

**KURUTMA İŞLEMİNDE DOMATESİN LİKOPEN,  $\beta$ -KAROTEN,  
ASKORBİK ASİT VE RENK DEĞİŞİM KİNETİĞİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

---

**Engin DEMİRAY**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yahya TÜLEK**

**2009  
DENİZLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

Engin DEMİRAY tarafından Yrd. Doç. Dr. Yahya TÜLEK yönetiminde hazırlanan “**Kurutma İşleminde Domatesin Likopen,  $\beta$ -Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Nevzat ARTIK  
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Sebahattin NAS  
Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Yahya TÜLEK  
Jüri Üyesi (Danışman)

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

**Prof. Dr. Halil KARAHAN**  
Müdür

## TEŞEKKÜR

“Kurutma İşleminde Domatesin Likopen,  $\beta$ -Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi” konulu tez çalışmamın gerçekleştirilmesindeki değerli görüş ve katkılarıyla bana yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Yahya TÜLEK’e,

Çalışmanın her kademesinde büyük bir özveri göstererek bana yardımcı olan sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Yusuf YILMAZ’a,

Çalışmalarım sırasında yardımlarından dolayı bölüm başkanımız sayın hocam Prof. Dr. Aydın YAPAR’a ve bölümümüzün tüm öğretim üyelerine,

Değerli görüş ve bilgileri yanında maddi olarak da desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Sebahattin NAS’a

Bu çalışma projesini maddi olarak destekleyen “Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne”,


Hayatım boyunca aldığım kararlarda beni destekleyen, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen ve bu yolda sonuna kadar devam etme cesareti veren sevgili aileme,

Ve emeği geçen herkese,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Engin DEMİRAY**

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 atfedildiğini beyan ederim.

İmza: 

Öğrenci Adı Soyadı: Engin DEMİRAY

## ÖZET

### KURUTMA İŞLEMİNDE DOMATESİN LİKOPEN, $\beta$ -KAROTEN, ASKORBİK ASİT VE RENK DEĞİŞİM KİNETİĞİNİN BELİRLENMESİ

Demiray, Engin  
Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği ABD  
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Yahya TÜLEK

Haziran 2009, 101 Sayfa

Kurutma tekniği gıdaların muhafazası sırasında kullanılan yaygın bir yöntemdir. Yapılan bu çalışmada, ülkemizde özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde üretimi yapılan “Rio Grande” çeşidi domateslerin farklı kurutma sıcaklıklarında ve %20 bağıl nem koşulunda göstereceği kuruma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla denemelerde 60-70-80-90 ve 100°C hava sıcaklıkları kullanılarak, herhangi bir ön işlem uygulamadan domatesler ortalama %10 nem içeriğine kadar kurutulmuştur.

Domateslerin kuruma kinetikleri incelenmiş, kabin tipi kurutucu ile kurutma sırasında meydana gelen likopen,  $\beta$ -karoten, askorbik asit ve renk değişimleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, uygulanan sıcaklık değeri arttıkça numunelerin kuruma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Domateslerin kurutulmadan önce askorbik asit değeri 544,84 mg/100g kuru madde olarak belirlenmiştir. 60°C’de 20 saat süren kurutma işleminde askorbik asit miktarında %75,13 oranında azalma meydana gelmiştir. 90°C’de 10 saat süren kurutma işleminde 8.saatten sonra ortamda askorbik asit tespit edilememiştir. 100°C’de 8 saat süren işlemde ise 5.saatten itibaren numunelerde askorbik asit tespit edilememiştir. Domates numunelerindeki likopen miktarındaki değişimlerin incelenmesi sonucunda, 60°C’de %75,63 oranında kayıp meydana gelirken, 100°C’de yapılan işlemde %97,81 oranında azalma belirlenmiştir.  $\beta$ -karoten miktarında ise 60°C’de %81 oranında, 100°C’de %95,75 oranında azalma meydana gelmiştir.

Kuruma kinetiğine, askorbik asit, likopen,  $\beta$ -karoten ve renk değişim kinetiklerine ait modelleme çalışmaları yapılmıştır. İncelenen modeller arasında 60°C ve 100°C değerleri arasında ve %20 bağıl nemde domateslerin kurutulmasını en iyi tanımlayan modelin Modifiye Page model olduğu belirlenmiştir. Askorbik asit, likopen ve  $\beta$ -karoten değişim kinetiklerinin birinci dereceden kinetik modele, renk değişim kinetiklerinin sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

Kurutulan domates numuneleri için likopen,  $\beta$ -karoten ve askorbik asit değişimlerine ait aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 46.96, 40.17 ve 46.99 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kurutma, Domates, Modelleme, Kinetik, Likopen,  $\beta$ -karoten, Askorbik asit, Renk değişimi.

**Prof. Dr. Nevzat ARTIK**  
**Prof.Dr. Sebahattin NAS**  
**Yard. Doç. Dr. Yahya TÜLEK**

**ABSTRACT****DETERMINATION OF KINETICS OF LYCOPENE,  $\beta$ -CAROTENE, ASCORBIC ACID AND COLOUR CHANGE IN TOMATOES DURING DRYING**

Demiray, Engin  
M. Sc. Thesis in Food Engineering  
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yahya TÜLEK

June 2009, 101 Pages

Drying is a method widely used for food preservation. In this study, drying characteristics of tomatoes (Rio Grande type) grown in Turkey, especially in Aegean and Mediterranean regions, are determined at different temperatures at 20% relative humidity. For this purpose, in the experiments, tomatoes were dried without any pre-process application until 10% moisture content by conventional air drying at the temperatures of 60, 70, 80, 90 and 100°C. Drying kinetics of tomatoes at different temperatures was assessed, and the changes in lycopene,  $\beta$ -carotene, ascorbic acid contents and color values during drying in a cabinet dryer were investigated. Results indicated that drying periods of tomatoes decreased with an increase in drying temperature. Ascorbic acid content of fresh tomatoes was 544.84 mg/100g dry matter. Drying at 60°C for 20 hours decreased ascorbic acid content of tomatoes by about 75%. However, ascorbic acid was not found in tomato samples dried at 90°C for 10 hours. About 76% loss in lycopene contents was found in tomato samples dried at 60°C while this loss was about 98% in tomatoes dried at 100°C. Moreover,  $\beta$ -carotene content decreased by 81% at 60°C and 96% at 100°C. Modeling studies on drying kinetics of ascorbic acid, lycopene,  $\beta$ -carotene contents and color changes indicated that Modified Page Model was the best for the tomato drying process between 60°C and 100°C and at 20% relative humidity. It was found that kinetics of ascorbic acid, lycopene and  $\beta$ -carotene losses were consistent with the first-degree kinetic model while color change kinetics was well-matched with the zero-degree and first-degree kinetic models. For the dried tomato samples, activation energy values of lycopene,  $\beta$ -carotene and ascorbic acid were found 46.96, 40.17 and 46.99 kJ/mol, respectively.

**Keywords:** Drying, Tomato, Modeling, Kinetic, Lycopene,  $\beta$ -carotene, Ascorbic acid, Color change.

**Prof. Dr. Nevzat ARTIK**  
**Prof. Dr. Sebahattin NAS**  
**Asst. Prof. Dr. Yahya TÜLEK**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU.....	i
TEŞEKKÜR .....	ii
BİLİMSEL ETİK SAYFASI .....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Domates Kurutma Teknolojisi.....	5
2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR BİLGİSİ.....	9
2.1. Gıda Kurutmanın Tarihçesi.....	9
2.2. Gıda Kurutma Yöntemleri.....	11
2.2.1. Doğal kurutma.....	11
2.2.2. Yapay kurutma.....	12
2.3. Kurutman Prensipleri.....	13
2.4. Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları.....	14
2.4.1. Sabit hızda kuruma periyodu.....	14
2.4.2. Azalan hızda kuruma periyodu.....	15
2.5. Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler.....	15
2.5.1. Sıcaklık.....	16
2.5.2. Kurutma havasının hızı.....	16
2.5.3. Kurutulan gıdanın yüzey alanı.....	17
2.5.4. Ortamın nem içeriği.....	17
2.5.5. Kurutulan gıdaya özgü özellikler.....	19
2.6. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler.....	20
2.6.1. Kimyasal değişimler.....	20
2.6.2. Fiziksel değişimler.....	24
2.6.3. Biyokimyasal değişimler.....	25
2.6.4. Mikrobiyolojik değişimler.....	27
2.7. Gıdaların Kurutulmasıyla İlgili Çalışmalar.....	27
2.7.1. Domatesin kurutulmasıyla ilgili çalışmalar.....	32
2.8. Antioksidanlar.....	35
2.8.1. Domateste bulunan doğal antioksidanlar.....	36
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Kullanılan kimyasallar.....	41
3.1.2. Kullanılan cihazlar.....	41
3.1.2.1. Tepsili kurutma fırını.....	41
3.1.2.2. Renk ölçüm cihazı.....	41
3.1.2.3. HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi) cihazı.....	43
3.2. Yöntem.....	44
3.2.1. Kurutma denemeleri.....	44
3.2.2. Renk değişimlerinin incelenmesi.....	45
3.2.3. Likopen ve $\beta$ -karoten değişimlerinin belirlenmesi.....	45

3.2.3.1. Ekstraksiyon.....	45
3.2.3.2. Tanımlama ve hesaplama.....	46
3.2.3.3. Kromatografi koşulları.....	46
3.2.4. Askorbik asit (C Vitamini) değişimlerinin belirlenmesi.....	46
3.2.4.1. Ekstraksiyon.....	46
3.2.4.2. Tanımlama ve hesaplama.....	47
3.2.4.3. Kromatografi koşulları.....	47
3.3. Hesaplamalar.....	48
3.3.1. Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar.....	48
3.3.1.1. Nem içeriğinin hesaplanması.....	48
3.3.1.2. Kuruma hızının hesaplanması.....	48
3.3.1.3. Nem oranının hesaplanması.....	48
3.3.2. Renk değişiminin incelenmesi için yapılan hesaplamalar.....	49
3.4. Modelleme Çalışmaları.....	49
3.4.1. Kuruma kinetiğine ait modelleme çalışmaları.....	49
3.4.1.1. Page model.....	49
3.4.1.2. Henderson ve Pabis model.....	50
3.4.1.3. Lewis model.....	50
3.4.1.4. Logaritmik model.....	50
3.4.1.5. Modifiye Page model.....	51
3.4.2. Likopen, $\beta$ -karoten, askorbik asit ve renk değişimlerinin incelenmesi için yapılan modelleme çalışmaları.....	51
3.4.2.1. Sıfırıncı dereceden kinetik model.....	51
3.4.2.2. Birinci dereceden kinetik model.....	51
3.4.3. Aktivasyon enerjisinin hesaplanması.....	52
3.4.4. Yarı ömür süresinin hesaplanması.....	53
3.4.5. $Q_{10}$ değerinin hesaplanması.....	53
3.4.6. Regresyon analizleri.....	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	55
4.1. Kurutma Ortam Sıcaklıklarının Domates Numunesinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi.....	55
4.1.1. Nem içeriği değişimi.....	55
4.1.2. Kuruma hızı değişimi.....	56
4.1.3. Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları.....	57
4.2. Farklı Sıcaklık Değerlerinde Yapılan Kurutma İşleminin Domates Numunesinin Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi.....	58
4.2.1. L değeri değişimi.....	62
4.2.2. a değeri değişimi.....	63
4.2.3. b değeri değişimi.....	64
4.2.4. a/b değeri.....	66
4.2.5. Renk değerlerine ait kinetik parametreler.....	67
4.3. Likopen Miktarındaki Değişimler.....	68
4.4. $\beta$ -karoten Miktarındaki Değişimler.....	73
4.5. Askorbik Asit Miktarındaki Değişimler.....	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR.....	84
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	102



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Türkiye kurutulmuş domates ihracatı .....	10
Şekil 2.1 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları.....	15
Şekil 2.2 Gıdaların kuruma eğrisi.....	16
Şekil 2.3 Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağıl nem ile ilişkisi.....	20
Şekil 2.4 Higroskopik olan ve higroskopik olmayan ürünlerin adsorbsiyon izotermi.....	21
Şekil 2.5 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen askorbik asit oksidasyonu.....	30
Şekil 2.6 Su aktivitesi ile su miktarı ve bozulmalar arasındaki ilişkiler.....	31
Şekil 3.1 Tepsili kurutma kabini genel görünümü.....	45
Şekil 3.2 Hunter Lab renk skalası.....	46
Şekil 3.3 HPLC cihazının genel görünümü.....	47
Şekil 3.4 Arrhenius grafiği.....	53
Şekil 4.1 Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi .....	55
Şekil 4.2 Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi .....	56
Şekil 4.3a 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	60
Şekil 4.3b 70°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	60
Şekil 4.3c 80°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	60
Şekil 4.3d 90°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	61
Şekil 4.3e 100°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	61
Şekil 4.3f Tüm kurutma sıcaklıklarına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page model nem oranlarının karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.4 Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi .....	62
Şekil 4.5 Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi .....	64
Şekil 4.6 Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi .....	65
Şekil 4.7 Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait a/b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi .....	67
Şekil 4.8 Likopen standart eğrisi.....	69
Şekil 4.9 Likopen standart kromatogramı (a) ve UV spektrumu (b)	69
Şekil 4.10 Domates ekstraktındaki likopen ve $\beta$ -karoten piklerini gösteren kromatogram (kurutma işleminden önce) .....	70
Şekil 4.11 Domates ekstraktındaki likopen ve $\beta$ -karoten piklerini gösteren kromatogram (kurutma işleminden sonra) .....	70
Şekil 4.12 Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domateslerdeki likopen içeriklerindeki azalmalar.....	72
Şekil 4.13 $\beta$ -karoten standart eğrisi.....	73

<b>Şekil 4.14</b> $\beta$ -karoten standart kromatogramı (a) ve UV spektrumu (b).....	74
<b>Şekil 4.15</b> Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domateslerdeki $\beta$ -karoten içeriklerindeki azalmalar.....	75
<b>Şekil 4.16</b> Askorbik asit standart eğrisi.....	76
<b>Şekil 4.17</b> Askorbik asit standart kromatogramı (a) ve UV spektrumu (b).....	76
<b>Şekil 4.18</b> Domates ekstraktındaki askorbik asit pikini gösteren kromatogram (kurutma işleminden önce) .....	77
<b>Şekil 4.19</b> Domates ekstraktındaki askorbik asit pikini gösteren kromatogram (kurutma işleminden sonra) .....	77
<b>Şekil 4.20</b> Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domateslerdeki askorbik asit içeriklerindeki azalmalar.....	79

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
<b>Çizelge 1.1</b> Dünyada domatesin ekilişi, üretim ve verim değerleri.....	2
<b>Çizelge 1.2</b> Türkiye’de domates üretiminin bölgelere göre dağılımı.....	2
<b>Çizelge 1.3</b> Domatesin bileşimi.....	4
<b>Çizelge 3.1</b> Tepsili kurutma kabınınin teknik özellikleri.....	45
<b>Çizelge 3.2</b> Hunter Lab renk skalasında kullanılan indislerin anlamları.....	46
<b>Çizelge 4.1</b> Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler.....	59
<b>Çizelge 4.2</b> Modifiye Page modele ait katsayı ve sabitler ile istatistik veriler...	62
<b>Çizelge 4.3</b> Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler.....	63
<b>Çizelge 4.4</b> Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler.....	65
<b>Çizelge 4.5</b> Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler.....	66
<b>Çizelge 4.6</b> Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait a/b değeri için birinci dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler.....	67
<b>Çizelge 4.7</b> Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait renk değerleri için kinetik parametreler.....	68
<b>Çizelge 4.8</b> Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunelerinde likopenin parçalanmasına ait kinetik parametreler.....	72
<b>Çizelge 4.9</b> Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunelerinde $\beta$ -karotenin parçalanmasına ait kinetik parametreler.....	75
<b>Çizelge 4.10</b> Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunelerinde askorbik asit parçalanmasına ait kinetik parametreler.....	79

**KISALTMALAR DİZİNİ**

$a_w$	Su aktivitesi
eqw	Eş değer ağırlık
RH	Bağıl nem
HMF	Hidroksi Metil Furfural
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
RMSE	Tahmini Standart Hata
L	Parlaklık değeri
a	Kırmızılık değeri
b	Sarılık değeri
BHT	Bütillendirilmiş Hidroksi Toluen
LC	Sıvı Kromatografisi
$E_a$	Aktivasyon enerjisi
k	Reaksiyon hız sabiti

## 1. GİRİŞ

Domates, Solanaceae familyasına dahil olup *Lycopersicum esculentum Mill.* adı ile anılmakta ve anavatanı Meksika ve Peru'dan 16. yüzyılın başlarında Avrupa'ya geçtiği bilinmektedir. Türkiye'nin domates ile tanışması I. Dünya Savaşı yıllarına rastlamaktadır. Domates kendine özgü tat ve aromasıyla sevilerek tüketilen, besin değeri oldukça fazla olan bir üründür. Yıllık 8 milyon tonun üzerinde olan domates üretimimizin büyük bir kısmı taze olarak tüketime sunulmakta, üretimimizin %25-30'u endüstriyel işleme tabi tutulmaktadır (Düzyaman ve Duman 2003). Domates taze tüketimi yanında özel kullanım amaçlarıyla başta salça olmak üzere sos, ketçap, domates suyu, domates püresi, soyulmuş domates, dilimlenmiş domates, küp şeklinde doğranmış domates, domates konservesi gibi çok değişik şekillerde değerlendirilmektedir (Uylaşer 1996). Son yıllarda belirtilen değerlendirme yöntemlerine ek olarak domatesin kurutulması değerlendirilmesinin de giderek yaygınlaştığı görülmektedir.

Dünyada belirli bir endüstrileşme düzeyini yakalamış ülkeler, bu endüstrileşme düzeyine ulaşabilmek için gerekli kapitali tarımdan sağlamışlardır. Gelişmiş ülkelerin hemen hepsinde durum böyle iken ülkemizde de bugünkü endüstri düzeyine tarım ürünlerinden sağlanan kaynaklarla ulaşılabilmiştir. Bugüne kadarki verilerden de anlaşılacağı gibi domates ve domates ürünlerinin dış satımından elde edilen gelir bu konuda önemli bir paya sahiptir. Ülkemiz, 2004 yılı verilerine göre domates üretim alanı bakımından Çin ve Hindistan'ın ardından 3. sırada, yine üretim miktarı bakımından Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nin ardından 3. sırada yer almaktadır (Çizelge 1.1.) (WEB\_1).

Türkiye, dünyanın önemli sebze üreticisi ülkelerinden bir tanesidir. 2005 yılı toplam yaş sebze üretimi yaklaşık 24 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Sebze üretiminde 10 milyon ton ile domates ilk sırada yer almış, bu ürünü 4.1 milyon tonluk üretimle patates ve 1.83 milyon tonluk üretimle biber izlemiştir.

Domates, 90 – 150 günlük vejetasyon dönemiyle hızlı gelişen bir bitkidir. Optimum gelişme için günlük ortalama sıcaklık değeri ise 10°C – 20°C arasındadır. Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkının fazla olması, verimi olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu iklim koşullarına göre Türkiye’de domates üretiminin bölgelere göre dağılımı Çizelge 1.2’deki gibidir.

**Çizelge 1.1.** Dünyada domatesin ekimi, üretim ve verim değerleri (WEB\_1).

	Ekim Alanı (ha)	Üretim (t)	Verim (t/ha)
Çin	1.255.103	30.142.040	24,02
Hindistan	540.000	7.600.000	14,07
Türkiye	220.000	8.000.000	36,36
Mısır	191.000	6.780.000	35,50
A.B.D	176.000	12.400.000	70,45
Rusya Federasyonu	155.000	2.090.000	13,48
İtalya	130.000	6.500.000	50,00
Nijerya	127.000	889.000	7,00
İran	115.000	3.150.000	27,39
Ukrayna	100.000	1.000.000	10,00
İspanya	69.600	3.900.000	56,03
DÜNYA	4.397.873	115.950.851	26,36

**Çizelge 1.2.** Türkiye’de domates üretiminin bölgelere göre dağılımı (WEB\_1)

Bölgeler	Dağılım Oranı (%)
Akdeniz Bölgesi	84,64
Ege Bölgesi	13,93
İç Anadolu Bölgesi	0,84
Karadeniz Bölgesi	0,41
Doğu Anadolu Bölgesi	0,09
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	0,05
Marmara Bölgesi	0,04

Domates, sofralık ve sanayi tipi olmak üzere tüketim amacına göre iki ayrı sınıfa ayrılır. Sofralık çeşitler genellikle yuvarlak, sanayi tipi domatesler ise genellikle oval şekildedir. Sanayi tipi domatesler daha sert, kalın kabuklu ve sofralık domateslere göre daha fazla kuru madde içerirler (Güreş 1997). Sanayi tipi domates, Marmara Bölgesi’nin Çanakkale ve Balıkesir illerinde, Ege Bölgesi’nin Manisa ilinde ve Orta Anadolu’da Tokat ilinde başlıca ürün olarak üretilmektedir (Köksal 2002). Toprak ve

iklim koşullarının uygunluğu nedeniyle ülkemizin hemen hemen bütün yörelerinde yetiştiriciliği yapılan domates, özellikle sanayi tipi domates, giderek önem kazanmıştır. Ülkemizde yetiştirilen domates çeşitleri arasında H1706, Ws, VF – 198, Roma WF, Rio Grande, Chico III, Royal Ball, Pearson Valiant, Jubucar ve Heins – 1439 yer almaktadır. Oval şekilli, salça sanayine elverişli, yüksek kuru maddeye sahip, sert dokulu, taşıma ve çatlamaya dayanıklı, verimli bir çeşit olan Rio Grande, son yıllarda sanayi tipi domates üretiminde ülkemizde en yaygın çeşit haline gelmiştir (Kadalkal 2003). Sebzeler arasında dünyanın birçok ülkesinde en fazla yetiştirilen ve değişik şekillerde değerlendirilebilen domatesin çok çeşitli vitaminler ile mineral ve diğer besin maddeleri bakımından beslenmede önemli bir yeri vardır. Domatesin çeşit ve yetiştirme şartlarına göre bileşimi çok az farklı olmakla birlikte ortalama bileşimi Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Domatesin, özellikle olgun domatesin hasat sonrası uzun süreli depolamaya uygun olmadığı bilinmektedir. Üretimin yoğun olduğu dönemlerde işlenerek değerlendirilmesi zorunludur. Yapısının yaklaşık % 95'inin sudan oluşması nedeni ile domates bozulmaya çok yatkın bir sebzedir. Herhangi bir muhafaza yönteminin kullanılmaması veya eksik işlem görerek muhafazası, domateslerin önemli bir kısmının bozulup atılmasına neden olmaktadır. Ülkemizde üretilen domateslerin %25-30'u endüstriyel olarak işlenmekte, geri kalan kısım ise taze olarak tüketilmektedir. İşlenen domateslerin yaklaşık %80'i salçaya, %15'i konserve domatese, geri kalanı ise ketçap, domates suyu ve kurutmalık olarak değerlendirilmektedir. Kurutulmuş domates ürünleri çeşitli sebze ve baharatlı yemeklerde ve hazır çorba sanayinde, salatalarda ve pizza malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Meyve ve sebzelerin uzun süre muhafazası için uygulanan yöntemlerden birisi olan kurutma en eski ve uygulama alanı en geniş olan yöntemdir. Meyve ve sebzelerin soğutularak, dondurularak, kimyasal maddelerle işlemlerden geçirilerek, oksijensiz ortamda depolanarak, ultraviyole ve radyoaktif ışıklardan yararlanarak da uzun süre saklanması mümkün olmakla birlikte bu uygulamalar içerisinde kendine en geniş uygulama alanı bulan yöntem kurutma yöntemidir (Yağcıoğlu 1996).

Kurutma işlemi genel olarak kontrollü şartlar altında sıcaklık uygulaması ile gıdadaki suyun doğrudan buharlaşması ya da dondurulmuş halde kurutma tekniğinde olduğu gibi gıda içinde katı hale geçirilmiş suyun süblimleşmesi sonucu

uzaklaştırılması işlemidir. Bu yöntem doğada çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmekte ve örneğin çeşitli tahıllar ve baklagiller tarlada kendi halinde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir.

**Çizelge 1.3.** Domatesin bileşimi (100 gram için) (Carfi 1993)

<b>Bileşim Ögesi</b>	<b>Birim</b>	<b>Miktar</b>
Su	g	93-95
Protein	g	0.7-1.0
Ham selüloz	g	0.5-0.75
Karbonhidrat	g	3.0-4.2
Kül	g	0.5-0.6
Kalsiyum (Ca)	mg	10-20
Demir (Fe)	mg	0.4-0.6
Magnezyum (Mg)	mg	15-20
Fosfor (P)	mg	20-30
Potasyum (K)	mg	250-300
Sodyum (Na)	mg	3-10
C vitamini	mg	20-30
Tiamin	mg	0.020-0.080
Riboflavin	mg	0.030-0.085
A vitamini	IU	540-2300

Kurutmadaki amaç yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak, ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişmesini durdurmak/sınırlandırmak ve mikroorganizmaların üreyemeyeceği bir orana indirerek gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre dayanmalarını sağlamaktır (Cemeroğlu vd. 2003). Ancak kurutma, ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyecek bazı reaksiyonları hızlandırıcı etki gösterdiği için, kurutma koşulları kurutulmuş ürünün kalite özelliklerini önemli düzeyde etkilemektedir. Sıcaklık, hava hızı, havanın bağıl nemi gibi kurutma koşulları, kurutulmuş ürünün yoğunluk, gözeneklilik gibi yapısal özelliklerini; renk, görünüm gibi optik özelliklerini; aroma, tat, koku gibi duyuşal özelliklerini ve su tutma kapasitesi, rehidrasyon hızı gibi özelliklerini etkiler.



1900'lü yılların başlarında Amerika'da taze fasulye, lahana, havuç, kereviz, patates, ıspanak, tatlı mısır, şalgam ve çorbaya konulan sebzeler kurutularak işlenmeye başlamıştır (Vega-Mercado vd. 2001). Ülkemizde ise endüstriyel anlamda sebze kurutmak için kurulan ilk tesis 1965 yılında hizmete girmiştir. Buna rağmen, son yıllarda Türkiye kurutulmuş sebze konusunda net bir ihracatçı ülke pozisyonuna gelmiştir. İhracatın tamamına yakını gelişmiş ülkelere gerçekleştirilmektedir. Toplam kurutulmuş sebze ihracatı 2006 yılında bir önceki yıla göre %22,5 oranında artış göstermiştir (Anonim 2007).

### **1.1. Domates Kurutma Teknolojisi**

Domateslerin kurutulmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın kurutma yöntemi güneşte kurutmadır ve ülkemizde domateslerin çok büyük bir kısmı güneşte kurutulmaktadır. Domateslerin güneşte kurutulması ve korunması oldukça ekonomik bir yöntem olmakla birlikte, ürünlerin dış etkilere açık ve kolay kirlenmesi nedeniyle hijyenik ürün elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Buna ek olarak, güneşte yapılan kurutma işlemi dış hava şartlarına bağlı olduğundan ve hava koşullarının ürünün kalitesine olan doğrudan etkisi nedeniyle yüksek kalitede kurutulmuş ürün elde edilememektedir. Domateslerin güneşte kurutulması sürekli olarak aynı kalitede ürün elde edilmesine de olanak vermemektedir. Güneşte kurutulan domateslerde kontrol edilemeyen renk değişimleri, tekrar su kazanımdaki yetersizlik, mikrobiyal yükteki artış ve bazı besin ve vitamin kayıpları da önemli sakıncalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Temiz, hijyenik ve her zaman aynı kalitede kurutulmuş ürün temini ancak özel kurutucuların kullanılmasıyla mümkün olabilir (Günhan 2005). Bu nedenle, daha hızlı, güvenilir ve kontrol edilebilen kurutma yöntemleri ve sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yapay kurutma yöntemleriyle ürünün kuruma süresi büyük oranda kısaltmakta, ürünlerin daha temiz ve standart kalitede kurutulması sağlanmakta ve daha az besin ve vitamin kayıpları meydana gelmektedir.

Yapay kurutma yönteminin bu gibi avantajlarının yanında, ilk yatırım ve işletme masraflarının güneşte kurutmaya oranla çok yüksek olması, ülkemiz gibi güneş enerjisi bakımından zengin ülkelerde tarımsal ürünlerin genellikle güneşte kurutulmasını teşvik etmekte, özel yapay kurutucuların kullanım alanını büyük ölçüde sınırlandırmaktadır.

Kurutmalık domates üretimi için en fazla kullanılan hibrit çeşitler; I – 123, Alta, Spectrum – 769, Centurion, NDM – 055, Brixy'dir. Standart çeşitler ise Rio Grande, Rio Fuego'dur (Vural ve Duman 2000). Kurutma için daha çok oval şekilli domatesler tercih edilmektedir. Bu durum, domatesleri makine ile ikiye, dörde bölme işleminde kurutulmuş domates üretimi yapan firmalar için önemlidir. Tamamen kırmızı, lekesiz ve orta boy domatesler seçildikten sonra kurutmadan önce bazı ön işlemlerden geçirilir. Ön işlemler sırasıyla; yıkama, ayıklama, boylama, kesim, kükürtleme ve tuzlama işlemleridir. Domates kurutma işi yapan firmalar değişik uygulamalar yapmaktadır. Bazıları domatesleri tüm işlemlerden geçirdikten sonra sergilere sererek kurutmaktadır. Bu uygulamada domatesler yıkama havuzlarında yıkandıktan sonra bantlı götürücü üzerinde ilerlerken işçiler tarafından çürük, lekeli vb. olanları ayrılmaktadır. Daha sonra bir ayırma düzeneği ile çok iri domatesler güneşte kuruma süreleri uzun olacağı ve kuruyan ürünlerin içindeki homojenliği bozacağı için ayrılmaktadır. Kurutma için uygun olan domatesler bir "V" bant üzerinde işçiler tarafından uzun eksenleri bant doğrultusunda gelecek şekilde düzeltildikten sonra, yan yana dizilmiş disk bıçakların bulunduğu bir kesme ünitesi tarafından ortalarından ikiye kesilmektedir. Plastik kasalara konulan domatesler, içerisinde kükürt veya tuz çözeltisi bulunan havuzların içerisine daldırılıp arada bir karıştırılarak, 2-3 dakika bekledikten sonra polipropilen örtüler üzerine serilerek kurutulmaktadır. Kurutma yaklaşık 6-8 gün içinde tamamlanmakta ve başlangıçta %94-95 nem içeriğine sahip olan domateslerde, bu sürenin sonunda %10-12 nem içeriğine ulaşılmaktadır (Vural ve Duman 2000).

Bazı domates kurutma tesislerinde yıkanıp boyutlarına göre sınıflandırdıktan, çürük ve lekeli olanları ayrıldıktan sonra kesim makinesi ile domatesler ikiye kesilmekte, daha sonra bu domatesler işçiler tarafından örtülerin üzerine her iki yanında yürüme şeridi kalacak şekilde belli bir genişlikte serilmektedir. Serilen domatesler, küflenmeyi geciktirmek amacıyla üzerlerine sodyumbisülfid çözeltisi püskürtülerek kükürtlenmektedir.

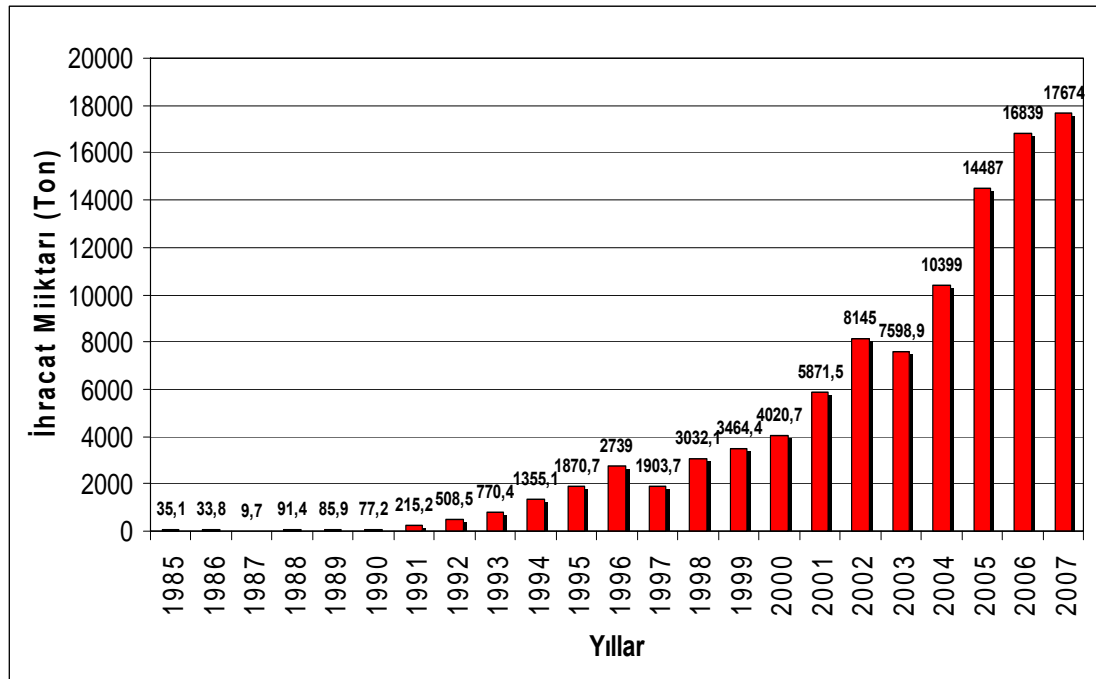
Bir başka uygulamada ise domatesler yıkama işlemine tabi tutulmadan örtüler üzerine doğrudan dökülmekte ve işçiler tarafından bıçaklarla uzun eksenleri boyunca kesilerek dizilmektedir. İsteğe göre domatesler el ile tuz serpilme suretiyle tuzlanarak veya pülverizatörlerle kükürtlenerek kurutulmaktadır. Kuruyan domatesler kurutma

işleminde sonra işletmelerde ayırma ve temizlemeye tabi tutulup pazardan gelecek talebe göre işlenmek üzere depolanır (Vural ve Duman 2000).

