

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI KURUTMA METODLARININ PUL BİBER KALİTESİ VE
KURUTMA KİNETİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Şahabettin DAĞHAN

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2015**

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAASLAN danışmanlığında, Şahabettin DAĞHAN'ın hazırladığı “**Farklı Kurutma Metodlarının Pul Biber Kalitesi ve Kurutma Kinetiği Üzerine Etkisi**” konulu bu çalışma 01/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAASLAN

Üye : Prof. Dr. Ayşe Yıldız PAKYÜREK

Üye : Doç. