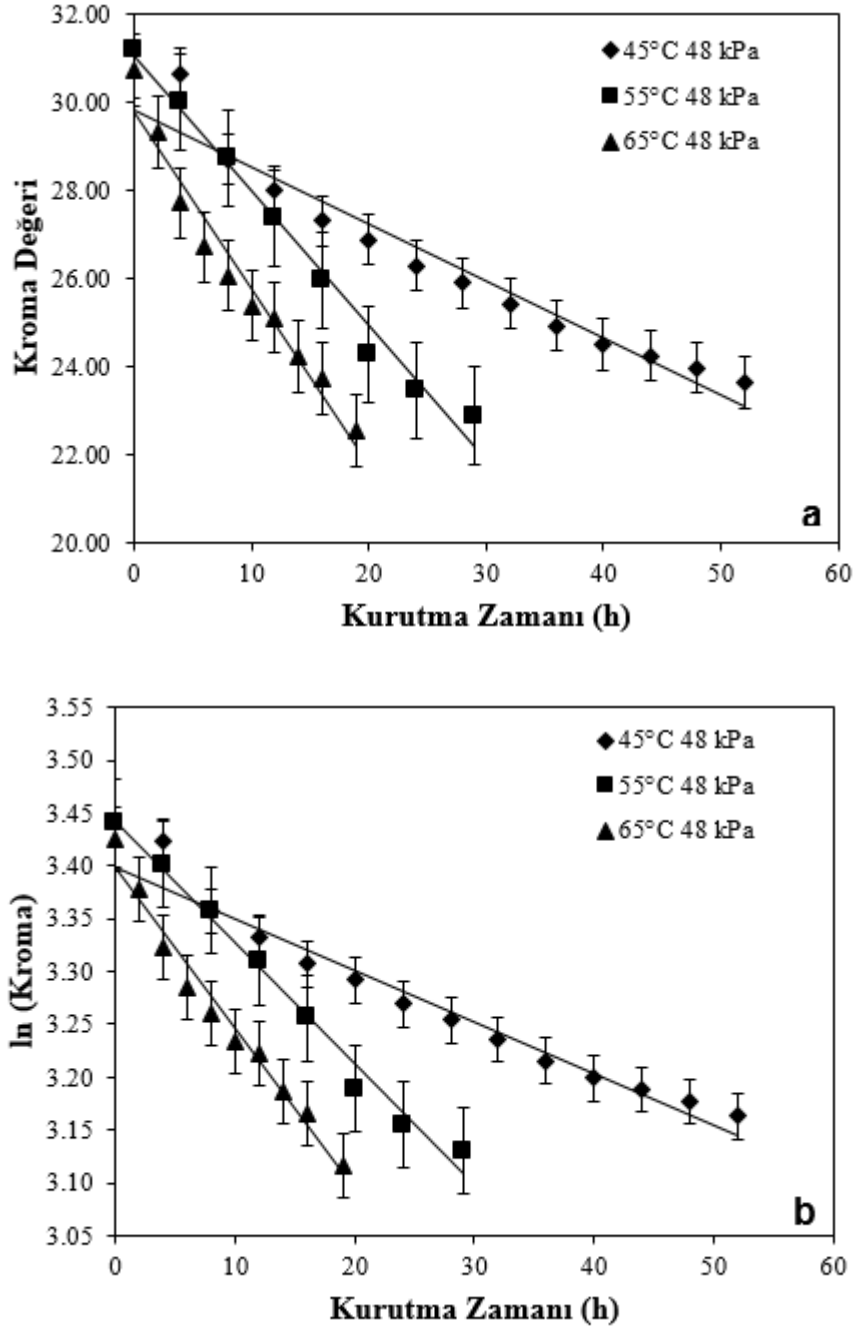
Kırmızıbiberlerin vakum kurutma işlemine ait olarak hesaplanmış olan Hue açısı değerleri de Çizelge 3.41'de verilmiştir. Taze kırmızıbiber örneklerinin Hue açısı değerleri ile vakumlu kurutma sonucu elde edilen örneklerin Hue açısı değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli düzeyde ( $p>0,05$ ) fark olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca farklı sıcaklıklarda ve mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerinin renk tonları arasında da önemli düzeyde bir fark bulunmamıştır. Örneğin 48 kPa mutlak basınç altında 45, 55 ve 65°C'de kurutulan örneklerin Hue açısı değerleri sırasıyla 18,88, 16,32 ve 17,24 olarak hesaplanmışken, taze örneğin Hue açısı değeri 20,42 olarak saptanmıştır. Hue açısı değerlerinin kuruma esnasındaki değişiminin düzensiz olmasından dolayı kinetik model belirlemesi yapılamamıştır.

### **3.2.3.5.6 Renk Değerlerine Ait Kinetik Parametreler**

48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç altında farklı sıcaklıklarda kurutulan kırmızıbiber örneklerinin renk değerlerinin değişimine ait kinetik parametrelerden  $Q_{10}$  değerleri ve aktivasyon enerjisi değerleri Çizelge 3.41 ve Çizelge 3.42'de verilmiştir.

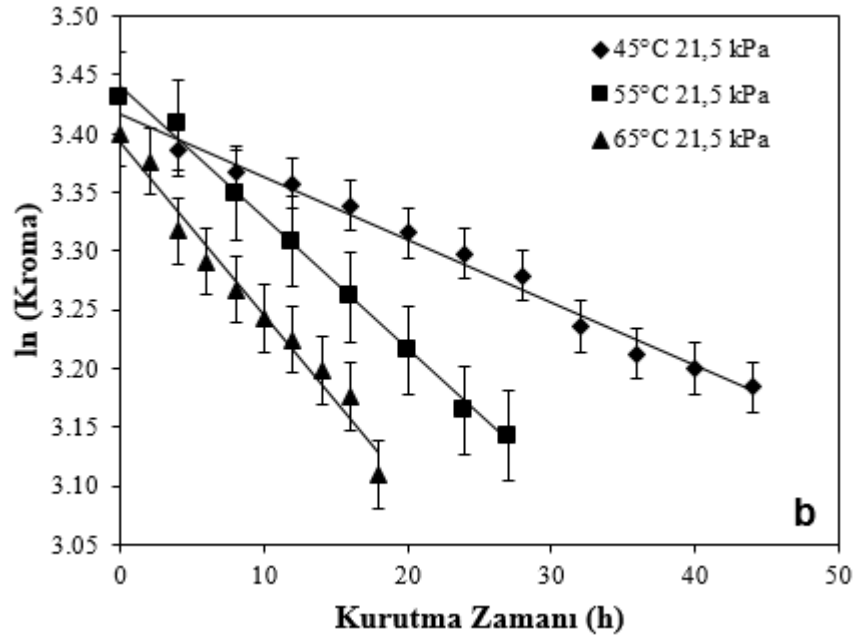
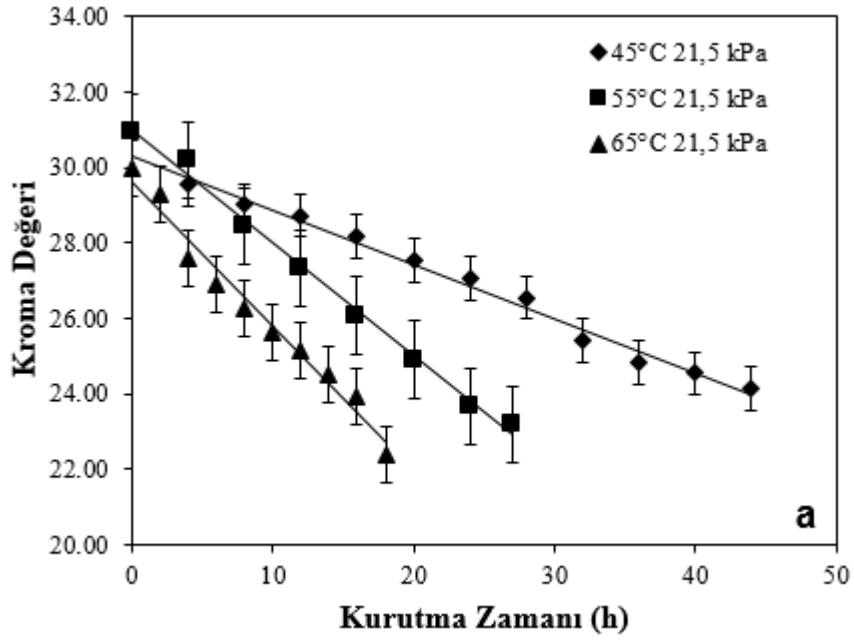
Çizelge 3.42'de verilen  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerlerinin değişimine ait aktivasyon enerji değerleri incelendiğinde,  $a$  değeri değişimi için hesaplanan aktivasyon enerjisinin,  $L$

ve  $b$  değerlerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum 48 kPa mutlak basınç altında 45, 55 ve 65°C’de yapılan vakumlu kurutma işlemlerinde  $a$  değerinin sıcaklık değişimlerinden daha fazla etkilendiğinin bir göstergesidir. Aynı çizelgedeki  $a$  ve  $b$  değerleri için verilen  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde, sıcaklığın 45°C’den 55°C’ye yükselmesinin etkisinin sıcaklığın 55°C’den 65°C’ye yükselmesine göre daha fazla olduğu görülecektir.



**Şekil 3.62:** 48 kPa mutlak basınç altında kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait *kroma* değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model





**Şekil 3.63:** 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait *kroma* değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

Çizelge 3.43’de 21,5 kPa mutlak basınç altında ve üç farklı sıcaklıkta yapılan kurutma işlemleri sonucu renk değerlerine ait kinetik veriler gösterilmiştir. Çizelgeden sıcaklık değişimlerinin *b* değerine etkisini ifade etmek için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerlerinin diğer renk parametrelerine ait aktivasyon enerjisi değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Sıcaklığın renk parametreleri üzerine etkisini tanımlamada kullanılacak bir parametre olarak hesaplanmış ve yine Çizelge 3.43’te verilmiş olan  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde en büyük değer,

sıcaklığın 45°C'den 55°C'ye yükselmesi durumunda  $b$  değeri için hesaplanan  $Q_{10}$  değeri olduğu görülecektir.

İki çizelge birbiri ile kıyaslandığında, kırmızıbiberin vakumlu kurutulması sırasında renk açısından önem arz eden  $a$  ve  $L$  değerlerinin düşük basınca sahip ortamlarda sıcaklık değişimlerinden daha az etkilendiği belirlenmiştir. 21,5 kPa mutlak basınç altında yapılan kurutma sonucu ürün kırmızılığı ve parlaklığı 48 kPa'da yapılan kurutmaya göre daha az kayba uğramıştır.

### **3.2.3.6 Vakumlu Kurutucu ile Kurutulan Kırmızıbiberlerde Askorbik Asit Miktarındaki Değişimler**

Sıcak hava ile kurutulan kırmızıbiber örneklerinde olduğu gibi vakumlu kurutucu ile kurutulan örneklerin de askorbik asit miktarları belirlenmiştir. Sonuçlar, Çizelge 3.44 ve Çizelge 3.45'te verilmiştir. Çizelgelerdeki askorbik asit değerlerinin incelenmesinden kurutma sıcaklığının artmasıyla askorbik asit kaybının da arttığı görülmektedir. Hatta 65°C'de yapılan kurutma işlemleri sonucunda kırmızıbiber örneklerinde askorbik asitin tamamen parçalandığı belirlenmiştir.

Sıcaklık etkisinin yanısıra kurutma ortam basıncının da askorbik asit kaybı üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Nitekim 48 kPa mutlak basınç altında 45°C'de yapılan kurutma sonunda örneklerin askorbik asit miktarı  $377,17 \pm 2,30$  mg/100 g kuru madde olarak belirlenmişken, 21,5 kPa mutlak basınç altında yine 45°C'deki kurutma sonunda ise  $643,69 \pm 3,16$  mg/100 g kuru madde olarak saptanmıştır. Bu sonuç kurutma ortam basıncının düşürülmesiyle askorbik asit kaybının daha da azaldığını göstermektedir. Bunun temel nedeni olarak vakum etkisiyle kurutma ortamındaki havanın buna bağlı olarak da ortamdaki oksijen miktarının azalması gösterilebilir. Askorbik asit kolay okside olabilen bir bileşen olduğu için kurutma ortamındaki oksijen miktarının azalmasıyla askorbik asit oksidasyon reaksiyonları da yavaşlamaktadır.