Güneşte kurutma kontrollü bir uygulama olmadığından, kontrol edilebilen sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler daha sonra endüstriyel olarak da kullanılmaya başlamıştır. Kontrol edilebilen sistemler sayesinde daha kaliteli, besin kaybı daha az ürünler elde edilmiştir. Bu sistemlerin bulunduğu kurutma tesislerinde domatesler fabrikaya kasalarla veya römorklarla getirilir. Gelen hammaddenin uygun nitelikte olup olmadığını belirlemek amacıyla bir takım hammadde kabul analizleri yapılır. İşlenebilir nitelikte olan domatesler kabul edildikten sonra ilk olarak giriş havuzuna boşaltılırlar. Burada domateslerin yıkama işlemi yanında fabrika içine taşınması işlemi de gerçekleşmiş olur. Yıkama işleminden sonra ayıklama bandına alınan domateslerin sapları, ezik, çürük ve yeşil olanları ayrılır. Ayıklama işlemini takiben kesme makinesine alınan domatesler istenilen şekilde kesildikten sonra tepsilere yerleştirilir. İsteğe bağlı olarak tuzlama işlemi yapılabilir. Tünel tipi kurutucuda kurutulmak üzere tepsilere arabalara yerleştirilir ve kurutma işlemi yapılır. Belirlenen sıcaklık ve nem normlarına göre belirli bir süre kurutulan domatesler bu işlemden sonra 0°C'deki soğuk odaya alınır ve burada paketleme işlemi yapıp -20°C'de depolanır.

Türkiye'de üretilen kurutulmuş domates kalitesiyle, tüm dünyada iyi bir imaja sahiptir. Toplam kurutulmuş domates ihracatı 2006 yılında 16800 ton düzeyine yükselmiştir. En önemli ithalatçı ülke olan A.B.D.'ye 2006 yılında 5541 ton kurutulmuş domates ihraç edilmiştir. Bu ülkeyi 4985 ton ile İtalya, 1522 ton ile Avustralya ve 1063 tonla Almanya izlemiştir. Toplam kurutulmuş sebze ihracatının tutar olarak yaklaşık % 90'ını kurutulmuş domates oluşturmuştur. Şekil 1.1'de yıllara göre ülkemizdeki kuru domates ihracat miktarları gösterilmektedir.

Kuru domatesin en çok ihraç edildiği ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri ve İtalya gelmektedir. Kurutulmuş domates bu ülkelere ek olarak, Avustralya, Almanya, İngiltere, Hollanda, Rusya, Fransa, Danimarka, Norveç ve İsveç gibi çoğunluğunu Avrupa ülkelerinin oluşturduğu dünyanın birçok ülkesine ihraç edilmektedir (Anonim 2003).



Şekil 1.1. Türkiye kurutulmuş domates ihracatı (Anonim 2003, Anonim 2007)

Buraya kadar bahsedilen bilgiler ve yapılan literatür incelemelerine dayanarak bu çalışmada, kurutma işlemine uygun olduğu bilinen *Lycopersicum esculentum Mill.* Türüne ait “Rio Grande” çeşidi domatesin tepsili kabin tipi kurutucuda farklı kurutma koşullarında kurutulmasında kurutma süresince likopen,  $\beta$ -karoten ve askorbik asit (C vitamini) miktarları ile renk değişimleri belirlenerek ve bu değişimlere ait kinetik modellerin ve kinetik parametrelerin tanımlanması hedeflenmiştir. Ayrıca, kurutma şartlarına bağlı olarak, kuruma davranışlarının incelenmesi ve literatürde tanımlanmış olan farklı teorik modellerden deneysel çalışma sonuçlarına en iyi uyumu veren bir anlamda modelleme yeterliliği en iyi olan kurutma modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR BİLGİSİ

### 2.1. Gıda Kurutmanın Tarihçesi

Gıdaların kurutularak saklanması en eski yöntemlerden biridir. Milattan önceki zamanlarda pek çok gıdanın kurutulduğuna dair bilgiler mevcuttur. Fenikeli ve Akdenizli balıkçıların avlarını güneş altında kuruttukları bilinmektedir. Eski Mısır'da yapılan kazılar sonucunda kümbetlerin içinde kurutulmuş buğday tanelerine rastlanmıştır. Çinlilerin de çok eski zamanlardan beri çay yapraklarını kuruttukları yapılan çalışmalar sonucunda bilinmektedir (Anonim 2004).

Williams (1980) yaptığı çalışmada, çok eski zamanlarda ürünlerin (özellikle incir, üzüm, et ve balığın) güneş veya rüzgâr altına serilerek kurutulduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Mısır' da bitkisel ilaçların basit bir kurutma yöntemi ile elde edildiği, ilk çağlarda balığın ikiye bölünerek, etin tuzlanarak kurutulduğu bilinmektedir. İlk çağlardaki tüm ürün koruma deneyimlerinden sonra ürünleri saklamak için dört ana yöntemin kullanıldığı anlaşılmıştır. Bunlar; kurutma, dumanlama, tuzlama, turşu yapmadır (Yılmaz 2000).

15. ve 16. yüzyılda; pek çok denizci uzun seyahatler sırasında gıdalarını kurutarak saklamışlardır. Örneğin; Kolomb'un yeni keşifler için çıktığı yolculuklarda erzak olarak kurutulmuş gıdalar aldığı eski metinlerde yazılıdır (Dadalı 2007).

17. yüzyılda özellikle savaşlarda gıdaların uzun süreli muhafazasına gereksinim duyulduğundan, gıdaların kurutulması sanayide yerini almıştır. Fransızlar ilk fırın kurutucunun üretimini gerçekleştirmişler ve bu sayede sebze ve meyvelerin endüstriyel boyutta kurutulmasının ilk adımını atmışlardır. Özellikle savaş dönemlerinde erzakın cephelere taşınması sırasında daha hafif olması ve daha uzun süre saklanabilmesi gibi avantajlarından dolayı kurutulmuş gıdalar tercih edilmiş ve gıdaların kurutulması yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. İngiliz birlikleri Kırım Savaşı sırasında kendi ülkelerinden kurutulmuş gıdalar getirtmişler, bunun yanında Kanadalılar da Güney Afrika'ya kuruttukları gıdaları göndermişlerdir. 4500 ton kurutulmuş gıda Amerika Birleşik Devletleri tarafından Birinci Dünya Savaşı sırasında gemilerle cephelere gönderilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri 1919 yılından itibaren endüstriyel boyutta lahana, ıspanak, şalgam, kereviz, patates, tatlı mısır, çorba karışımları ve havuç kurutmaya başlamıştır (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado 1996).

Meyve ve meyve ürünlerinin kurutulmasında 1800'lü yılların sonu ile 1900'lü yılların başında önemli bir dönüm noktası yaşanmış ve güneşte kurutmanın yerini alacak olan püskürtmeli kurutucular İkinci Dünya Savaşı'ndan önce geliştirilmiştir. Bu tür kurutucular genelde süt ürünleri ve yumurtaların kurutulmasında kullanılmıştır (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado 1996).

Güneş ve rüzgârın etkisiyle gerçekleştirilen kurutma işlemi, yirminci yüzyılın ortalarında bir teknoloji dalı olarak daha fazla önem kazanmıştır. Günümüzde, gıda maddelerinin kurutulmasının nedeni yalnızca bozulmadan uzun süre saklanabilmelerini sağlamaya yönelik değildir. Aynı zamanda kurutma uygulaması ile, gıda ürünlerinin ağırlık ve bazen de hacimsel azalmalarına paralel olarak, taşıma, depolama, paketleme maliyetlerinde önemli avantajlar sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra, çözünebilir kahve, çay, patates püresi gibi tüketime hazır gıdaların üretimini de kurutma teknolojisi ile başarmak olanaklıdır (Hatipoğlu 2002).

Lutz vd (1987), meyve, sebze ve ilaç bitkileri gibi çeşitli tarımsal ürünleri kurutmak için çok amaçlı bir güneşli ürün kurutucu üzerinde çalışmışlardır. Sistemde bir fan, güneşli hava ısıtıcısı ve tünel tip bir kurutucu bulunmaktadır (Yılmaz 2000).

Müller vd (1989), plastik kurutucularda tıbbi bitkilere yönelik çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada plastik güneşli bir hava ısıtıcısı ve kurutucu kullanılarak farklı ürünlerin nem içeriğindeki değişim, kurutma süresi, enerji tüketimi ve ürünün kalitesi belirtilmiştir (Yılmaz 2000).

Kurutma konusunda en kapsamlı çalışmalardan biri Mısır'da El Shiatry, Müller, Mühlbauer (1991) tarafından güneşli tünel kurutuculara yönelik olarak üzüm, patates, bamya, domates, patates, soğan ve fesleğen, mercanköşk üzerine yapılmıştır (Yılmaz 2000).

Sharma vd (1993) güneşli bir meyve-sebze kurutucusunun tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, bir güneş kollektörü, kurutma odası ve borular kullanılmıştır. Denemeler 1989 yılı yaz aylarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak sistemin üç yıl boyunca yağmur, kar ve güneş ışıklarına dayanıklı olacağı ve maliyetinin küçük çiftçiler için uygun olacağı belirtilmiştir (Yılmaz 2000).

Günümüze kadar, kurutma konusunda yapılan çalışmalar genellikle;

- Değişik ürünlerde en uygun kurutma koşullarının belirlenmesi,
- Kurutma süresinin kısaltılması,
- Kurutucu tiplerinin geliştirilmesi,
- Kurutucu dizaynında gerekli olan verilerin elde edilmesine yöneliktir.

Meyve ve sebzelerin değerlendirme şekilleri arasında kurutmanın yeri oldukça eski olmasına rağmen önemini halen sürdürmektedir. Kontrollü şartlar altında yapılan kurutma çalışmaları, son yıllarda yoğunluk kazanmıştır. Bugüne kadar, meyve ve sebzelerin kurutulmasına yönelik yapılan araştırmalar da iki gruba ayrılabilir. Birinci grup araştırmalarda, kurutulacak meyve ve sebzeleri, doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakarak kurutmaya sağlayan kurutucular üzerinde çalışılmıştır. Bu konuda bilinen ilk çalışmayı İsmailova (1957) yapmış, üzeri cam ile kaplı bir dolabın içersine meyve ve sebze yerleştirerek kurutmaya çalışmıştır. İkinci grup araştırmalarda ise, değişik kurutma sistemlerinde, kurutma amacıyla kullanılacak havanın ısıtılması için güneş enerjisinden yararlanma yolları araştırılmıştır.

Birinci grup araştırmalarda, kurutulacak meyve ve sebzeleri, doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakarak kurutmaya sağlayan kurutucular üzerinde çalışılmıştır. Bu konuda bilinen ilk çalışmayı İsmailova (1957) yapmış, üzeri cam ile kaplı bir dolabın içersine meyve ve sebze yerleştirerek kurutmaya çalışmıştır. İkinci grup araştırmalarda ise, değişik kurutma sistemlerinde, kurutma amacıyla kullanılacak havanın ısıtılması için güneş enerjisinden yararlanma yolları araştırılmıştır.

## **2.2. Gıda Kurutma Yöntemleri**

### **2.2.1. Doğal kurutma**

Güneş ısısından yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması için uygulanan basit yöntem "doğal kurutma" denir. Ancak her ürünün güneşte kurutulma olanağı yoktur ve bazı ürünlerde bu yöntemin uygulanması doğru da değildir. Gıda son ürün kalitesi açısından incelendiğinde; kurutulan ürünün açık alanda tozlanması, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdaya verecekleri zarar, önemli dezavantajlardır. Gıdaların doğal kurutulması için geniş alanlara gereksinim vardır. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Genellikle %15 su oranından daha aşağıya inilemez. Bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir (Soysal 2004).

### 2.2.2. Yapay Kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine "*yapay kurutma*" denir. Bu tanımda, yapıdaki suyun tamamının ya da tamamına yakın bir bölümünün ürünün özelliklerinde önemli değişiklikler yapmaksızın uzaklaştırılması kavramı yatmaktadır. Kurutulmuş ürünlerdeki başlıca ölçüt, kurutulmuş gıdaların rehidrasyonu halinde eski durumlarına çok yakın bir hal almaları ya da eski durum ile rehidrasyon işleminden sonraki durum arasındaki farkın, fark edilemeyecek kadar önemsiz olmasıdır (Dadalı 2007).

Güneş altında doğal olarak yapılan kurutma işlemiyle; kontrol edilemeyen renk değişimleri, tekrar su kazanımındaki yetersizlik, mikrobiyal yükteki artış ve bazı besin ve vitamin kayıpları önemli sakıncalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Çeşitli ürünlerin kontrollü şartlar altında dış hava koşullarından yalıtılarak kurutulduğu özel kurutucuların bazı avantajlarını aşağıda belirtilen şekilde sıralayabiliriz;

- Ürünün kuruma süresi büyük oranda kısalmaktadır,
- Ürünlerin daha temiz ve kaliteli kurutulması mümkündür,
- İstenilen nem içeriğinde ürün elde etmek mümkündür,
- Bazı vitamin kayıpları daha az olmaktadır.

Yapay kurutma yönteminin bu gibi avantajlarının yanında, ilk yatırım ve işletme masraflarının güneşte kurutmaya oranla çok yüksek olması ülkemiz gibi güneş enerjisi bakımından zengin ülkelerde tarımsal ürünlerin genellikle güneşe serilerek kurutulmasına neden olmakta, özel yapay kurutucuların kullanım alanını büyük ölçüde sınırlandırmaktadır. Kurutma havasının ısıtılmasında jeotermal kaynakların, sanayi tesislerinin veya enerji santrallerinin atık ısılarının ve güneş enerjisi desteğinin kullanılması, kurutucunun değişik ürünlerin kurutulmasında da kullanımı, kurutma maliyetini düşürecektir.

Kurutma yöntemi doğal ve yapay kurutma şeklinde iki ana gruba ayrılmakla birlikte, bunun çeşitli açılardan ayrıca gruplandırılması da olanaklıdır. Bu gruplandırmalardan birisi, kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının kurutucuya taşınma yöntemine dayanmaktadır. Buna göre "*konveksiyon kurutma*", "*kontakt kurutma*" ve " *radyasyon kurutma*" olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yöntemi söz konusudur (Cemeroğlu 2003).



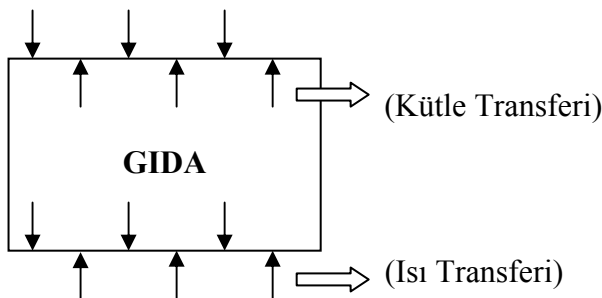
Konveksiyon kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani çoğunlukla olduğu gibi hava tarafından taşınır. Sıcak hava, kurutulacak materyalin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak; "*sıcak hava kurutma*" tekniği olarak bilinir. Kurutulan maddenin niteliklerine bağlı olarak bu yöntemin, birçok uygulama çeşidi vardır. Örneğin, kabin kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, püskürterek kurutucular bu yöntemin bazı değişik uygulamalarıdır (Cemeroğlu 2003).

Kontakt kurutma yönteminde ise evaporasyon için gerekli ısı, kondüksiyonla taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Bu yöntemin de çok çeşitli uygulamaları mevcut olup, en yaygın örneği valsli (silindirik) kurutuculardır (Cemeroğlu 2003).

Radyasyondan yararlanılarak kurutmada, kurutulacak materyale ısı; herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle radyasyon ile kurutmada, mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır (Cemeroğlu 2003).

### 2.3. Kurutma Prensipleri

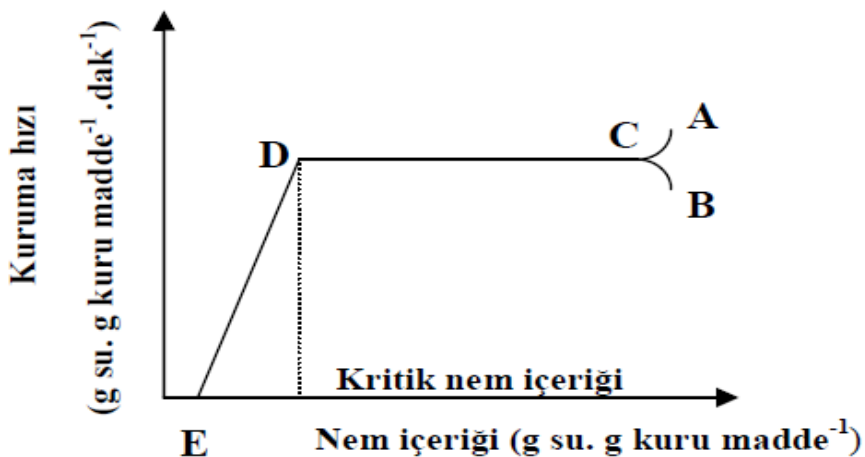
Kurutma, eş zamanlı olarak gerçekleşen ısı ve kütle transferi sayesinde suyun gıdalardan uzaklaştırılması işlemidir. Bu eş zamanlı fiziksel olaylar gıdanın kurutulması sırasında şöyle gerçekleşir; ilk olarak gıda, çevresindeki sıcak hava ile temas eder ve ısınmaya başlar. Yüzeydeki nem tamamıyla kuruduktan sonra iç taraflarda bulunan nem difüzyon yolu ile yüzeye taşınır ve buradan buharlaşması sağlanır (Krokida vd 2002). Bu işlemlerin şematik gösterimi Şekil 2.1'de gösterildiği gibidir. Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferini etkileyen parametreler; ortam sıcaklığı, ortamdaki havanın nemi, gıdanın yüzey alanı ve basınç olarak sıralanabilir (Anonim 2004).



Şekil 2.1. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları (Anonim 2004)

## 2.4. Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları

Pek çok gıdanın farklı koşullarda kurutulmaları sonucunda elde edilen kuruma eğrileri farklı olmakla birlikte genelde gıdaların kurutulması sırasında, 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenir. En başta kurumanın yüksek bir hızda gerçekleştiği ve nemin büyük bir kısmının uzaklaştırıldığı sabit hız periyodu, daha sonra ise; su içeriğinin artık azalmış olmasından dolayı hızın yavaşladığı ve nispeten daha az suyun buharlaştırıldığı, uzun süre alan azalan hız periyodu gözlemlenir (Baker 1997). Şekil 2.2’de gösterildiği gibi; gıdaların kurutulması sırasında elde edilen tipik bir eğride, CD arasındaki kısım sabit hız ile kurumanın olduğu, DE arasındaki kısım ise azalan hızda kurumanın olduğu aralıklardır. Grafikte gösterilen AC arası gıdanın kurutma işlemine başlarken sıcak olması durumunda gerçekleşir. BC arasındaki bölüm ise, gıdanın kurutma işlemine başladığında soğuk olması durumunda elde edilen eğridir. C noktasında sistem artık dengeye gelir ve kurutma işlemi kararlı halde devam eder (Toledo 1991).



Şekil 2.2. Gıdaların kuruma eğrisi (Baker 1997)

### 2.4.1. Sabit hızda kuruma periyodu

Sabit hızda kuruma periyodunda, katının yüzeyi ıslaktır ve kuruma yüzeyinde suyun ısıtma ortamına transferini sağlamak için bir film tabaka oluşmuştur. Gıdanın bünyesinde bulunan serbest haldeki su, bu film tabakası sayesinde yüzeyden havaya transfer edilir. Bu periyotta buharlaşma hızı, katıdan bağımsız ve aynı koşullardaki serbest haldeki suyun, buharlaşma hızı ile aynı değerdedir (Baker 1997).

Eğer gıdanın yapısı gözenekli bir yapıya sahip ise, sabit hızda kuruma periyodunda buharlaştırılan suyun büyük bir bölümü iç kısımlarda bulunan bünye nemidir. Sabit hızda kuruma periyodunda, kuruma hızı; kurutulan gıdanın dilim kalınlığına, sıcaklığa, toplam basınca ve kısmi buhar basıncına bağlı olarak değişir (Toledo 1991, Baker 1997).

#### **2.4.2. Azalan hızda kuruma periyodu**

Gıdaların kurutulması sırasında kritik nem içeriğine gelindikten sonra sabit hızda kuruma periyodundan azalan hızda kuruma periyoduna geçilir. Kritik nem içeriği yüzeyde artık suyun hiç kalmadığı andaki nem içeriği değeridir. Her bir gıdanın kritik nem içeriği değeri farklıdır. Bu noktadan sonra, gıdanın yüzeyi artık kurudur ve bu yüzden gıdanın iç kısımlarında bulunan su, buhar olarak yüzeye taşınır ve gıdadan uzaklaştırılır. Bu periyotta gıdanın nem kaybı az olmasına rağmen sabit hızda kuruma periyodundan daha uzun sürer. Bunun nedeni, gıdanın içerisindeki suyun azalmış olmasıdır. Azalan hızda kuruma periyodunda kuruma hızı devamlı düşme gösterir. Azalan hızda kuruma periyodunda kütle transferi çözümü zor bir mekanizma olmasına rağmen, etkin tek fiziksel olayın difüzyon olduğu kabul edilir (Abe ve Afzal 1997). Difüzyon teorisi ile kütle transferi açıklanırken işlemlerde kolaylık açısından bazı varsayımlar yapmak gerekir (Crank 1975). Bunlar;

- Gıdanın içinde bulunan nem, gıdanın her yerine eşit olarak dağılmıştır,
- Kütle transferi gıdanın merkezine göre simetriktir,
- Kütle transferine yüzey direncinin etkisi, iç dirence göre çok az olduğundan ihmal edilebilir,
- Kütle transferi sadece difüzyonla gerçekleşir,
- Difüzyon katsayısı sabittir ve gıda yüzeyindeki büzüşme ihmal edilebilir.

#### **2.5. Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler**

Gıdaların kurutulması sırasında, kuruma hızı pek çok faktörden etkilenmektedir. Kuruma hızına doğrudan doğruya etki eden başlıca faktörler; sıcaklık derecesi, havanın nemi ve havanın kurutucudaki hızı, yüzey alanı (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vb.) gibi fiziksel faktörler olarak sınıflandırılabilir (Krokida vd 2002).

### 2.5.1. Sıcaklık

Gıdaların kurutulması sırasında; kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, kullanılan kurutucuda uygulanan kurutma sıcaklığıdır. Kurutma işlemi sırasında sıcaklık derecesi arttıkça difüzyon hızı artar, buna bağlı olarak kuruma hızı yükselir ve kurutma süresi kısalır. Gıdaların kurutulması sırasında yüksek sıcaklık uygulamanın avantajları şöyle sıralanabilir (Pratt 1974, Dadalı 2007);

- Yüksek sıcaklıklarda havanın nem tutma oranı yüksek olduğundan, yüksek buhar basıncı sağlanır ve böylece daha hızlı bir kurutma işlemi gerçekleşir,
- Isı kayıpları en aza indirilmiş olur,
- Gıdanın erişeceği denge nem içeriği yükselir.

Ancak; yüksek sıcaklıklarda kurutmanın getirdiği avantajlar yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle ince tabaka halinde olan gıdalarda yüksek sıcaklıklarda yanma ve buna bağlı olarak da besin değeri kayıpları gözlemlenebilir (Pratt 1974, Dadalı 2007).

### 2.5.2. Kurutma havasının hızı

Gıdaların kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki kurutma havasının hızıdır. Çünkü uygulanan sıcaklıkta kurutma havasının gıdadan absorplayabileceği nem miktarı sınırlıdır. Özellikle düşük hava hızlarında gıdanın yüzeyinden absorplanan nem, kurutma havasının kısa zamanda doymuş hale gelmesine neden olur ve hava debisi düşük olduğundan doymuş halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi zaman alır ve böylece gıdanın kurutulması uzun sürede gerçekleşir. Ancak, yüksek kurutma havası hızlarında, doymuş havanın, hava dolaşımı sayesinde doymuş halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi daha çabuk olacağından kurutma işlemlerinde yüksek kurutma havası hızı tercih edilir (Dadalı 2007). Aynı zamanda, kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında oluşan film tabakanın oluşması önlenirse, suyun buharlaşmasında bir hızlanma belirir. Hava hızı, bu film tabakayı devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide de bulunmaktadır. Ancak, hava hızının olumlu etkisi, kurutmanın bulunduğu periyoda göre değişir. Kurutmanın başlangıç aşamalarında hava hızı çok etkili olmasına rağmen, kurutma işleminin ileri

aşamalarında kuruma hızı artık alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda önemli bir etkisi bulunmamaktadır (Barbosa-Canovas ve Mercado-Vega 1996).

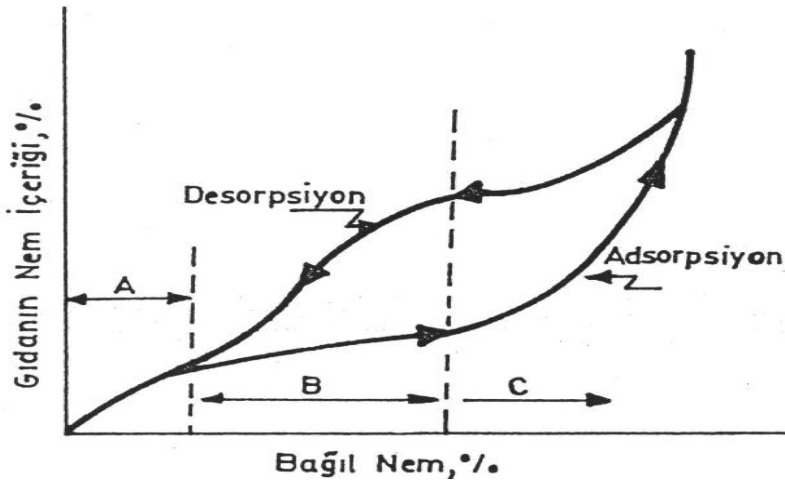
### 2.5.3. Kurutulan gıdanın yüzey alanı

Kurutulacak gıdanın birim yüzey alanı, ısı ve kütle aktarım hızını etkileyen bir diğer değişkendir. Daha büyük yüzey alanı elde ederek daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini sağlayabilmek için, ürün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir. Böylece nemin uzaklaşacağı alan arttırılmış olur. Çok ince dilimlerin seçilmesinin gıdanın yanmasına neden olma ihtimali olduğundan, kullanılacak optimum dilim kalınlığı seçilmelidir (Heldman ve Hartel 1997).

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

### 2.5.4. Ortamın nem içeriği

Kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişiklik göstermektedir. Ortamın nemi arttırıldığında ve azaltıldığında maddedeki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Maddenin içinde bulunduğu havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorbsiyon izotermi olarak adlandırılırlar (Anonim 2004). Sabit sıcaklıkta ortamın neminin arttırılması ile meydana gelen, maddenin içerdiği nem miktarındaki değişim **adsorbsiyon** (*maddenin nem alması*), yine sabit sıcaklıkla ortamın neminin azaltılması ile maddenin içerdiği nem miktarındaki meydana gelen değişim **desorbsiyon** (*maddenin nemini kaybetmesi*) olarak adlandırılmaktadır (Anonim 2004). Genelde çoğu madde için bu izoterm eğrileri birbirinden farklılık göstermektedir. Kurutulan gıdalardaki nem miktarının havanın bağıl nemine bağlı olarak değişimi Şekil 2.3'te verilmiştir (Cemeroğlu 2003).



**Şekil 2.3.** Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağıl nem ile ilişkisi (Cemeroğlu 2003)

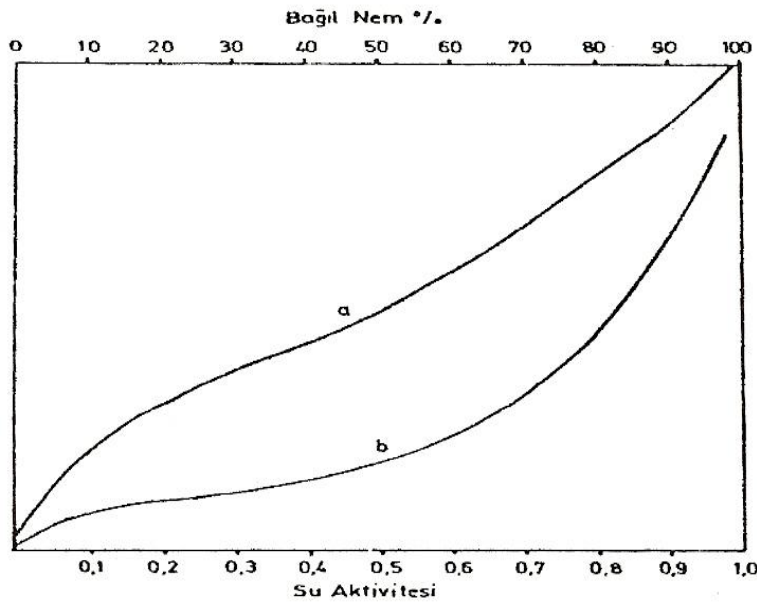
Desorpsiyon izoterminin, adsorpsiyon izotermi ile aynı yolu izlemeyerek bir bombe yapması olayına *histeresis* denir. Desorpsiyon histeresisi; genellikle monomoleküler su katmanının başlangıcında sona ermektedir. A bölgesinde su, materyal yüzeyinde tek bir molekül katmanı halinde sıkı sıkıya tutunmaktadır. Kurutmada bu suyun uzaklaştırılması zordur ve çoğu kez olanaksızdır. B bölgesindeki su daha gevşek olarak bağlıdır. C bölgesindeki su ise, kapiler ve gözeneklerde yoğunlaşmış halde bulunan ve içinde çeşitli maddelerin çözüldüğü serbest sudur. Bu bölgeler arasında kesin bir sınır olmadığı gibi, gıdalar için her bölgeye ait belirli genel nem değerlerinin verilmesi olanaksızdır (Cemeroğlu 2003).

Adsorpsiyon izotermi, kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleriyle bunların depolanma koşullarını ortaya koymaktadır. Nitekim adsorpsiyon izotermi, grafiğin soluna düşen ve daha dik bir eğimi ile gelişen gıdalar higroskopik nitelikli gıdalardır. Buna karşın, grafiğin daha sağına düşen ve daha az bir eğimle gelişen adsorpsiyon veren gıdalar ise, higroskopik değildirler ve bunlar neme karşı daha az duyarlıdırlar. Bu durum Şekil 2.4'te daha ayrıntılı olarak verilmiştir (Cemeroğlu 2003).

### 2.5.5. Kurutulan gıdaya özgü özellikler

Ürünün kendine özgü olarak kuruma süresince değişen özellikleri de gıdaların kurutulması sırasında etkilidir. Örneğin; maddenin içindeki ısı geçişi, dolayısıyla sıvı ve buhar fazına geçen ısı, maddenin ısıl iletkenliğine bağlı olduğundan kuruma hızını etkilemektedir. Gıdanın kimyasal yapısı da kuruma üzerinde etkilidir. Küçük moleküllü

erimiş (şeker, tuz vb.) maddelerce zengin bir gıda, bu maddelerin daha az bulunduğu bir gıda ile kuruma açısından kıyaslanırsa, çözünmüş maddelerin suyun buhar basıncını düşürerek buharlaşma işlemini güçleştirmesinden dolayı, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür (Potter ve Hotchkiss 1995, Kanat 2001, Cemeroğlu 2003). Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını olumsuz olarak etkileyen bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, yağ damlacıkları su molekülerinin etrafını sardığından böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması çok güçtür (Potter ve Hotchkiss 1995, Cemeroğlu 2003). Diğer taraftan gıdalarda bulunan serbest su, gıdada öncelikle ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olduğu halde, katı parçacıklara adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaştırılabildiğinden nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça zordur. En zor uzaklaştırılan su ise, glikoz monohidratta olduğu gibi, hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece maddenin bileşiminin, suyu bağlama şekli üzerinden kuruma hızına etki ettiği görülmektedir (Potter ve Hotchkiss 1995). Diğer taraftan meyve ve sebzeler hücrelerden oluşmuş doğal dokulardır. Bunlarda su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyun uzaklaşması daha kolaydır. Ancak hücre ölünce, hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazanarak, hücre içindeki suyun uzaklaşması kolaylaşır. Eğer doku haşlanmışsa, geçirgenlik çok hızlanır. Bu nedenle haşlanmış ürünler daha hızlı kururlar (Cemeroğlu 2003).



**Şekil 2.4.** Higroskobik olan (a) ve higroskobik olmayan (b) ürünlerin adsorpsiyon izotermleri (Cemeroğlu 2003)

## 2.6. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler

Kurutma sırasında, oluşan kimyasal, fiziksel, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimler gıdalarda; kalite kaybına, besin değerinin düşmesine ve tüketiciler tarafından kötü olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Gıdaların hepsinde bozunma olmasıyla birlikte, bozunma miktarı; gıdanın tipine, içeriğine, depolanması sırasındaki ortama ve kurutma işlemi şartlarına göre değişmektedir (Baker 1997). Gıdaların kurutulması sırasında kimyasal, fiziksel, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimler gerçekleşmektedir. Bunlara aşağıda kısa kısa değinilmiştir.

### 2.6.1. Kimyasal değişimler

Gıdanın işlenmesi sırasında olduğu kadar saklama aşamasında da meydana gelen değişimler “*Esmerleşme Reaksiyonları*” olarak adlandırılır. Gıda stabilitesini korumak ve teknolojileri geliştirmek ile ilgilenenler için önemli bir konudur. Gıdanın yapısında oluşan esmerleşme reaksiyonları, gıdanın besin değerlerinin, tadının, renginin ve görünümünün değişmesine neden olur. Tüketicinin alışmış olduğu geleneksel damak zevkine uyabildiği (ekmek, bira, kahve vb.) halde rengi ve tadı kötü etkilediğinden sebze ve meyvelerin dondurulması ve kurutulmasında genelde istenmeyen bir özelliktir. Esmerleşme reaksiyonunun hızı; kuruma hızına, pH, nem içeriğine, süreye ve gıdanın bileşimine bağlıdır. Reaksiyon hızı yüksek sıcaklıkta kurutma sırasında ve yüksek şeker içeriği olan gıdalarda daha fazladır (Maskan 2001a).

Enzimlerle meydana gelen oksidatif kararmalar hurma, incir ve erik gibi tüm meyvelerde ve elma, armut, şeftali, kayısı kesildiğinde yüzeylerde, polifenolazlar tarafından yaratılır. Substratları, elma ve armutlarda klorogenik asit ve kateşinler, muzlarda 3.4-dihidroksifenil etilamin, üzümde kateşinlerdir (Karaçalı 2002).

Fenolaz aktivitesi, kuruma esnasında suda erir maddeler ve özellikle sakkaroz miktarı arttıkça giderek azalır. Ancak, koyu renkli olarak tercih edilen ve bu nedenle fenolazları inhibe edilmeyen meyvelerde (hurma, üzüm, erik, incir gibi) kurutma uzun sürerse kuruma esnasında enzimatik renk kararması meydana gelir. Kararmanın istenmediği meyvelerde ise bunun önlenmesi gerekir. Bu nedenle kurutma öncesinde ve depolamada kükürtdioksit uygulaması yapılır. Ayrıca % 1 askorbik asit (+ %0.25 malik asit) açık renkli meyvelerde kullanılır. % 0.5 askorbik asit + % 0.5 NaCl de uygun bulunmuştur. Kükürtdioksit fenol oksidantı olan Orto kinonlarla birleşerek onların



melanine kondansasyonu önler. Askorbik asit de buna yardımcı olur. Ancak kükürtdioksit antosiyanidinlerle reaksiyona girerek rengin kaybolmasına neden olduğundan, pembe-mor renkli ürünlerde kullanılmaz.

Enzim inaktivasyonunda, haşlama, su aktivitesinin azaltılması, osmotik dehidrasyon da uygulanabilir. Enzimler nemli ortamda çok aktiftirler. Kurutma ilerledikçe, nemin azalmasına bağlı olarak enzimlerin aktiviteleri de azalır. Nemli koşullarda yüksek sıcaklıklarda inaktive olurlar.

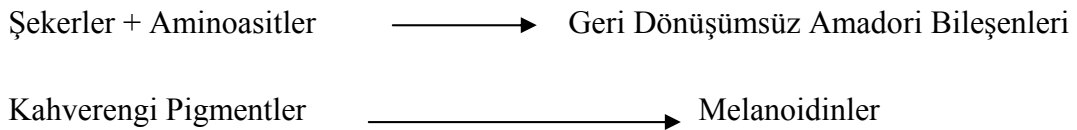
Enzimlerin dokuda çalışması için, nem oranının yükselmesi gerekir. Reaksiyon, enzim aktivitesi ve substratın miktarına bağlıdır. Kuru ürünlerde katalaz ve peroksidaz aktivitesi kaliteyi belirleyicidir. Peroksidazlar ısı işlemlere katalazdan daha dayanıklıdır. Enzimler de su aktivitesi ile etkilenirler. Amilaz, peroksidaz ve fenoksidazlar 0,85'in altında inaktif kalırlar. Ancak lipazlar 0,25-0,30'a kadar dayanırlar. Bu nedenle birçok kuru üründe görülen bayatlamalar esas itibariyle lipaz enzimlerinin çalışmasından ileri gelir.

Maillard reaksiyonu da denen esmerleşme reaksiyonlarında şekerlerin aldehit grupları ile proteinlerin amino grupları rol oynamaktadır. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, kurutma sırasında ve depolamada ise koşullara göre belli bir hızla devam eden sürekli olaylardır. Diğer kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları da sıcaklık derecesi arttıkça ve reaksiyona giren maddelerin ortamdaki konsantrasyonu yükseldikçe hızlanmaktadır. Kurutmada hem sıcaklık derecesi yüksek bulunmakta ve hem de reaksiyona giren maddeler ortamda gittikçe yoğunlaşmaktadır. Maillard reaksiyonlarının oluşumu için, ortamda belli bir düzeyde su bulunmalıdır. %2 nemin altında, hiç bir esmerleşme reaksiyonu olmaz. Buna karşın nem düzeyi %15-20 arasındayken, Maillard reaksiyonları en hızlı şekilde oluşur. Nem düzeyi %15 altına inerken reaksiyon hızı azalır. Bu nedenle gerek kurutucu dizaynında, gerekse kurutmada uygulanan ısı programında, %15-20 nemli bölgeyi hızla aşacak her türlü önlem alınmalıdır. Esmerleşme reaksiyonu sıcaklık derecesine bağlı olduğundan depolamada sıcaklık olabildiğince düşük olmalıdır. Gerçekten depolamada her 10°C sıcaklık artışı, esmerleşme reaksiyon hızının ürünün içerdiği su oranına bağlı olarak 6-8 misli artışına neden olduğu belirlenmiştir (Cemeroğlu 2003).

Esmerleşme reaksiyonlarının sonucu, kendini sadece renkte göstermez. Ürünün lezzet ve beslenme değerinde de değişimler belirir ve ara ürün olarak karbondioksit oluşur. Hatta bu yüzden gaz sızdırmaz ambalajlara konulmuş bazı ürünlerin, çıkan CO<sub>2</sub> nedeniyle ambalajda şişmeye neden olduğu bilinmektedir (Cemeroğlu 2003).

Maillard reaksiyonları, gıda maddesinin duyuşsal özelliklerini etkileyen renk ve aromasında olduğu kadar besinsel değerinde de; Hidroksi Metil Furfural (HMF) oluşumu, proteinin biyolojik değerinde kayıplar gibi geri dönüşümsüz negatif sonuçlar doğurmaktadır (Gedik 2001).

Maillard reaksiyonu bir proteinin veya aminoasidin amino grubu ile indirgen şekerin karbonil (aldehit veya keton) grubu arasında gerçekleşen bir renk reaksiyonudur. Maillard reaksiyonunun oluşumunu aşağıdaki şekilde basitçe ifade etmek mümkündür.



Maillard reaksiyonlarının oluşum derecesi, sıcaklık, nem ve/veya su aktivitesi ( $a_w$ ), gıdanın kompozisyonu (indirgen şeker ve protein varlığı) ve ortam koşullarından (bazik ortam reaksiyonu hızlandırır) etkilenir (Gedik 2001). Şekerler sıcakta oluşan HMF üzerinden reaksiyona girer. Ancak diğer bazı maddeler de bu olaya katılırlar (örneğin organik asitler). Şeker-organik asit, organik asit-organik asitler arasında da olur ve renk bozulması yaparlar. Sıcaklığın yükselmesi ve kuruma süresinin uzaması, yüksek depo sıcaklıkları reaksiyonu hızlandırır.

Maillard reaksiyonuna bağlı renk kayıpları veya enzimatik olmayan esmerleşme derecesi, birçok gıda maddesinin ısısal işlem ve depolanmaları sırasında ısısal bozunmaya bağlı kalite kayıplarını karakterize etmek için kullanılan bir kalite kriteridir. İndirgen şeker içeriği bakımından zengin olan sebzeler için de enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları kurutma ve depolama sırasında gözlenen en temel reaksiyonlardır. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ve kahverengi pigment oluşumu kurutma sırasındaki sıcaklık ve nem içeriğinden önemli düzeyde etkilenmektedir. Nem içeriği veya su aktivitesi esmerleşme hızı üzerinde sıcaklık ve süreden sonra etkili bir diğer faktördür. Gıdalardaki esmerleşme reaksiyonlarının bazı nem düzeylerinde maksimuma ulaştığı bilinmektedir (Gedik 2001).

Maillard reaksiyonunun su aktivitesine bağımlılığını şu şekilde açıklamak mümkündür. Yüksek su aktivitesi değerlerinde reaksiyona giren maddelerin suyun etkisine paralel olarak seyrelmesi sebebiyle; kuru ürünlerde düşük su aktivitesi değerlerinde ise reaksiyona giren maddelerin azalan hareketliliği sebebiyle reaksiyon hızı düşüktür, dolayısıyla maksimum reaksiyon hızı 0.6-0.7 su aktivitesi aralığında gerçekleşmektedir.

Kükürtdioksit, su ile ara kademelerde reaksiyona girerek etkili bir şekilde esmerleşmeyi önler. Şekerlerle sülfone bileşikler yaparak reaksiyon dışı bırakır. Ancak bu gaz antosiyanidinlerle de reaksiyona girerek onun rengini giderdiği için pembe-mor renkli ürünlerde kullanılmaz. Kullanıldığı ürünlerde ise önceden gelişmiş kararmayı bile giderici, azaltıcı etki yapar. Kurutulacak ürünlerde şekerin tüketilmesi esmerleşmeyi önler. Patateste şekerin solunumuyla yakılması bu duruma örnek olarak verilebilir. Kuru meyve ve sebzelerde düşük depo nemi, sıcaklığı ve azot gazı ile depolama, olayı yavaşlatır. Düşük pH'da koruyucudur. Kurutmada yüksek ve kuru sıcaklıkta şekerlerin yanması (karamelize olması) da rengin bozulmasına neden olur (Karaçalı 2002).

Renk, ışığın spektral dağılımından meydana gelen görsel bir özelliktir. Doğal gıdaların renkleri içerdikleri çok çeşitli kimyasal formlara sahip olan ve pigment olarak tanımlanan maddelerden kaynaklanmaktadır. Meyveler ve sebzeler gibi doğal kaynaklı birçok ürün çeşitli renklere sahip olup, çekicilikleri renkleri ile ilgilidir. Renk, gıdaların duyuşsal özellikleri yönünden ele alındığında, tüketici tercihi açısından, gıdanın çekiciliğinde önemli bir rol oynamaktadır (Maskan 2001b).

Gıdaların kurutulması sırasında, gıdaların rengini veren karoten pigmentleri, ısı ile bozunarak okside olurlar. Bu da gıdanın renginde değişimlere neden olur. Genel olarak, uzun kurutma zamanları ve yüksek sıcaklıklar pigmentlerin daha çok bozunmasına ve gıdanın renginin daha çok değişmesine neden olur. Gıdaların renginin kurutma sırasında değişmesini engelleyebilmek için gıdanın cinsine bağılı olarak sülfürleme veya askorbik asit ile yıkama gibi ön işlemlerden geçirilmesi gerekir (DeMan 1990).

Kurutma ile karotenoidler kısmen zarar görür. Antosiyaninler kurutulmadan sonra gri-kurşuni renk alırlar. Hatta SO<sub>2</sub> ile renkleri soldurulup giderilen antosiyaninler, bu gaz kaybolunca kısmen eski rengini alır (Karaçalı 2002). Kurutma esnasında materyalin renginde meydana gelen değişme sadece yüzeydeki suyun uzaklaşmasından

kaynaklanmamaktadır. Bunun yanı sıra Maillard reaksiyonu (enzimatik olmayan esmerleşme) enzimatik (oksidatif) esmerleşme (fenol polimerizasyonu) özellikle karotenoid ve klorofilde gözlenen pigment bozunumu karamelizasyon ve askorbik asit oksidasyonu gibi çeşitli reaksiyon sonucunda da renkte değişimler oluşmaktadır (Gedik 2001).

### 2.6.2. Fiziksel değişimler

Kurutma koşullarının hatalı seçilmesi sonucu oluşan bir olaydır. Kurumanın ilk aşamasında yüksek sıcaklık uygulanmasından kaynaklanabilir. Yüzeyde hızla oluşan kuru tabaka büzüşme sonucu alt tabakalara baskı yapar. Ancak alt tabakaların henüz ıslak olması üsten yapılan basınca direnç göstermesine neden olur. Bu durumda kuruma sonucu büzüşme olanağı bulamayan üst tabaka gerilip sert bir kabuk haline dönüşür. Böylece oluşan sert kabuk, kurumanın ileri aşamalarında, alt tabakalar kuruyup buruşsa dahi bir daha geçmez ve alt tabakalardan ayrılarak sert bir tabaka yapısını korur. Kabuk bağlama ile kuruma hızı birden bire düşer. Kurutma koşulları ayarlanarak kabuk bağlamanın önlenmesi olanaklıdır (Cemeroğlu 2003).

Meyve ve sebzeler gibi lifli yapıların kurutulması sırasında, özellikle kurutmanın ilk aşamalarında %40-50'ye varan büzülme meydana gelir. Büzülme, kurutulan gıdanın yüzeyinin daralmasına ve sert bir hal alarak su geçişine izin vermemesinden dolayı kuruma hızını düşüren bir faktördür. Pek çok gıdada, yüksek sıcaklıklarda kurutma işlemi yapıldığında, gıdanın yüzeyinden birim zamanda transfer olan su miktarı arttığından dolayı büzülme miktarı da artmaktadır (Dadalı 2007).

Büzülmenin etkisinin azaltılabilmesi için, gıdanın daha nemli bir hava ile veya daha düşük bir sıcaklıkta kurutulması gerekmektedir. Bu sayede kuruma hızı da yavaşlar ve gıdanın yüzeyinden birim zamanda transfer olan su miktarı azalır. Böylece büzülme miktarı da azalma gösterir. Aynı zamanda; gıdaların mikrodalga ile kurutulduklarında diğer kurutma yöntemleri ile kurutulmalarına nazaran daha az büzülme gösterdikleri ifade edilmiştir (Panyawong ve Devahastin 2007).

Kurutulmuş ürünün rehidrasyon yeteneği bizzat fiziksel bir olaysa da, bunun kurutma sırasında değişmesi materyaldeki kimyasal, fiziko-kimyasal ve fiziksel değişimlerle ilgilidir. Nitekim kurutma koşullarına bağlı olarak buruşma ve parçalanma sonucu, hücreler ve dokunun kapiler yapısının bozulması, rehidrasyonu olumsuz yönde

etkileyen fiziksel faktörlerdir. Buna karşın rehidrasyon yeteneği daha çok kimyasal ve fizikokimyasal nedenlerle etkilenmektedir. Kurutmada uygulanan ısı etkisiyle ve kurutma sonucu hücredeki tuzların konsantre olmasına bağlı olarak proteinler denatüre olmaktadır. Denatüre olan proteinler artık suyu tekrar absorbe etme ve bağlama yeteneğini büyük ölçüde kaybeder. Aynı nedenlerle nişasta ve gam maddelerde daha az hidrofilik bir nitelik kazanır. Bütün bunlara ek olarak hücre duvarı eskisi gibi esnek değildir.

Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun suda belli koşullarda ıslatılması sonucu kazandığı su miktarı ile ölçülür. Ancak rehidrasyon sırasındaki koşullar, özellikle suyun sıcaklığı ve süre, rehidrasyon yeteneği üzerine son derece etkilidir. Bunun için bir ürünün rehidrasyon yeteneğine ilişkin sayısal bir değer verilirken, bunun nasıl saptandığına ait yöntemin ve koşullarının da ayrıntısı ile tanımlanması gerekir. Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyonu sırasında kaybedilen kuru madde, ürünün kalitesinin bir ölçüsüdür. Rehidrasyonda sadece yeterli miktarda su kullanılarak bu kayıp azaltılabilir (Cemeroğlu 2003).

### **2.6.3. Biyokimyasal değişimler**

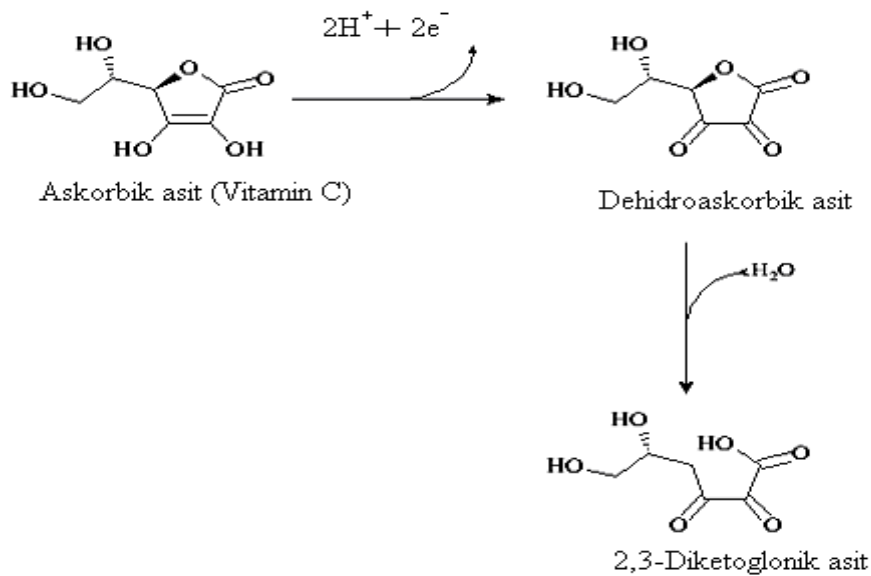
Kurutmada şeker oranı su miktarının azalmasına bağlı olarak artar. Bu arada diğer içerik maddelerin oranı da artar (Protein, yağ ve diğer madensel maddeler gibi). Sakkaroz içeren ürünlerde özellikle asit miktarı da yüksekse, sakkaroz kısmen inversiyona uğrar. Bu durum meyvenin lezzet ve yapısının değişmesine neden olur. Besin değeri, parçalanma ürünleri olan redükte şekerlerle azotlu bileşiklerin birleşmesi sonucu (karamel lezzeti ve kahverengi renk) biraz azalır. Özellikle güneşte kurutmada işlem süresi uzun olduğu için bu olaylar çok fazla meydana gelir.

Gıdaların kurutulmasıyla özellikle gıdaların yapılarında bulunan yağda çözünebilir (A, D, E ve K Vitamini) ve suda çözünebilir (B ve C Vitamini) vitaminlerin kurutma işlemi sırasında meydana gelen oksidasyon ürünleri ile reaksiyonları sonucunda vitamin miktarında azalma görülür (Hernandez vd 2006). Örneğin; gıdaların kurutulması sırasında askorbik asidin bozunması ile meydana gelen kimyasal değişimler Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Vitamin kayıplarının azaltılabilmesi için kurutma süresi kısa tutulmalı ve depolanmaları sırasındaki sıcaklık, nem miktarı ve oksijen düzeyi düşük tutulmalıdır (Teymur 1999).

Suda eriyen vitaminlerden olan B grubu vitaminler de (öğütülmüş sebzelerde ve oksijenli ortamda) koşulların durumuna göre az çok oksidasyonla kaybolur. Örneğin, ışığa duyarlı riboflavin ile ısıya duyarlı tiamin vitaminlerinde kayıp daha hızlı olur. Güneşte kurutmada kayıplar, kurutucularda kurutulanlara göre daha fazla olur. Vitamin kayıpları depolamada da sürer. Özellikle nemi ve sıcaklığı yüksek koşullarda kayıp çok hızlı olur. Kükürt dioksit kullanılması askorbik asitin belirli düzeyde korunmasını sağlar. Karoten kaybı ise askorbik asit kaybına nazaran daha az gerçekleşir. Askorbik asit oksijensiz ortamda (inert gaz) ve düşük nemde iyi korunur.

Proteinler, gıdaların kurutulmaları sırasında uygulanan kurutma yönteminden olduğu kadar, kurutma sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlerden de etkilenirler. Teorik olarak gıdalarda bulunan su içeriğinin azaltılması ile proteinlerin stabilitelelerinin artmasından dolayı gıdaların kurutulması sırasında, proteinlerin biyolojik değeri ve sindirim özelliği kaybolmamaktadır (Allison vd 1998).

Kurutma için tam olgun meyveler kullanılır. Meyve tam olgun haldeyken lezzet en iyi durumdadır ve kuruduktan sonra, daha lezzetli kalır. Lezzette aroma maddeleri çok önemlidir. Kuruma esnasında su kaybına bağlı olarak aroma maddeleri de azalır. Bunlar ve bu esnada meydana gelen çeşitli reaksiyonlar, kurumuş meyve lezzetini oluştururlar. Bazı kayıplara karşın, kurutulmuş ürün ana lezzet elemanlarını taşır.



**Şekil 2.5.** Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen askorbik asit oksidasyonu (Hernandez vd 2006).

#### 2.6.4. Mikrobiyolojik değişimler

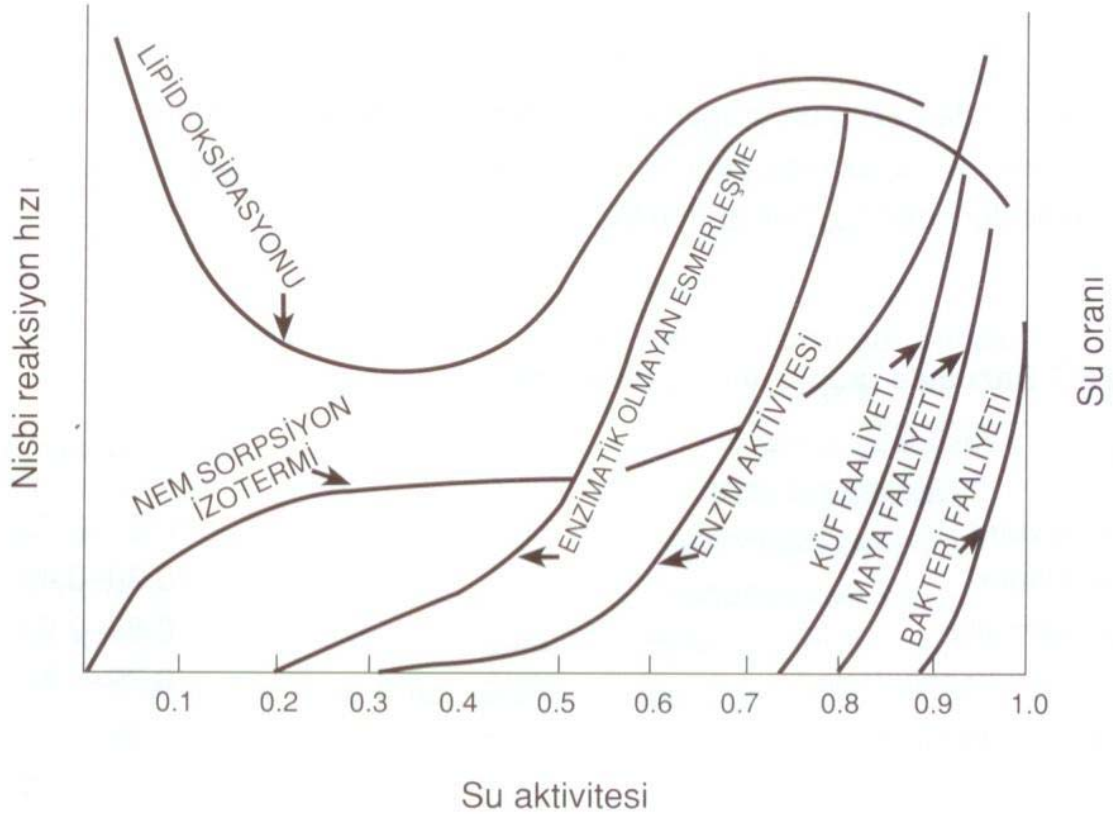
Kurutma işleminde ürünün mikroflorası değişmektedir. Nitekim sebzelerde uygulanan haşlama ile; mikroorganizma yükünde önemli azalma belirir. Birçok meyvede uygulanan kükürtleme ile mikroorganizma faaliyeti durur. Güneşte kurutma yönteminde kurutma koşulları doğaya bağlı olduğundan ve hijyenik kurallara tam uyulmadığından mikroorganizmaların sayısı kurutma boyunca artar ve bunlar kurutma sırasında faaliyet gösterirler. Kuruma sırasında mikroorganizmalardan oluşan sorunların önlenmesinin kesin yolu, mikrobiyolojik açıdan sağlıklı ham madde kullanılması, ham maddenin hazırlanma ve kurutulmasında hijyenik koşullara uyulmasıdır. Eğer ürün nem oranı belli bir düzeye inmişse, depolamada mikrobiyolojik açıdan bir bozulma beklenmez. Buna göre kurutulmuş ürünlerde canlı mikroorganizma bulunduğu, ancak koşullar (yeterli su aktivitesi değeri, sıcaklık, pH vb.) elverişli olmadığı için faaliyet gösteremediğı açıktır. Özellikle kuru ürünlerde birçok patojenik mikroorganizmanın uzun süre canlı kalabildiğı, gıda zehirlenmesi yapan mikroorganizmanın yaygın olarak bulunabildiğı saptanmıştır (Cemeroğlu vd 2003).

Su aktivitesi olarak 0.7 değeri kurutulmuş meyveler için en yüksek güven sınırındır. Faaliyet için bakteriler 0.9; maya ve küfler 0.7 su aktivitesi ister (Şekil 2.6). Bu değer yani 0.7 su aktivitesi değeri altındaki değerlerde mikrobiyolojik faaliyetler gerçekleşemez. Bunun eşdeğeri olan su miktarı ürüne göre değişir ve %18-25 olabilir. Bazı halofil bakteriler su aktivitesi 0.75'e kadar çalışabilir. Hatta kurutulmuş meyvelerde tehlikeli olan ozmofilik mayalar ürünün su aktivitesi 0.6'da (örneğin fındıkta) çalışabilmektedir. Küf mantarları  $a_w < 0.65$  altında artık çoğalamazlar (Karaçalı 2002).

#### 2.7. Gıdaların Kurutmasıyla İlgili Çalışmalar

Doymaz (2007), kabak dilimlerinin laboratuvar tipi bir kurutucuda sıcak hava ile kurutulması sırasındaki kuruma kinetiğini incelemiştir. Kurutma işlemi üç sıcaklık (50, 55 ve 60 °C), bir hava hızı (1 m/s) ve üç bağıl nem (%15, %19 ve %25 RH) ortamında yapılmıştır. Elde edilen değerler istatistiki açıdan değerlendirilmiş ve kabak dilimlerinden nem kaybının, Fick'in difüzyon modeline uyduğı belirlenmiştir. Bu modele göre difüzyon katsayı değeri  $3,88 \times 10^{-10}$  ile  $9,38 \times 10^{-10}$  arasında bulunmuştur.

Arrhenius eşitliğinden yararlanılarak da aktivasyon enerjisi 78,93 kJ/mol olarak belirlenmiştir.



**Şekil 2.6.** Su aktivitesi ile su miktarı ve bozulmalar arasındaki ilişkiler (Cemeroğlu vd. 2003).

Giri ve Prased (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.

Koca vd (2007), farklı şekillerde kurutulmuş havuçlardaki renk değişim ve  $\beta$ - karoten değişimini incelemek üzere yaptıkları çalışmada, hazırlanan havuçlar  $60 \pm 5$  °C'de, 1,5 m/s 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. Kurutulmuş havuç



örnekleri, 47 °C’de 90 gün boyunca depolanmış ve bu süre içerisinde örneklerde herhangi bir  $\beta$ - karoten kaybı belirlenmemiştir. Fakat bu depolamanın ardından 57 °C’de 25 gün depolanan bu ürünlerde  $\beta$ - karotenin %50’sinin kaybolduğu belirlenmiştir.

Wang ve Sheng (2006) tarafından yapılan çalışmada, 10 ile 1000 W arasında değişen mikrodalga güçlerinde 70-80 mm çapındaki 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 kurutulmasında 2 farklı azalan hızda kuruma periyodu belirlenmiştir. 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<sup>-1</sup> değerine değişirken, ikinci azalan hızda kuruma periyodunda nem içeriği 1,70 g su. g kuru madde<sup>-1</sup> değerinden 1,0 g su/g kuru madde değerine değişmiştir.

Doymaz (2005) tarafından yapılan çalışmada 3 farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70 °C sıcaklıkta) ve %8 ile %25 RH değerleri arasında değişen bağıl hava nemlerinde 8,55 g su. g kuru madde<sup>-1</sup> başlangıç nem içeriğine sahip bamyaya kurutulmuştur. Bamyanın kurumasının sadece azalan hız periyodunda gerçekleştiği saptanmıştır. Kurutma ortam şartlarına bağlı olarak kurutma sürelerinin 480 dakika ile 930 dakika arasında değiştiği belirlenmiştir. Kurutma karakteristiklerinin modellenmesinde Ekspansiyel ve Page model kullanılmış ve Page modelin kurutma karakteristiklerine daha uygun olduğu görülmüştür. Araştırmacı efektif difüzyon hızlarının  $4,27 \times 10^{-10}$  ile  $7,76 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s arasında değiştiğini belirlemiştir. Ayrıca, aktivasyon enerjisi değerini yaklaşık 51,26 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Kaymak-Ertekin ve Gedik (2005), 2 mm kalınlığında halka şeklinde doğranıp tepsili kurutucuda 4 farklı sıcaklıkta (50, 60, 70, 75 °C), dört farklı hava hızı (0.6, 1.0, 1.2 ve 1.5 m/s) ve iki farklı bağıl nem ortamında kurutulan soğanlarda farklı kurutma koşullarındaki esmerleşme reaksiyonları ve tiyosülfanat değişim kinetiğini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre esmerleşme reaksiyonlarının sıfırıncı dereceden reaksiyon modeline uyduğu ve tiyosülfonat değişiminin ise ikinci dereceden reaksiyon modeline uyduğu belirlenmiştir.

Özler vd (2005), atdışı, sert ve şeker mısırı olmak üzere üç farklı mısır çeşidini % 2 etil oleat, % 4 potasyum karbonat, % 2 sodyum hidroksit çözeltilerine 1 dakika süreyle bandırdıktan sonra laboratuvar tipi kurutucuda yaklaşık 50°C sıcaklıkta ve %21,5 bağıl nemde kurutmuşlardır. Atdışı mısır ve şeker mısır örneklerinde kuruma hızı üzerine etkili kimyasalın % 2 sodyum hidroksit olduğunu sert mısırdaki ise kimyasal madde uygulamasının kurutma hızına belirgin bir etkisinin olmadığını saptamışlardır. Sert mısırdaki ise kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde ön işlem yapmanın pratik olmayacağı sonucuna varmışlardır.

Demir vd (2004), defne yapraklarını 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta, 1,5m/s hava hızı ve %5- %10 ve %15 bağıl nem değerlerine sahip ortamlarda kurutarak, hem renk ve yağ değişimini izlemişler hem de deneysel sonuçları en iyi temsil edebilecek amprik modeli araştırmışlardır. Kurutma işleminde uygulanan şartların defne yapraklarının renk ve yağ değerleri üzerine etkisinin ihmal edebilecek kadar az olduğunu, deneysel sonuçlara en iyi uyumu veren modelin ise Page modeli olduğunu ifade etmişlerdir.

Doymaz (2004a), beyaz dutların ince tabaka kurutma yöntemiyle kurutulması işleminde ön işlem olarak etil oleat, sitrik asit ve askorbik asit ile muamelelerin kurutma zamanı üzerine etkisini araştırmıştır. Etil oleat uygulamasının kurutma süresini azalttığı tespit edilmiştir. Aynı araştırmacı bir başka çalışmasında (Doymaz 2004b) havucun kuruma kinetiğine kurutma havası sıcaklığı, hız ve örnek kalınlığının etkisini incelemiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve hızı artırıldığında kurutma süresinin azaldığı, buna karşılık örnek kalınlığındaki artmanın kuruma süresini arttırdığı ifade edilmiştir. Çalışmada nem difüzyonu için gerekli enerji 28.36 kJ/mol olarak bulunmuştur. Page modelinin deneysel sonuçlara iyi bir uyum verdiği, kurutma süresinin tahmininde başarıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Ertekin ve Yıldız (2004), tarafından da kurutma materyali olarak patlıcanın kullanıldığı çalışmada, birçok amprik model içerisinde en iyi modelleme yeterliliğinin Page modeline ait olduğu ifade edilmiştir.

Soysal (2004), 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 korunduğu belirlenmiştir.

Akpınar ve Biçer (2003), kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda dönel akış ortamında deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı hava giriş sıcaklıklarında ve hızlarında kurutulan örneklerde kuruma hızına, hava hızından ziyade hava sıcaklığının etkisinin daha fazla olduğu saptanmıştır. Aynı araştırmacılar, siklon tipi kurutucuyu kullanarak yaptıkları bir başka çalışmada (Akpınar ve Biçer 2002) dikdörtgen prizma şeklinde 2 farklı boyutta kestikleri patatesleri kurutmuşlardır. Kurutma ortam sıcaklığındaki artışın özellikle küçük dilim halinde doğranmış patateslerin kuruma hızında daha belirgin artışa neden olduğu belirtilmektedir.

Krokida vd (2003), patates, havuç, biber, sarımsak, soğan, mantar, mısır, bezelye, kereviz, kabak ve domates kurutulması üzerine çalışmışlardır. Her çalışmada, 5, 10 ve 15 mm olmak üzere 3 farklı örnek kalınlığı, 3 farklı ortam sıcaklığı (65, 75 ve 85°C), 3 farklı hava hızı (1,5, 2 ve 2,6 m/s) ve 3 farklı bağıl nem ortamı (%20, %30 ve %40) kullanılmıştır. Denemeler sonucunda, kuruma hızını etkileyen en önemli parametrenin ortam sıcaklığı olduğu, hava hızı ve neminin ise sıcaklığa göre etkisinin daha az olduğu görülmüştür.

Çevik ve Bilişli (2001), yaptıkları bir çalışmada 9 farklı erik çeşidini kabin tipi bir kurutucuda %60 nem ortamında ve 70 °C'yi geçmeyen sıcaklıklarda kurutmuşlar ve Kurutulmuş örneklerde %76 oranında askorbik asit kaybı ve %68 oranında da renk kaybı belirlemişlerdir.

Maskan (2001a), tarafından yapılan çalışmada; hava ile kurutma (1.29 m/s hava hızı ve 27 ve 60 °C hava sıcaklığı), 210 ile 490 W arasında değişen mikrodalga ile kurutma ve hava ile kurutmayı takiben kritik nem içeriğinden sonra kivi meyvesinde kurutma hızları ve büzülme oranları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; en yüksek büzüşme oranının 60°C sıcaklıkta hava ile kurutma işleminde gerçekleştiği belirlenmiştir. Mikrodalga kurutmanın hava ile kurutmaya göre kurutma süresini %40 azalttığı, hava ile kurutma + mikrodalga kurutma kombinasyonunun ise kuruma süresi ile %89 oranında azalttığı saptanmıştır.