**Çizelge 3.44:** Taze kırmızıbiber ve 48 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit değerleri

	Koşul	Kurutma Süresi (h)	Askorbik Asit* (mg/100 g KM)
48 kPa	Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
	45°C	52	377,17±2,30 <sup>b</sup>
	55°C	29	216,30±0,81 <sup>c</sup>
	65°C	19	-

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

**Çizelge 3.45:** Taze kırmızıbiber ve 21,5 kPa mutlak basınç ortamında kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit değerleri

	Koşul	Kurutma Süresi (h)	Askorbik Asit* (mg/100 g KM)
21,5 kPa	Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
	45°C	44	643,69±3,16 <sup>b</sup>
	55°C	27	537,63±3,53 <sup>c</sup>
	65°C	18	-

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

Vakumlu kurutucu ile yapılan kurutma işlemleri sırasındaki askorbik asit kayıpları ile ilgili sonuçlar Çizelge 3.46-3.51 arasında verilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ile literatürdeki çalışmaların uyum içinde olduğu belirlenmiştir. Nitekim, Methakhup ve diğ. (2005), Hint Bektaşi üzümünün çekirdeklerini çıkardıktan sonra püre haline getirmişler ve vakumlu kurutma yöntemiyle 65 ve 75°C sıcaklıkta ve 7, 10 ve 13 kPa mutlak basınç altında kurutmuşlardır. Kurutma işlemleri başında taze örnekte ve kurutma sonunda elde edilen örneklerde yaptıkları askorbik asit analizleri neticesinde, ortam mutlak basınç değerinin artmasıyla askorbik asit kaybının da arttığını belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada, Alibas (2009) taze lahanada (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) örneklerini 100°C'de 30 saniye buharla haşlamıştır. Haşlanan örneklerden 25 g alıp vakumlu kurutucuya yerleştirmiş ve iki farklı sıcaklıkta (50°C ve 75°C), üç farklı mutlak basınçta (0,4 mm Hg, 50 mm Hg ve 100 mm Hg) kurutmuştur. Kurutma sonunda en düşük askorbik asit değerinin 75°C'de ve 100 mm Hg mutlak basınçta kurutulan örneklerde belirlendiğini ifade etmiştir.

**Çizelge 3.46:** 48 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
4	10,48	1457,68	4,21	0,3
8	11,73	1274,56	6,58	0,5
12	13,18	1138,22	5,80	0,5
16	14,92	998,60	6,14	0,6
20	17,04	860,17	2,30	0,3
24	19,74	735,44	5,13	0,7
28	23,20	700,56	3,15	0,4
32	27,82	613,55	3,05	0,5
36	33,94	554,72	2,59	0,5
40	41,54	499,30	0,84	0,2
44	51,38	426,77	0,92	0,2
48	63,78	406,05	1,33	0,3
52	76,17	377,17	2,30	0,6

**Çizelge 3.47:** 48 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
4	11,426	1395,57	1,92	0,1
8	14,194	1194,43	6,82	0,6
12	18,157	969,56	0,44	0,0
16	24,228	756,58	2,95	0,4
20	32,950	497,81	2,77	0,6
24	47,563	360,94	1,18	0,3
29	74,127	216,30	0,81	0,4

**Çizelge 3.48:** 48 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
2	10,685	1265,63	0,93	0,1
4	12,497	1183,02	4,23	0,4
6	14,662	903,18	9,28	1,0
8	17,355	735,87	0,72	0,1
10	21,201	493,75	11,75	2,4
12	26,667	393,66	0,36	0,1
14	34,544	303,70	0,00	0,0
16	46,797	140,00	0,51	0,4
18	64,353	-	-	-
19	74,242	-	-	-

**Çizelge 3.49:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 45°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
4	10,734	1361,35	4,35	0,3
8	12,133	1289,34	6,76	0,5
12	13,649	1159,57	2,77	0,2
16	15,762	1003,58	1,51	0,2
20	18,635	900,51	0,05	0,0
24	21,707	849,03	5,45	0,6
28	26,175	812,44	2,01	0,2
32	31,384	771,25	5,07	0,7
36	40,352	733,38	7,09	1,0
40	55,109	699,52	9,55	1,4
44	73,027	643,69	3,16	0,5

**Çizelge 3.50:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
2	10,372	1448,25	6,16	0,4
4	11,581	1223,78	8,36	0,7
6	13,073	1168,85	5,71	0,5
8	14,852	1074,54	2,89	0,3
10	17,013	968,73	17,36	1,8
12	19,601	914,72	3,61	0,4
14	22,992	844,32	0,17	0,0
16	26,912	725,19	4,77	0,7
18	32,309	626,32	0,08	0,0
20	39,431	591,61	1,63	0,3
22	49,110	578,18	0,50	0,1
24	62,037	556,16	1,32	0,2
27	79,164	537,63	3,53	0,7

**Çizelge 3.51:** 21,5 kPa mutlak basınç ortamında 65°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde askorbik asit değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (h)	KM (%)	Askorbik Asit (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
0	9,455	1507,75	18,88	1,3
2	10,938	1181,37	2,52	0,2
4	13,080	872,85	8,61	1,0
6	15,842	842,39	0,59	0,1
8	19,878	589,35	2,71	0,5
10	25,498	432,10	4,15	1,0
12	33,913	228,11	11,26	4,9
14	45,791	-	-	-
16	61,013	-	-	-
18	79,887	-	-	-

Vakumlu kurutucu ile 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç altında üç farklı sıcaklıkta kurutulan, kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit içeriğindeki değişiminin

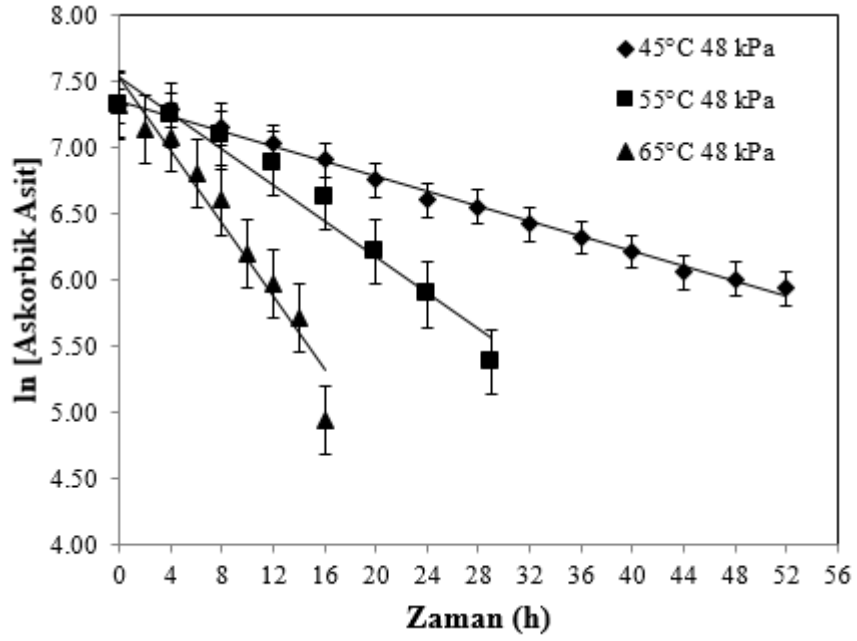
birinci dereceden kinetik modele uyduğu belirlenmiştir (şekil 3.64 ve şekil 3.65). Çizelge 3.52’de askorbik asit kaybı için birinci dereceden kinetik modele göre hesaplanmış kinetik parametreler verilmiştir. Kurutma sıcaklık derecesinin artmasıyla askorbik asit değişimine ait reaksiyon hız sabitinin de arttığı izelge 3.52’den görülmektedir. Örneğin, 21,5 kPa mutlak basınç altında 45, 55 ve 65°C’de kurutulan kırmızıbiber rneklelerinin askorbik asit değişimine ait reaksiyon hız sabitleri sırasıyla 0,0193, 0,0422 ve 0,1196 h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.52’de verilen Q<sub>10</sub> değerleri incelendiğinde, 48 kPa mutlak basınç altında yapılan kurutma işlemlerinde sıcaklığın 45°C’den 55°C’ye yükselmesiyle askorbik asitin değişim hızının 2,394 kat arttığı belirlenmiştir. Aynı sıcaklık derecelerinde 21,5 kPa basınç altında yapılan kurutmada ise reaksiyon hızının 2,187 kat arttığı saptanmıştır.

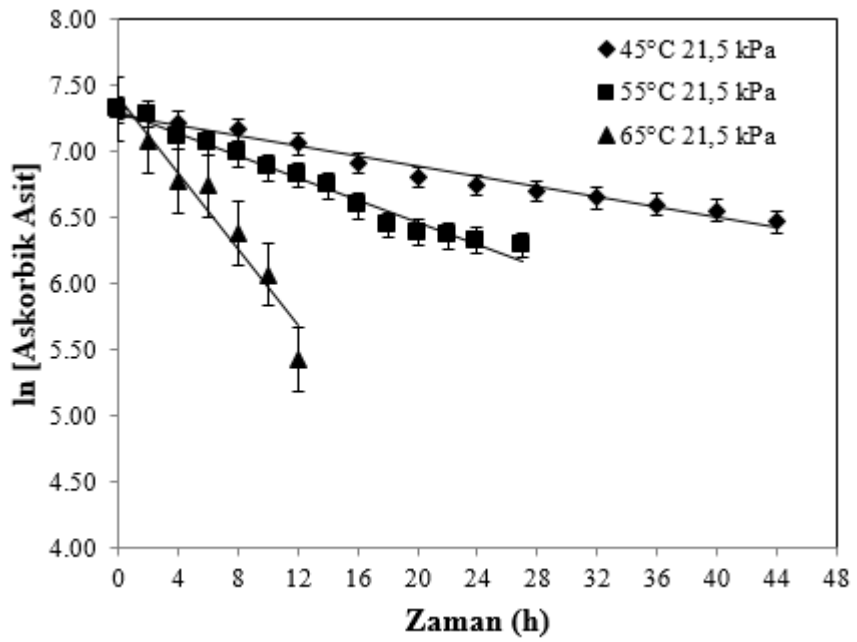
**Çizelge 3.52:** Vakumlu kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan kırmızıbiber rneklelerinde askorbik asit parçalanmasına ait kinetik parametreler

Kurutma Yöntemi	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi (n)	Q <sub>10</sub> Değeri	k (h <sup>-1</sup> )	t <sub>1/2</sub> (h)	E <sub>a</sub> (kJmol <sup>-1</sup> )
Vakumlu Kurutma (48 kPa)	45	1	2,394	0,0284	24,40	70,85
	55	1		0,0680	10,19	
	65	1	2,034	0,1383	5,01	
Vakumlu Kurutma (21,5 kPa)	45	1	2,187	0,0193	35,91	81,43
	55	1		0,0422	16,42	
	65	1	2,834	0,1196	5,79	

Yapılan çalışmada, askorbik asitin sadece kurutma sıcaklıklarından değil, kurutma ortamının mutlak basıncından da etkilendiği belirlenmiştir. Nitekim izelge 3.52’de verilen yarı ömür süreleri incelendiğinde, kurutma ortamı mutlak basıncının artmasıyla askorbik asit kaybının daha hızlı gerçekleştiği belirlenmiştir. Örneğin, hem 48 kPa hem de 21,5 kPa mutlak basınç altında 45°C’de yapılan kurutma işlemleri sonucunda elde edilen yarı ömür süreleri sırasıyla 24,40 saat ve 35,91 saat olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuç, vakum seviyesinin askorbik asit yarı ömür süresi üzerine belirgin bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.64: 48 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit içeriklerinin zamana göre değişimi



Şekil 3.65: 21,5 kPa mutlak basınç ortamında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş kırmızıbiber örneklerindeki askorbik asit içeriklerinin zamana göre değişimi

### **3.2.4 Mikrodalga Destekli Vakum Kurutma İşlemine Ait Sonuçlar**

#### **3.2.4.1 Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Kırmızıbiberin Kurutulması Üzerindeki Etkisi**

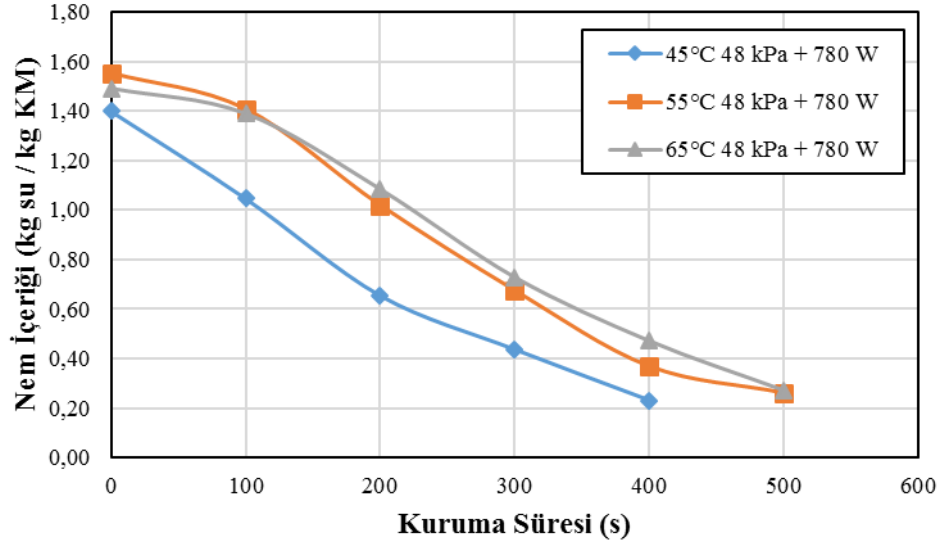
Kırmızıbiber örnekleri vakumlu kurutmanın yanında mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle de kurutulmuştur. Havuç örneklerinde olduğu gibi kırmızıbiber örnekleri de öncelikle vakumlu kurutucuda belli bir nem içeriğine kadar kurutulmuş daha sonra mikrodalga fırınına alınan örnekler son nem içeriğine kadar mikrodalga fırında tutulmuştur. Mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulan kırmızıbiber örneklerinde kuruma sonrası su aktivite tayini de yapılmış ve örneklerin su aktivite değerinin 0,4'ün altında olduğu belirlenmiştir. Son ürünün su aktivite değerinin 0,4'ün altında olması, mikrobiyolojik bozulmalara karşı dayanıklı olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

#### **3.2.4.2 Nem İçeriği Değişimi**

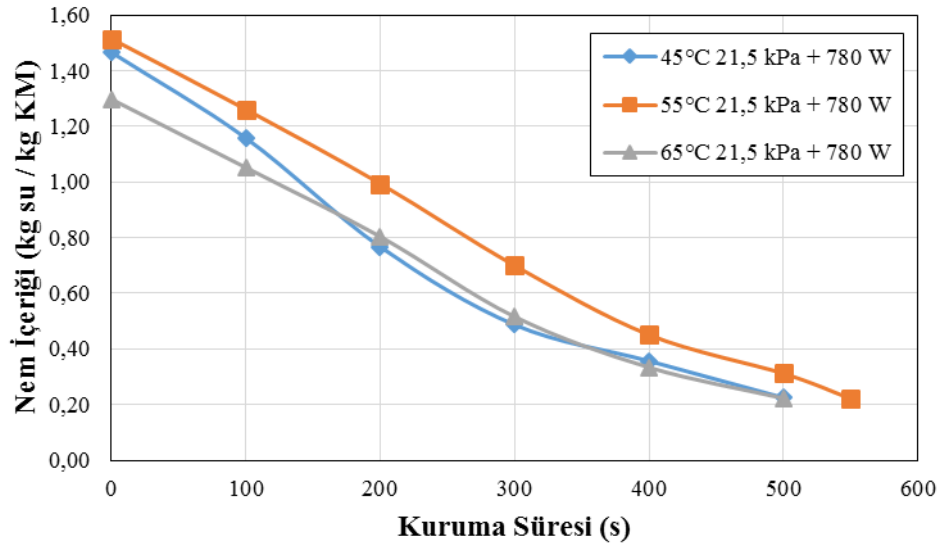
Kırmızıbiber örneklerinin nem oranı 0,15-0,20 arasındaki değerlere düşüncüye kadar vakumlu kurutucuda kurutulması yapılmış, bu nem oranı değerinden itibaren 0,02-0,03 arasındaki nem oranına düşüncüye kadar da mikrodalga fırınında kurutma işlemi tamamlanmıştır. Mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait zamana bağlı nem içeriğindeki değişimler Ek H'de, Çizelge H.1-H.6'da sırası ile verilmiştir.

Mikrodalga destekli vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan kırmızıbiberlerin, mikrodalga uygulama sürecinde nem içeriği-kuruma süresi grafikleri çizilmiş ve Şekil 3.66 ve Şekil 3.67'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga destekli vakumlu kurutmada, mikrodalga kurutma bölümünün sabit hızda gerçekleştiği görülmektedir.





**Şekil 3.66:** Farklı sıcaklık değerlerinde 48 kPa mutlak basınç ortamında belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi



**Şekil 3.67:** Farklı sıcaklık değerlerinde 21,5 kPa mutlak basınç ortamında belli bir süre kurutulduktan sonra 780 W mikrodalga gücünde kurutulan kırmızıbiber örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

Mikrodalga destekli vakumlu kurutma yönteminin, sadece vakumlu kurutma yöntemine göre daha kısa sürede gerçekleştiği yapılan çalışmada belirlenmiştir. Çizelge 3.53'te mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin kuruma süreleri görülmektedir. Çizelge 3.53'te verilen kuruma süreleri incelendiğinde, mutlak basınç değerinin artmasıyla kırmızıbiber örneklerinin kuruma sürelerinin arttığı görülmektedir. Örneğin mikrodalga destekli 45°C'de yapılan

vakumlu kurutma işlemlerinin toplam sürelerine bakıldığında 48 kPa mutlak basınç altında yapılan kurutmanın 40 saat 400 saniyede (yaklaşık 40,1 saat) tamamladığı fakat 21,5 kPa mutlak basınç altında ise kurutmanın 36 saat 500 saniye (yaklaşık 36,1 saat) devam ettiği belirlenmiştir. İki kurutma işleminde kuruma süreleri açısından 4 saatlik bir farkın olduğu saptanmıştır.

**Çizelge 3.53:** Mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemiyle kırmızıbiber kurutma süreleri

	<b>Kurutma Ortamı ve Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Kuruma Süresi (h)</b>	<b>Mikrodalga Gücü (W)</b>	<b>Kuruma Süresi (s)</b>	<b>Toplam Kuruma Süresi</b>
48 kPa	45	40		400	40 saat 400 saniye
	55	22	780	500	22 saat 500 saniye
	65	15		500	15 saat 500 saniye
21,5 kPa	45	36		500	36 saat 500 saniye
	55	20	780	550	20 saat 550 saniye
	65	14		500	14 saat 500 saniye

### **3.2.4.3 Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Kırmızıbiberlerin Kurutulması Esnasında Renk Değerleri Üzerine Etkisi**

Çizelge 3.54’te vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780 W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait renk değerleri verilmiştir. Çizelgedeki *L* değerleri incelendiğinde, taze örneklerin *L* değeri ile mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin *L* değeri arasında önemli düzeyde fark olduğu ( $p < 0,05$ ) belirlenmiştir. Bu sonuç, örneklerin renginin mikrodalga destekli 48 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulmasıyla esmerleştiğinin göstergesidir. Mikrodalga destekli 21,5 kPa basınç altında vakumlu kurutma yöntemi ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait Çizelge 3.55’te verilen *L* değerleriyle taze örneklerin *L* değeri arasında belirgin bir farkın ( $p > 0,05$ ) olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuç, düşük basınç altında yapılan kurutma işlemiyle üründe meydana gelebilecek esmerleşmelerin azalacağı konusunda fikir vermektedir.

Renk açısından en önemli kalite kriteri olan  $a$  değerinin mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile taze ürüne göre farklılık gösterdiği, yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda da belirlenmiştir. Yapılan çalışmada mikrodalga destekli vakumlu kurutma ve diğer kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerin  $a$  değerlerinin birbirlerinden farklı olmadığı, bununla birlikte kurutulmuş örneklerin tamamına ait  $a$  değerlerinin taze ürünün  $a$  değerinden farklı olduğu saptanmıştır (Çizelge 3.54 ve Çizelge 3.55).

48 kPa mutlak basınç altında yapılan mikrodalga destekli vakumlu kurutma sırasında kırmızıbiber örneklerinin renk değerlerinden bir diğeri olan  $b$  değeri etkilenmiştir. Fakat 21,5 kPa mutlak basınç altında mikrodalga destekli vakumlu kurutma çalışmaların da ise  $b$  değerinin önemli düzeyde etkilenmediği,  $b$  değerlerinde taze ürüne göre belirgin bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir.

Kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga destekli vakumlu kurutma işlemleri sırasında üründe meydana gelen toplam renk değişim ( $\Delta E$ ) değerleri de hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.54 ve Çizelge 3.55'te verilmiştir. Çizelgelerdeki  $\Delta E$  değerleri incelendiğinde, değerler arasında istatistiksel olarak belirgin bir farklılığın olmadığı ( $p>0,05$ ) görülecektir. Bu sonuç, kurutulan kırmızıbiber örneklerinin renk değişimlerinin tüm kurutma yöntemlerinde aynı düzeyde gerçekleştiğini ifade etmektedir.

Mikrodalga destekli vakumlu kurutma ve diğer yöntemlerle kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait kroma değerlerinin, taze ürüne göre kroma değerlerinden önemli düzeyde farklı olduğu ( $p<0,05$ ) belirlenmiştir. Bununla birlikte, farklı yöntemlerle kurutulmuş kırmızıbiberlerin kroma değerleri arasında belirgin bir farklılığın olmadığı ( $p>0,05$ ) saptanmıştır. Hue açısı değerleri incelendiğinde ise 21,5 kPa mutlak basınç altında mikrodalga destekli kurutulan kırmızıbiber örneklerinin Hue açısı değerlerinin, taze ürüne ait Hue açısı değerlerinden farklı olduğu ( $p<0,05$ ) belirlenmiştir.

**Çizelge 3.54:** Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	<i>Kroma</i>	<i>Hue Açısı</i>
Taze Halde	26,98±0,54 <sup>a</sup>	28,52±0,78 <sup>a</sup>	10,62±0,23 <sup>a</sup>	0.00	30,43±0,15 <sup>a</sup>	20,42±0,13 <sup>ab</sup>
45°C	23,45±0,16 <sup>cd</sup>	22,37±0,47 <sup>b</sup>	7,65±0,41 <sup>bcd</sup>	6,85±0,22 <sup>a</sup>	23,64±0,22 <sup>b</sup>	18,88±0,47 <sup>c</sup>
780W	25,46±0,41 <sup>ab</sup>	21,94±0,43 <sup>b</sup>	8,25±0,28 <sup>b</sup>	7,51±0,49 <sup>a</sup>	23,44±0,19 <sup>b</sup>	20,61±0,29 <sup>ab</sup>
45°C + 780W	24,45±0,35 <sup>bcd</sup>	22,15±0,19 <sup>b</sup>	8,67±0,29 <sup>b</sup>	6,88±0,14 <sup>a</sup>	23,79±0,18 <sup>b</sup>	21,38±0,15 <sup>a</sup>
Taze Halde	26,98±0,54 <sup>a</sup>	28,52±0,78 <sup>a</sup>	10,62±0,23 <sup>a</sup>	0.00	30,43±0,15 <sup>a</sup>	20,42±0,13 <sup>ab</sup>
55°C	23,12±0,33 <sup>cd</sup>	21,96±0,11 <sup>b</sup>	6,43±0,35 <sup>d</sup>	7,90±0,39 <sup>a</sup>	22,88±0,18 <sup>b</sup>	16,32±0,36 <sup>d</sup>
780W	25,46±0,41 <sup>ab</sup>	21,94±0,43 <sup>b</sup>	8,25±0,28 <sup>b</sup>	7,51±0,49 <sup>a</sup>	23,44±0,19 <sup>b</sup>	20,61±0,29 <sup>ab</sup>
55°C + 780W	23,49±0,37 <sup>cd</sup>	22,13±0,17 <sup>b</sup>	7,86±0,11 <sup>bc</sup>	7,10±0,29 <sup>a</sup>	23,48±0,17 <sup>b</sup>	19,55±0,27 <sup>bc</sup>
Taze Halde	26,98±0,54 <sup>a</sup>	28,52±0,78 <sup>a</sup>	10,62±0,23 <sup>a</sup>	0.00	30,43±0,15 <sup>a</sup>	20,42±0,13 <sup>ab</sup>
65°C	25,04±0,17 <sup>bc</sup>	21,53±0,14 <sup>b</sup>	6,68±0,38 <sup>cd</sup>	8,03±0,34 <sup>a</sup>	22,54±0,29 <sup>b</sup>	17,24±0,29 <sup>d</sup>
780W	25,46±0,41 <sup>ab</sup>	21,94±0,43 <sup>b</sup>	8,25±0,28 <sup>b</sup>	7,51±0,49 <sup>a</sup>	23,44±0,19 <sup>b</sup>	20,61±0,29 <sup>ab</sup>
65°C + 780W	23,04±0,22 <sup>d</sup>	22,42±0,18 <sup>b</sup>	6,63±0,24 <sup>cd</sup>	7,41±0,38 <sup>a</sup>	23,38±0,15 <sup>b</sup>	16,47±0,14 <sup>d</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p < 0,05$ ).