Maskan (2001b) tarafından yukarıda belirtilen koşullarda yapılan bir başka kurutma çalışmasında kivi meyvesinde meydana gelen renk değişimleri Hunter Lab renk skalası yardımıyla incelenmiştir. Kivi meyvesinin her üç kurutma koşulunda; L ve b değerleri düşmüş bunun yanında a ve toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri yükselmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda hava ile kurutma için tüm renk indislerindeki değişimin birinci dereceden kinetik modele uyduğu saptanmıştır. Uygulanan 3 farklı kurutma yöntemi karşılaştırıldığında; hava ile kurutmanın renk değişimini en az etkileyen kurutma şekli olduğu ifade edilmiştir. Aynı araştırmacının benzer kurutma ortamlarını kullanarak yaptığı muz kurutma çalışmasında da (Maskan 2000) renk değişimine ait yukarıdaki çalışmaya paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Adam vd (2000) çalışmalarında, kurutma havası sıcaklığı, hava bağıl nemi hava hızı ve dilim kalınlığının soğanın kuruma karakteristiklerine ve kalite kriterlerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, kurutma havası sıcaklığının 65°C'nin üzerine çıkmasının kalitede azalmaya neden olduğunu, hava hızının 0.5 m/s'den fazla olmasının, kurutma süresi ve renge etkisinin önemli olmadığını ortaya koymuşlardır.

Göğüş ve Maskan (1999) tarafından yapılan çalışmada; 3 farklı sıcaklıkta (60, 70 ve 80 °C sıcaklıkta) ve 1.2 m/s hava hızında bamyaya numunelerinin hava ile kurutulması sırasında kuruma karakteristikleri gözlemlenmiştir. Bamyaya numunesinin kuruma periyodunun sadece azalan hız periyodunda gerçekleştiği ve azalan hız periyodunun birinci ve ikinci azalan hız periyodu olarak 2 farklı dönem gösterdiği saptanmıştır. Bununla beraber; bamyanın su aktivitesinin proses koşulları ile değişimi incelenmiş ve su aktivitesi değerinin sıcaklık ile ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür.

### **2.7.1. Domatesin kurutulmasıyla ilgili çalışmalar**

Doymaz (2007), domateslerin kurutma özelliklerini 55, 60, 65 ve 70 °C sıcaklıklarda ve 1,5 m/s hava hızında incelemiştir. Kurutma işleminden önce domatesler, alkali etil oleat çözeltisine daldırılmıştır (%2 etil oleat + %4 potasyum karbonat). Deney esnasında, domatesler %94 nem içeriğinden %11 son nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Uygulanan ön işlemlerin ve hava sıcaklığının kurutma oranı üzerine etkisi olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca yapılan modelleme çalışmaları sonucunda Page modelinin deneysel sonuçlara en iyi uyumu verdiği belirlenmiştir.

Saçılık vd (2006), ekolojik şartlar altında güneşli tünel kurutucu kullanılarak organik domates kurutma denemeleri yapmışlardır. Kuruma sonunda organik domateste nem değeri %93,35 başlangıç neminden %11,50 son neme düşmüştür. Tünel kurutucuda dört günde elde edilen domates ile açık sergide beş günde kurutulan domates karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre kurutma eğrilerini oluşturmak için on farklı matematiksel modelden yararlanılmıştır. Kurutma hava sıcaklığı ve bağıl nem ilişkisi grafiklerle açıklanmıştır. Yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda en uygun modelin difüzyon modeli olduğu ifade edilmiştir.

Günhan (2005), Türkiye’de üretimi yapılan standart salçalık domates çeşitlerinden biri olan Rio Grande çeşidi domatesin, konveksiyonla kurutma sırasında farklı kurutma ortamı şartlarında kuruma karakteristikleri ve uygulanan kurutma ortamı şartlarının bazı kalite kriterleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Kükürtlenerak kurutulan domateslerin kurumasını en iyi tahminleyen model “Midilli ve Küçük” kuruma modeli olarak ifade edilmiştir. Tuzlanarak kurutulan domateslerin kurumasını en iyi tahminleyen model “Logaritmik model” olduğu belirtilmiştir.

Kerkhofs vd (2005), Yeni Zelanda ’da üretimi yapılan üç farklı (*Aranka*, *Encore* ve *Flavourine*) domates çeşidinin kurutma işleminde renk, askorbik asit, toplam fenolik madde, likopen ve toplam antioksidan aktivitesi değişimini incelemişlerdir. Hava ile kurutulmuş domateslerin renk analizleri sonucunda ( $L^*a^*b^*$ ) renk azalmalarının minimum düzeyde olduğu belirlenmiştir. Taze ve kurutulmuş domateslerin antioksidan bileşenleri veya toplam antioksidan aktiviteleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir.

Leoni (2003), likopen üzerine yapmış olduğu literatür çalışmasında domates ürünlerini tüketen kişilerin bazı kanser türlerine (mide, akciğer ve prostat kanseri) yakalanma riskinin daha az olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı likopenin ısı işlemlere oldukça dirençli olduğunu, ancak uzun süre depolamada önemli kayıplar gerçekleştiğini ifade etmektedir.

Dewanto vd (2002), yaptıkları bir çalışmada; pizza ve sebze yemeklerinde kullanılmak üzere domatesleri; 60-110°C arasındaki sıcaklıklarda 0,5 - 2m/s arasındaki hava hızlarında, 2-10 saat arasında değişen sürelerde, maksimum %15 nem içeriğine

sahip olacak şekilde kurutulmuşlardır. 80°C ve daha yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma sırasında önemli seviyelerde askorbik asit kaybı meydana geldiği rapor edilmiştir.

Giovanelli vd (2002), Rita çeşidi domates kullanarak pulp, püre, salça ve kurutulmuş domates ürünleri üretmişler ve üretim sürecinde oksidasyon ve sıcaklıktan kaynaklanan hasarın belirlenmesi için üretilen ürünlerin antioksidan içeriklerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, kurutulmuş domatesten %92 seviyesinde askorbik asit kaybının olduğu, domates salçasında da yaklaşık aynı oranda kaybın gerçekleştiği, en az kaybın ise pulpta görüldüğü ifade edilmiştir.

Lewicki ve Lazuka (2002), domates kurutma işleminde uygulanan ön işlemlerin etkisini araştırmışlardır. 60 °C'de kabukları soyulmuş ve ikiye bölünmüş domateslerden ilk bölümü CaCl<sub>2</sub> çözeltisine daldırılmış, diğeri ise sakaroz ve kalsiyum klorür içeren çözelti ile muameleye tabi tutulmuştur. Araştırmacılar, yapılan ön işlemlerin kuruma süresini kısalttığını gözlemekle birlikte, kalsiyumla yapılan ön işlemin daha hızlı kuruma sağladığını ortaya koymuşlardır.

Giovanelli vd (2001), domateslerin işleme teknolojisine bağlı olarak maruz kaldıkları oksidasyon ve sıcaklık hasarının domateslerin antioksidan özelliklerine etkilerini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada, domates pulpu, püresi, salçası ve kurutulmuş domatesleri materyal olarak kullanarak antioksidan içeriklerini (askorbik asit, likopen, polifenol) antioksidan aktivitelerini ve HMF özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar en fazla askorbik asidin (C vitamini) domates pulpunda bulunduğunu, domates salçasının çok az askorbik asit içerdiğini, kurutulmuş domateslerde ise neredeyse tamamının (%92) yok olduğunu belirtmişlerdir. Likopen içeriğinin kurutulmuş domateslerde diğerlerine göre çok olduğunu rapor etmişlerdir. 80°C gibi yüksek bir sıcaklıkta kurutulan domateslerde likopen kaybının %2-3 gibi önemsiz sayılabilecek oranda gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, antioksidan aktivitesinin kurutulmuş domateslerde salça ve diğer domates ürünlerine oranla daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Lavelli vd (2001), domates yarımlarının 80°C'de kurutulmasıyla %2 oranında likopen azalması belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar domates pulpunun 70°C'de kurutulmasıyla da toplam likopen miktarında %0,7 oranında azalma tespit etmişlerdir.

Özkan ve Işık (2001), yaptıkları bir çalışmada %88 nem değerine sahip domatesi önce 30 dakika fanlı fırında, sonra sırasıyla 90 W mikrodalga kademesinde 6 dakika, 160 W mikrodalga kademesinde 10 dakika, 350 W mikrodalga kademesinde 5 dakika, 500 W mikrodalga kademesinde 5 dakika, 650 W mikrodalga kademesinde 9 dakika olmak üzere toplam 65 dakikalık kurutma periyodu ile sıcak havayla kurutmuşlardır. Kurutma sonunda domateslerin renk, koku, tat gibi özelliklerinde belirgin bir kaybın olmadığı ortaya konulmuştur.

Shi vd (1999), domates ve ürünlerinde farklı kurutma metotlarının (ozmotik kurutma, vakum kurutma, hava akımı ile kurutma ve her üçünün kombinasyonu) üründeki likopen kaybını belirlemek ve prosesin optimizasyonunu gerçekleştirmek amacıyla çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, uygulanan tüm kurutma yöntemlerinin hem likopen hem de besinsel değer ve aroma kaybına neden oldukları, ancak likopen kaybına en az vakum kurutma uygulamasının, en fazla ise geleneksel hava akımında kurutmanın sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Zanoni vd (1999a), yarımlar halinde 110°C'de 4 saat süre kurutulan domateslerde %10 likopen kaybı olduğunu tespit etmişler, 80°C'de 7 saat süreyle kurutulan domateslerde ise likopen kaybına rastlamamışlardır.

Zanoni vd (1999b), 80°C ve 110°C hava sıcaklığı ve 1,5m/s hava hızı şartlarında kurutulan Rita çeşidi domateslerde oksidasyondan kaynaklanan askorbik asit kayıplarını incelemişlerdir. Çalışma sırasında domatesler, ikiye ayrılıp çekirdek ve paraneşkima kısımları çıkarıldıktan sonra delikli tepsilere (40x60cm) dizilip, kabin tipi bir kurutucuya yerleştirilmiştir. Kurutma, domateslerin nem içeriği %10 olana kadar sürdürülmüştür. 80°C'de kurutulmuş domateslerde askorbik asit miktarında başlangıç değerine göre %90 azalma olduğunu 110°C'de kurutulmuş domates örneğinde ise hiç askorbik asit kalmadığı tespit edilmiştir.

## **2.8. Antioksidanlar**

Antioksidanlar, oksidasyondan kaynaklanan acılaşmayı ve diğer tat bozulmalarını geciktirme veya önleme özelliğine sahip olan maddelerdir. Tokoferoller, askorbik asit, flavonoidler ve fenolik asitler en önemli doğal antioksidan gruplarıdır (Meyer vd 2000, Heinonen 2002, Maslarova 2001). Meyve ve sebzeler, antioksidan bileşiklerin ana kaynağıdır. Dolayısıyla insan sağlığı için bu gıdalar elzem niteliktedir. Meyve

antioksidanları dokuları çeşitli hastalıklara karşı korumaktadırlar. Antioksidanların stres sonucu oluşan ve yaşla ilgili çeşitli hastalıkları önlemedeki rolü deneysel, klinik ve epidemiyolojik çalışmalar ile ortaya konmaya başlandıkça antioksidanlar gittikçe daha da çok önem kazanmaya başlamışlardır ( Zavala vd 2004).

Antioksidanlar, serbest radikalleri nötralize ederek vücudun onlardan etkilenmemesini veya kendini yenilemesini sağlar. Geniş ifadeyle antioksidanlar, oksijen ile reaksiyona girerek gıdalar içindeki olumsuz etkilerini engelleyen maddeler olarak tanımlanabilirler. Kodeks Alimentarius Komisyonu'nun (CAC) tanımında ise antioksidanlar gıdada yağın acılaşması ve renk değişimleri gibi oksidasyon reaksiyonları sonucunda oluşan bozulmaları önleyerek raf ömrünü uzatan maddeler olarak ifade edilmektedir.

Antioksidan içeriği meyve ve sebzelerin kalitesi açısından önemli bir parametre haline geldiği için; hasat sonrasındaki işlemlerde antioksidan içeriklerindeki değişimlerin değerlendirilmesi son derece dikkat çeken bir konu olmuştur (Zavala vd 2004). Meyve ve sebzelerde antioksidan aktivitesini etkileyen faktörler arasında hasat sırasındaki olgunluk, olgunlaşma mevsimi, genetik farklılıklar, hasat öncesi çevresel koşullar, hasat sonrası depolama koşulları ve uygulanan işlemler sayılabilmektedir.

Meyvelerle karşılaştırıldığında sebzelerin genellikle daha düşük oranda antioksidan bileşik içerdikleri belirtilmektedir (Heinonen 2002). Meyvelerde bulunan başlıca antioksidanlar C vitamini, organik asitler, fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler ve karotenoidlerdir (Meyer vd 2000). Sert çekirdekli meyvelerde (şeftali, erik, vişne vb.) genellikle meyvenin etli kısmında yüksek oranda C vitamini bulunmakla birlikte, kabuğu da fenolik maddeler açısından zengindir (Heinonen 2002). Turunçgiller, yüksek oranda C vitamini ve flavonoidleri içermektedir. Sebzelerin içerdiği antioksidanlar arasında; C vitamini, tokoferoller, karotenoidler, flavonoller, ve fenolik asitler gibi fenolik bileşikler sayılabilmektedir.

### **2.8.1. Domateste bulunan doğal antioksidanlar**

Domates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) içerdiği yüksek oranda likopen ve fenolik maddeler nedeniyle dikkat çekmektedir. Domatesin antioksidatif aktivitesi tek başına likopenden değil çeşitli fitokimyasalların gösterdiği sinerjistik etkiden kaynaklanmaktadır (Heinonen 2002, Maslarova ve Heinonen 2001).



Birçok ülkede domates, gün içerisinde yenilen yemeklerin önemli bir ögesidir. Antioksidan bileşiklerin insan sağlığı üzerine olumlu etkilerinin belirlenmesi ve domatesin de bu bileşikler için zengin bir kaynak olduğunun ortaya konulması ile domatesin tüketimi daha da artmaya başlamıştır. Domates bünyesinde değişik besin öğelerinin bulunması ve yaygın olarak tüketilmesi nedeniyle insan beslenmesi açısından önemli bir üründür. Taze, olgun, kırmızı bir domatesin 20-30mg/100g askorbik asit (C Vitamini), 4-10mg/100g likopen içerdiği tespit edilmiştir. Domateste bulunan likopenin miktarı çeşit, yetiştirme koşulları ve olgunluk aşamasına bağlı olarak önemli seviyede değişmektedir.

Domatesin doğal yapısında antioksidan bileşik olarak tokoferol, askorbik asit, likopen ve  $\beta$ -karoten gibi maddeler bulunmaktadır (Maslarova 2001). Domates, içerdiği yüksek oranda likopen ve fenolik maddeler nedeniyle dikkat çekmektedir.

Likopen birçok meyve ve sebzenin yapısında yer almasına rağmen en fazla domates ve domates ürünlerinde bulunur. 1903 yılında, Schunck, domateslerde yoğun olarak bulunan bu pigmentin, havuçlarda bulunan karotenlerden farklı bir absorpsiyon spektrumuna sahip olduğunu göstermiş ve bu pigmente likopen adını vermiştir (Nguyen ve Schwartz 1999).

Likopen; uzun zincir şeklindeki asiklik, aşırı hidrofobik yapısı ve içerdiği konjuge çift bağ nedeniyle antioksidan aktivite göstermektedir. Likopenin antioksidan etkisi; serbest radikalleri ( $R^\cdot$  ve  $ROO^\cdot$ ) ve oksijenin aktif formlarını ( $O_2^\cdot$ ) bağlamaları ile açıklanmaktadır. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, lipid peroksidasyonu sırasında likopen,  $\alpha$ -karoten ve  $\beta$ -karotenin antioksidan aktiviteleri incelenmiş ve likopenin en yüksek antioksidan aktivite gösterdiği saptanmıştır (Anguelova ve Warthesen 2000). Yapısında  $\beta$ -iyonon halkası içeren  $\beta$ -karoten ile kıyaslandığında, likopenin  $\beta$ -iyonon halkası içermemesi veya diğer bir deyişle  $\beta$ -iyonon halkasının açık olması nedeniyle, aktif oksijen türlerini daha etkin olarak tutabilmektedir. Ayrıca, konjuge çift bağ sayısı arttıkça oksijen tutma yeteneği de artmaktadır. Yapısında 11 tane konjuge çift bağ içeren likopen, 9 tane konjuge çift bağ içeren  $\beta$ -karotene göre aktif oksijen türlerini çok daha etkin tutabilmektedir.

Likopen, olgunlaşmış domateste en yoğunlukta bulunan karotenoid olup, diğer toplam pigmentlerin %80-90'ı civarındadır. Taze domatesteki likopen miktarı, çeşit,

olgunluk, ve olgunlaşmanın gerçekleştiği ortamdaki çevresel faktörlere göre değişir. Domatesin tümündeki likopen miktarı 9,27 mg/100g olarak tespit edilmiş iken, bazı koyu kırmızı renge sahip çeşitlerde bu miktarın 15mg/100g'a çıktığı, ancak sarı çeşitlerde ise 0,5 mg/100'a indiği görülmüştür (Shi ve Maguer 2000). Heinonen vd (1989), domateslerdeki likopen konsantrasyonunun, yazın daha yüksek (Haziran-Ağustos dönemi) ve kışın daha düşük (Ekim-Mart dönemi) olduğunu belirtmişlerdir. Yine, serada yazın veya kışın yetiştirilen domatesin ve yeşil olarak hasat edilip depolamada olgunlaştırılan domatesin de, dış ortamda yetiştirilen domatese göre daha az likopen içerdiği belirlenmiştir (Gould 1994). Bundan başka Lurie vd (1996) tarafından belirlendiği üzere, nispeten yüksek sıcaklıklar (38°C) likopen üretimini inhibe etmekte, ayrıca düşük sıcaklıklar ise domates olgunlaşması ile birlikte likopen üretimini inhibe olmaktadır.

McCollum (1995), domateste likopen ve diğer karotenoidlerin dağılımı üzerine çalışmalar yapmış ve dış perikarpın likopen ve toplam karotenoidleri en fazla içeren bölge olduğunu tespit etmiştir. Domates kabuğu 12mg likopen /100 g kabuk (yaş bazda) içerirken, tüm ve olgun domateste 3,4 mg/100g seviyesinde likopen tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada ise domates kabuğunda likopen miktarı 53.9mg/100g iken, domates pulpunda 11mg/100g olduğu tespit edilmiştir (Sharma ve Le Maguer 1996).

$\beta$ -Karoten, bir karotenoid olup provitamin A özelliği gösterir. Vitamin A, görme, gelişme, hücrel farklılıklar, genlerin morfolojik özellikleri, diğer hücrel ve fizyolojik fonksiyonlar için gereklidir. Diyetlerdeki karotenoidlerin vitamin A aktivitesine olan katkıları, toplumdan topluma alışlagelen beslenme tarzına göre farklılıklar gösterir. Vitamin A nispeten zayıf bir antioksidandır. Örnek olarak; likopen,  $\beta$ -karoten ve lutein'e göre daha güçlü antioksidan etki göstermektedir (Lin vd 2005).

Domates ve domates ürünlerinde antioksidan özelliğe sahip karotenoidler bulunmaktadır. Başta likopen olmak üzere  $\beta$ -karoten ve lutein de bulunmaktadır. Domates suyundaki karotenoidlerin ısı dayanıklılığının incelendiği bir çalışmada 16 çeşit karotenoid belirlenmiştir. Bu karotenoidler içerisinde yüksek antioksidan özelliğe sahip likopen yoğun bir şekilde tespit edilmiştir. Bunun yanında az miktarda da olsa  $\beta$ -karoten ve lutein bulunmuştur. Likopenin ısı dayanıklılığının diğer iki karotenoidine göre daha iyi olduğu belirtilmiştir (Lin vd 2005). Domates ve domates ürünlerinde  $\beta$ -karoten az miktarda bulunduğu için literatürde fazla çalışma bulunmamaktadır. Fakat  $\beta$ -karoten

de insan sağlığı açısından önemli bir antioksidan madde olduğu için domates ve domates ürünlerinde incelenmesi gerekmektedir.

Askorbik asit (C vitamini), taze meyvelerde özellikle turunçgiller ve sebzelerde bulunan, suda çözünebilen bir vitamindir (Suntornsuk vd 2001). Askorbik asit yüksek polariteye sahip olmasından dolayı suda kolayca çözüürken apolar solventlerde çözüme özelliği gösterememektedir. Askorbik asidin sudaki çözüürlüğü yaklaşık 30 mg/100 mL iken alkolde az, gliserinde çözümesi güç, eter ve kloroformda ise hiç çözümemektedir (Anonim 1992).

Askorbik asit denince akla L-Askorbik asit gelir. Çünkü sadece bu izomerinin biyolojik aktivitesi vardır. Diğer bir izomeri olan D-Askorbik asitin hiçbir biyolojik aktivitesi yoktur. Başka bir izomer olan D-izoaskorabik asit (eritorbik asit) ise, aynen askorbik asit düzeyinde indirgen güce sahiptir. Fakat herhangi bir biyolojik aktivitesi bulunmamaktadır (Cemeroğlu vd 2003).

Askorbik asit, oksidasyonla ve ayrıca özellikle yüksek sıcaklıklarda ısıl yolla çok kolaylıkla parçalanır. Gıdaların işlenmesi depolanması ve pişirilmesinde en fazla kaybolan vitamin askorbik asittir. Çeşitli işlemlere bu kadar duyarlı olması nedeniyle, gıdalara uygulanan birçok işlemin olumsuz etkisinin belirlenmesinde askorbik asitteki kayıp miktarı bir ölçüt olarak kullanılmaktadır (Cemeroğlu 2007).

Tamamen olgun kırmızı bir domates indirgenmiş askorbik asit formunda tüm C vitamini aktivitesini içerir. Domates bünyesinde değişik besin öğelerinin bulunması ve bu ürünün yaygın olarak tüketilmesi nedeniyle insan beslenmesi açısından önemlidir. Taze, olgun, kırmızı bir domatesin 20-30mg/100mg civarında askorbik asit içerdiği tespit edilmiştir. Böylece küçük bir domates ile yetişkin bir kişi günlük tavsiye edilen miktar (RDA: Recommended Daily Allowance) olan 60 mg'ın %40'ını, çocuklar ise 40 mg olan RDA'nın 2/3'ünü karşılayabilmektedir (Özkarahan 1990).

Askorbik asit gıdalarda genellikle besleyicilik kalitesinin göstergesi olarak kabul edilir. Çünkü askorbik asit gıdalarda bulunan diğer besin bileşenlerine göre çabuk değişebilen bir yapıya sahiptir (Le Maguer vd 1986, Lee vd 2000, Rojas vd 2001, Erentürk vd 2005). C vitamini seviyesindeki düşmeler çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar; oksijen içeriği, metal iyonu katalizi, ışık, sıcaklık ve nem içeriğidir (Rojas vd 2001). Gıda bileşenlerinden vitaminler, renk maddeleri ve aroma maddelerinden birinin işleme

sırasında oksidasyonu ve yüksek sıcaklıklarda parçalanması önemli kalite kayıplarına yol açar. Kurutma ve dondurma işlemleriyle oksidatif bozulmalar belli seviyelerde engellenmekte ve mikrobiyal açıdan da güvenli gıdalar üretilmiş olmaktadır. Bununla birlikte özellikle kurutma koşullarında uygulanan yüksek sıcaklığın vitamin öğelerinde önemli seviyelerde kayıplara neden olduğu bir gerçektir. Bu doğrultuda kurutularak elde edilen birçok meyve ve sebze renk maddelerinin, fenolik bileşiklerinin ve vitamin öğelerinin değişimini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

Bu çalışmada, Türkiye’de üretimi yapılan kurutma ve salça yapımına uygun domates çeşitlerinden biri olan Rio Grande çeşidi domates (*Lycopersicum esculentum Mill. cv. Rio Grande*) materyal olarak seçilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılacak olan Rio Grande çeşidi domatesler Ağustos ayının ortasından itibaren Denizli ili Acıpayam ilçesinden direkt üreticiden satın alınarak temin edilmiştir. Domatesler, kurutma denemelerinde kullanılıncaya kadar polietilen ambalaj içerisinde buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir.

##### **3.1.1. Kullanılan kimyasallar**

HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi) analizlerinde kullanılan  $\beta$ -karoten (C-4582), likopen (L-9879) ve askorbik asit (G-002722) standartları Sigma firmasından (St. Louis, MO, A.B.D.) satın alınmıştır. Bu bileşiklerin materyallerden, ekstraksiyon ve HPLC ile analizlerinde, Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilen HPLC saflığında (HPLC grade) hekzan, asetonyitril, metanol ve diklormetan solventleri kullanılmıştır.

##### **3.1.2. Kullanılan cihazlar**

###### **3.1.2.1. Tepsili kurutma kabini**

Domatesler, Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti. (İzmir) tarafından üretilip, bölüm laboratuvarına kurulan tepsili kurutma kabininde kurutulmuştur. Kurutma kabininin genel görünümü Şekil 3.1’de ve tepsili kurutma kabinine ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

###### **3.1.2.2. Renk ölçüm cihazı**

Domateslerin kurutulması sırasında meydana gelen renk değişimlerinin gözlemlenebilmesi için, Hunterlab MiniScan XE cihazı (Hunter Associates Laboratory, USA) kullanılmıştır.

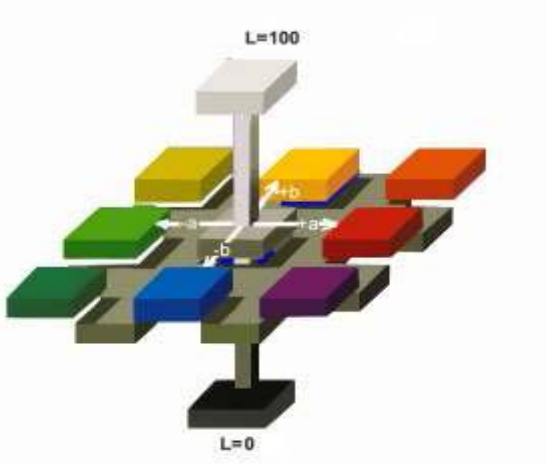


**Şekil 3.1.** Tepsili kurutma kabininin genel görünümü

**Çizelge 3.1.** Tepsili kurutma kabininin teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Dış Genişlik	80 cm
Dış Derinlik	60 cm
Dış Yükseklik	110 cm
Kabin İç Boyutları	70 x 55 x 100
Çalışabilir Sıcaklık Aralığı	40°C - 120°C
Çalışabilir 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

Analizlerde kullanılan renk ölçüm cihazında ölçümler “*Hunter Lab Renk Skalası ( L, a, b)*” metodu ile yapılmıştır. Hunter Lab Renk Skalası 1948 yılında R.S. Hunter tarafından fotoelektrik bir renk ölçme cihazı ile direk olarak okunabilen düzenli bir renk skalası olarak geliştirilmiştir. Çalışmalar sırasında kullanılan renk skalası Şekil 3.2’de, L, a ve b indislerinin renk skalasındaki anlamlarını gösteren açıklama ise Çizelge 3.2’de sunulmuştur.



**Şekil 3.2.** Hunter Lab renk skalası (WEB\_2)

**Çizelge 3.2.** Hunter Lab renk skalasında kullanılan indislerin anlamları (WEB\_2)

İndis	Anlamı
L	L değeri gıdanın renginin beyazlık parlaklık matlık indeksine göre ölçümü sonucu elde edilen bir değerdir. Bu değer 0 ile 100 arasında değişmektedir. Gıdaların ilk renklerine olan yakınlığı, tazeliğin göstergesi olan parlaklıklarının ne kadar değişip değişmediği bu indekse göre belirlenir.
a	a değeri gıdanın renginin kırmızı ile yeşil renk skalası içinde nerede bulunduğunu gösterir. Gıdalarda L değerinden sonra gelen önemli bir parametredir.
b	b değeri, gıdanın renginin mavi ile sarı renk skalası içinde nerede olduğunu belirtir.

### 3.1.2.3. HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi) cihazı

Domateslerin kurutulmadan önceki, kurutmanın belli aşamalarındaki ve kurutulduktan sonraki likopen,  $\beta$ -karoten ve askorbik asit miktarlarının belirlenebilmesi için, SHIMADZU firmasının ürettiği HPLC cihazı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan HPLC cihazının genel görünümü Şekil 3.3’te verilmiştir.



**Şekil 3.3.** HPLC cihazının genel görünümü

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Kurutma Denemeleri

Kurutma işleminde kullanılacak olan domatesler 50'şer kg'lık partiler halinde, her partiyi oluşturan domateslerin aynı olgunluk derecesinde ve uniform boyutta olmasına dikkat edilerek satın alınıp bölüm laboratuvarına getirilmiştir.

Her bir parti öncelikle 25'er kg'lık iki kısma ayrılmış ve her bir kısım çalışmanın 1. ve 2. paralelini gerçekleştirmek üzere kullanılmıştır. Kurutma denemelerinde kullanılan 5 ayrı sıcaklık (60, 70, 80, 90 ve 100°C) için 5'er kg'lık domates ayrılmıştır. Bu 5 kg'ın 1 kg'ı kurutma sırasında belli zaman aralıkları ile ağırlık kaybını takip etmek için kullanılmıştır. Geri kalan 4 kg domatesten bir miktar alınıp, başlangıç kuru madde ve renk değerleri belirlenmiş, bir miktar yaş domates ise alüminyum folyo ile birlikte polietilen ambalajlarda askorbik asit,  $\beta$ -karoten ve likopen analizlerinde kullanılmak üzere derin dondurucuda -20°C'de muhafazaya alınmıştır. 4 kg domatesten geriye kalan yaklaşık 3-3.5kg domates ise kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma süresince, kurutmada kullanılan sıcaklığa göre belirli zaman aralıklarında (genellikle saatte bir) askorbik asit,  $\beta$ -karoten, likopen ve renk analizlerinde kullanılmak üzere yeterli miktarda örnek alınmıştır. Kurutma işlemi, domateslerde su oranı yaklaşık %10'a



ulaşılınca tamamlanmıştır. Kurutma, tüm sıcaklıklar için 0,2m/s sabit hava hızında ve %20 sabit bağıl nem ortamlarında gerçekleştirilmiştir.

Kurutulacak domatesler uzun eksenleri boyunca keskin bir bıçakla dörde bölünmüş, darası alınmış taşıyıcı elek ızgaralar üzerine 200-250 g arasında olacak şekilde tartılarak tek sıra tabaka oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Üzerlerinde domates örnekleri bulunan bu ızgaralar kabin içine her defasında aynı raflar olacak şekilde konulmuştur. Kabin kurutma denemelerine başlamadan yaklaşık 1 saat öncesinde kurutma sistemi çalıştırılmış ve sistemin rejime gelmesi sağlandıktan sonra örnekler kabine yerleştirilmiştir.

Araştırma yukarıda bahsedilen çalışma düzeninde 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.2. Renk değişimlerinin incelenmesi**

Kurutma işleminin domates numunelerinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmada; kurutma süresince önceden belirlenen zaman aralıklarında numunelerin renk değerleri, renk ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. 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.

### **3.2.3. Likopen ve $\beta$ -karotenin HPLC ile belirlenmesi**

Taze ve kurutulmuş domates numunelerinde likopen ve  $\beta$ -karoten miktarları, HPLC yöntemiyle 2 aşamadan (ekstraksiyon ile tanımlama ve hesaplama) oluşan bir uygulama sonunda belirlenmiş olup, bu aşamalar aşağıda açıklanmıştır.

#### **3.2.3.1. Ekstraksiyon**

Karotenoidlerin analizi ile ilgili kaynaklarda standart bir ekstraksiyon metodu bulunmadığından bu çalışmada, Lin vd (2005) ile Giovanelli vd (2002) tarafından önerilen metotlardan yararlanılarak yeni bir metot oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, taze ve kuru domates 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.

### 3.2.3.2. Tanımlama ve hesaplama

Likopen ve β-karotenin tanımlanması ve miktarının hesaplanmasında “yüksek performanslı sıvı kromatografisi” cihazından yararlanılmıştır. HPLC cihazı; 4’lü pompa (quaternary pump), UV dedektör, gaz giderici (degasser) ve kolon fırınından oluşmaktadır. Elde edilen kromatogramlar “Shimadzu LC solution” yazılım programı ile değerlendirilmiştir.

### 3.2.3.3. Kromatografi koşulları

- **Kolon:** C-18 kolonu (250 x 4,6mm ID, 5µm) (ACE, Aberdeen, İskoçya)
- **Akış hızı:** 0.45 mL/dak.
- **Elüsyon süresi:** 20 dak.
- **Enjeksiyon hacmi:** 20µL
- **Dalga boyu:** 445 nm ve 470 nm
- **Hareketli faz (Mobile phase):** %40 Asetonitril, %20 Metanol, %20 Diklormetan, %20 Hekzan
- **Kolon fırın sıcaklığı:** 25°C

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

### 3.2.4. Askorbik asit (C Vitamini) değişimlerinin belirlenmesi

#### 3.2.4.1. Ekstraksiyon

Giovanelli vd (2002) tarafından önerilen ekstraksiyon yöntemi bazı değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. Bu amaçla, taze ve kuru domates örnekleri, 1:10

(ağırlık/hacim) oranında olacak şekilde %1'lik metafosforik asit içeren suyla karıştırılıp, blender kullanılarak pulp haline getirilmiştir. Domatesler yüksek düzeyde pektin metilesteraz aktivitesi içermekte ve bu nedenle de pulpun kısa bir süre beklemesi durumunda serum ayrılmakta ve homojenite bozulmaktadır. Bu nedenle, elde edilen pulp süratle polipropilenden yapılmış santrifüj tüplerine aktarılmıştır. Tüpler, 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 supernatantlar pasteur pipeti ile amber şişelere aktarılmıştır. Amber şişelerde toplanan supernatantlar HPLC cihazına enjekte edilmeden önce 0,45µm'lik membran filtreden geçirilmiştir.

#### 3.2.4.2. Tanımlama ve hesaplama

Askorbik asidin (C vitamini) tanımlanması ve miktarının hesaplanmasında özellikleri 3.2.3.2.'de verilen HPLC cihazı kullanılmıştır. Elde edilen kromatogramlar "Shimadzu LC solution" yazılım programı ile değerlendirilmiştir.

#### 3.2.4.3. Kromatografi koşulları

- **Kolon:** C-18 kolonu (250 x 4,6mm ID, 5µm) (ACE, Aberdeen, İskoçya)
- **Akış hızı:** 0,5 mL/dak.
- **Elüsyon süresi:** 25 dak.
- **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.

### 3.3. Hesaplamalar

#### 3.3.1. Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar

##### 3.3.1.1. Nem içeriğinin hesaplanması

Domates numunelerinin kabin tipi kurutucuda kurutulması sırasında, nem içeriği değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$M_t = (m - KM) / KM \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de;

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

$m$ : Numunenin ağırlığı (g)

$KM$ : Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g)

olarak tanımlanmıştır.

##### 3.3.1.2. Kuruma hızının hesaplanması

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

$$\text{Kuruma Hızı} = (M_{t+dt} - M_t) / dt \quad (\text{g su / g kuru madde. dak}) \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de;

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

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

$dt$ : Kuruma zamanı (dakika)

olarak tanımlanmıştır.

##### 3.3.1.3. Nem oranının hesaplanması

Nem oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$MR = (M_t - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (3.3)$$

Burada;

**MR:** Nem oranı (birimsiz)

**M<sub>t</sub>:** Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

**M<sub>e</sub>:** Denge anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

**M<sub>0</sub>:** Başlangıçtaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

olarak tanımlanmıştır.

Gıdaların sıcak hava ile kurutulması işleminde; M<sub>e</sub> değeri M<sub>t</sub> ve M<sub>0</sub> ile kıyaslandığında çok küçük olduğu saptanabilir. Bu nedenle hesaplamalarda M<sub>e</sub> değerinin sıfır alınabileceği belirtilmektedir (Maskan 2001a). MR değerleri hesaplanırken, M<sub>e</sub> değeri sıfır alınarak işlemler yapılmıştır.

### 3.3.2. Renk değişiminin incelenmesi için yapılan hesaplamalar

Domates numunelerinin sıcak hava ile kabin tipi kurutucuda kurutulması sırasında meydana gelen renk değişiminin incelenmesinde renk ölçüm cihazı ile belirlenen L, a, b değerleri kullanılarak reaksiyon dereceleri belirlenmiştir.

## 3.4. Modelleme Çalışmaları

### 3.4.1. Kuruma kinetiğine ait modelleme çalışmaları

#### 3.4.1.1. Page model

Gıdaların kuruma kinetiğinin açıklanması sırasında en çok kullanılan modellerden olan Page modeli Denklem 3.4'de sunulmuştur (Sarsavadia vd 1999).

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'de

k: Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

n: Page modele ait katsayı

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.4.1.2. Henderson ve Pabis model

Henderson ve Pabis modeli Denklem 3.5’de sunulmuştur (Bengston vd 1998).

$$\mathbf{MR = a \exp (-kt)} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de

a: Katsayı (birimsiz)

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

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.4.1.3. Lewis model

Lewis modeli Denklem 3.6’da sunulmuştur (Dadalı 2007).

$$\mathbf{MR = \exp (-kt)} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6’da

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

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.4.1.4. Logaritmik model

Logaritmik model Denklem 3.7’de sunulmuştur (Ertekin ve Yıldız 2001).

$$\mathbf{MR= a \exp (-kt) + b} \quad (3.7)$$

Denklem 3.11’de

a: Katsayı (birimsiz)

b: Katsayı (birimsiz)

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

t: Kuruma zamanı (dak.)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.4.1.5. Modifiye Page model

Modifiye Page model Denklem 3.8'de sunulmuştur (Yaldız vd 2000).

$$MR = \exp [(-kt)^n] \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'de

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

t: Kuruma zamanı (dak.)

n: Modele ait katsayı

olarak tanımlanmıştır.

### 3.4.2. Likopen, $\beta$ -karoten, askorbik asit ve renk değişimlerinin incelenmesi için yapılan modelleme çalışmaları

#### 3.4.2.1. Sıfırıncı dereceden kinetik model

Sıfırıncı dereceden kinetik model Denklem 3.9'da sunulmuştur.

$$C = C_0 \pm kt \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'da;

C: Herhangi bir t anındaki likopen,  $\beta$ -karoten, askorbik asit veya renk parametresi değeri

$C_0$ : t=0 anındaki likopen,  $\beta$ -karoten, askorbik asit veya renk parametresi değeri

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

t: Kuruma zamanı (saat)

olarak tanımlanmıştır.

#### 3.4.2.2. Birinci dereceden kinetik model

Birinci dereceden kinetik model Denklem 3.10'da sunulmuştur.

$$C = C_0 \exp(\pm kt) \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'da;

C: Herhangi bir t anındaki likopen,  $\beta$ -karoten, askorbik asit veya renk parametresi değeri

$C_0$ : t=0 anındaki likopen,  $\beta$ -karoten, askorbik asit veya renk parametresi değeri

k: Kinetik sabit (saat<sup>-1</sup>)  
 t: Kuruma zamanı (saat)  
 olarak tanımlanmıştır.

Denklem 3.9 ve 3.10'da belirtilen (+) ve (-) bozunma ve oluşma reaksiyonlarını temsil etmektedir (Maskan vd 2002).

### 3.4.3. Aktivasyon enerjisinin (E<sub>a</sub>) hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklık derecesine bağımlılık düzeyi, hem Q<sub>10</sub> ve hem de aktivasyon enerjisinin (E<sub>a</sub>) hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Reaksiyon hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tarafından 1889'da tanımlanmış olup, bugün de geçerliliğini koruyan bu ifade Eşitlik 3.11'de verilmiştir.

$$k = k_0 \exp^{-E_a/RT} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'de;

k : Kinetik sabit (saat<sup>-1</sup>)

k<sub>0</sub>: Arrhenius sabiti veya frekans faktörü

E<sub>a</sub>: Aktivasyon enerjisi (kJ mol<sup>-1</sup>)

R: Gaz sabiti (8.314 x 10<sup>-3</sup> kJ mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

T: Sıcaklık (K)

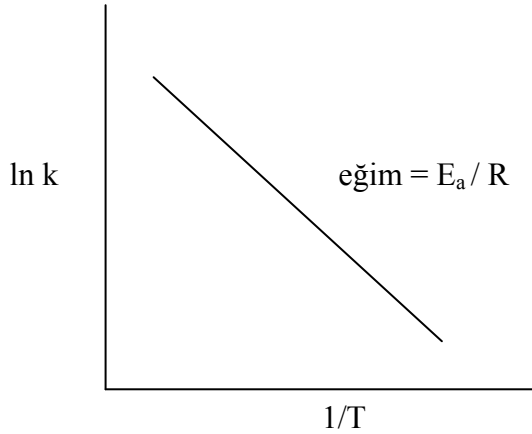
Denklem 3.11 ile verilen Arrhenius bağıntısının logaritması alınarak,

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (3.12)$$

denklem 3.12 elde edilir. Bu eşitlikten yararlanılarak aktivasyon enerjisi hesaplanır. 1/T – ln k grafiği çizilerek (Şekil 3.4) elde edilen doğrunun eğiminden E<sub>a</sub> denklem 3.13 kullanılarak hesaplanır.

$$E_a = - (\text{eğim})R \quad (3.13)$$





**Şekil 3.4.** Arrhenius grafiği

#### 3.4.4. Yarı ömür süresinin ( $t_{1/2}$ ) hesaplanması

Yarı ömür süresi, askorbik asit, likopen ve  $\beta$ -karotenin %50'sinin kaybı için gerekli süre olup, denklem 3.14'de sunulmuştur.

$$t_{1/2} = - \ln (0,5) \times k^{-1} \quad (3.14)$$

#### 3.4.5. $Q_{10}$ değerinin hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklığa bağımlılığını gösteren diğer bir kinetik katsayı olan  $Q_{10}$  değeri, sıcaklığın  $10^{\circ}\text{C}$  yükseltilmesinin reaksiyon hızına etkisini gösteren bir kriter olup, denklem 3.15'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{10} = (k_2 / k_1)^{10 / (T_2 - T_1)} \quad (3.15)$$

$k_1$ :  $T_1$  sıcaklığındaki kinetik sabit (saat<sup>-1</sup>)

$k_2$ :  $T_2$  sıcaklığındaki kinetik sabit (saat<sup>-1</sup>)

$T_1$ : Sıcaklık (K)

$T_2$ : Sıcaklık (K)

### 3.4.6. Regresyon Analizleri

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

RMSE ve  $\chi^2$  değerleri eşitlik 3.16 ve eşitlik 3.17 ifadeleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tah\ min\ i,\ i} - MR_{deneysel,\ i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.16)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,\ i} - MR_{tah\ min\ i,\ i})^2}{N - n} \quad (3.17)$$

N: Deneysel veri sayısı

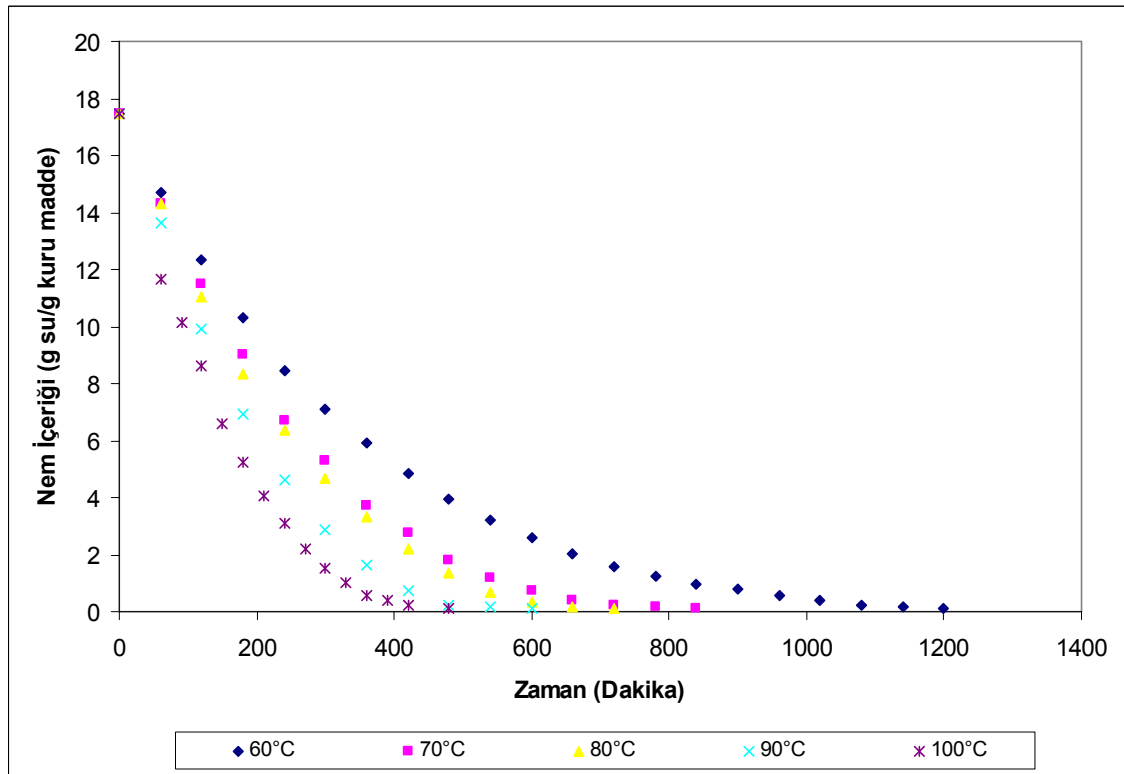
n: Kullanılan modeldeki katsayı sayısı

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

##### 4.1. Kurutma Ortam Sıcaklıklarının Domates Numunesinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi

###### 4.1.1. Nem içeriği değişimi

Bu çalışmada kullanılan domates numunelerinin başlangıç ortalama nem içeriği  $M_0 = 17,49$  g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Beş farklı kurutma sıcaklığında (60, 70, 80, 90 ve 100°C), ve %20 bağıl nemde kurutulan domates numunelerinin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler Ek 1’de, Çizelge E1.1-1.5’te sırası ile verilmiş ve Şekil 4.1’de grafiksel olarak sunulmuştur.

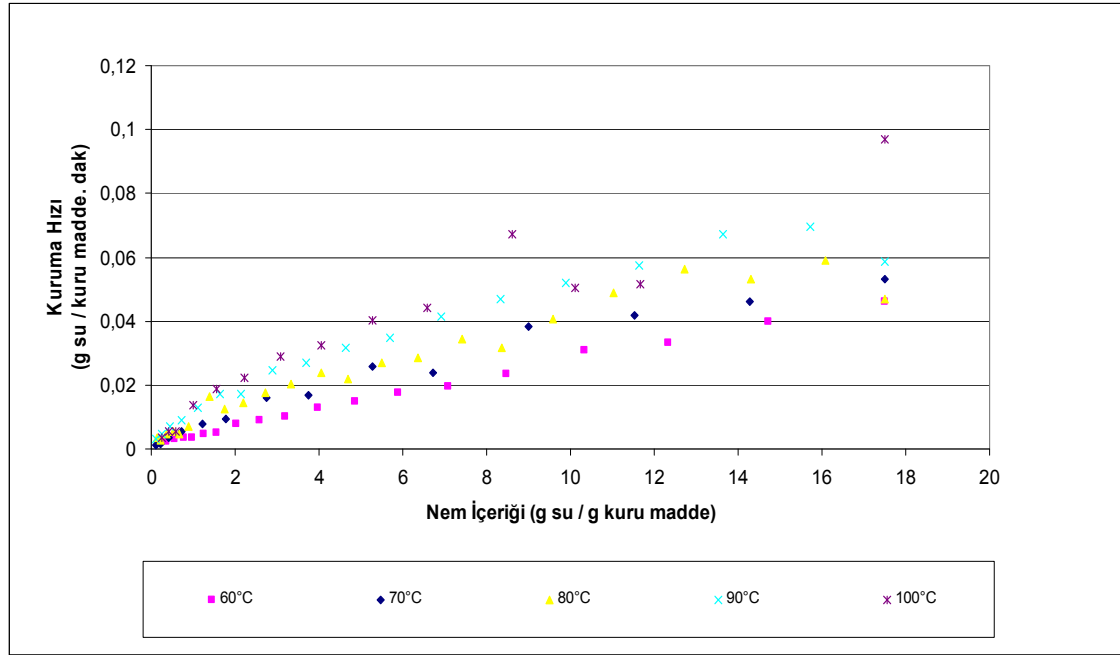


Şekil 4.1. Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

Şekil 4.1.’den de görüleceği üzere kurutmada kullanılan sıcaklık değerlerinin artması ile kuruma sürelerinde önemli azalmalar saptanmıştır. Nitekim, 100°C sıcaklık derecesi için domates numunesinin nem içeriğinin 17,49’dan 0,1 g su. g kuru madde<sup>-1</sup> değerine düşmesi 480 dakika sürerken, 60°C sıcaklık ortamında işlem 1200 dakikada tamamlanmıştır.

#### 4.1.2. Kuruma hızı değişimi

60, 70, 80, 90 ve 100°C sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunelerinin kuruma hızları, bu ortamlarda zamana bağlı olarak belirlenmiş olan nem oranlarının kullanımı ile Denklem 3.2'den hesaplanmıştır. Her bir sıcaklık için elde edilen kuruma hız değerleri, örneğin nem içeriğine bağlı olarak Şekil 4.2'de grafiksel olarak sunulmuştur.



**Şekil 4.2.**Farklı sıcaklık değerlerinde ve %20 bağıl nemde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

Şekil 4.2. incelendiğinde, domates numunelerinin kurutulması sırasında kısa bir ısınma süresinin ardından; sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin yüksek olduğu başlangıç evresinde, kurutma sıcaklıklarına göre kuruma hızları birbirlerinden oldukça farklı olmasına rağmen, nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak kurutma hızları arasındaki farklar da azalmış ve 2 g su/g kuru madde değerinden daha düşük nem içeriği değerlerinde farklar sifira yaklaşmıştır.

Bilindiği üzere gıda maddelerinde bulunan su içeriğinin fazla olduğu durumlarda kurutma işleminde suyun uzaklaştırılabilmesi oldukça kolaydır. Bu dönemde ortam sıcaklığının yüksek olması kuruma hızının da aynı oranda yüksek olmasına neden olurken, su içeriğinin azalması ile birlikte suyun gıda maddesinden uzaklaştırılması da zorlaşmakla birlikte tek başına ortam sıcaklığının yüksekliği, kuruma hızının

artırılmasına ciddi bir katkı sağlamamaktadır. Su içeriğinin azaldığı kurumanın son evrelerinde, kurutma işleminde kullanılan havanın, sıcaklığın artırılması kadar bağıl neminin de düşürülmesi kuruma hızının artmasına önemli katkı sağlayacaktır.

Domateslerin beş farklı sıcaklığa sahip kurutma ortamında kurutulması işleminde kuruma hızlarının ortam sıcaklığına ve nem içeriğine bağlı olarak değişimini gösteren Şekil 4.2 yukarıda açıklanan durumu destekler mahiyettedir. Meyve ve sebzelerde başlangıç nem değerlerinin yüksek olmasından dolayı kuruma sırasında sabit hızda kuruma periyodunun yer alması beklenmektedir. Fakat yapılan birçok araştırmada, meyve ve sebzelerin kurumasında yalnızca azalan hızda kuruma periyodunun varlığı saptanmıştır. Pabis (1999), bunun nedeninin, kuruma sırasında numunelerin büzülmesi nedeniyle kuruyan numunenin boyutlarının değişmesi sonucu numunenin kuruma yüzey alanının küçülmesine bağlı olarak, numuneden birim zamanda daha az nemin buharlaşması olduğunu ifade etmektedir.

#### **4.1.3. Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları**

Tepsili kurutma fırınında kurutulan domates numunelerinin beş farklı sıcaklık ortamında 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 4.1’de sunulmuştur. Elde edilen verilerden; yüksek  $R^2$  ve düşük RMSE (Root Mean Square Error) değerleri ile Page model ve Modifiye Page modelin domates numunesinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller olduğu saptanmıştır. Modifiye Page model için  $60^\circ\text{C}$ ’de yapılan işlem sonunda RMSE değeri 0,01391,  $R^2$  değeri ise 0,9939 olarak bulunurken,  $100^\circ\text{C}$ ’deki işlem sonunda ise RMSE değeri 0,034371 ve  $R^2$  değeri 0,9799 olarak belirlenmiştir. Kurumanın gerçekleştirildiği her bir sıcaklık değerinde nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan Modifiye Page modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 4.3a,b,c,d,e,f’de matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde; Modifiye Page modele ait kinetik sabitin (k) değerinin kurutma sıcaklığı arttıkça  $0,00315 \text{ dak}^{-1}$  değerinden  $0,00630 \text{ dak}^{-1}$  değerine arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum sıcaklığın yükseltilmesiyle kurumanın daha kısa sürede

gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer yandan, Modifiye Page modele ait diğer bir sabit olan  $n$  değeri 1,1258-1,4125 değerleri arasında değişmiş ve sıcaklık değerlerinden etkilenmediği saptanmıştır. Elde edilen veriler neticesinde; Modifiye Page modele ait  $n$  sabitinin domates numunesinin kabin tipi kurutucuda sıcak hava ile kurutulması sırasında sabit kabul edilebileceği yargısına varılmış ve her bir sıcaklık değerinde elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak  $n$  sabiti 1,3064 olarak hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda uygun olarak belirlenen model, literatürdeki bilgilerle karşılaştırıldığında benzerlik göstermektedir. Örneğin, Doymaz (2007a), domateslerin sıcak hava ile kurutulması sırasındaki karakteristiklerini belirlemeye yönelik yaptığı çalışmada Page modelinin kuruma kinetiğini açıklayan en uygun model olduğunu belirlemiştir. Bir başka çalışmada Chawla vd (2006) tarafından domates pulpu farklı kurutma yöntemleriyle (kabin tipi kurutucu, tepsili kurutucu, akışkan yatak kurutucu ve dondurarak kurutma) kurutulmuş ve tüm yöntemler için kurutma kinetiğini en iyi açıklayan model olarak Page model belirtilmiştir. Yapılan bir başka çalışmada ise (Vega-Galvez vd 2008) elmaların (Granny Smith) kurutulması yapılmış ve kurutma kinetiğini en iyi açıklayan model olarak Modifiye Page model belirlenmiştir.

#### **4.2. Farklı Sıcaklık Değerlerinde Yapılan Kurutma İşleminin Domates numunesinin renk değişimi üzerindeki etkisi**

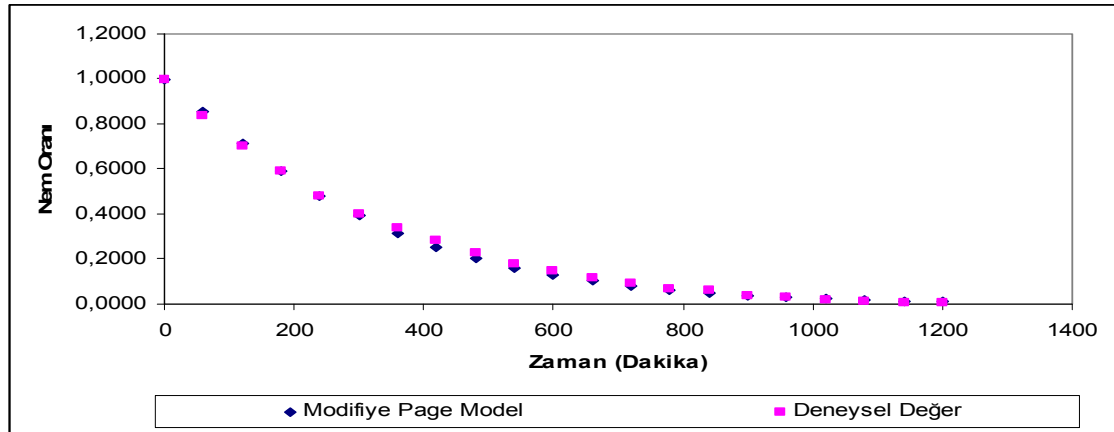
Tepsili kurutma kabini kullanılarak yapılan domates kurutma işleminde zamana bağlı olarak renk değişimleri belirlenmiştir. Elde edilen  $L$ ,  $a$ ,  $b$  ve  $a/b$  deneysel değerleri Ek 2, Çizelge E2.1-2.5 de sırası ile sunulmuş ve modellenmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda  $a$  değerinin sıfırcı dereceden kinetik modele,  $L$ ,  $b$  ve  $a/b$  değerlerinin birinci dereceden kinetik modele uygunluk gösterdiği görülmüştür. Farklı sıcaklık değerleri için elde edilen  $L$ ,  $a$ ,  $b$  ve  $a/b$  değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.4-4.7’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 4.3-4.6’da sırası ile verilmiştir.

Çalışma sonunda elde edilen veriler literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada, (Barreiro vd 1997) domates salçasında ısıl işlem sırasındaki renk değişim kinetiğini incelemişler ve  $L$ ,  $a$ ,  $b$  ve  $a/b$  değerlerinin değişiminin birinci dereceden kinetik modele uyduğunu belirlemiştir. Bir başka çalışmada ise (Avila ve Silva 1999) şeftali pulpunun ısıl işlem uygulanması

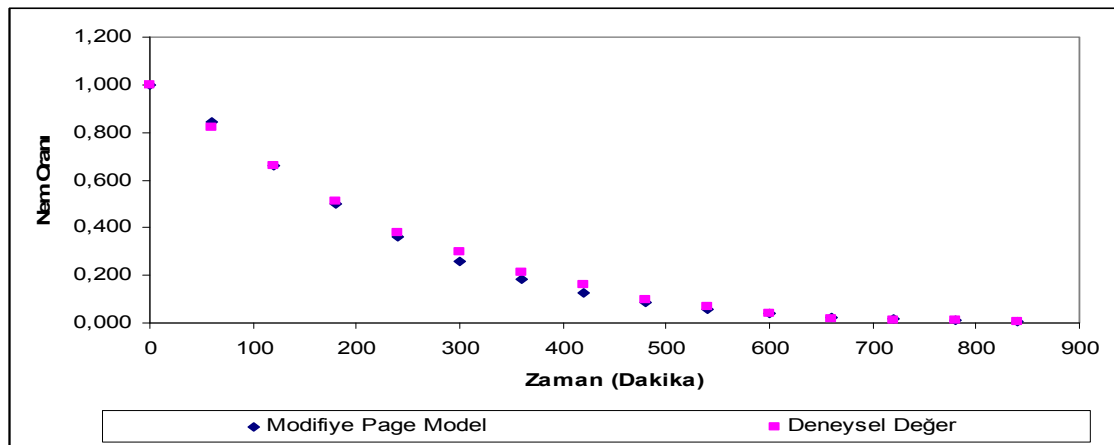
esnasında renk değerlerinin değişim kinetiğini incelemişlerdir. Çalışma sonunda L ve b değerlerinin birinci dereceden kinetik modele uyduğunu, a değerinin değişiminin ise sıfıncı dereceden kinetik modele uyduğunu belirlemişlerdir.

**Çizelge 4.1.** Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler

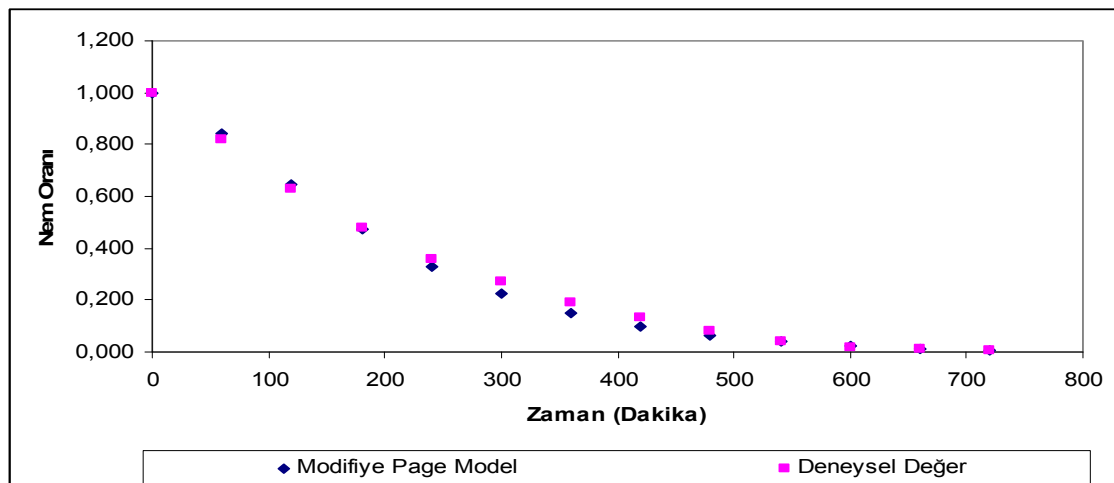
MODELLER	SICAKLIK DEĞERLERİ (°C)	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$
PAGE MODEL	60	0,9939	0,014265	0,000163
	70	0,9944	0,018306	0,345812
	80	0,9850	0,02288	0,000619
	90	0,9888	0,023035	0,000545
	100	0,9799	0,034371	0,000907
HENDERSON VE PABİS MODEL	60	0,9743	0,110182	0,008441
	70	0,9772	0,219583	0,025765
	80	0,9585	0,281397	0,007968
	90	0,9529	0,293676	1,435973
	100	0,9628	0,26846	0,044671
LEWIS MODEL	60	0,9635	0,043874	0,001924
	70	0,9582	0,08628	0,005627
	80	0,9322	0,100693	0,008173
	90	0,9213	0,08894	0,012555
	100	0,9429	0,075791	0,007169
LOGARİTMİK MODEL	60	0,9499	0,109446	0,012717
	70	0,9651	0,229868	0,032484
	80	0,9469	0,193446	0,006698
	90	0,9175	0,212155	0,123535
	100	0,9501	0,422677	0,090185
MODİFİYE PAGE MODEL	60	0,9939	0,01391	0,000175
	70	0,9944	0,017975	0,000232
	80	0,9850	0,022494	0,000622
	90	0,9888	0,023076	0,000059
	100	0,9799	0,034371	0,000932



Şekil 4.3a. 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

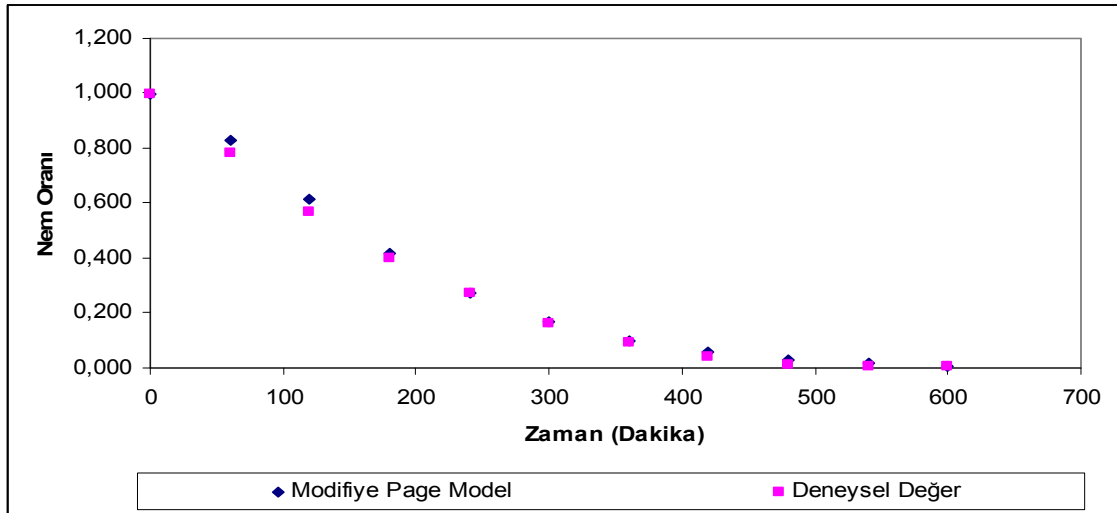


Şekil 4.3b. 70°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

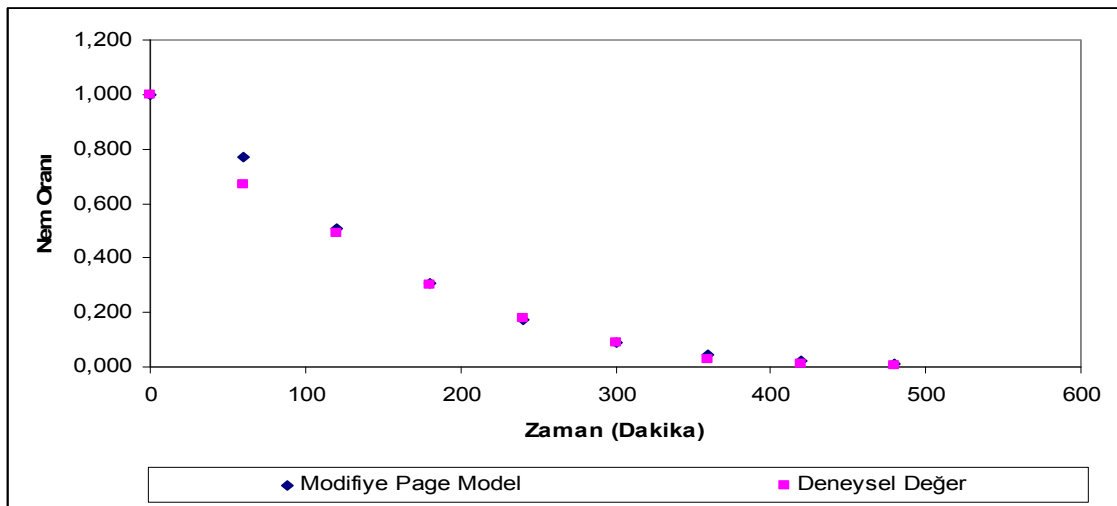


Şekil 4.3c. 80°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

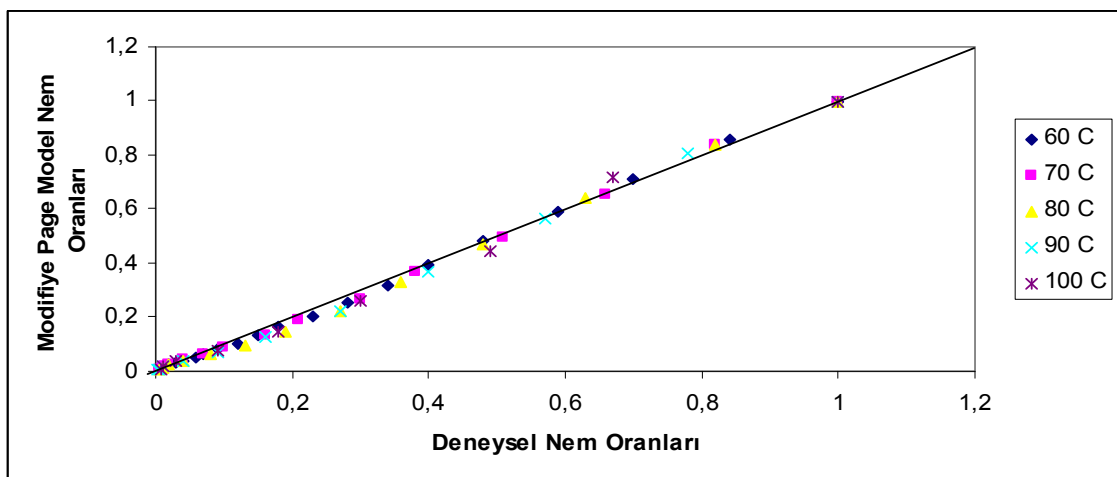




Şekil 4.3d. 90°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



Şekil 4.3e. 100°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



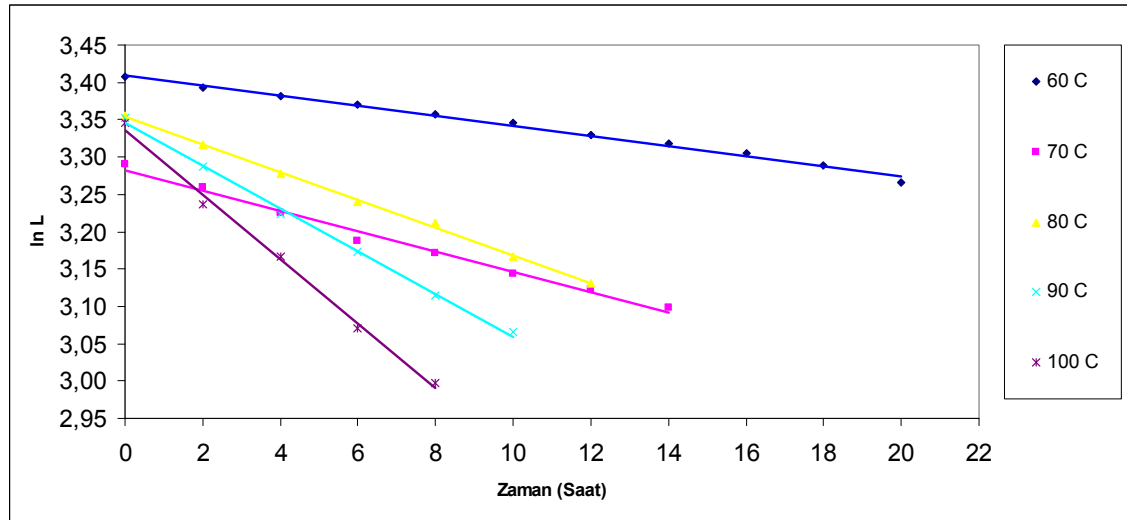
Şekil 4.3f. Tüm kurutma sıcaklıklarına ait deneysel nem oranları ile Modifiye Page model nem oranlarının karşılaştırılması

**Çizelge 4.2.** Modifiye Page modele ait katsayı ve sabitler ile istatistik veriler

Sıcaklık Değerleri (°C)	k (dak <sup>-1</sup> )	n	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$
60	0,00315	1,1138	0,9939	0,01391	0,000175
70	0,00417	1,2547	0,9944	0,017975	0,000232
80	0,00450	1,3345	0,9850	0,022494	0,000622
90	0,00557	1,4	0,9888	0,023076	0,000059
100	0,00703	1,2741	0,9799	0,034371	0,000932

#### 4.2.1. “L değeri” değişimi

Farklı ortam sıcaklıklarında kuruma zamanına göre domates örneklerinin L değerlerindeki değişim Şekil 4.4’te zaman-lnL grafiğinde gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere L değerinin zamana göre değişimi birinci dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir. L değerinin zamana göre değişimini temsil eden birinci dereceden kinetik model için hesaplanmış olan reaksiyon hız sabiti (k), korelasyon katsayısı ve standart sapma değerleri Çizelge 4.3’te verilmiştir.