**Çizelge 3.55:** Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerine ait renk değerleri

Koşul	Renk Değerleri*					
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	<i>Kroma</i>	<i>Hue Açısı</i>
Taze Halde	28,19±0,18 <sup>a</sup>	28,66±0,51 <sup>a</sup>	9,16±0,35 <sup>a</sup>	0.00	30,09±0,28 <sup>a</sup>	17,72±0,43 <sup>d</sup>
45°C	27,73±0,29 <sup>a</sup>	22,82±0,31 <sup>b</sup>	7,88±0,52 <sup>abc</sup>	6,94±0,28 <sup>a</sup>	24,14±0,53 <sup>b</sup>	19,05±0,20 <sup>bcd</sup>
780W	25,46±0,41 <sup>a</sup>	21,94±0,43 <sup>b</sup>	8,25±0,28 <sup>abc</sup>	7,51±0,49 <sup>a</sup>	23,44±0,19 <sup>b</sup>	20,61±0,29 <sup>ab</sup>
45°C + 780W	26,48±0,29 <sup>a</sup>	22,49±0,28 <sup>b</sup>	8,84±0,18 <sup>ab</sup>	6,68±0,16 <sup>a</sup>	23,79±0,25 <sup>b</sup>	21,46±0,11 <sup>a</sup>
Taze Halde	28,19±0,18 <sup>a</sup>	28,66±0,51 <sup>a</sup>	9,16±0,35 <sup>a</sup>	0.00	30,09±0,28 <sup>a</sup>	17,72±0,43 <sup>d</sup>
55°C	26,87±0,42 <sup>a</sup>	21,98±0,15 <sup>b</sup>	7,32±0,19 <sup>c</sup>	7,93±0,15 <sup>a</sup>	23,17±0,19 <sup>b</sup>	18,42±0,17 <sup>cd</sup>
780W	25,46±0,41 <sup>a</sup>	21,94±0,43 <sup>b</sup>	8,25±0,28 <sup>abc</sup>	7,51±0,49 <sup>a</sup>	23,44±0,19 <sup>b</sup>	20,61±0,29 <sup>ab</sup>
55°C + 780W	26,79±0,51 <sup>a</sup>	22,47±0,13 <sup>b</sup>	7,16±0,25 <sup>c</sup>	7,38±0,22 <sup>a</sup>	23,58±0,20 <sup>b</sup>	17,67±0,10 <sup>cd</sup>
Taze Halde	28,19±0,18 <sup>a</sup>	28,66±0,51 <sup>a</sup>	9,16±0,35 <sup>a</sup>	0.00	30,09±0,28 <sup>a</sup>	17,72±0,43 <sup>d</sup>
65°C	27,97±0,28 <sup>a</sup>	21,12±0,23 <sup>b</sup>	7,49±0,27 <sup>bc</sup>	7,96±0,18 <sup>a</sup>	22,41±0,17 <sup>b</sup>	19,58±0,33 <sup>bc</sup>
780W	25,46±0,41 <sup>a</sup>	21,94±0,43 <sup>b</sup>	8,25±0,28 <sup>abc</sup>	7,51±0,49 <sup>a</sup>	23,44±0,19 <sup>b</sup>	20,61±0,29 <sup>ab</sup>
65°C + 780W	26,85±0,49 <sup>a</sup>	22,34±0,56 <sup>b</sup>	8,37±0,45 <sup>abc</sup>	7,49±0,30 <sup>a</sup>	23,86±0,16 <sup>b</sup>	20,54±0,25 <sup>ab</sup>

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ( $p < 0,05$ ).

### 3.2.4.4 Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma İşleminin Kırmızıbiberin Askorbik Asit Seviyesi Üzerine Etkisi

Kırmızıbiber örnekleri, mikrodalga destekli vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulduktan sonra askorbik asit içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.56 ve Çizelge 3.57’de verilmiştir. Mikrodalga destekli vakumlu kurutma sonucu elde edilen sonuçların vakumlu kurutma ve mikrodalga kurutma sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılabilmesi için çizelgelerde bu örneklerle ait askorbik asit değerleri de verilmiştir. Vakum kurutmada kullanılan her iki basınç seviyesi için

yapılan kurutma işlemlerinden 65°C’de yapılan kuruma sonunda örneklerde askorbik asit tespit edilememiştir. Sadece mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerde de askorbik asit belirlenmemiştir.

**Çizelge 3.56:** Vakum kurutma (48 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit değerleri

<b>Koşul</b>	<b>Kurutma Süresi</b>	<b>Askorbik Asit* (mg/100 g KM)</b>
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
45°C	52h	377,17±2,30 <sup>b</sup>
780W	2100s	-
45°C + 780W	40h + 500s	284,22±3,58 <sup>c</sup>
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
55°C	29h	216,30±0,81 <sup>c</sup>
780W	2100s	-
55°C + 780W	22h + 500s	212,19±4,28 <sup>c</sup>
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
65°C	19h	-
780W	2100s	-
65°C + 780W	15h + 500s	-

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

Mikrodalga destekli 48 kPa mutlak basınç altında 45°C ve 55°C’de yapılan kırmızıbiber kurutma işlemlerine ait askorbik asit değerleri incelendiğinde, bu değerlerin taze ürüne ait değerlerden istatistiksel açıdan farklı olduğu (p<0,05) belirlenmiştir. Bu sonuç askorbik asitin kurutma işleminde kullanılan ortam basıncından ve kurutma sıcaklıklarından etkilendiğinin bir göstergesidir. 21,5 kPa mutlak basınç altında yapılan kurutma işlemleri sonucunda da örneklerin askorbik asit değerlerinin taze ürüne göre farklı olduğu (p<0,05) saptanmıştır. Bununla birlikte, mikrodalga destekli vakumlu kurutma (48 kPa) işlemlerinden 45°C ve 55°C’de yapılan kurutma işlemleri sonunda örneklerde belirlenen askorbik asit değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olmadığı (p>0,05) belirlenmiştir. Benzer durum 21,5 kPa mutlak basınç altında mikrodalga destekli kurutulan kırmızıbiber örneklerinde de saptanmıştır.

**Çizelge 3.57:** Vakum kurutma (21,5 kPa), mikrodalga kurutma (780W) ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit değerleri

Koşul	Kurutma Süresi	Askorbik Asit* (mg/100 g KM)
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
45°C	44h	643,69±3,16 <sup>b</sup>
780W	2100s	-
45°C + 780W	36h + 500s	542,70±1,39 <sup>c</sup>
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
55°C	27h	537,63±3,53 <sup>c</sup>
780W	2100s	-
55°C + 780W	20h + 550s	511,79±3,65 <sup>c</sup>
Taze Halde	---	1507,75±18,88 <sup>a</sup>
65°C	18h	-
780W	2100s	-
65°C + 780W	14h + 500s	-

\*Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p<0,05).

Çizelge 3.56 ve Çizelge 3.57 birbiriyle karşılaştırıldığında 21,5 kPa mutlak basınç altında yapılan hem mikrodalga destekli vakumlu kurutma hem de vakumlu kurutma sonunda elde edilen askorbik asit değerlerinin taze örneklere ait askorbik asit değerine daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, kurutma ortamında basıncın azalmasıyla askorbik asit kaybının da azaldığının bir göstergesidir. Wojdylo ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada çilekleri yarımlar halinde dilimledikten sonra 4 ve 6 kPa mutlak basınç altında 240, 360 ve 480 W mikrodalga güçlerinde vakum destekli mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Sonuç olarak araştırmacılar mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla askorbik asit kaybının arttığını seçilen ortam basınçlarının askorbik asit üzerine etkisinin olmadığını saptamışlardır.

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında kırmızıbiber (*Capsicum annuum* L.) ve havuç (*Daucus carota* L. cv. Nantes) sebzelerinin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmaları sırasındaki ağırlık ve kalite özelliklerindeki değişimler incelenmiş ve zamana bağlı olarak kinetik tanımlamalar yapılmıştır. Araştırmada farklı kurutma yöntemleri ve şartlarının kurutulan kırmızıbiber ve havuç örneklerinde kuruma süresi ve oranına, renk değerlerine, askorbik asit ve  $\beta$ -karoten içeriğine etkileri incelenmiş ve uygun koşullar belirlenmiştir.

Araştırmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetle sunulmuştur:

- Sıcak hava ile kurutma ve vakumlu kurutma yöntemleri ile 45, 55 ve 65°C'de kurutulan kırmızıbiber ve havuç örneklerinin kurutma sıcaklığı arttıkça beklendiği gibi kuruma süreleri kısalmıştır. Vakumlu kurutma çalışmalarında, ortam mutlak basıncının artmasıyla kuruma süresinin de arttığı gözlemlenmiştir. Mikrodalga kurutma işlemleri, 780 W mikrodalga gücünde yapılmış olup kuruma süreleri havuç ve kırmızıbiber örnekleri için birbirlerine çok yakın bulunmuştur. Mikrodalga destekli olarak yapılan sıcak hava ve vakumlu kurutma çalışmaları sadece sıcak hava ile kurutma ve sadece vakumlu kurutma çalışmalarından daha kısa sürede tamamlanmıştır.
- Sıcak hava ve vakumlu kurutma çalışmaları sırasında belirli zaman aralıklarında örnekler tartılmış ve tartım sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan deneysel nem oranı değerlerine en iyi yaklaşımı veren teorik modeli tanımlamak için 5 farklı kurutma modeli (Logaritmik model, Lewis model, Henderson Pabis model, Page model ve Modifiye Page Model) kullanılmıştır. Uygulanan tüm koşullarda en yüksek  $R^2$  ve en düşük RMSE değerlerine sahip Page ve Modifiye Page modellerinin kuruma kinetiğini tanımlayan en iyi modeller olduğu belirlenmiştir.