**Şekil 4.4.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

Şekil 4.4’te görüleceği üzere L değerinde zamana bağlı olarak belirgin bir azalma söz konusudur. Diğer taraftan L değerindeki bu azalmalar kurutma ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha da artmıştır. Bu durum domateslerin renginin kurutma süresince zamana bağlı olarak giderek koyulaştığının, karardığının, yüksek sıcaklıklarda bu olayın daha da hızlı gerçekleştiğinin bir göstergesidir.

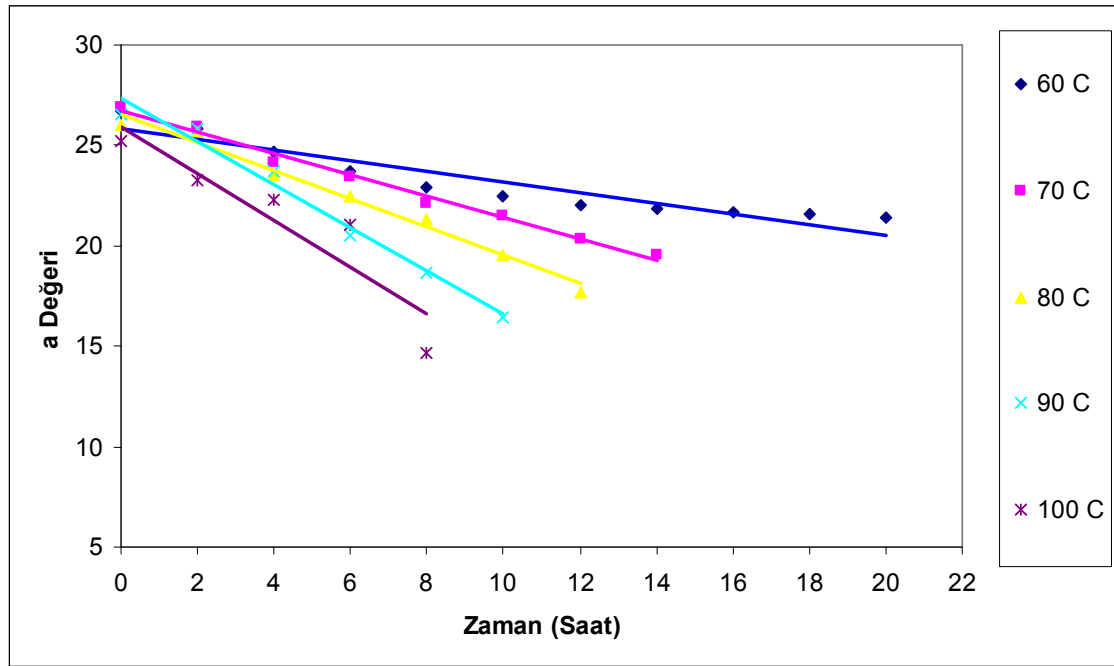
Nitekim 60°C’de 20 saat süre ile gerçekleştirilen kurutma sonucunda L değeri 26,2 değerine ulaşmış olmasına rağmen, 100°C’de yaklaşık 8 saatlik kurutma süreci sonunda L değeri 20,02’ye ulaşmıştır. Çizelge 4.3’te verilen reaksiyon hız sabitleri de incelendiğinde 100°C’de renk kaybının 60°C’ye göre 6,44 kat daha hızlı gerçekleştiği görülebilecektir. Sıcaklığa bağlı olarak renk değişiminde ortaya çıkan bu sonuç genel literatür verileri ile de uyumludur. Gıda maddelerinin yüksek sıcaklıklardaki ısı işlem etkisine hassas olduğu, kalite kayıplarının sıcaklık artışına paralel olarak arttığı, gıdanın karakteristik rengini veren pigmentlerin ısı işlemlerden fazlaca etkilenecek önemli seviyelerde kayba uğradığı birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir (Kerkhofs vd 2005). Bu konuda yapılan bir çalışmada (Kerkhofs vd 2005) Aranka, Encore ve Flavourine türü domatesleri 42°C’de kurutmuşlar ve L değerlerinin kurutulmuş domateslerde başlangıç değerine göre önemli oranda azaldığını belirlemişlerdir.

**Çizelge 4.3.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler

Sıcaklık Değerleri (°C)	k (saat <sup>-1</sup> )	C <sub>0</sub> (birimsiz)	R <sup>2</sup>	δ
60	0,0067	22,92	0,9929	0,3380
70	0,0137	18,29	0,9893	0,5125
80	0,0186	18,31	0,9981	0,4657
90	0,0287	16,10	0,9972	0,5483
100	0,0432	14,17	0,9951	0,5340

#### 4.2.2. “a değeri” değişimi

Farklı sıcaklık değerlerinde kuruma zamanına göre domates örneklerinin a değerlerindeki değişim Şekil 4.5’te Zaman – a değeri grafiğinde gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi a değerinin zamana göre değişimi sıfırncı dereceden kinetik modele uygunluk göstermektedir. a değerinin zamana göre değişimini temsil eden sıfırncı dereceden kinetik model için hesaplanmış olan reaksiyon hız sabiti (k), korelasyon katsayısı ve standart sapma değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.



**Şekil 4.5.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

a değerinde de L değerinde olduğu gibi zamana bağlı olarak belirgin bir azalma Şekil 4.5'te görülmektedir. Bu azalmalar kurutma ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha da artmıştır. Bu durum domateslerin kırmızı renginin kurutma süresince zamana bağlı olarak giderek koyulaştığının, kahverengi bir renk aldığıının, yüksek sıcaklıklarda bu olayın daha da hızlı gerçekleştiğinin bir göstergesidir.

60°C'de kurutma işlemi yapılırken a değeri kurutma sonunda 21,43 değerine ulaşmış olmasına rağmen, 100°C'de işlem yapıldığında ise son olarak 14,65 değerine düşmüştür. Çizelge 4.4'te verilen reaksiyon hız sabitleri de incelendiğinde 100°C'de a değerindeki düşüşün 60°C'ye göre 4,45 kat daha hızlı gerçekleştiği görülebilecektir. Sıcaklığa bağlı olarak a değerinin değişiminde ortaya çıkan bu sonuç genel literatür verileri ile de uyumludur. Nitekim (Kerkhofs vd 2005) Aranka, Encore ve Flavourine türü domatesleri 42°C'de kurutmuşlar ve a değerlerinin kurutulmuş domateslerde başlangıç değerine göre azaldığını belirlemişlerdir.

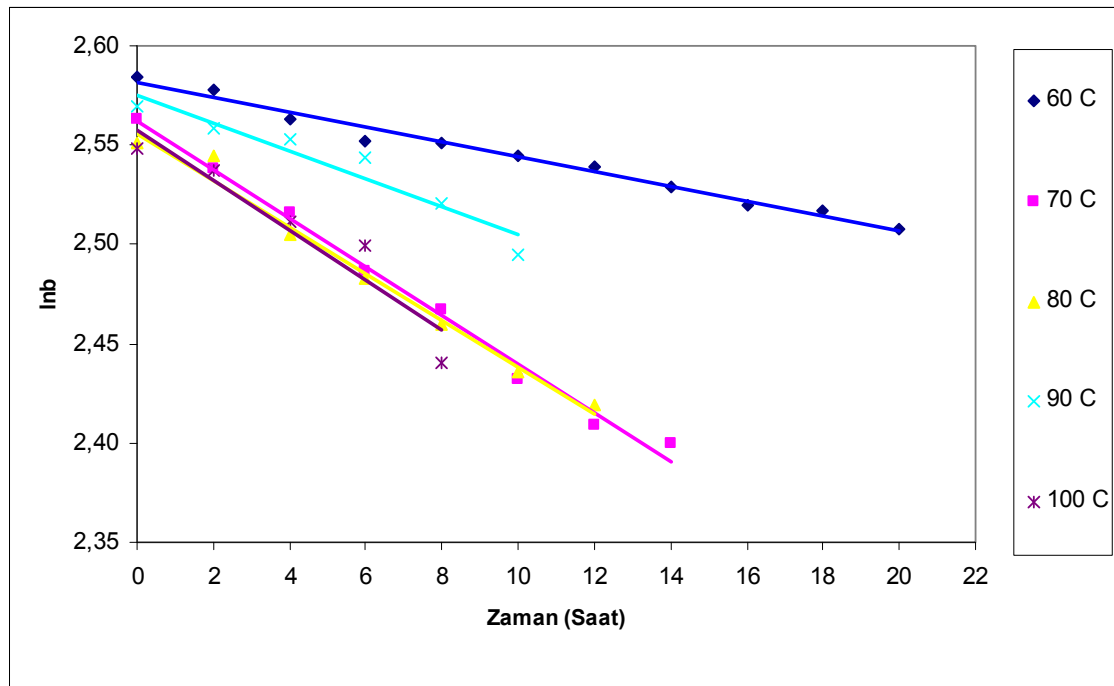
#### 4.2.3. “b değeri” değişimi

Farklı sıcaklık değerleri için elde edilen b değerlerinin kuruma zamanına göre domates örneklerindeki değişimi Şekil 4.6'da zaman – ln b grafiğinde gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi b değerinin zamana göre değişimi birinci dereceden

kinetik modele uygunluk göstermektedir.  $b$  değerinin zamana göre değişimini temsil eden birinci dereceden kinetik model için hesaplanmış olan reaksiyon hız sabiti ( $k$ ), korelasyon katsayısı ve standart sapma değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait  $a$  değeri için sıfırıncı dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler

Sıcaklık Değerleri (°C)	$k$ (saat <sup>-1</sup> )	$C_0$ (birimsiz)	$R^2$	$\delta$
60	0,2618	16,1940	0,8834	0,4316
70	0,5286	12,1396	0,9882	0,5837
80	0,7046	9,2248	0,9849	0,6142
90	1,0730	5,7000	0,9783	0,7600
100	1,1665	5,3180	0,8456	0,6300



**Şekil 4.6.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait  $b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

$L$  ve  $a$  değerlerinde olduğu gibi zamana bağlı olarak  $b$  değerinde de belirgin bir azalma söz konusudur. Şekil 4.6'da  $b$  değerindeki azalmalar görülmektedir. Bu azalmalar kurutma ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha da artmıştır. Domates ve domates ürünleri için  $b$  değeri tek başına önemli bir renk kriteri değildir. Fakat

literatürdeki çalışmalarda b değerinden de söz edildiği için bu çalışmada da b değeri için bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir.

60°C’de yapılan kurutma işleminde kurutma sonunda b değeri 12,28’e değerine, 100°C’de ise 11,48’e düşmüştür. Çizelge 4.5’te verilen reaksiyon hız sabitleri de incelendiğinde 100°C’de b değerindeki düşüşün 60°C’ye göre 3,40 kat daha hızlı gerçekleştiği görülebilecektir. Bu durum, yüksek sıcaklık neticesinde karoten pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Palou 1999, Dadalı 2007).

**Çizelge 4.5.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler

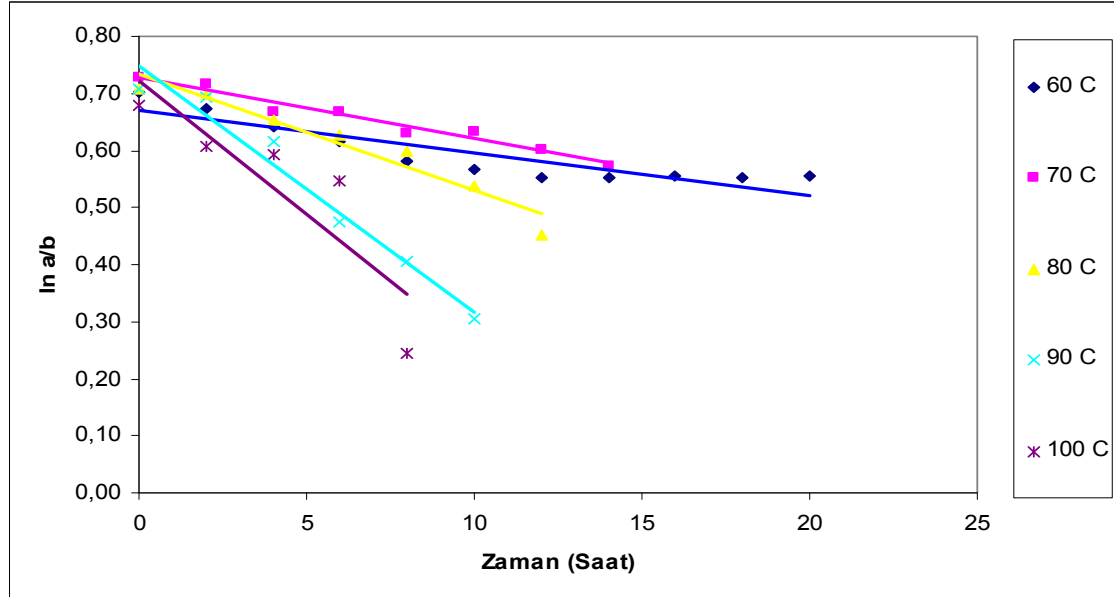
Sıcaklık Değerleri (°C)	k (saat <sup>-1</sup> )	C <sub>0</sub> (birimsiz)	R <sup>2</sup>	δ
60	0,0037	11,41	0,9822	0,2345
70	0,0071	9,98	0,9919	0,4487
80	0,0118	9,75	0,9851	0,3757
90	0,0123	10,72	0,9233	0,5733
100	0,0126	10,37	0,8992	0,6280

#### 4.2.4. a/b değeri

Domates ürünlerinde, özellikle salçada a/b değeri önemli bir kalite parametresi olarak kabul edilmektedir. a/b kırmızılık değeri olarak da tanımlanmaktadır. TS 1466 Domates Salçası standardında da a/b değerinin en az 1,80 olması gerektiği belirtilmektedir. Domatesin kurutulmasıyla ilgili yapılan bazı çalışmalarda da a/b değeri hakkında bilgi verilmiştir. Örneğin yapılan bir çalışmada (Olorunda vd 1990) kurutma sıcaklığının ve kuruma süresinin artmasıyla kırmızılıkta (a/b değeri) azalma meydana geldiği bunun yanında esmerleşmenin ise arttığı belirtilmiştir.

Farklı sıcaklık değerleri için elde edilen a/b’nin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 4.7’te matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler de Çizelge 4.6’da verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde, a/b oranının kuruma zamanı boyunca düştüğü gözlenmiştir. a/b oranı 60°C’de kurutma işlemi yapılırken 2,017 değerinden 1,745 değerine, 100°C’de işlem yapıldığında ise 1,973 değerinden 1,276 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik modele ait hız sabiti ( $k$ ); sıcaklık değeri  $60^{\circ}\text{C}$  değerinden  $100^{\circ}\text{C}$  değerine arttırıldığında,  $0,0074$   $\text{saat}^{-1}$  değerinden  $0,0467$   $\text{saat}^{-1}$  değerine artma göstermiştir.



**Şekil 4.7.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait  $a/b$  değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

**Çizelge 4.6.** Farklı sıcaklık değerlerinde domates numunesine ait  $a/b$  değeri için birinci dereceden kinetik model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler

Sıcaklık Değerleri ( $^{\circ}\text{C}$ )	$k$ ( $\text{saat}^{-1}$ )	$C_0$ (birimsiz)	$R^2$
60	0,0074	1,504	0,8118
70	0,0107	1,526	0,9591
80	0,0205	1,230	0,9386
90	0,0431	0,881	0,9667
100	0,0467	0,878	0,7612

#### 4.2.5. Renk değerlerine ait kinetik parametreler

Bu çalışma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domateslerde,  $L$ ,  $a$ ,  $b$  ve  $a/b$  renk değerlerine ait aktivasyon enerji değerleri ile  $Q_{10}$  değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.  $Q_{10}$  değeri, bir reaksiyonda sıcaklığın  $10^{\circ}\text{C}$  artması halinde reaksiyon hızının kaç kat arttığını gösterir. Kısaca  $Q_{10}$  değeri, bir reaksiyonun sıcaklık düzeyinden ne oranda etkilendiğini göstermektedir.  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde, sıcaklığın  $60^{\circ}\text{C}$ ’den  $70^{\circ}\text{C}$ ’ye

arttırılmasının L, a ve b değerleri üzerindeki etkisinin diğer sıcaklık artışlarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Fakat a/b değerinde sıcaklığın 80°C'den 90°C'ye yükseltilmesinin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. 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. Bir reaksiyonun aktivasyon enerjisinin yüksek olması, bu reaksiyonun sıcaklık değişimine çok duyarlı olduğunun kanıtıdır. Açık bir ifadeyle; yüksek bir aktivasyon enerjisi, küçük bir sıcaklık artışının; o reaksiyonda söz konusu olan bileşiğin daha hızlı parçalanmasına neden olmaktadır (Cemeroğlu vd 2003). Çizelge 4.7'deki aktivasyon enerjisi değerlerine bakıldığında kurutma sırasında sıcaklıktan en fazla a/b oranının etkilendiği görülmektedir. Domates salçasında yapılan bir çalışmada (Barreiro vd 1997) L değeri için aktivasyon enerjisi 48,148 a değeri için 40,988 b değeri için 85,829 ve a/b değeri için ise 28,721 olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.7.** Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait renk değerleri için kinetik parametreler

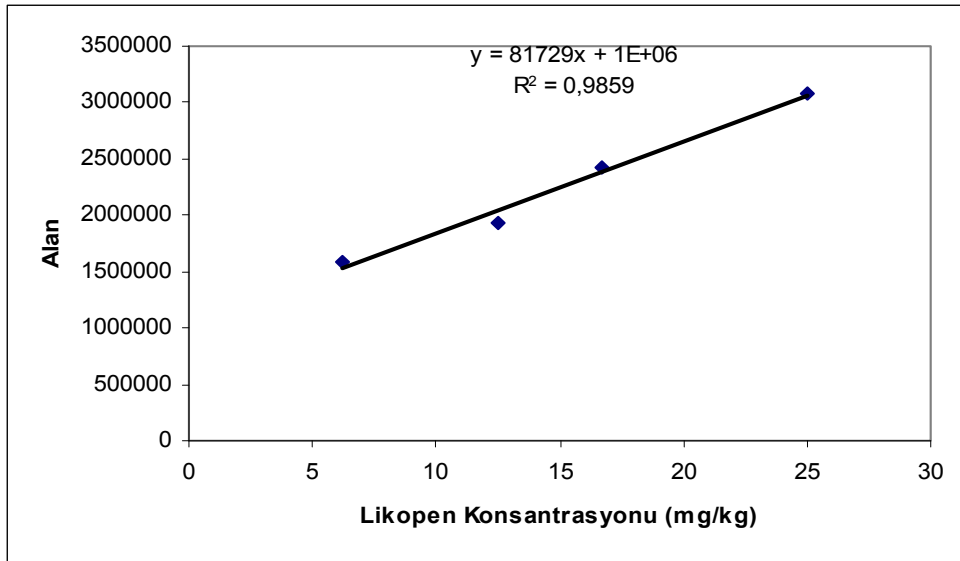
Renk Değerleri	$E_a$ (kJmol <sup>-1</sup> )	$k_0$ (x10 <sup>6</sup> ) (saat <sup>-1</sup> )	$Q_{10}$ (60°C-70°C)	$Q_{10}$ (70°C-80°C)	$Q_{10}$ (80°C-90°C)	$Q_{10}$ (90°C-100°C)
L	46,359	0,135	2,044	1,357	1,543	1,505
a	42,792	0,065	2,019	1,332	1,522	1,087
b	31,542	0,000405	1,918	1,661	1,042	1,024
a/b	52,750	1,302	1,445	1,915	2,102	1,083

### 4.3. Likopen Miktarındaki Değişmeler

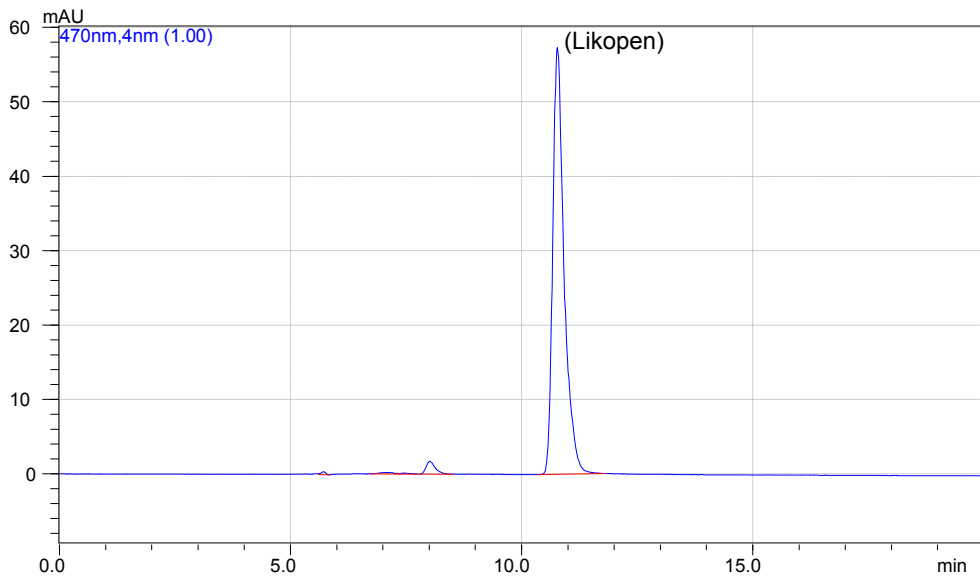
HPLC cihazı ile likopen tayini için gerekli olan likopen standart eğrisi öncelikle oluşturulmuş olup, standart eğri Şekil 4.8'de verilmiştir. Standart eğriye ait verilere, doğrusal regresyon analizi uygulanmış ve eğriyi tanımlayan eşitlik belirlenmiştir. Likopen standardına ait kromatogram ve UV spektrumu Şekil 4.9 a ve b'de verilmiştir.

Domates ekstraktlarından elde edilen kromatogramlardaki geliş süreleri; likopen için 10,767 dakika olarak bulunmuştur. Domateslerin kurutma işlemi uygulanmadan önceki ve sonraki likopen ve  $\beta$ -karoten içeriklerine ait kromatogram Şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

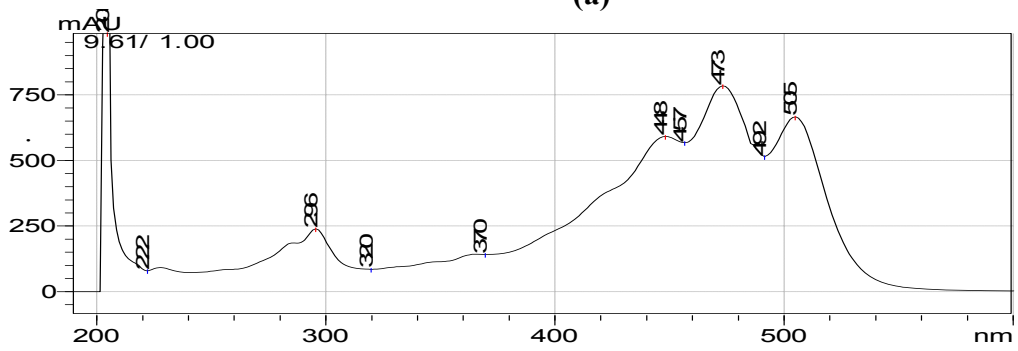




Şekil 4.8. Likopen standart eğrisi

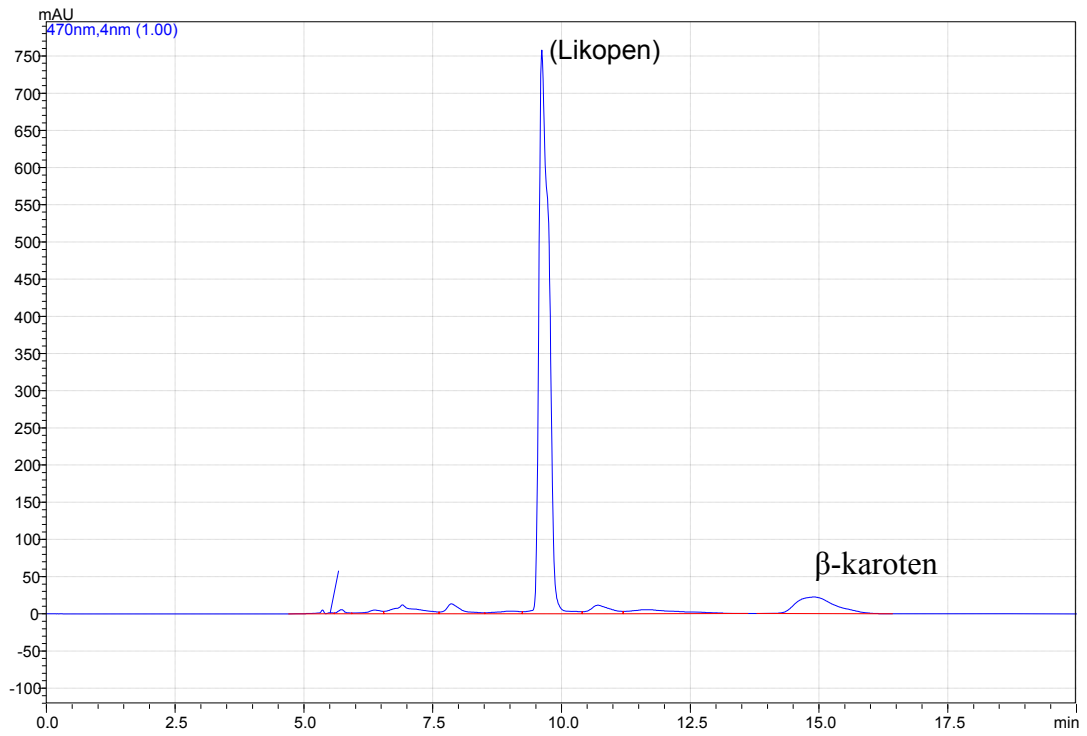


(a)

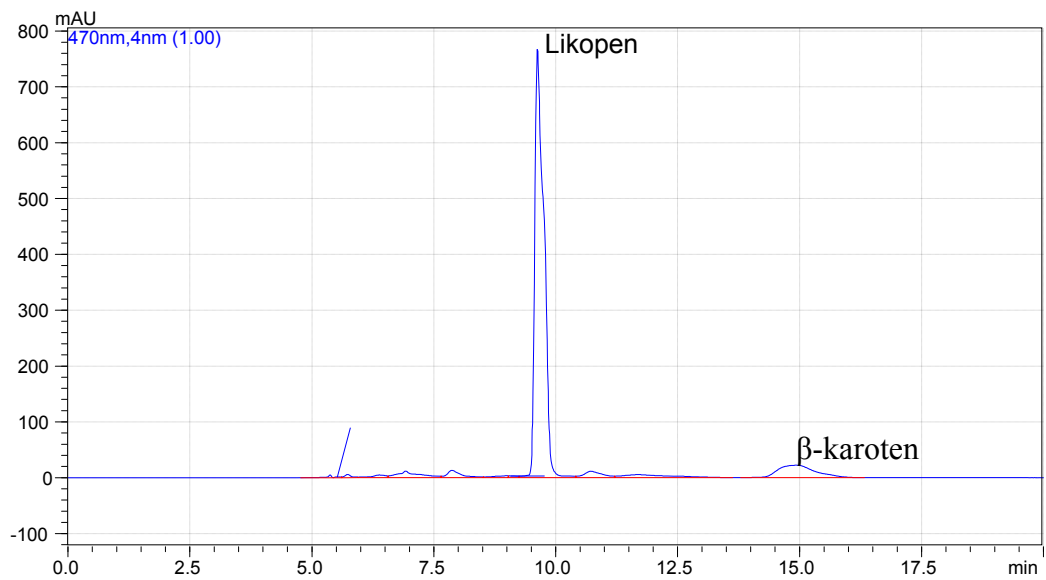


(b)

Şekil 4.9. Likopen standart HPLC kromatogramı (a) ve UV spektrumu (b)



**Şekil 4.10.** Domates ekstraktındaki likopen ve β-karoten piklerini gösteren HPLC kromatogramı (kurutma işleminden önce)



**Şekil 4.11.** Domates ekstraktındaki likopen ve β-karoten piklerini gösteren HPLC kromatogramı (kurutma işleminden sonra)

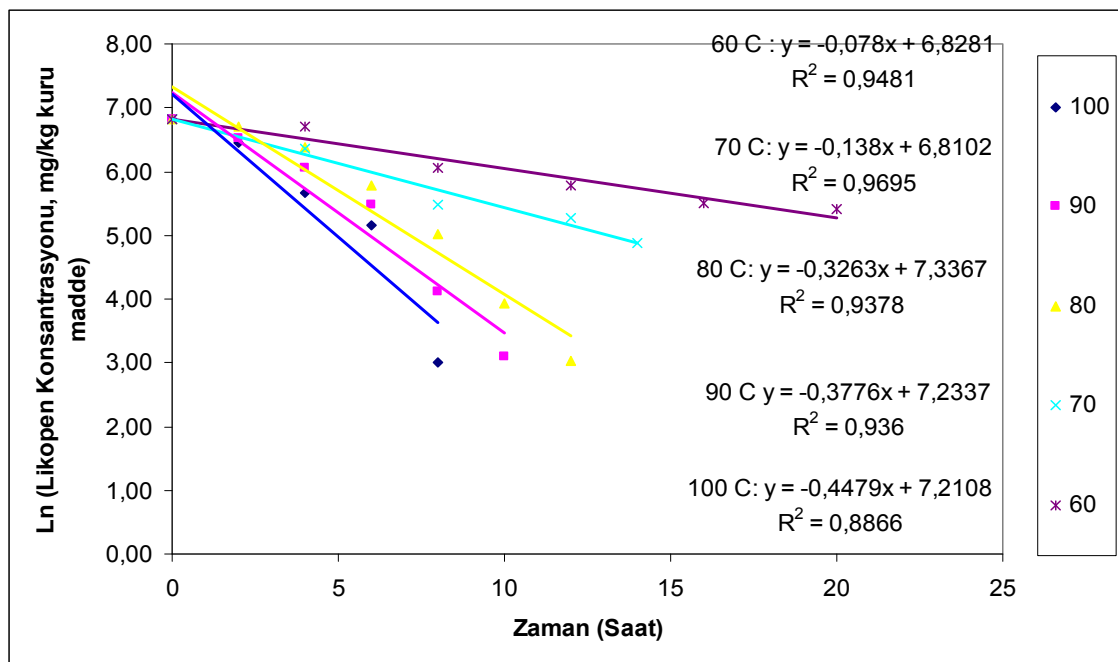
Domateslerde likopenin değişimi 60°C, 70°C, 80°C, 90°C ve 100°C sıcaklıklarda belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, Ek 3 izelge E3.1-3.5’de sırasıyla verilmiştir. Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizlerde, likopen miktarı taze domateste 913,86 mg/100g kuru madde olarak saptanmıştır. Bilindiği gibi, meyve ve sebzelerdeki karotenoid bileşiklerin miktarı; çeşit, tür, olgunluk, yetişme koşulları gibi çeşitli faktörlere göre değişmektedir (Shi ve Maguer 2000). Bununla birlikte, çalışmamızda kullanılan domateslerin içerdiği likopen miktarının literatürde verilen değerlerle uyum içinde olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, olgun, taze domateslerin yaş ağırlık üzerinden 53,821 mg/100g domates (Chawla vd 2008) düzeyinde likopen içerdiği bildirilmektedir.