- Sıcak hava ile kurutma, vakumlu kurutma ve mikrodalga kurutma ve bu yöntemlerin kombinasyonları ile (Mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma ve Mikrodalga destekli vakumlu kurutma) kurutulan havuç ve kırmızıbiber örneklerinin Hunter  $L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri ile bu değerler kullanılarak hesaplanan  $\Delta E$ , kroma ve Hue açısı değerleri belirlenmiştir. Havuç örneklerinde yapılan kurutma işlemleri sonunda, ürün sarılığını ifade eden Hunter  $b$  değeri, kurutma yöntemleri ve koşullarından önemli düzeyde etkilenmiş olup taze havuç örneklerinin Hunter  $b$  değerlerinden istatistiksel açıdan farklı olduğu ( $p < 0,05$ ) belirlenmiştir. Kırmızıbiber örneklerinde kırmızılığı ifade eden Hunter  $a$  değerinin, tüm kurutma yöntem ve koşullarından etkilendiği taze kırmızıbiber örneklerinin Hunter  $a$  değeri ile kurutulmuş örneklerin Hunter  $a$  değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ( $p < 0,05$ ) saptanmıştır. Diğer taraftan 48 kPa ve 21,5 kPa mutlak basınç altında yapılan vakumlu kurutma çalışmaları sonucu kırmızıbiberlerin Hunter  $a$  değerleri arasında belirgin bir farkın olmadığı ( $p > 0,05$ ) belirlenmiştir. Kullanılan ortam mutlak basınç seviyelerinin Hunter  $a$  değeri üzerine aynı düzeyde etkilediğini ifade etmektedir.
- Tüm kurutma işlemlerinde belirli aralıklarla yapılan renk ölçümleri sonucu elde edilen değerlerin kuruma zamanına göre değişimleri için kinetik modellemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; kırmızıbiber ve havuç örneklerine ait Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  ve kroma değerlerinin değişiminin, hem sıfıncı hem de birinci dereceden kinetik modele;  $\Delta E$  değerinin değişiminin ise sadece sıfıncı dereceden kinetik modele uyduğu saptanmıştır.
- Sıcak hava ile 45, 55 ve 65°C’de kurutulan havuç örneklerinin renk değerlerine ait aktivasyon enerji değerlerine bakıldığında en yüksek değer  $a$  değeri için hesaplanırken en düşük değer de  $b$  değeri için hesaplanmıştır. Kırmızıbiber örneklerinde ise en yüksek aktivasyon enerjisi değeri  $L$  değeri için en düşük aktivasyon enerjisi değeri de  $a$  değeri için belirlenmiştir. Sonuçlar, sıcak hava ile kurutma yönteminde



sarılığı ifade eden  $b$  değerinin havuçların ve kırmızılığı ifade eden  $a$  değerinin kırmızıbiberlerin, kurutma sıcaklıklarından diğer renk değerlerine göre daha az etkilendiğini göstermektedir.

- 48 kPa mutlak basınç altında 45, 55 ve 65°C’de kurutulan örneklerin  $a$  ve  $b$  renk değerlerine ait aktivasyon enerji değerlerinin 21,5 kPa mutlak basınç altında kurutulanlara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, kurutma ortamı vakum seviyesinin artmasıyla ürüne ait renk karakteristiğinin daha iyi korunduğunun bir göstergesidir.
- Havuç örneklerinin, farklı kurutma yöntem ve koşulları ile kurutulması sonucunda,  $\beta$ -karoten kaybının en fazla mikrodalga kurutma ile kurutulan örneklerde olduğu belirlenirken, en az kaybın ise 21,5 kPa mutlak basınç altında 45°C’de kurutulan havuç örneklerinde olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, hem sıcaklık derecesinin hem de ortam mutlak basınç değerinin artmasıyla  $\beta$ -karoten kaybının daha fazla gerçekleştiğini göstermektedir.
- Taze kırmızıbiber örneklerinde askorbik asit miktarı ortalama 1507,75±18,88 mg/100 g kuru madde olarak saptanmıştır. Diğer taraftan mikrodalga kurutma, 65°C’de sıcak hava ile kurutma, 65°C’de vakumlu kurutma ve mikrodalga destekli 65°C’de yapılan hem sıcak hava hem de vakumlu kurutma işlemleri sonunda kırmızıbiber örneklerinde askorbik asit saptanamamıştır. Bununla birlikte, 21,5 kPa mutlak basınç altında 45°C’de vakumlu kurutulan kırmızıbiber örneklerinin askorbik asit içeriği 643,69±31,16 mg/100 g KM belirlenmiş olup bu değer, taze ürünlerin askorbik asit içeriğine en yakın miktar olduğu görülmüştür.
- Sıcak hava ve vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan havuç örneklerinin  $\beta$ -karoten değişimi ve kırmızıbiber örneklerinin de askorbik asit değişiminin kinetik modellenmesi yapılmış ve reaksiyonların birinci dereceden kinetik modele uyduğu belirlenmiştir. Askorbik asit ve  $\beta$ -karoten bileşenlerinin değişimi için hesaplanan kinetik parametrelerden biri olan yarı ömür süresi ( $t_{1/2}$ ) vakumlu kurutma ile kurutulanlarda sıcak

hava ile kurutululara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, askorbik asit ve  $\beta$ -karotenin vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulular örneklerde sıcak hava yöntemiyle kurutululara göre sıcaklık değişimlerinden daha az etkilendiğinin bir göstergesidir.

- Sıcaklığa karşı bileşenlerin stabiliteleri kıyaslandığında  $\beta$ -karotenin askorbik asite göre daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir.
- Çalışma sonunda elde edilen bulguların ışığında kırmızıbiber örneklerinin mikrodalga kurutma,  $65^{\circ}\text{C}$ 'de sıcak hava ile kurutma,  $65^{\circ}\text{C}$ 'de vakumlu kurutma, mikrodalga destekli  $65^{\circ}\text{C}$ 'de sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga destekli  $65^{\circ}\text{C}$ 'de vakumlu kurutma işlemleri sonunda örneklerde askorbik asit tespit edilememesinden dolayı mikrodalga kurutma ve  $65^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde yapılacak sıcak hava ve vakumlu kurutma işlemlerinin kırmızıbiber için uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu bakımdan kırmızıbiberlerin kurutulmasında daha düşük sıcaklıkların ( $45^{\circ}\text{C}$ - $55^{\circ}\text{C}$ ) tercih edilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Bunun yanında düşük mutlak basınç (örneğin 21,5 kPa veya daha düşük) altında vakumlu kurutma ve mikrodalga destekli vakumlu kurutma yöntemlerinin tercih edilmesiyle ürün renginin daha iyi korunacağı ve askorbik asit,  $\beta$ -karoten gibi önemli bileşenlerin daha az kayba uğrayacağı belirlenmiştir.
- Çalışmada kullanılan bir diğer sebze olan havuç için elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, 21,5 kPa mutlak basınç altında  $45^{\circ}\text{C}$ - $55^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemleriyle ürün rengi ve  $\beta$ -karoten içeriğinin daha az kayba uğradığı belirlenmiştir. Vakumlu kurutma yönteminin, sıcak hava ve mikrodalga kurutma yöntemlerine göre ürüne daha az zarar verdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, havuçların kurutulmasında ortam vakum seviyesinin artmasıyla kurutma sıcaklarının da  $45^{\circ}\text{C}$ - $55^{\circ}\text{C}$  arasında olmasıyla son ürün kalitesinin daha iyi korunacağı düşünülmektedir.

- Mikrodalga destekli kurutma yöntemleri birbiriyle kıyaslandığında, mikrodalga destekli vakumlu kurutmanın, mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutmaya göre kalite özelliklerinin korunumu açısından daha iyi olduğu belirlenmiştir. Vakumlu kurutma yöntemlerinden sonra tazesine en yakın değerler, mikrodalga destekli vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan örneklere ait değerler olduğu saptanmıştır.
- Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan kırmızıbiber örneklerinde askorbik asit belirlenmemesinin nedeni olarak seçilen mikrodalga gücünün (780 W) yüksek olması düşünülmektedir. Bu bakımdan, mikrodalga kurutma için daha düşük güç değerleri ile kurutma çalışmalarının yapılması önerilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

Aguerre, R.J. and Suarez, C., “Kinetics of colour change in corn: Effect of temperature and moisture content”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 20, 287-290, (1987).

Akbay, C., Boz, İ., Tiryaki, Y.G., Candemir, S., Arpacı, B.B., “Kahramanmaraş ve Gaziantep illerinde kırmızıbiberin üretim yapısı ve kurutma yöntemleri”, *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 15 (2), 1-10, (2012).

Akgül, A., “Tad, koku ve renk katkısı olarak kırmızıbiber”, *Gıda*, 10 (6), 355-360, (1985).

Akpınar, E.K., Bicer, Y., Yildiz, C., “Thin layer drying of red pepper”, *J. of Food Eng.*, 59, 99-104, (2003).

Alasalvar, C., Al-Farsi, M., Quantick, P.C., Shahidi, F., Wiktorowicz, R., “Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots”, *Food Chem.*, 89 (1), 69-76, (2005).

Alibas, I., “Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 40 (8), 1445-1451, (2007).

Alibas, I., “Microwave, vacuum, and air drying characteristics of collard leaves”, *Drying Technol.*, 27, 1266-1273, (2009).

Alibaş, İ., “Kırmızı Şili biberinin vakumla kurutma karakteristikleri”, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 7 (4), 429-435, (2011).

Anonim, TS 3706, Kırmızı Biber-Acı, Pul (Yaprak) Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2001).

Anonymous, AOAC Official Methods of Analysis of the Association Agricultural Chemists, ed. Board William Harwitz, Chairman and Ed. Committee on Editing Methods of Analysis. Chichilo, P., Clifford P.A., Reynolds H., 10<sup>th</sup> Ed. (1995)

Anonymous, "Hunter  $L$ ,  $a$ ,  $b$  color scale applications note-insight on color", HunterLab August 1-15, 8 (9), 1-4, (1996).

Arevalo-Pinedo, A. and Murr, F.E.X., "Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage", *J. of Food Eng.*, 76 (4), 562-567, (2006).

Arıkan, M.F., "Mikrodalga ile Kurutulan Havuçların Kuruma Özelliklerinin ve Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, (2009).

Arslan, D. and Özcan, M. M., "Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content", *Food and Bioprod. Process.*, 89, 504-513, (2011).

Barreiro, J.A., Milano, M., Sandoval, A.J., "Kinetics of colour change of double concentration tomato paste drying thermal treatment", *J. of Food Eng.*, 33, 359-371, (1997).

Bayhan, H.A., "Kabin Tipi Biri Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2011).

Baysal, T., İcier, F., Ersus, S., Yıldız, H., "Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic", *European Food Res. and Technol.*, 218 (1), 68-73, (2003).

Baysal, T., İçier, F., Baysal, A.H., *Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri*, İzmir: Sidas Medya Ltd. Şti., 130-258, (2011).

Bengston, G., Rahman, M.S., Stanley, R. and Perera, C.O., "Effect Specific Pretreatment on the Drying Behaviour of Apple Rings", New Zealand Inst. of Food Science and Technology and The Nutrition Society of New Zealand Conference, Nelson., (1998).

Bettega, R., Rosa, J.G., Correa, R.G., Freire, J.T., "Comparison of carrot (*Daucus carota*) drying in microwave and in vacuum microwave", *Brazilian J. Chem. Eng.*, 31, 403-412, (2014).

Buffler, C.R., "Microwave Cooking and Processing" In: *Engineering Fundamentals for the Food Scientist*, Van Nostrand Reinhold, New York, (1993).

Cemeroğlu, B. ve Acar, J., *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, (1986).

Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 541-567, (2003).

Cemeroğlu, B., Özkan, M., Toklucu Kırca, A., *Gıda Mühendisliğinde Reaksiyon Kinetiği*, Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 182s., (2011).

Cesur, Ö., “Kurutma Metodları ve Şartlarının Nar Tanesinin Kurutma Kinetiği ve Kalitesi Üzerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, (2013).

Changrue, V., “Hybrid (osmotic, microwave-vacuum) Drying of Strawberries and Carrots” PhD thesis, *Macdonald Campus of McGill University*, Ste-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada, (2006).

Chantaro, P., Devahastin, S., Chiewchan, N., “Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 41, 1987-1994, (2008).

Chutintrasri, B., Noomhorm, A., “Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 40, 300-306, (2007).

Cui, Z.W., Xu, S.Y., Sun, D.W., “Microwave-vacuum drying on the carotenoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of chinese chive leaves”, *Drying Technol.*, 22 (3), 563-575, (2004).

Çağdaş, E., Kumcuoğlu, S., Tavman, Ş., “Mikrodalga destekli vakum kurutma tekniği ve gıdaların kurutulmasında kullanımı”, *Akademik Gıda*, 9: (1), 40-48, (2011).

Dadalı, G., “Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniğini Kullanarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi.”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).