Likopen miktarı 60°C’de kurutma işleminde 913,86 mg/100g kuru madde değerinden 222,69 mg/100g kuru madde değerine, 100°C’de ise 913,86 mg/100g kuru madde değerinden 20,02 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. Bu durum likopenin yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir. Yapılan bir çalışmada (Zanoni vd 1999) yarımlar halinde 110°C’de 4 saat süre kurutulan domateslerde %10 likopen kaybı belirlenirken, 80°C’de 7 saat süreyle kurutulan domateste likopen kaybına rastlanmamıştır. Başka bir çalışmada (Miki ve Akatsu, 1970) domates suyuna 100°C’de 7 dakika ısıl işlem uygulanmış ve bu işlem sonunda %1-2 oranında likopen kaybının olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamızda domateste, likopenin ısıl degradasyonun birinci derece kinetik modele uygun olarak gerçekleştiği belirlenmiştir (şekil 4.12). Kinetik veriler incelenince (izelge 4.8), beklenildiği gibi sıcaklık yükseldikçe likopenin parçalanma hızının arttığı görülmektedir. Örneğin, 60°C’de yapılan kurutma işleminde likopene ait yarılanma süresi ( $t_{1/2}$ ) 5,02 saat iken, 100°C’de bu değer 1,54’e düşmüştür.  $t_{1/2}$  değerinin azalması, likopenin stabilitesinin sıcaklık artışına bağlı olarak azaldığını göstermektedir.

Tarafımızdan ortaya konan bulgular, literatür verileriyle uyum içinde bulunmaktadır. Nitekim likopenin ısıl degradasyonunun, domates pulpunda (Sharma ve Maguer 1996) ve model sistemde (Lee ve Chen 2002) birinci derece kinetik modele uyduğu belirtilmiştir. Kurutma işlemi sonucu likopenin ısıl degradasyonuna ait aktivasyon enerji değeri 46,96 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (izelge 4.8).  $Q_{10}$  değerlerine bakıldığında ise sıcaklığın 70°C’den 80°C’ye arttırılmasının etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.8’den görüleceği üzere en düşük  $Q_{10}$  değeri 60°C’den 70°C’ye

değişim durumunda, en yüksek 70°C'den 80°C'ye değişim durumunda tespit edilmiştir. Bu durum likopen parçalanma reaksiyon hızı üzerine en etkili sıcaklık aralığının 70 – 80 °C aralığı olduğunu göstermektedir. Bu sıcaklık aralığı için tespit edilen  $Q_{10}$  değeri, sıcaklığın 70 °C'den 80°C'ye değişmesi durumunda likopen parçalanma hızının 2,365 kat artış göstereceğini ifade etmektedir. Kaldı ki 90 °C'den 100°C'ye sıcaklık değişimi durumunda  $Q_{10}=1,186$  olarak belirlenmiş olup, bu değer 70 °C'den 80°C'ye sıcaklık değişim durumu için belirlenmiş olan değer neredeyse yarısı kadardır. Bu sonuç özellikle yüksek sıcaklık bölgelerinde gerçekleşen sıcaklık artışının likopen parçalanma hızında daha az oranda artışa neden olacağını göstermesi açısından ilginçtir.



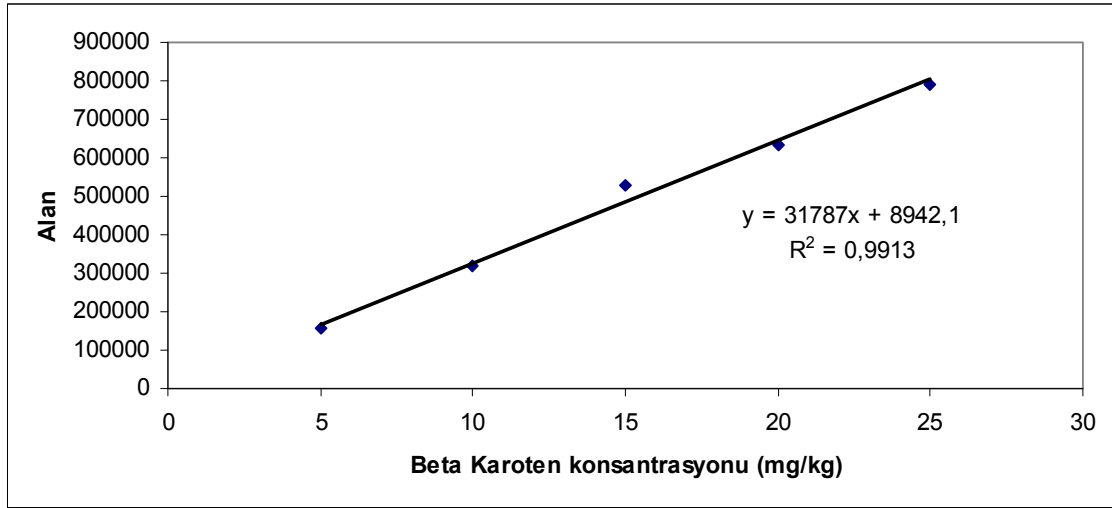
**Şekil 4.12.** Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domateslerin likopen içeriklerindeki azalmalar

**Çizelge 4.8.** Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulmuş domates numunelerinde likopenin parçalanmasına ait kinetik parametreler

Kurutma Sıcaklıkları (°C)	$E_a$ (kJmol <sup>-1</sup> )	k (saat <sup>-1</sup> )	$k_0$ (x10 <sup>6</sup> ) (saat <sup>-1</sup> )	$t_{1/2}$ (saat)	$Q_{10}$ (60°C-70°C)	$Q_{10}$ (70°C-80°C)	$Q_{10}$ (80°C-90°C)	$Q_{10}$ (90°C-100°C)
60	46,96	0,078	2,051	8,88	0,176	2,365	1,157	1,186
70		0,138		5,02				
80		0,3263		2,12				
90		0,3776		1,83				
100		0,4479		1,54				

#### 4.4. $\beta$ -Karoten Miktarındaki Değişimler

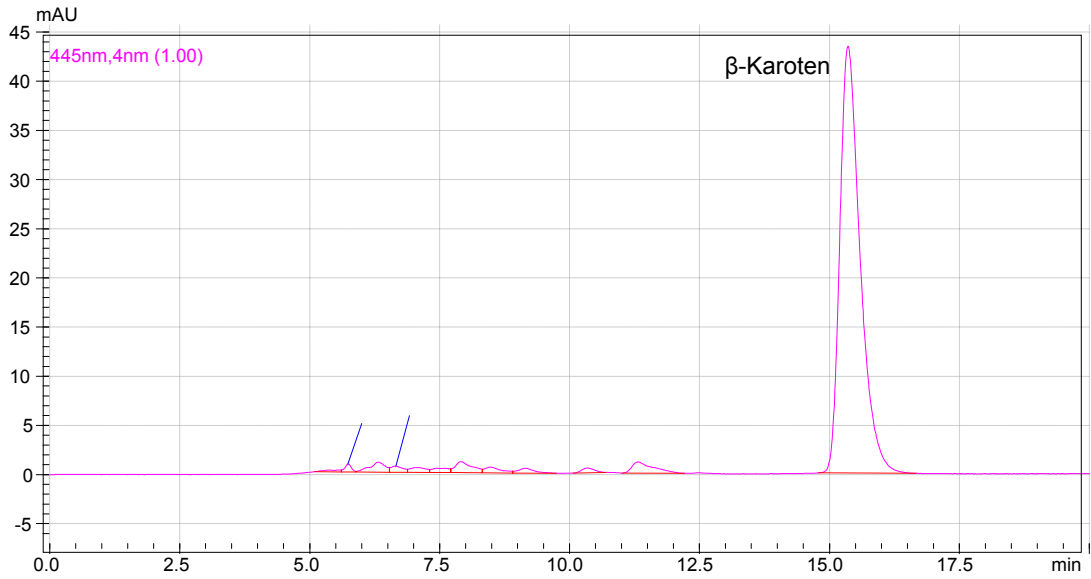
HPLC cihazı ile  $\beta$ -karoten tayini için gerekli bulunan standart eğri, likopende olduğu gibi öncelikle saptanmış ve Şekil 4.13’de verilmiştir. Bu eğrinin oluşturulmasında, analizde elde edilen verilere doğrusal regresyon analizi uygulanmış ve eğriyi tanımlayan eşitlik belirlenmiştir.



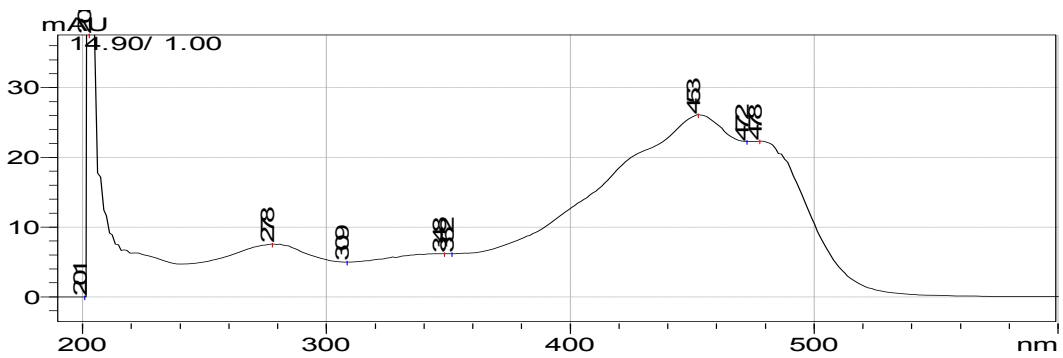
Şekil 4.13.  $\beta$ -karoten standart eğrisi

Likopenin değişiminin araştırılmasında olduğu gibi,  $\beta$ -karotenin kurutma işleminde kullanılan 60°C, 70°C, 80°C, 90°C ve 100°C sıcaklık ortamlarında zamana göre değişimleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, Ek 4 Çizelge E4.1-4.5’de verilmiştir.  $\beta$ -karoten standardına ait kromatogram ve UV spektrumu Şekil 4.14 a ve b’de verilmiştir.

Domateslerin başlangıç  $\beta$ -karoten miktarı 305,24 mg/100g kuru madde olarak bulunmuştur. 60°C’de yapılan kurutma işleminde  $\beta$ -karotenin parçalanma hızının düşük olduğu buna karşın kurutma sıcaklıkları arttıkça  $\beta$ -karotenin parçalanma hızının da arttığı belirlenmiştir. Örneğin çalışmamızda  $\beta$ -karoten miktarı 60°C’de kurutma işleminde 305,24 mg/100g kuru madde değerinden 58,02 mg/100g kuru madde değerine, 100°C’de ise 305,24 mg/100g kuru madde değerinden 12,96 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. Yapılan bir çalışmada (Muratore vd 2008), domatesler farklı sıcaklıklarda (40°C, 60°C ve 80°C) ön işlem uygulanarak ve uygulanmadan kurutulmuştur. İşlem sonunda 40°C’de ön işlem uygulanarak yapılan kurutma sonunda  $\beta$ -karoten kaybına rastlanmazken, ön işlem uygulanmadan yapılan kurutmada %24,73 oranında  $\beta$ -karoten kaybı belirlenmiştir.



(a)



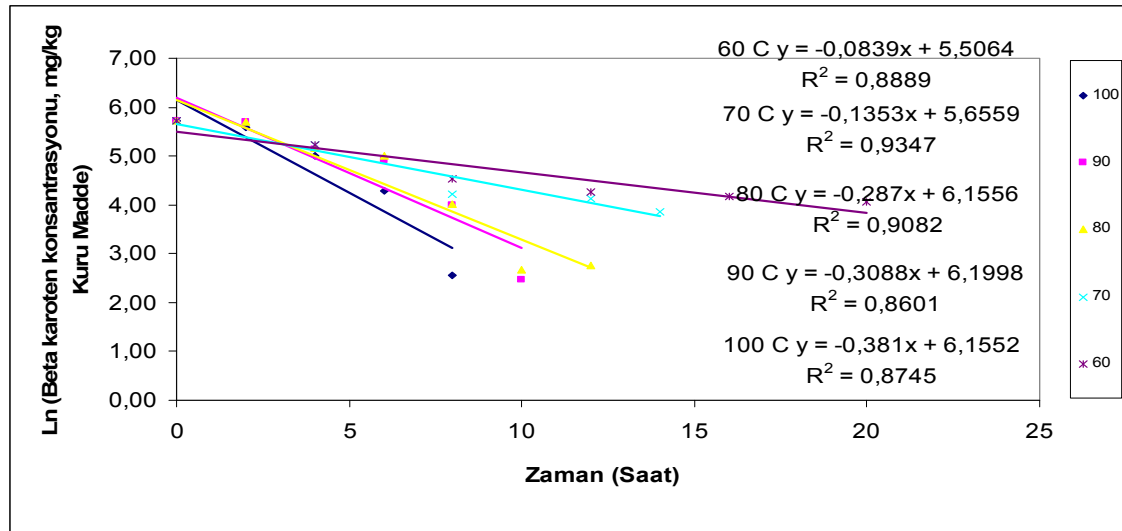
(b)

**Şekil 4.14.**  $\beta$ -karoten standart HPLC kromatogramı (a) ve UV spektrumu (b)

Likopende olduğu gibi,  $\beta$ -karotenin de kurutma sırasındaki değişimi birinci derece kinetik modele uygun olarak gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 4.15).  $\beta$ -karotenin parçalanma hızı, kurutma sıcaklığına bağlı olarak artmıştır. Elde edilmiş kinetik veriler incelenince (Çizelge 4.9), 60°C’de yarı ömür süresi 8,26 saat iken, 100°C’de ise bu değer 1,81 saate düşmüştür. Aktivasyon enerji değeri 40,17 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.9). Sıcaklığın 70°C’den 80°C’ye arttırılmasının  $\beta$ -karoten parçalanma hızı üzerine etkisinin, diğer sıcaklık aralıklarına göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu durum Çizelge 4.9’da verilen  $Q_{10}$  değerlerinin kıyaslanmasıyla açıkça görülebilmektedir.

**Çizelge 4.9.** Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulmuş domates numunelerinde  $\beta$ -karotenin parçalanmasına ait kinetik parametreler

Kurutma Sıcaklıkları (°C)	$E_a$ (kJmol <sup>-1</sup> )	k (saat <sup>-1</sup> )	$k_0$ (x10 <sup>6</sup> ) (saat <sup>-1</sup> )	$t_{1/2}$ (saat)	$Q_{10}$ (60°C-70°C)	$Q_{10}$ (70°C-80°C)	$Q_{10}$ (80°C-90°C)	$Q_{10}$ (90°C-100°C)
60	40,17	0,0839	0,184	8,26	1,612	2,121	1,076	1,233
70		0,1353		5,12				
80		0,2870		2,41				
90		0,3088		2,24				
100		0,3810		1,81				

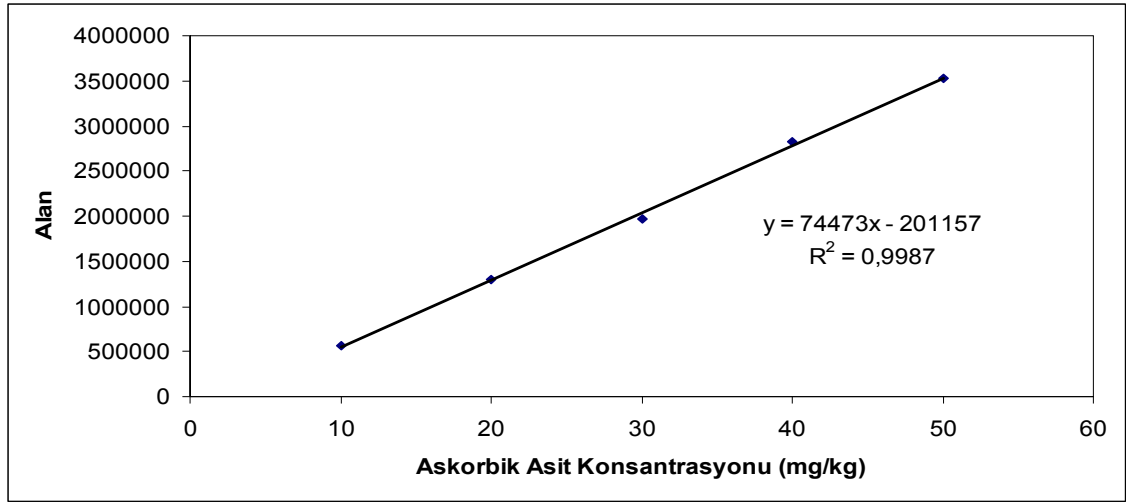


**Şekil 4.15.** Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domateslerdeki  $\beta$ -karoten içeriklerindeki azalmalar

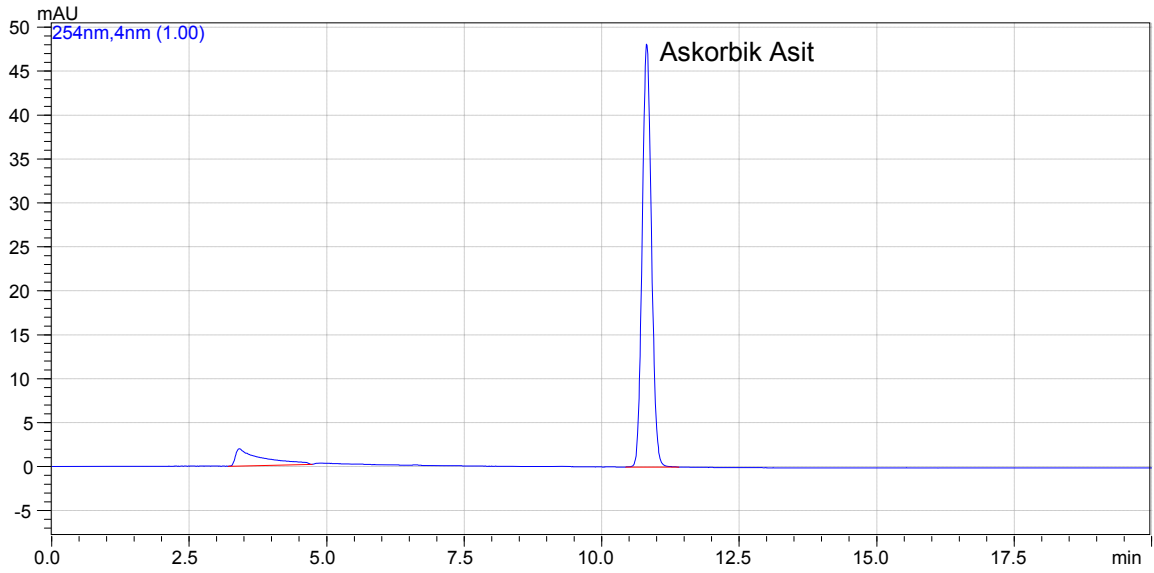
#### 4.5. Askorbik Asit (C vitamini) Miktarındaki Değişimler

HPLC cihazı ile askorbik asit tayini için gerekli olan askorbik asit standart eğrisi likopen ve  $\beta$ -karoten analizlerinde olduğu gibi öncelikle belirlenmiş ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Askorbik asit standardına ait kromatogram ve UV spektrumu Şekil 4.17 a ve b'de verilmiştir. Bu kromatogram ve UV spektrumun yardımıyla farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde domates örneklerinin askorbik asit içerikleri hesaplanmıştır.

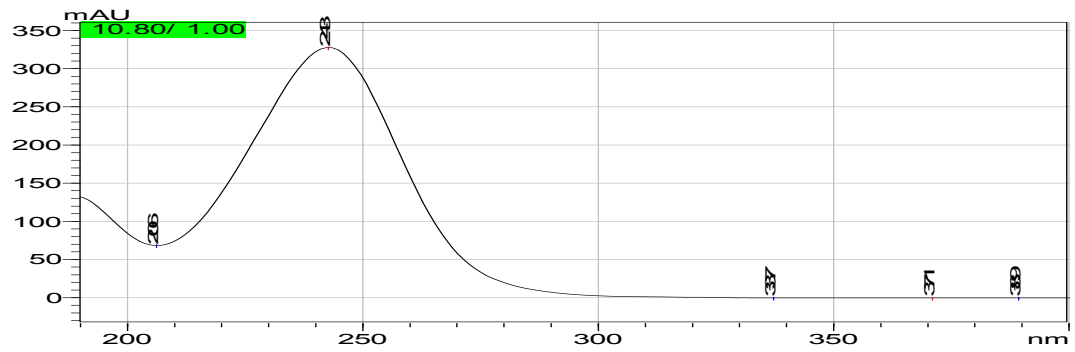
Likopen ve  $\beta$ -karoten analizlerinde olduğu gibi askorbik asit analizinde de standart eğrinin oluşturulmasında elde edilen verilere, doğrusal regresyon analizi uygulanmış ve eğriyi tanımlayan eşitlik elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Askorbik asit standart eğrisi



(a)

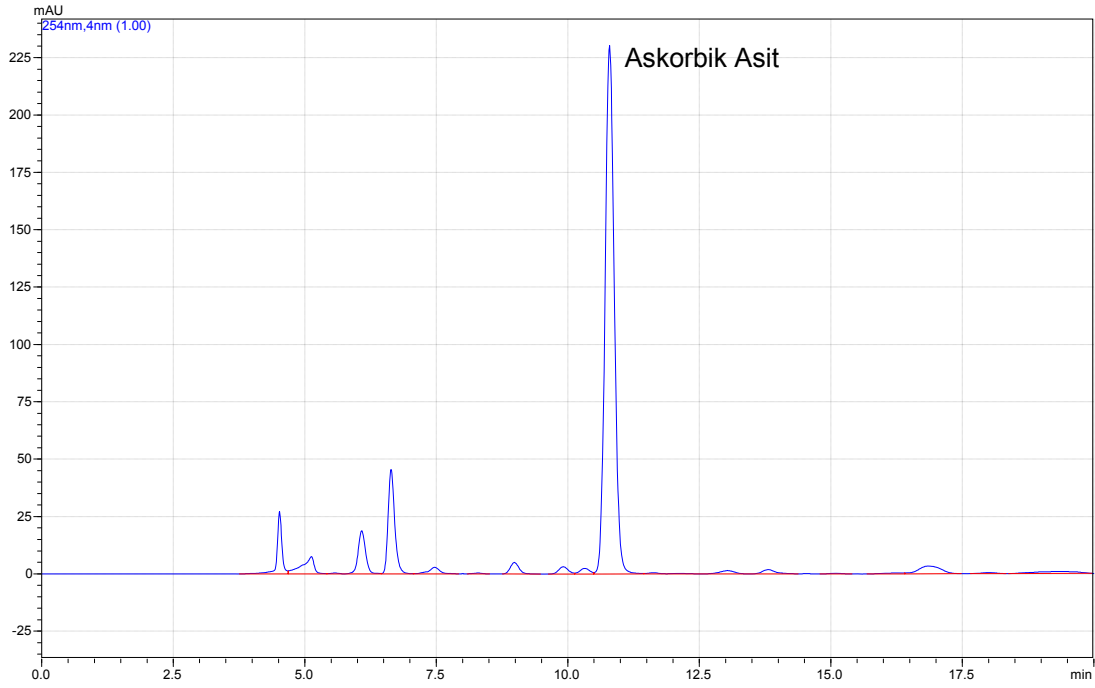


(b)

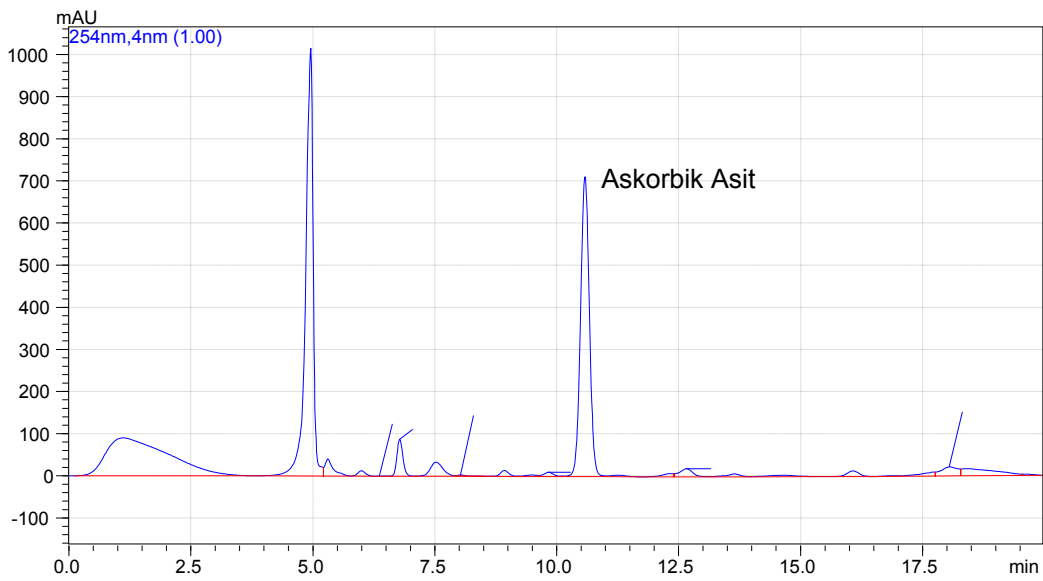
Şekil 4.17. Askorbik asit standart HPLC kromatogramı (a) ve UV spektrumu (b)



Domates ekstraktlarından elde edilen kromatogramlarda askorbik asit için geliş süresi 10,80 dakika olarak bulunmuştur. Domateslerin kuruma işlemi uygulanmadan önceki ve sonraki askorbik asit içeriklerine ait kromatogram Şekil 4.18 ve 4.19’da verilmiştir.



**Şekil 4.18.** Domates ekstraktındaki askorbik asit pikini gösteren kromatogram (kurutma işleminden önce)



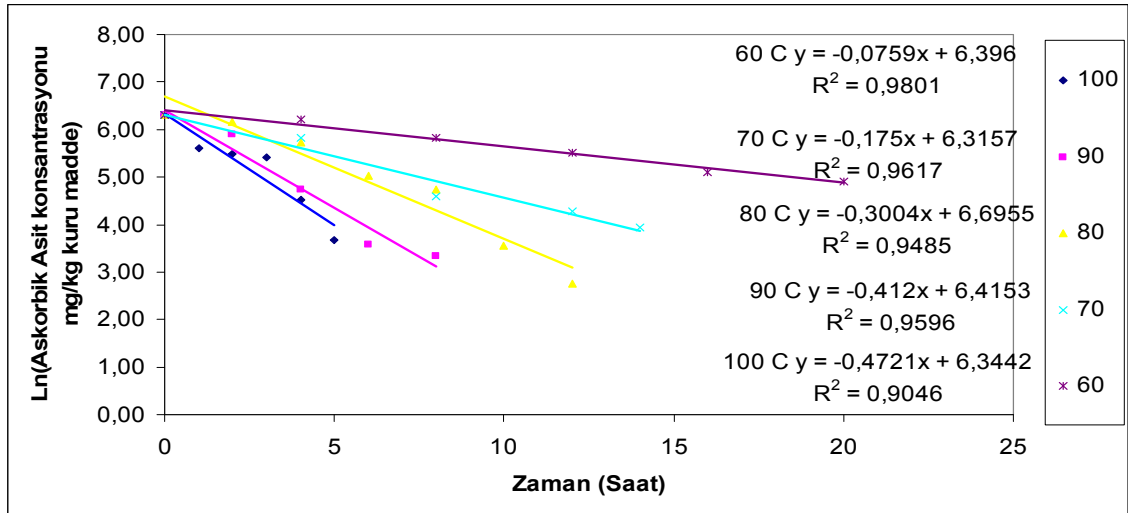
**Şekil 4.19.** Domates ekstraktındaki askorbik asit pikini gösteren kromatogram (kurutma işleminden sonra)

Domateslerde askorbik asitin 60°C, 70°C, 80°C, 90°C ve 100°C kurutma sıcaklıklarında zamana bağlı olarak değişimi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, Ek 5 Çizelge E5.1-5.5’de sırasıyla verilmiştir. Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizlerde, askorbik asit miktarı taze domateste 544,84 mg/100g kuru madde olarak saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, olgun taze domateslerin kuru madde üzerinden 330 mg/100g kuru madde düzeyinde askorbik asit içerdiği bildirilmektedir (Giovanelli vd 2002). Farklı domates kültürlerinin antioksidan içeriklerinin incelendiği bir başka çalışmada da domates örneklerinin askorbik asit içeriği ortalama 276,56 mg/100g kuru madde olarak belirlenmiştir (Kerkhofs vd 2005).

Askorbik asit miktarı 60°C’de 20 saat süren kurutma işlemi yapılırken 544,84 mg/100g kuru madde değerinden 135,55 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. 100°C’de 8 saat süren kurutma işleminde ise 544,84 mg/100g kuru madde değerinden 39,23 mg/100g kuru madde değerine 5 saat içinde düşmüştür ve bu saatten sonra kurutma kabininden alınan örneklerde askorbik asit tespit edilememiştir. 90°C’de kurutulan örneklerde 9. saatten sonra askorbik asit belirlenmemiştir. Bu durum askorbik asitin yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir.

Domateste, askorbik asitin ısıl degradasyonu birinci derece kinetik modele uygun olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.20). Kinetik veriler incelenince (Çizelge 4.10), beklenildiği gibi sıcaklık yükseldikçe askorbik asitin parçalanma hızının arttığı görülmektedir. Örneğin, 60°C’de yapılan kurutma işleminde yarılanma süresi ( $t_{1/2}$ ) 9,13 saat iken, 100°C’de bu değer 1,47’e düşmüştür.  $t_{1/2}$  değerinin azalması, askorbik asitin stabilitesinin sıcaklığa bağlı olarak azaldığını göstermektedir.