Dadalı, G., Apar, D.K., Özbek, B., “Microwave drying kinetics of okra”, *Drying Technol.*, 25 (5), 917-924, (2007a).

Dadalı, G., Demirhan, E., Özbek, B., “Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying”, *Drying Technol.*, 25 (10), 1713-1723, (2007b).

Demir, D., “Kurutma İşlemi ve Öncesinde Uygulanan Farklı Haşlama Tekniklerinin Siyah Havucun Antioksidan Etkili Bileşikleri Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, (2010).

Demiray, E. ve Tülek, Y., “Domates kurutma teknolojisi ve kurutma işleminin domatesteki bazı antioksidan bileşiklere etkisi”, *Gıda Tek. Elektro. Derg.*, 3, 9-20, (2008).

Demiray, E. ve Tülek, Y., “Kurutma işleminin kırmızıbiberdeki renk maddelerine etkisi” *Gıda Tek. Elektro. Derg.*, 7 (3), 1-10, (2012a).

Demiray, E., Tulek, Y., “Thin-layer drying of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer”, *Heat and Mass Trans.*, 48, 841-847, (2012b).

Demiray, E., Tulek, Y., “Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) slices in a convective hot air dryer”, *Heat and Mass Trans.*, 50, 779-786, (2014).

Di Scala, K. and Crapiste, G., “Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 41 (5), 789-795, (2008).

Doğantan, S.Z., Tunçer, İ.K., Başçetinçelik, A., “Use of solar energy for red pepper” in 3rd Technical Meeting of FAO-CNRE on Solar Drying, Stuttgart, Germany, (1987).

Donald, B.B., Fred, W.B., Carl, W.H., *Drying Cereal Grains*, Westport: The AVI Publishing Company INC., 265s, (1973).

Doymaz İ., “Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (1998).

Doymaz, I. and Pala, M., “Hot-air drying characteristics of red pepper”, *J. of Food Eng.*, 55, 331-335, (2002).

Doymaz, I., “Convective air drying characteristics of thin layer carrots”, *J. of Food Eng.*, 61, 359-364, (2004).

Erbay, B. ve Küçüköner, E., “Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri” Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, 21-23 Mayıs, 1045-1048, (2008).

Erenturk, S., Gulaboglu, M.S., Gultekin, S., “The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying”, *J. of Food Eng.*, 68, 513-518, (2005).

Ergunes, G. and Tarhan, S., “Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying”, *J. of Food Eng.*, 76, 446-452, (2006).

Ermış, Ö.C., “Kırmızı Pul Biberde Mikroflora ve Aflatoksin Oluşumuna Bölgenin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (1999).

Ertekin, C. ve Yıldız, O., “Patlıcan kurutmada kurumunun çeşitli modellerle açıklanması” Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, Şanlıurfa, 399-403, (2001).

Geankopolis, C. J., *Transport Proceses and Unit Operations*, U.S.A.: Prentice-Hall International, Inc., 520-569, (1993).

Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V. and Nani, R., “Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products”, *J. of Food Eng.*, 52, 135-141, (2002).

Giri, S.K. and Prasad, S., “Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms”, *J. of Food Eng.*, 78, 512-521, (2007).

Guerra-Vargas, M., Jaramillo-Flores, M.E., Dorantes-Alvarez, L., Hernandez-Sanchez, H., “Carotenoid retention in canned pickled jalopeno peppers and carrots as affected by sodium chloride, acetic acid and pasteurization”, *J. Food Sci.*, 66 (4), 620-626, (2001).

Guine, P.F.R., Barroca, J.M., “Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper)”, *Food and Bioproducts Process.*, 90 (1), 58-63, (2012).

Gunasekaran, S., “Pulsed microwave-vacuum drying of food materials”, *Drying Technol.*, 17 (3), 395-412, (1999).



Güner, M., *Kurutmanın Bilimsel Temelleri Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular*, Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, (1991).

Güracar, M., “Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı Yardımıyla Tarım Ürünlerinin Kurutulması” Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ, (1995).

Hallmann, E. and Rembialkowska, E., “Characterization of antioxidant compounds in sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under organic and conventional growing systems”, *J. of the Sci. of Food and Agric.*, 92 (12), 2409-2415, (2012).

Hart, D.J., Scott, K.J., “Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK”, *Food Chem.*, 54, 101–111, (1995).

Hiranvarachat, B., Suvarnakuta, P., Devashastin, S., “Isomerisation kinetics and antioxidant activities of  $\beta$ -carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions”, *Food Chem.*, 107, 1538-1546, (2008).

Hiranvarachat, B., Devahastin, S., Chiewchan, N., “Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying”, *Food and Bioprod. Process.*, 89, 116-127, (2011).

Howard, L.R. and Dewi, T., “Minimal processing and edible coating effects on composition and sensory quality of mini-peeled carrots”, *J. of Food Sci.*, 61, 643-646, (1996).

Jaya, S. and H. Dass, “A vacuum drying model for mango pulp”, *Drying Technol.*, 21(7): 1215-1234, (2003).

Karaaslan, S., “Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar” Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana, (2008).

Khazaei, J., Chegini, R.G., Bakhshiani, M., “A novel alternative method for modeling the effects of air temperature and slice thickness on quality and drying kinetics of tomato slices: Superposition Technique”, *Drying Technol.*, 26, 759-775, (2008).

Koca, N., “Havuçlarda (*Daucus carota* L.) Karotenoidler ve Antioksidan Aktivite”, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2006).

Koca, N., Burdurlu, H.S., Karadeniz, F., “Kinetics of colour changes in dehydrated carrots”, *J. of Food Eng.*, 78, 449-455, (2007).

Kocabıyık, H. and Tezer, D., “Drying of carrot slices using infrared radiation”, *Int. J. of Food Sci. and Technol.*, 44, 953-959, (2009).

Krokida, M.K., Tsami, E., Maroulis, Z.B., “Kinetics on color change during drying of some fruits and vegetables”, *Drying Technol.*, 16 (3-5), 667-685, (1998).

Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D., “The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products”, *Int. J. of Food Sci. & Technol.*, 36, 53-59, (2001).

Kuşçu, A., “Sürekli Sistemde Kurutma İşleminin Kırmızıbiberde Kalite Özelliklerine Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2002).

Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A., Jamali, A., “Thin layer convective solar drying and mathematical modelling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*)”, *Energy*, 29, 211-224, (2004).

Larrauri, J.A., Ruperez, P., Saura-Calixto, F., “Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels”, *J. Agric. Food Chem.*, 45 (4), 1390-1393, (1997).

Lavelli, V., Zanoni, B., Zaniboni, A., “Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrots”, *Food Chem.*, 104, 1705-1711, (2007).

Lewicki, P.P., “Design of hot air drying for better foods”, *Trends in Food Sci. & Technol.*, 17, 153-163, (2006).

Lin, M.T., Durance, T.D., Scaman, C.H., “Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices”, *Food Res. Int.*, 31 (2), 111-117, (1998).

Lin, C.H., Chen, B.H., “Stability of carotenoids in tomato juice during processing”, *European Food Res. Technol.*, 221, 274-280, (2005).

Luampon, R., Theerakulpisut, S., Artnaseaw, A., “Thin layer drying of carrot slices by heat pump vacuum dryer”, *Advanced Science Letters*, 19, 3342-3345, (2013).

- Marfil, P.H.M., Santos, E.M., Telis, V.R.N., “Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 41, 1642-1647, (2008).
- Maskan, M., “Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying”, *J. of Food Eng.*, 48 (2), 177-182, (2001).
- Maskan, M., “Microwave/air and microwave finish drying of banana”, *J. of Food Eng.*, 44 (2), 71-78, (2000).
- Maskan, A., Kaya, S., Maskan, M., “Hot air and sun drying of grape leather (pestil)”, *J. of Food Eng.*, 54 (1), 81-88, (2002).
- Mengeş, H.O. ve Ertekin, C., “Vişne kurutmada kurumanın çeşitli modellerle açıklanması”, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21 (42), 4-10, (2007).
- Methakhup, S., Chiewchan, N., Devahastin, S., “Effects of drying methods and conditions on drying kinetics and quality of Indian gooseberry flake”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 38 (6), 579-587, (2005).
- Montes, J. P. C., Victoria, M. T. C., Sosa, A. I., Pineda, S. T., “Quality assessment of dehydrated red bell pepper using tempering drying cycles”. *Int. J. of Food Sci. & Technol.*, 45, 1270-1276, (2010).
- Mujumdar, A.S. and Beke, J., Grain drying:basic principles, In: Handbook of Postharvest Technology: Cereals, Fruits, Vegetables, Tea and Spices; Chakraverty, A., Mujumdar, A.S., Raghavan, G.S.V., Ramaswamy, H.S., (Eds), New York: Marcel Dekker, Inc., (2003).
- Mujumdar, A.S., *Handbook of Industrial Drying*, New York: CRC Press, 605-635, (2007).
- Nahimana, H. and Zhang, M., “Shrinkage and color change during microwave vacuum drying of carrot”, *Drying Technol.*, 29: (7), 836-847, (2011).
- Negi, P.S. and Roy, K.S., “Effect of low-cost storage and packaging on quality and nutritive value of fresh and dehydrated carrots”, *J. of the Sci. of Food and Agric.*, 80, 2169-2175, (2000).

- Nisha, P., Singhal, R.S., Pandit, A.B., “Kinetic modelling of colour degradation in tomato puree (*Lycopersicon esculentum* L.)”, *Food Bioprocess Technol.*, 4, 781-787, (2011).
- Oszmianski, J. and Gorska, M., “Improvement of carotenoid content and colour in carrot juice concentrate”, *Fruit Process.*, 2, 70-73, (2002).
- Ozkan, I.A., Akbudak, B., Akbudak, N., “Microwave drying characteristics of spinach”, *J. of Food Eng.*, 78 (2), 577-583, (2007).
- Özalp, R., “Ülkemizde biber üretimi ve örtüaltı biber yetiştiriciliği”, *Tarım Türk Derg.*, 24, 29-32, (2010).
- Park, Y.W., “Effect of freezing, thawing, drying and cooking on carotene retention in carrots, broccoli and spinach”, *J. Food Sci.*, 52 (4), 1022-1025, (1987).
- Park, C.R., Lee, K.J., “A study on influence of drying methods upon the chemical changes in red pepper: Part 2 Changes of free amino acid, free sugar”, *Korean J. of Nutrition*, 8, 33-37, (1975).
- Phomkong, W., Sophonronarit, S., Thommarutwasik, P., “Chemical pretreatments affecting drying characteristics of chilli (cv. Huarou Yon)”, *Drying Technol.*, 28, 1466-1476, (2010).
- Prakash, S., Jha, S.K., Datta, N., “Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers”, *J. of Food Eng.*, 62, 305-313, (2004).
- Rhim, J.W., Nunes, R.V., Jones, V.A., Swartzel, K.R., “Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature”, *J. of Food Sci.*, 54 (3), 776-777, (1989).
- Rojas, A.M. and Gerschenson, L.N., “Ascorbic acid destruction in aqueous model systems: an additional discussion”, *J. of the Sci. of Food and Agric.*, 81 (15), 1433-1439, (2001).
- Rufian-Henares, J.A., Guerra-Hernandez, E.G., Garcia-Villanova, B., “Effect of red sweet pepper dehydration conditions on maillard reaction, ascorbic acid and antioxidant activity”, *J. of Food Eng.*, 118 (1), 150-156, (2013).
- Sacilik, K. and Elicin, A.K., “The thin layer drying characteristics of organic apple slices”, *J. Food Eng.*, 73 (3), 281-289, (2006).

Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., *Gıda Endüstrisi Makineleri*, Ankara: Savaş Kitapevi, 318-330, (2004).

Sarsavadia, P., Sawhney, R., Pangauhane, D.R., Singh, S.P., “Drying Behaviour of Brined Onion Slices”, *J. of Food Eng.*, 40, 219-226, (1999).

Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y., Liptay, A., Niekamp, F., “Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration”, *Food Res. Int.*, 32, 15-21, (1999).

Soysal, Y. ve Öztekin, S., “Technical and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants”, *J. of Agric. Eng. Res.*, 79 (1), 73-79, (2001).

Soysal, Y., “Microwave drying characteristics of parsley”, *Biosyst. Eng.*, 89 (2), 167-173, (2004).