Çalışmadan elde ettiğimiz bulgular, literatür verileriyle uyum içinde bulunmaktadır. Nitekim askorbik asitin ısıl degradasyonunun, domateste birinci derece kinetik modele uyduğu belirtilmiştir (Marfil vd 2008). Kurutma işlemi sonucu askorbik asitin ısıl degradasyonuna ait aktivasyon enerji değeri 46,99 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.9).  $Q_{10}$  değerlerine bakıldığında ise sıcaklığın 60°C’den 70°C’ye arttırılmasının etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.20. Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domateslerdeki askorbik asit içeriklerindeki azalmalar

Çizelge 4.10. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulmuş domates numunelerinde askorbik asit parçalanmasına ait kinetik parametreler

Kurutma Sıcaklıkları (°C)	$E_a$ (kJmol <sup>-1</sup> )	k (saat <sup>-1</sup> )	$k_0$ (x10 <sup>6</sup> ) (saat <sup>-1</sup> )	$t_{1/2}$ (saat)	$Q_{10}$ (60°C-70°C)	$Q_{10}$ (70°C-80°C)	$Q_{10}$ (80°C-90°C)	$Q_{10}$ (90°C-100°C)
60	46,99	0,0759	2,180	9,13	2,305	1,716	1,371	1,145
70		0,1750		3,96				
80		0,3004		2,31				
90		0,4120		1,68				
100		0,4721		1,47				

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada ulaşılmış bulunan başlıca sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetle sunulmuştur:

1. Farklı kurutma sıcaklıklarında kurutulan domates numunelerinin kurutma sıcaklığı arttıkça kuruma süreleri azalmıştır. Bulunan kuruma süreleri literatürde verilen kuruma sürelerine oranla düşüktür. Doymaz, (2007a) herhangi bir ön işlem uygulanmamış domates numunesinin laboratuvar ölçekli sıcak havalı kurutucuda kurutulması için gerekli sürenin 60°C için 1680 dakika, 70°C için 1440 dakika olduğunu ifade etmiştir. Yaptığımız çalışmada, kuruma süreleri 60°C için 1200 dakika, 100°C için ise 480 dakika olarak bulunmuştur.
2. Deneysel değerlere en iyi yaklaşımı veren teorik modeli tanımlamak için 5 farklı kurutma modeli, (Modifiye Page model, Page model, Henderson ve Pabis model, Lewis model ve Logaritmik model) kullanılmış ve uygulanan tüm koşullarda yüksek  $R^2$  ve düşük RMSE değerlerine sahip Modifiye Page modelin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu görülmüştür. Modifiye Page model için 60°C’de yapılan işlem sonunda RMSE değeri 0.01391,  $R^2$  değeri ise 0,9939 olarak bulunurken, 100°C’deki işlem sonunda ise RMSE değeri 0,034371 ve  $R^2$  değeri 0,9799 olarak belirlenmiştir. Modifiye Page modele ait kinetik sabitin (k) değerinin kurutma sıcaklığı arttıkça 0,00315  $\text{dak}^{-1}$  değerinden 0,00630  $\text{dak}^{-1}$  değerine arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum sıcaklığın yükseltilmesiyle kurumunun daha kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir.
3. Kurutma sıcaklığı arttıkça kurutulan domates numunelerinin rengi de kırmızıdan kahverengiye doğru değişmiştir. Bunun nedeni olarak yüksek sıcaklıklarda renk pigmentlerinin bozunması sonucu kahverengi renk bileşenlerin oluşması ve karamelizasyon reaksiyonları gösterilebilir. Hunter Lab cihazı yardımıyla bu değişim sayısal olarak da hesaplanmış ve kuruma zamanı boyunca değişimi modellenmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; L, b, ve a/b değerlerinin birinci dereceden kinetik modele; a değeri değişiminin ise sıfırıncı dereceden kinetik modele uyduğu saptanmıştır.  $Q_{10}$  değerleri incelendiğinde, sıcaklığın 60°C’den 70°C’ye arttırılmasının L, a ve b değerleri üzerindeki etkisinin diğer sıcaklık artışlarına göre daha fazla olduğu

belirlenmiştir.  $Q_{10}$  değerleri L değeri için 2,044, a değeri için 2,019, b değeri için 1,918 olarak bulunmuştur. Fakat a/b değerinde sıcaklığın 80°C'den 90°C'ye yükseltilmesinin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

4. Domateslerin farklı sıcaklıklarda kurutulması süresince, renkteki kırmızılık indeksinin payı azalmış; yani "a değeri" düşmüştür. Bir başka kırmızılık değeri olan "a/b değeri" de aynı şekilde azalmıştır.
5. Renk değerlerine ait aktivasyon enerji değerlerine bakıldığında en yüksek değer 52,750 kJ/mol ile a/b oranı için, en düşük değer de 31,542 kJ/mol ile b değeri için bulunmuştur. Bu verilerden de domates için önemli bir kalite kriteri olan kırmızılığın kurutma işleminden en fazla etkilendiği anlaşılmaktadır.
6. Likopen miktarı 60°C'de kurutma işleminde 913,86 mg/100g kuru madde değerinden 222,69 mg/100g kuru madde değerine, 100°C'de ise 913,86 mg/100g kuru madde değerinden 20,02 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. Kurutma işlemi sonucu likopenin ısıl degradasyonuna ait aktivasyon enerji değeri 46,96 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.  $Q_{10}$  değerlerine bakıldığında ise sıcaklığın 70°C'den 80°C'ye artırılmasının etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum likopen parçalanma reaksiyon hızı üzerine en etkili sıcaklık aralığının 70 – 80 °C aralığı olduğunu göstermektedir. Bu sıcaklık aralığı için tespit edilen  $Q_{10}$  değeri, sıcaklığın 70 °C'den 80°C'ye değişmesi durumunda likopen parçalanma hızının 2,365 kat artış göstereceğini ifade etmektedir.
7.  $\beta$ -karoten miktarı 60°C'de kurutma işleminde 305,24 mg/100g kuru madde değerinden 58,02 mg/100g kuru madde değerine, 100°C'de ise 305,24 mg/100g kuru madde değerinden 12,96 mg/100g kuru madde değerine düşmüştür. Elde edilmiş kinetik verilere göre 60°C'de yarı ömür süresi 8,26 saat iken, 100°C'de ise bu değer 1,81 saate düşmüştür. Aktivasyon enerji değeri 40,17 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Sıcaklığın 70°C'den 80°C'ye artırılmasının  $\beta$ -karoten parçalanma hızı üzerine etkisinin, diğer sıcaklık aralıklarına göre daha fazla olduğu saptanmıştır.
8. Askorbik asit miktarı 60°C'de 20 saat süren kurutma işlemi yapılırken 544,84 mg/100g kuru madde değerinden 135,55 mg/100g kuru madde değerine

düşmüştür. 100°C’de 8 saat süren kurutma işleminde ise 544,84 mg/100g kuru madde değerinden 39,23 mg/100g kuru madde değerine 5 saat içinde düşmüştür ve bu saatten sonra kurutma kabininden alınan örneklerde askorbik asit tespit edilememiştir. 90°C’de kurutulan örneklerde 9. saatten sonra askorbik asit belirlenmemiştir. Bu durum askorbik asitin yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir. Kurutma işlemi sonucu askorbik asitin ısıl degradasyonuna ait aktivasyon enerji değeri 46,99 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.  $Q_{10}$  değerlerine bakıldığında ise sıcaklığın 60°C’den 70°C’ye artırılmasının etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

9. Domateslerin 60°C - 100°C arasındaki sıcaklıklarda ve %20 bağıl nemde kurutulmaları sonucunda likopen,  $\beta$ -karoten ve askorbik asit değişimlerinin, literatürdeki bulgulara uygun olarak birinci derece kinetik modele uyduğu saptanmıştır.
10. Beklenildiği gibi, kurutma sıcaklığı yükseldikçe domateslerde likopen,  $\beta$ -karoten ve askorbik asitin değişim hızının arttığı saptanmıştır. Bu durum her üç bileşen için hesaplanmış  $t_{1/2}$  değerlerinin karşılaştırılmasıyla da kolaylıkla görülebilmektedir.
11. Sıcaklığa karşı bileşenlerin stabiliteyi kıyaslandığında likopenin en dayanıklı, askorbik asitin ise en dayanıksız bileşen olduğu belirlenmiştir. Bu durum askorbik asitin 90°C ve 100 °C’de yapılan kurutma işlemlerinde belli bir süreden sonra ortamdan tamamen kaybolmasıyla açıklanmıştır.  $\beta$ -karotenin ise sıcaklığa karşı stabilitesi iki bileşene göre orta seviyededir.
12. Çalışma sonunda elde edilen bulguların ışığında 80°C ve üzerinde yapılan kurutma işleminde domates açısından önemli olan bileşenlerin yüksek oranda kayba uğradığı belirlenmiştir. Bu nedenle, ileride benzer konuda çalışma yapacak araştırmacıların kurutma için daha düşük sıcaklık derecelerini (örneğin 40°C-70°C) kullanmalarının, endüstriyel domates kurutma işlemlerinde de bu sıcaklık aralıklarının tercih edilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abe, T. and Afzal, T. M. (1997) Thin-layer Infrared Radiation Drying of Rough Rice. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67 : 289 – 297.
- Adam, E., Mühlbauer, W., Esper, A., Wolf, W. and Spies, W. (2000) Quality Changes of Onion (*Allium Cepa L.*) as Affected by the Drying Process. *Nahrung*, 44 (1) : 32-37.
- Akpınar Kavak, E. ve Biçer, Y. (2002) Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Siklon Tipi Bir Kurutucunun Kullanılabilirliği. *Mühendislik ve Makine*, 43(515): 21-26.
- Akpınar Kavak, E. ve Biçer, Y. (2003) Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi. *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (1) : 159-169.
- Allison, S.D., Theodore, W.R., Mark, C. M., Kim, M., Ashley, D. and John, F.C. (1998) Effects of Drying Methods and Additives on Structure and Function of Actin: Mechanisms of Dehydration-Induced Damage and Its Inhibition. *Archives of Biochemistry And Biophysics*, 358(1): 171–181.
- Anguelova, T. and Warthesen, J. (2000) Lycopene Stability in Tomato Powders. *Journal of Food Science*, 65(1): 67-70.
- Anonim, (1992) Vitaminler. *Roche Yayınları*, 119s. İstanbul.
- Anonim, (2003) Türkiye Kurutulmuş Meyve ve Sebze İhracatı Verileri. *Devlet İstatistik Enstitüsü Bilgi İşlem Merkezi (DİE BİM) Kayıtları*.
- Anonim, (2004) Preservation of Fruits and Vegetables by Drying III UNISWORK. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) *Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Program Raporu*, Gebze Kocaeli.
- Anonim, (2007) Türkiye Kurutulmuş Meyve ve Sebze İhracatı Verileri. *Devlet İstatistik Enstitüsü Bilgi İşlem Merkezi (DİE BİM) Kayıtları*.
- Baker, G. J. C. (1997) Industrial Drying of Foods, *Chapmann & Hall Publication*, New York, 299s.
- Barbosa – Canovas, G. V. and Vega – Mercado, H. (1996) Dehydration of Foods, *Chapmann & Hall Publication*., First Edition, New York, 327s.
- Barreiro, J. A., Milano, M. and Sandoval, A.J. (1997) Kinetics of Colour Change of Double Concentration Tomato Paste Drying Thermal Treatment. *Journal of Food Engineering*, 33: 359-371.
- Bengston, G., Rahman, M.S., Stanley, R. and Perera, C.O. (1998) Effect Specific Pretreatment on the Drying Behaviour of Apple Rings. New Zeland Inst. of Food Science and Technology and The Nutrition Society of New Zealand Conference, Nelson.

- Carfi, A. (1993) Salçaya işlenen önemli domates çeşitlerindeki pektinin metil esteraz enziminin nicelikleri ve bu enzimin inaktivasyon koşullarının optimizasyonu., Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 68s.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz F. ve Özkan M. (2003) Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, No: 28, s541-675.
- Cemeroğlu, B. (2007) Gıda Analizleri, *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, Ankara, 535s.
- Chawla, C., Kaur, D., Oberoi D.P.S and Sogi, D.S. (2008) Drying Characteristics, Sorption Isotherms, and Lycopene Retention of Tomato Pulp. *Drying Technology*, 26: 1257-1264.
- Crank, J. (1979) The Mathematics of Diffusion, *Oxford Science Publication*, İngiltere, 414s.
- Çevik, İ. ve Bilişli, A. (2001) Bazı erik çeşitlerinin kurutmaya elverişliliği üzerine araştırmalar, *I. Sert Çekirdekli Meyveler Sempozyumu*, Yalova, s.343-349.
- Dadalı, G. (2007) Bamyacı ve ısıpanağın mikrodalga tekniğini kullanarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi., Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 195s.
- DeMan, J. M. (1999) Principles of Food Chemistry, *Aspen Publication*, New York, 520s.
- Demir, V., Günhan, T., Yağcıoğlu, A.K., ve Değirmencioğlu, A., (2004) Mathematical Modelling and the Determination of Some Quality Parameters of Air-dried bay leaves. *Biosystems Engineering*, 88 :325-335.
- Dewanto, V., Wu, X.Z., Adom, K. K., and Liu, R. H. (2002) Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 : 3010-3014.
- Doymaz, İ. (2004a) Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61 : 341-346.
- Doymaz, İ. (2004b) Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 61 : 359-364.
- Doymaz, İ. (2005) Drying Kinetics and Characteristics of Parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2): 167-173.
- Doymaz, İ. (2007a) Air Drying Characteristics of Tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78 : 1291-1297.
- Doymaz, İ. (2007b) The Kinetics of Forced Convective Air-drying of Pumpkin Slices. *Journal of Food Engineering*, 79: 243-248.



- Düzyaman, E. ve Duman, İ. (2003) Dried Tomato as a New Potential in Export and Domestic Market Diversification in Turkey. *Proceedings of the Eighth International ISHS Symposium on the Processing Tomato*, İstanbul, s433-436.
- Erenturk S., Gulaboglu M.S. and Gultekin S. (2005) The Effects of Cutting and Drying Medium on the Vitamin C Content of Rosehip During Drying. *Journal of Food Engineering*, 68:513-518.
- Ertekin, C. ve Yıldız, O. (2001) Patlıcan Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, Şanlıurfa, s399-403.
- Ertekin, C. and Yıldız, O. (2004) Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal of Food Engineering*, 63 : 349-359.
- Gedik, A. (2001) Kuru soğanların kurutulması ve depolanması sırasında bazı kalite karakteristiklerinin (renk, aroma) bozunma kinetiği ve modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 92s.
- Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., Pagliarini, B., Zanoni, B. and Spigno, P. (2001) The antioxidant activity of tomato. III. effects of processing technologies on oxidative heat damage. *Proceedings of 7th International Symposium on The Processing Tomato*, İstanbul, s217-220.
- Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V. and Nani, R. (2002) Water Sorption, Drying and Antioxidant Properties of Dried Tomato Products. *Journal of Food Engineering*, 52:135-141.
- Giri, S.K. and Suresh P. (2007) Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Microwave-vacuum and Convective Hot-air Dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 78: 512-521.
- Gould, W. V. (1994) Tomato production, processing and technology. *MD: CTI Publication Baltimore*, 215-216.
- Göğüş, F. and Maskan, M. (1999) Water Adsorption and Drying Characteristics of Okra. *Drying Technology*, 17: 883-894.
- Gökalp, H. Y., Nas, S. ve Certel, M. (2002) Biyokimya-I Temel Yapılar ve Kavramlar, *Pamukkale Üni. Müh. Fakültesi Matbaası*, Denizli, 400s.
- Günhan, T. (2005) Farklı kurutma havası şartlarının *Rio Grande* çeşidi domatesin kuruma karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 124s.
- Hatipoğlu, N. (2002) Ozmatik ön işlemlerin kayısı ve kavunların kurutulması ve depolanma stabilitesine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Heinonen, I. M. (2002) Antioxidants in Fruits, Berries and Vegetables: An Overview, in *Fruit and Vegetable Processing. CRC Press*, ABD, s:23-65.

- Heinonen, M. I., Ollilainen, V., Linkola, E.K., Varo, P.T. and Koivistoinen, P. E. (1989) Carotenoids in Finnish Foods: Vegetables, Fruits and Berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37: 655-659.
- Heldman, D., R. and Hartel, R., W. (1997) Principles of Food Processing, *Chapman & Hall Publication*, New York, 288s.
- Hernandez, Y. Lobo, M.G. and Gonzalez, M. (2006) Determination of Vitamin C in Tropical Fruits: A Comparative Evaluation of Methods”, *Food Chemistry*, 96:654–664.
- Kadalkal, Ç. (2003) Domates mamüllerinde ergostreolün düzeyi ve proseste değişiminin kinetiği. Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 122s.
- Kanat, A. (2001), İ.T.Ü. KOSGEB'de Geliştirilmekte Olan Mikrodalga Fırında Elma Meyvesinin Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 114s.
- Karaçalı, İ. (2002) Meyve ve Sebze Değerlendirme. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Notları*: 19/5, İzmir.
- Kaymak-Ertekin, F. ve Gedik, A. (2005) Kinetic Modelling of Quality Deterioration in Onions During Drying and Storage. *Journal of Food Engineering*, 68: 443-453.
- Kerkhofs, N.S., Lister, C.E. and Savage, G.P. (2005) Change in Colour and Antioxidant Content of Tomato Cultivars Following Forced-air Drying. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60 : 117-121.
- Koca, N., Burdurlu, H.S. and Karadeniz, F. (2007) Kinetics of Colour Changes in Dehydrated Carrots. *Journal of Food Engineering*, 78: 449-455.
- Köksal, G. (2002) Türk domates mamullerinde ergosterol düzeyi üzerinde araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. (2003) Drying Kinetics of Some Vegetables *Journal of Food Engineering*, 59: 391-403.
- Lavelli, V., Hippeli, S., Dornisch, K., Peri, C. and Elstner, E. F. (2001) Properties of Tomato Powders as Additives for Food Fortification and Stabilization, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (4):2037-2042.
- Le Maguer, M. and Jelen, P. (1986) Food Engineering and Process Applications. *Elsevier Applied Science Publishers*, (1):313-321.
- Lee, S. K. and Kader, A.A. (2000) Preharvest and Postharvest Factors Influencing Vitamin C Content of Horticultural Crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 207-220.
- Leoni, C. (2003) Focus on lycopene, *Proceedings of The Eighth International Symposium on The Processing Tomato*, İstanbul, 357-363.

- Lewicki, P. and Pomaranska-Lazuka, W. (2002) Effects of Pretreatment on Convictive Drying of Tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 54 : 141-146.
- Lin, C. H. and Chen, B.H. (2003) Determination Carotenoids in Tomato Juice by Liquid Chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1012: 103-109
- Lin, C. H. and Chen, B. H. (2005) Stability of Carotenoids in Tomato Juice During Processing. *European Food Research Technology*, 221:274-280.
- Lurie, S., Handros, A., Fallik, E. and Shapira, M. (1996) Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. *Plant Physiol*, 110: 1207-1214.
- Marfil, P.H.M., Santos, E.M. and Telis, V.R.N. (2008) Ascorbic Acid Degradation Kinetics in Tomatoes at Different Drying Conditions, *Food Science and Technology*, 41: 1642-1647.
- Maskan, M. (2000) Microwave/air and Microwave Finsih Drying of Banana. *Journal of Food Engineering*, 44 : (2), 71-78.
- Maskan, M. (2001a) Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 48 : (2), 177-182.
- Maskan, M. (2001b) Kinetics of Colour Change of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying, *Journal of Food Engineering*, 48:169-175.
- Maskan, A., Kaya, S. and Maskan, M. (2002) Hot Air and Sun Drying of Grape Leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54 (1): 81-88.
- Maslarova, N. V. Y., (2001). Inhibiting oxidation: An Overview, in Antioxidants in Food. *CRC Press*, ABD, 380s.
- Meyer, A. S., Suhr, Kuhr, K.I. and Nielsen, P. (2000) Natural food preservatives: An Overview, in Minimal Processing Technologies in the Food Industry. *CRC Press*, ABD, 288s.
- Mengeş, H.O. ve Ertekin, C. (2007) Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21 (42): 4-10.
- Miki, N. and Akatsu, K., 1970. Effect of Heat Sterilization on the color of tomato juice. *Nihon Shokuhin Kogyo Gakkai*, 17, 175-181.
- Muratore, G. Rizzo, V., Licciardello, F. and Maccorone, E. (2008) Partial Dehydration of Cherry Tomato at Different Temperature and Nutritional Quality of the Produce. *Food Chemistry* 111: 887-891.
- Nguyen, L. M. and Schwartz, J.S. (1999) Lycopene : chemical and biological properties. *Food Technology*, 53 (2): 38-45.
- Olorunda, A.O., Aworh, O.C. and Onuoha, C.N. (1990) Upriding Quality of Dried Tomato: Effects of Drying Methods, Conditions and Pre-drying treatments. *Journal of Science of Food Agriculture*, 52 (4) : 447-454.

- Özkan, İ. A. ve Işık, E. (2001) Domateslerin mikrodalga ışınlarla kurutulmasındaki kurutma parametreleri. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildirisi* Şanlıurfa, s:418-422.
- Özkarahan, Ü. (1990) Domatesin yapısı. Domates salçasında kalite kontrol. *Akpınar Ziraî İstihsal ve Konservacilik A.Ş. Eğitim Yayınları*, Bursa.
- Özler, S., Ergüneş, G. ve Tarhan, S. (2005) Sert Buğdaydan Yapılmış Bulgurun Tepsili Kurutucuda Kurutulması. *Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21 (2) : 160-166.
- Pabis, S. (1999) The Initial Phase of Convection Drying of Vegetables and Mushrooms and the Effect of Shrinkage. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72 :187-195.
- Palou, E., A. Lopez-Malo., G.V Barbosa-Canovas., J. Welti-Chanes. and B.G. Swanson. (1999) Polyphenoloxidase activity and colour of blanched and high hydrostatic pressur treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64:42-45.
- Panyawong, S. and Devahastin, S., (2007) Determination of Deformation of a Food Product Undergoing Different Methods and Conditions Via Evolution of a Shape Factor, *Journal of Food Engineering*, 78:151-161.
- Potter, N. N. and Hotchkiss, J.H. (1998), Food Science, *Chapman & Hall Publication*, New York, 608s.
- Pratt, G.H. (1974), Timber Drying Manual, *Building Research Establishment Report*, Londra.
- Rojas, A. M. and Gerschenson, L.N. (2001) Ascorbic Acid Destruction in Aqueous Model Systems: an additional discussion. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:1443-1439.
- Saçılık, K., Keskin, R. and Eliçin, A.K. (2006) Mathematical Modelling of Solar Tunnel Drying of Thin Layer Organic Tomato. *Journal of Food Engineering*, 73 : 231-238.
- Sarsavadia, P., Sawhney, R., Pangauhane, D.R. and Singh, S.P. (1999) Drying Behaviour of Brined Onion Slices. *Journal of Food Engineering*, 40 : 219-226.
- Sharma S.K. and Le Maguer M. (1996) Kinetics of Lycopene Degradation in Tomato Pulp Solids Under Different Processing and Storage Conditions. *Food Research International*, 29 (3-4) : 309-315.
- Shi, J. and Le Maguer, M. (2000) Lycopene in Tomatoes :Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40 (1) : 1-42.
- Soysal, Y. (2004) Microwave Drying Characteristics of Parsley. *Biosystems Engineering*, 89: (2)167 – 173

- Suntornsuk, L., Kritsanapun, W., Nilkamhonk, S. and Poochom, A., (2001) Quantitation of Vitamin C Content in Herbal Juice Using Direct Titration. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 47: 231 – 239.
- Teymur, N. (1999), Maydanoz ve dereotunun kurutulması ve kuruma karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 64s.
- Toledo, R. T. (1991) Fundamentals of Food Process Engineering. *Chapmann & Hall Publication*, 602s.
- Uylaşer, V. (1996) Salça üretim aşamalarına göre bakteri ve maya florasındaki değişim ve bozulmadaki etkileri üzerinde araştırmalar. Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa,
- Vega-Mercado H., Gongora-Nieto MM and Barbosa-Canovas GV (2001) Advances in Dehydration of Foods. *Journal of Food Engineering* 49(4):271-289.
- Vural, H. ve Duman, İ. (2000) Güneşte kurutulmuş domates üretimi ve bu üretimin sanayi domatesi üretimindeki yeri, *TİGEM Dergisi* sayı 81.
- Wang, J. and Sheng, K. (2006) Far-infrared and Microwave Drying of Peach. *LWT*, 39 :247-255.
- WEB\_1. (2005) FAOSTAT's web site. <http://faostat.fao.org/> (23.10.2008).
- WEB\_2 (2008) <http://www.hunterlab.com/> (27.10.2008).
- Yağcıoğlu, A. (1999) Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 348s.
- Yaldız, O., Ertekin, C. ve Uzun, H.İ. (2000) Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerjisi ile Kurutulmasının Matematiksel Modellemesi Üzerinde Bir Araştırma. *Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi*, Erzurum, s345-350.
- Yılmaz, H. (2000) Güneş pili tahrikli model bir güneşli kurutucunun geliştirilmesi ve kurutulmuş domates üretiminde teorik ve deneysel incelenmesi. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., & Lavelli, V. (1999) Oxidative Heat Damage of Tomato Halves as Affected by Drying. *Food Research International*, 31: 395-401.
- Zavala, J.F.A., Wang, Y.S., Wang C.Y. and Gonzalez-Aguilar A.G. (2004) Effect of Storage Temperatures on Antioxidant Capacity and Aroma Compounds in Strawberry Fruit. *LWT*, 37 (7): 687-695.

**EKLER**

### Ek-1: Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge E1.1:** 60°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde domatesin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su / g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	100,22	17,49	1
60	85,22	14,72	0,84
120	72,21	12,32	0,7
180	61,44	10,33	0,59
240	51,35	8,47	0,48
300	43,77	7,07	0,4
360	37,41	5,90	0,34
420	31,72	4,85	0,28
480	26,90	3,96	0,23
540	22,71	3,19	0,18
600	19,37	2,57	0,15
660	16,39	2,02	0,12
720	13,90	1,56	0,09
780	12,24	1,25	0,07
840	10,74	0,98	0,05
900	9,61	0,77	0,04
960	8,50	0,56	0,03
1020	7,42	0,37	0,02
1080	6,63	0,22	0,01
1140	6,28	0,16	0,009
1200	5,92	0,09	0,005

**Çizelge E1.2:** 70°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde domatesin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su / g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	110,97	17,49	1
60	91,72	14,29	0,82
120	75,12	11,52	0,66
180	60,02	9,00	0,51
240	46,28	6,71	0,38
300	37,74	5,29	0,30
360	28,45	3,74	0,21
420	22,41	2,74	0,16
480	16,68	1,78	0,10
540	13,24	1,21	0,07
600	10,35	0,73	0,04
660	8,43	0,41	0,02
720	7,45	0,24	0,013
780	7,05	0,18	0,010
840	6,64	0,11	0,006

**Çizelge E1.3:** 80°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde domatesin kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	104,82	17,49	1
60	86,82	14,31	0,82
120	68,24	11,04	0,63
180	53,06	8,36	0,48
240	41,80	6,37	0,36
300	32,33	4,70	0,27
360	24,55	3,33	0,19
420	18,11	2,19	0,13
480	13,47	1,38	0,08
540	9,42	0,66	0,04
600	7,73	0,36	0,02
660	6,49	0,14	0,008
720	6,28	0,11	0,006

**Çizelge E1.4:** 90°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde domatesin kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	98,70	17,49	1
60	78,21	13,65	0,78
120	58,22	9,90	0,57
180	42,34	6,93	0,40
240	30,15	4,65	0,27
300	20,74	2,88	0,16
360	14,03	1,63	0,09
420	9,2	0,72	0,04
480	6,63	0,24	0,01
540	6,12	0,15	0,006
600	5,87	0,10	0,003

**Çizelge E1.5:** 100°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde domatesin kurutulmasına ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Numune (g)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	106,92	17,49	1
60	79,48	12,75	0,73
120	59,47	9,29	0,53
180	40,91	6,08	0,35
240	27,14	3,70	0,21
300	16,58	1,87	0,11
360	10,15	0,76	0,04
420	7,32	0,27	0,02
480	6,20	0,07	0,004



## Ek-2: Kuruma Sırasındaki Renk Değişimine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge E2.1:** 60°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	L	a	b
0	30,17 ± 0,22	26,75 ± 0,36	13,26 ± 0,64
2	29,74 ± 0,15	25,82 ± 0,15	13,17 ± 0,07
4	29,43 ± 0,18	24,69 ± 0,41	12,98 ± 0,21
6	29,07 ± 0,56	23,74 ± 0,06	12,83 ± 0,20
8	28,71 ± 0,26	22,95 ± 0,21	12,82 ± 0,12
10	28,36 ± 0,59	22,48 ± 1,63	12,74 ± 0,35
12	27,94 ± 0,42	22,01 ± 0,29	12,67 ± 0,43
14	27,62 ± 0,75	21,82 ± 0,64	12,54 ± 0,32
16	27,27 ± 0,05	21,66 ± 0,29	12,42 ± 0,13
18	26,81 ± 0,12	21,54 ± 0,06	12,39 ± 0,07
20	26,20 ± 0,42	21,43 ± 0,65	12,28 ± 0,04

**Çizelge E2.2:** 70°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	L	a	b
0	26,87 ± 0,43	26,88 ± 0,56	12,97 ± 0,32
2	26,02 ± 0,51	25,95 ± 0,58	12,66 ± 0,33
4	25,18 ± 0,49	24,12 ± 0,95	12,38 ± 0,60
6	24,22 ± 0,65	23,44 ± 0,47	12,02 ± 0,54
8	23,85 ± 0,70	22,15 ± 0,92	11,79 ± 0,57
10	23,18 ± 0,31	21,46 ± 0,18	11,38 ± 0,18
12	22,72 ± 0,74	20,32 ± 0,42	11,12 ± 0,88
14	22,15 ± 0,27	19,54 ± 0,59	11,02 ± 0,17

**Çizelge E2.3:** 80°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	L	a	b
0	28,67 ± 0,72	26,04 ± 0,84	12,82 ± 0,53
2	27,57 ± 0,63	25,62 ± 1,12	12,74 ± 0,61
4	26,50 ± 0,42	23,54 ± 0,62	12,24 ± 0,15
6	25,52 ± 0,34	22,45 ± 0,24	11,98 ± 0,19
8	24,84 ± 0,42	21,58 ± 0,64	11,70 ± 0,52
10	23,72 ± 0,03	19,56 ± 0,06	11,42 ± 0,05
12	22,89 ± 0,70	17,68 ± 0,78	11,24 ± 0,58

**Çizelge E2.4:** 90°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin renk değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
0	28,59 ± 0,58	26,51 ± 0,78	13,06 ± 0,84
2	26,78 ± 0,89	25,83 ± 0,99	12,92 ± 0,64
4	25,11 ± 0,45	23,75 ± 0,70	12,84 ± 0,56
6	23,89 ± 0,37	20,49 ± 0,45	12,73 ± 0,46
8	22,52 ± 0,24	18,68 ± 0,88	12,44 ± 0,35
10	21,45 ± 0,76	16,43 ± 0,76	12,12 ± 0,59

**Çizelge E2.5:** 100°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin renk değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
0	28,37 ± 0,65	25,22 ± 0,56	12,78 ± 0,62
2	25,43 ± 0,62	23,22 ± 0,67	12,64 ± 0,98
4	23,72 ± 0,42	22,31 ± 0,54	12,32 ± 0,56
6	21,54 ± 0,98	21,03 ± 0,61	12,18 ± 0,54
8	20,02 ± 0,42	14,65 ± 0,77	11,48 ± 0,44

### Ek-3: Kuruma Sırasındaki Likopen Değişimine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge E3.1:** 60°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin likopen değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Likopen Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	913,86	1,52	0,2
4	819,60	1,21	0,1
8	427,58	3,80	0,9
12	325,71	3,28	1,0
16	248,12	1,13	0,5
20	222,69	3,82	1,7

**Çizelge E3.2:** 70°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin likopen değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Likopen Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	913,86	1,52	0,2
4	582,30	2,94	0,5
8	237,73	1,74	0,7
12	192,60	3,64	1,9
14	132,81	3,57	2,7

**Çizelge E3.3:** 80°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin likopen değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Likopen Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	913,86	1,52	0,2
2	822,34	9,39	1,1
4	586,35	3,51	0,6
6	320,23	1,85	0,6
8	149,85	0,47	0,3
10	51,35	0,35	0,7
12	20,70	0,04	0,2

**Çizelge E3.4:** 90°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin likopen değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Likopen Miktarı (mg/100g kurumadde)</b>	<b>Standart Sapma (<math>\delta</math>)</b>	<b>RSD</b>
0	913,86	1,52	0,2
2	681,99	5,63	0,8
4	425,00	0,06	0,0
6	238,86	0,57	0,2
8	60,79	0,20	0,3
10	22,15	0,42	1,9

**Çizelge E3.5:** 100°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin likopen değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Likopen Miktarı (mg/100g kurumadde)</b>	<b>Standart Sapma (<math>\delta</math>)</b>	<b>RSD</b>
0	913,86	1,52	0,2
2	639,75	10,53	1,6
4	291,60	3,86	1,3
6	171,59	8,68	5,1
8	20,02	0,04	0,2

#### Ek-4: Kuruma Sırasındaki $\beta$ -karoten Değişimine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge E4.1:** 60°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin  $\beta$ -karoten değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	$\beta$ -karoten Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	305,24	1,22	0,4
4	188,17	0,20	0,1
8	93,38	0,15	0,2
12	71,53	0,46	0,6
16	65,16	0,39	0,6
20	58,02	0,50	0,9

**Çizelge E4.2:** 70°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin  $\beta$ -karoten değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	$\beta$ -karoten Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	305,24	1,22	0,4
4	185,65	1,71	0,9
8	67,26	0,32	0,5
12	61,93	2,59	4,2
14	47,44	0,67	1,4

**Çizelge E4.3:** 80°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin  $\beta$ -karoten değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	$\beta$ -karoten Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	305,24	1,22	0,4
2	299,02	0,63	0,2
4	174,18	1,30	0,7
6	147,33	0,18	0,1
8	55,92	0,70	1,2
10	14,60	0,12	0,8
12	15,72	0,16	1,0

**Çizelge E4.4:** 90°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin  $\beta$ -karoten değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b><math>\beta</math>-karoten Miktarı (mg/100g kurumadde)</b>	<b>Standart Sapma (<math>\delta</math>)</b>	<b>RSD</b>
0	305,24	1,22	0,4
2	296,37	2,85	1,0
4	172,07	0,17	0,1
6	137,37	0,06	0,0
8	53,70	0,09	0,2
10	11,80	0,23	2,0

**Çizelge E4.5:** 100°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin  $\beta$ -karoten değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b><math>\beta</math>-karoten Miktarı (mg/100g kurumadde)</b>	<b>Standart Sapma (<math>\delta</math>)</b>	<b>RSD</b>
0	305,24	1,22	0,4
2	268,00	0,54	0,2
4	147,26	11,02	7,5
6	73,01	2,22	3,0
8	12,96	0,02	0,2

### Ek-5: Kuruma Sırasındaki Askorbik Asit Değişimine Ait Deneysel Veriler

**Çizelge E5.1:** 60°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin askorbik asit değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Askorbik Asit Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	544,84	1,26	0,2
4	496,48	3,08	0,6
8	335,64	6,15	1,8
12	244,44	5,46	2,2
16	162,37	21,17	13,0
20	135,55	1,33	1,0

**Çizelge E5.2:** 70°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin askorbik asit değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Askorbik Asit Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	544,84	1,26	0,2
4	337,85	0,50	0,1
8	98,31	0,89	0,9
12	71,59	1,66	2,3
14	51,78	0,28	0,5

**Çizelge E5.3:** 80°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin askorbik asit değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saat)	Askorbik Asit Miktarı (mg/100g kurumadde)	Standart Sapma ( $\delta$ )	RSD
0	544,84	1,26	0,2
2	473,31	3,40	0,7
4	304,70	5,97	2,0
6	152,35	3,61	2,4
8	113,14	0,63	0,6
10	35,23	4,94	14,0
12	15,72	0,22	1,4

**Çizelge E5.4:** 90°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin askorbik asit değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Askorbik Asit Miktarı (mg/100g kurumadde)</b>	<b>Standart Sapma (<math>\delta</math>)</b>	<b>RSD</b>
0	544,84	1,26	0,2
2	359,98	4,71	1,3
4	114,48	6,16	5,4
6	35,59	4,48	12,6
8	28,15	0,37	1,3
10	-	-	-

**Çizelge E5.5:** 100°C sıcaklıkta, %20 bağıl nemde kurutulan domatesin askorbik asit değişimine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (saat)</b>	<b>Askorbik Asit Miktarı (mg/100g kurumadde)</b>	<b>Standart Sapma (<math>\delta</math>)</b>	<b>RSD</b>
0	544,84	1,26	0,2
1	273,95	27,93	10,2
2	239,14	1,34	0,6
3	224,11	10,46	4,7
4	91,09	1,12	1,2
5	39,23	1,70	4,3
6	-	-	-
7	-	-	-
8	-	-	-



## **ÖZGEÇMİŞ**

1982 yılında Acıpayam'da doğan Engin DEMİRAY, ilköğrenimini Acıpayam Merkez Cumhuriyet İlkokulu'nda, ortaokul ve liseyi Acıpayam Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2001 yılında girdiği, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun olmuştur. 2006 yılında Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği ABD'nda yüksek öğrenimine başlayan DEMİRAY, 2007 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. Halen aynı anabilim dalında yüksek öğrenimine devam etmektedir.