Stepien, B., “Effect of vacuum-microwave drying on selected mechanical and rheological properties of carrot”, *Biosyst. Eng.*, 99, 234-238, (2008).

Suvarnakuta, P., Devahastin, S., Mujumdar, A.S., “Drying kinetics and  $\beta$ -carotene degradation in carrot undergoing different drying processes”, *J. of Food Sci.*, 70 (8), 520-526, (2005).

Şahin, H.F., Ülger, P., Aktaş, T., Orak, H.H., “Farklı ön işlemlerin ve vakum kurutma yönteminin domatesin kuruma karakteristikleri ve kalite kriterleri üzerine etkisi” *Tekirdağ Ziraat Fak. Derg.*, 9 (1), 15-25, (2012).

Şen, E., “Kuşburnu Meyvesinin Vakum ve Mikrodalga Tekniği ile Kurutulması ve Kuruma Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tokat, (2010).

Şeniz, V., *Domates, Biber ve Patlıcan Yetiştiriciliği*, Yalova: Tarımsal Araştırmaları Destekleme ve Geliştirme Vakfı Yayınları, 174s, (1992).

Topuz, A., “Farklı Gamma Işınlama Dozlarının ve Depolamanın Kırmızı Pul Biberin (*Capsicum annum* L.) Bazı Kimyasal, Mikrobiyolojik ve Duyusal Kalitesi Üzerine Etkileri”, Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya, (2002).

Topuz, A., Feng, H., Kushad, M., “The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika” *LWT-Food Sci. and Technol.*, 42, 1667-1673, (2009).

Tripathy, P.P. and Kumar, S., “Modeling of heat transfer and energy analysis of potato slices and cylinders during solar drying”, *Appl. Therm. Eng.*, 29 (1), 884-891, (2009).

Tunçer, İ.K., “Characterization and drying of vegetables by hot air and microwave energy” in Proceedings of The 4th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Adana, Turkey, 472-480, (1990).

Tunde-Akintunde, T.Y. and Afolabi, T.J., “Drying of chili pepper (*Capsicum Frutescens*)”, *J. of Food Process Eng.* 33 (4), 649-660, (2010).

USDA, National Nutrient Database for Standart Reference Release, Basic Reports, Report Date: 09 April, 2014, (2014).

Uslu, M.K. ve Certel, M., “Dielektrik ısıtma ve gıda işlemede kullanımı”, *Gıda Tek. Elektro. Derg.*, 3, 61-69, (2006).

Uyan, S., Baysal, T., Yurdagel, Ü., Nehir El, S., “Effects of drying process on antioxidant activity of purple carrots”, *Nahrung/Food*, 48, 57-60, (2004).

Ünlütürk, A. ve Turantaş, F. (Eds), *Gıda Mikrobiyolojisi*, İzmir: Mengi Tan Basımevi, 317-359, (1999).

Vega, A., Fito, P., Andres, A., Lemus, R., “Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo)”, *J. Food Eng.*, 79, 1460-1466, (2007).

Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sainz, C., Yagnam, F., Rojas, A., “Mass transfer kinetics during convective drying of red pepper var. Hungarian (*Capsicum annuum* L.): Mathematical modeling and evaluation of kinetics parameters” *J. of Food Process Eng.*, 31, 120–137, (2008).

Vega-Galvez, A., Scala, K., Rodriquez, K., Lemus, R., Miranda, M., Lopez, J., Won. M., “Effect of air- drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper”, *Food Chem.*, 117, 647-653, (2009).

Wang, J. and Sheng, K., “Far-infrared and microwave drying of peach”, *LWT-Food Sci. and Technol.*, 39, 247-255, (2006).

WEB\_1, Abak, K., “Havuç yetiştiriciliği [online]”, (25 Eylül 2014), <http://www.gencziraat.com/Bahce-Bitkileri/Havuc-Yetistiriciligi-8.html>, (2009).

WEB\_2, TÜİK, “Haber Bülteni: Bitkisel üretim istatistikleri [online]”, (20 Ağustos 2014), <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10780>, (2012).

Wojdylo, A., Figiel, A., Oszmianski, J., “Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits”, *J. Agric. Food Chem.*, 57 (4), 1337-1343, (2009).

Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., Tagawa, A., “Vacuum drying characteristics of eggplants”, *J. of Food Eng.*, 83, 422-429, (2007).

Xu, Y.Y., Min, Z., Majumdar, A.S., “Studies on hot air and microwave vacuum drying of wild cabbage”, *Drying Technol.* 22: (9), 2201-2209, (2004).

Yağcıoğlu, A., *Tarım Ürünlerinde Kurutma Tekniği*, İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 536s, (1999).

Yaldız, O., Ertekin, C. ve Uzun, H.İ., “Çekirdeksiz üzümün ince tabaka halinde güneş enerjisi ile kurutulmasının matematiksel modellenmesi üzerinde bir araştırma”, *Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi*, Erzurum, 345-350, (2000).

Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, H.İ., “Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes”, *Energy*, 26, 457-465, (2001).

Yaldiz, G., Ozguven, M., Sekeroglu, N., “Variation in capsaicin content of different capsicum species and lines by varying drying parameters”, *Industrial Crops and Products*, 32, 434-438, (2010).

Yelmen, B., Ustuner, T., Ustuner, M., “A study on microwave assisted drying characteristics of red pepper”, *Sci. Res. and Essays*. 6 (1), 23-24, (2011).

Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., Lavelli, V., “Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying”, *Food Res. Int.*, 31, 395-401, (1999).

Zhang, D. and Hamauzu, Y., “Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking”, *Food Chem.*, 88 (4), 503-509, (2004a).

Zhang, D. and Hamauzu, Y., “Phenolics compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota* L.)”, *Food, Agric. & Environ.*, 2 (1), 95-100, (2004b).

Zhao, D., An, K., Ding, S., Liu, L., Xu, Z., Wang, Z., “Two-stage intermittent microwave coupled with hot-air drying of carrot slices: Drying kinetics and physical quality”, *Food Bioprocess Technol.*, 7, 2308-2318, (2014).

Zielinska, M. and Markowski, M., “Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots”, *Chem. Eng. and Process.: Process Intensification*, 49 (2), 212-218, (2010).

Zielinska, M. and Markowski, M., “Drying behavior of carrots dried in a spout-fluidized bed dryer”, *Drying Technol.*, 25, 261-270, (2007).



# **EKLER**

## 6. EKLER

### EK A: Sıcak Hava ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler

Çizelge A.1: 45°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde havucun sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	125,66	8,98	1,00
1	85,15	5,76	0,64
2	56,58	3,49	0,39
3	38,08	2,02	0,23
4	27,96	1,22	0,14
5	21,35	0,70	0,08
6	17,70	0,41	0,05
7	15,94	0,27	0,03

Çizelge A.2: 55°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde havucun sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	125,45	8,98	1,00
1	83,29	5,63	0,63
2	53,00	3,22	0,36
3	34,59	1,75	0,19
4	23,56	0,87	0,10
5	18,22	0,45	0,05
5.5	16,96	0,35	0,04

Çizelge A.3: 65°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde havucun sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	126,77	8,98	1,00
1	77,68	5,11	0,57
2	41,86	2,29	0,26
3	23,88	0,88	0,10
4	17,01	0,34	0,04

## EK B: Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge B.1:** 45°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde ve 780 W mikrodalga gücünde havucun mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

45°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde sıcak hava ile kurutma işlemi 3 saat sürmüştür. 3 saat sonunda kurutulan havuçların nem oranı 0.225 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Sıcak hava ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	33,24	1,62	0,18
200	27,83	1,19	0,13
300	19,70	0,55	0,06
400	16,33	0,29	0,03

**Çizelge B.2:** 55°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde ve 780 W mikrodalga gücünde havucun mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

55°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde sıcak hava ile kurutma işlemi 2.5 saat sürmüştür. 2.5 saat sonunda kurutulan havuçların nem oranı 0.267 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Sıcak hava ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	37,06	1,92	0,21
200	32,29	1,54	0,17
300	27,76	1,19	0,13
400	23,69	0,87	0,10
500	19,79	0,56	0,06
600	16,51	0,30	0,03

**Çizelge B.3:** 65°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde ve 780 W mikrodalga gücünde havucun mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

65°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde sıcak hava ile kurutma işlemi 2 saat sürmüştür. 2 saat sonunda kurutulan havuçların nem oranı 0.255 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Sıcak hava ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	40,94	2,22	0,25
200	32,60	1,57	0,17
300	27,64	1,18	0,13
400	23,21	0,83	0,09
500	19,75	0,56	0,06
550	17,22	0,36	0,04

**EK C: Vakumlu Kurutucu ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler**

**Çizelge C.1:** 45°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında havucun vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	125,67	8,98	1,00
2	115,90	8,20	0,91
4	106,18	7,43	0,83
6	96,75	6,68	0,74
8	87,16	5,92	0,66
10	76,89	5,11	0,57
12	67,08	4,33	0,48
14	57,95	3,60	0,40
16	49,27	2,91	0,32
18	41,12	2,27	0,25
20	33,90	1,69	0,19
22	27,96	1,22	0,14
24	22,96	0,82	0,09
26	19,31	0,53	0,06
28	17,23	0,37	0,04

**Çizelge C.2:** 55°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında havucun vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	125,67	8,98	1,00
2	108,21	7,59	0,85
4	91,14	6,24	0,69
6	75,04	4,96	0,55
8	59,50	3,73	0,41
10	44,83	2,56	0,29
12	36,65	1,91	0,21
14	29,09	1,31	0,15
16	22,79	0,81	0,09
18	17,77	0,41	0,05

**Çizelge C.3:** 65°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında havucun vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	125,80	8,98	1,00
2	97,68	6,75	0,75
4	73,79	4,85	0,54
6	49,71	2,94	0,33
8	31,51	1,50	0,17
10	16,90	0,34	0,04

**Çizelge C.4:** 45°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında havucun vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	125,89	8,98	1,00
2	113,02	7,96	0,89
4	100,45	6,96	0,78
6	91,10	6,22	0,69
8	79,48	5,30	0,59
10	68,39	4,42	0,49
12	57,94	3,59	0,40
14	48,37	2,83	0,32
16	38,82	2,08	0,23
18	29,86	1,37	0,15
20	23,44	0,86	0,10
22	19,95	0,58	0,06
24	17,61	0,40	0,04

**Çizelge C.5:** 55°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında havucun vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	125,55	8,98	1,00
2	103,54	7,23	0,81
4	83,83	5,66	0,63
6	65,71	4,22	0,47
8	47,31	2,76	0,31
10	31,12	1,47	0,16
12	19,27	0,53	0,06
13	15,26	0,21	0,02

**Çizelge C.6:** 65°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında havucun vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	125,43	8,98	1,00
2	94,40	6,51	0,73
4	67,71	4,39	0,49
6	44,26	2,52	0,28
8	23,75	0,89	0,10
9	16,63	0,32	0,04

## EK D: Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma ile Havuç Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge D.1:** 45°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde havucun mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

45°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 18 saat sürmüştür. 18 saat sonunda kurutulan havuçların nem oranı 0.250 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakumlu kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	37,16	1,93	0,21
200	30,60	1,41	0,16
300	24,56	0,93	0,10
400	20,34	0,60	0,07
500	17,04	0,34	0,04

**Çizelge D.2:** 55°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde havucun mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

55°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 10 saat sürmüştür. 10 saat sonunda kurutulan havuçların nem oranı 0.290 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakumlu kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	39,53	2,11	0,24
200	33,53	1,64	0,18
300	28,07	1,21	0,14
400	23,35	0,84	0,09
500	19,31	0,52	0,06
600	16,63	0,31	0,03

**Çizelge D.3:** 65°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde havucun mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

65°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 7 saat sürmüştür. 7 saat sonunda kurutulan havuçların nem oranı 0.260 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakumlu kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	37,15	1,93	0,21
200	32,47	1,56	0,17
300	27,53	1,17	0,13
400	22,71	0,80	0,09
500	17,78	0,40	0,04
600	16,77	0,32	0,04

**Ek E: Sıcak Hava ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler**

**Çizelge E.1:** 45°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	176,06	9,58	1,00
2	127,91	6,68	0,70
4	97,79	4,88	0,51
6	85,66	4,15	0,43
8	60,58	2,64	0,28
10	49,33	1,96	0,21
12	41,30	1,48	0,16
14	35,42	1,13	0,12
16	31,73	0,91	0,10
18	28,47	0,71	0,07
20	26,64	0,60	0,06
22	24,93	0,50	0,05
24	23,13	0,39	0,04

**Çizelge E.2:** 55°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	175,83	9,58	1,00
1	133,08	7,01	0,73
2	109,31	5,58	0,58
3	85,57	4,15	0,43
4	70,08	3,22	0,34
5	54,56	2,28	0,24
6	46,04	1,77	0,19
7	38,46	1,31	0,14
8	32,15	0,93	0,10
9	27,48	0,65	0,07
10	24,54	0,48	0,05
11	22,95	0,38	0,04

**Çizelge E.3:** 65°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	173,54	9,58	1,00
1	125,11	6,63	0,69
2	102,48	5,25	0,55
3	78,78	3,80	0,40
4	60,61	2,69	0,28
5	47,81	1,91	0,20
6	37,73	1,30	0,14
7	30,89	0,88	0,09
8	25,91	0,58	0,06
9	22,83	0,39	0,04

## EK F: Mikrodalga Destekli Sıcak Hava ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge F.1:** 45°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

45°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde sıcak hava ile kurutma işlemi 12 saat sürmüştür. 12 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0,16 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Sıcak hava ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	38,91	1,34	0,14
200	33,30	1,00	0,10
300	27,24	0,63	0,07
400	22,51	0,35	0,04
450	21,28	0,28	0,03

**Çizelge F.2:** 55°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

55°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde sıcak hava ile kurutma işlemi 7 saat sürmüştür. 7 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0,14 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Sıcak hava ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	41,96	1,53	0,16
200	37,27	1,24	0,13
300	32,38	0,95	0,10
400	27,24	0,64	0,07
500	22,91	0,38	0,04
550	20,99	0,26	0,03

**Çizelge F.3:** 65°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmasına ait deneysel veriler

65°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde sıcak hava ile kurutma işlemi 6 saat sürmüştür. 6 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0,14 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Sıcak hava ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	37,49	1,27	0,13
200	32,28	0,95	0,10
300	26,19	0,58	0,06
400	21,48	0,30	0,03



**EK G: Vakumlu Kurutucu ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler**

**Çizelge G.1:** 45°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında kırmızıbiberin vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	175,31	9,58	1,00
4	158,22	8,55	0,89
8	141,33	7,53	0,79
12	125,74	6,59	0,69
16	111,10	5,70	0,60
20	97,26	4,87	0,51
24	83,99	4,07	0,43
28	71,45	3,31	0,35
32	59,59	2,60	0,27
36	48,84	1,95	0,20
40	39,90	1,41	0,15
44	32,26	0,95	0,10
48	25,99	0,57	0,06
52	21,76	0,31	0,03

**Çizelge G.2:** 55°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında kırmızıbiberin vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	174,91	9,58	1,00
4	144,74	7,75	0,81
8	116,51	6,05	0,63
12	91,08	4,51	0,47
16	68,26	3,13	0,33
20	50,19	2,04	0,21
24	34,77	1,10	0,12
28	24,47	0,48	0,05
29	22,31	0,35	0,04

**Çizelge G.3:** 65°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında kırmızıbiberin vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	175,26	9,58	1,00
2	155,09	8,36	0,87
4	132,60	7,00	0,73
6	113,02	5,82	0,61
8	95,48	4,76	0,50
10	78,16	3,72	0,39
12	62,14	2,75	0,29
14	47,97	1,90	0,20
16	35,41	1,14	0,12
18	25,75	0,55	0,06
19	22,32	0,35	0,04

**Çizelge G.4:** 45°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında kırmızıbiberin vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	175,79	9,58	1,00
4	154,84	8,34	0,87
8	136,99	7,26	0,76
12	121,77	6,35	0,66
16	105,45	5,36	0,56
20	89,19	4,38	0,46
24	76,57	3,62	0,38
28	63,50	2,83	0,30
32	52,96	2,20	0,23
36	41,19	1,49	0,16
40	30,16	0,82	0,09
44	22,76	0,37	0,04

**Çizelge G.5:** 55°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında kırmızıbiberin vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	174,99	9,58	1,00
4	142,87	7,66	0,80
8	111,40	5,73	0,60
12	84,41	4,10	0,43
16	61,48	2,72	0,28
20	41,96	1,54	0,16
24	26,67	0,61	0,06
27	20,90	0,26	0,03

**Çizelge G.6:** 65°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında kırmızıbiberin vakumlu kurutucuda kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	187,91	9,58	1,00
2	162,43	8,14	0,85
4	135,83	6,65	0,69
6	112,15	5,31	0,56
8	89,38	4,03	0,42
10	69,68	2,92	0,31
12	52,39	1,95	0,20
14	38,80	1,18	0,12
16	29,12	0,64	0,07
18	22,24	0,25	0,03

## EK H: Mikrodalga Destekli Vakumlu Kurutma ile Kırmızıbiber Kurutma İşleminde Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge H.1:** 45°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

45°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 40 saat sürmüştür. 18 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0.150 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakumlu kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	33,89	1,05	0,11
200	27,38	0,65	0,07
300	23,78	0,44	0,05
400	20,36	0,23	0,02

**Çizelge H.2:** 55°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

55°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 22 saat sürmüştür. 22 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0,200 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakum ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	39,87	1,48	0,18
200	33,45	1,02	0,15
300	27,74	0,68	0,11
400	22,67	0,37	0,07
500	20,87	0,26	0,03

**Çizelge H.3:** 65°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

65°C sıcaklıkta, 48 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 15 saat sürmüştür. 15 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0.160 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakum ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	39,76	1,39	0,15
200	34,69	1,09	0,11
300	28,76	0,73	0,08
400	24,49	0,47	0,05
500	21,16	0,27	0,03

**Çizelge H.4:** 45°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

45°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 36 saat sürmüştür. 36 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0,160 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakum ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	35,74	1,16	0,12
200	29,26	0,77	0,08
300	24,62	0,49	0,05
400	22,47	0,36	0,04
500	20,29	0,23	0,02

**Çizelge H.5:** 55°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

55°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 20 saat sürmüştür. 20 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0,160 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakum ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	37,45	1,26	0,13
200	33,04	1,00	0,10
300	28,16	0,70	0,07
400	24,03	0,45	0,05
500	21,73	0,31	0,03
550	20,24	0,22	0,02

**Çizelge H.6:** 65°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında ve 780 W mikrodalga gücünde kırmızıbiberin mikrodalga destekli vakumlu kurutma ile kurutulmasına ait deneysel veriler

65°C sıcaklıkta, 21,5 kPa mutlak basınç altında vakumlu kurutucuda kurutma işlemi 14 saat sürmüştür. 14 saat sonunda kurutulan kırmızıbiberlerin nem oranı 0,120 değerine düşmüştür (1. Kurutma). Vakum ile kurutma işleminden sonra 780 W mikrodalga gücünde mikrodalga ile kurutma işlemi (2. Kurutma)

Kurutma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (kg su / kg kuru madde)	Nem Oranı (MR)
100	34,14	1,05	0,11
200	30,01	0,80	0,08
300	25,23	0,52	0,05
400	22,19	0,33	0,04
500	20,34	0,22	0,02

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Engin DEMİRAY

Doğum Yeri ve Tarihi : Acıpayam 13.01.1982

Lisans Üniversite : Akdeniz Üniversitesi

Y. Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : edemiray@pau.edu.tr

İletişim Adresi : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Gıda Mühendisliği Bölümü 20070  
Pamukkale/DENİZLİ

### Yayın Listesi :

- Demiray, E. and Tulek, Y., “Color degradation kinetics of carrot (*Daucus carota* L.) slices during hot air drying”, Journal of Food Processing and Preservation, accepted on 01 May, (2014).
- Tulek, Y. and Demiray, E., “Effect of hot air drying and different pretreatments on color and drying characteristics of persimmons”, Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences, 20(1), 27-37, (2014).
- Demiray, E. and Tulek, Y., “Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L) slices in a convective hot air dryer”, Heat and Mass Transfer, 50, 779-786, (2014).
- Demiray, E., Yilmaz, Y., Tulek, Y., “Degradation kinetics of lycopene,  $\beta$ -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying”, LWT-Food Science and Technology, 50 (1), 172-176, (2013).

• Demiray, E. and Tulek, Y., “Thin-layer drying of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer”, Heat and Mass Transfer, 48, 841-847, (2012).

• Demiray, E. ve Tülek, Y., “Kurutma işleminin kırmızı biberdeki renk maddelerine etkisi”, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (3), 1-10, (2012).

• Selcuk, A.R., Demiray, E., Yilmaz, Y., “Antioxidant activity of grape seeds obtained from molasses (Pekmez) and winery production”, Academic Food Journal, 9 (5), 39-43, (2011).

• Demiray, E. ve Tülek, Y., “Donmuş muhafaza sırasında meyve ve sebzelerde oluşan kalite değişimleri”, Akademik Gıda Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, 8 (2), 36-44, (2010).

• Demiray, E. ve Tülek, Y., “Domates kurutma teknolojisi ve kurutma işleminin domatesteki bazı antioksidan bileşiklere etkisi”, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3 (3), 9-20, (2008).

#### **Konferans listesi :**

• Tulek, Y. and Demiray, E., “The Effect of Pretreatments on Air Drying Characteristics of Persimmons” NAFI 2014 International Food Congress, 26-29 May 2014, Kuşadası, Turkey.

• Tulek, Y., Gencdag, E., Ozkan, A., Demiray, E., “The Effects of Blanching Methods on Some Quality Parameters of Selected Frozen Green Vegetables” NAFI 2014 International Food Congress, 26-29 May 2014, Kuşadası, Turkey.

• Demiray, E., Kaş, Ç., Çelik, O., Işık, F., “Denizli ve Çevresinde Satışa Sunulan Riviera Zeytinyağlarının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Duyusal Özellikleri” Gıda Mühendisliği 5. Öğrenci Kongresi, 24-25 Nisan 2014, (Abant İzzet Baysal Üniversitesi).

• Tülek, Y. ve Demiray, E., “Doğal Kurutulmuş Bazı Sebzelerin Rehidrasyon Özelliklerinin Belirlenmesi” 4. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 17-19 Nisan 2014, (Çukurova Üniversitesi).

• Celik, I., Demiray, E., Nogay, O., Tulek, Y., “Production of Karahöyük (Zığır) Bread and Determination of Some Properties” The 2nd International

Symposium on "Traditional Foods from Adriatic to Caucasus", 24-26 October 2013, Struga - Ohrid / Macedonia.

- Tulek, Y., Demiray, E., Celik, I., Nogay, O., "Rheological, Physical and Chemical Properties of Çal Karası Grape (*Vitis vinifera*) Pekmez" The 2nd International Symposium on "Traditional Foods from Adriatic to Caucasus", 24-26 October 2013, Struga - Ohrid / Macedonia.

- Tulek, Y., Surel, C., Demiray, E., "Salihli Wood Meatballs" The 2nd International Symposium on "Traditional Foods from Adriatic to Caucasus", 24-26 October 2013, Struga - Ohrid / Macedonia.

- Demiray, E. ve Tulek, Y., "Peynir Altı Suyu Tozu Üretimi ve Kullanım Alanları" Süt Endüstrisinde Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu, 15-16 Kasım 2012, (Pamukkale Üniversitesi).

- Demiray, E. ve Tulek, Y., "Kabin Tipi Kurutucuda Farklı Sıcaklıklarda Kurutulan Havuç (*Daucus carota*) ve Kırmızı Biber (*Capsicum annuum* L.) Dilimlerinin Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi" Türkiye 11. Gıda Kongresi, 10-12 Ekim 2012, (Mustafa Kemal Üniversitesi).

- Demiray, E. and Tulek, Y., "Thin-layer Drying of Garlic (*Allium sativum*) Slices in a Convective Dryer" International Food Congress-Novel Approaches in Food Industry, 26-29 May 2011, Cesme, Izmir.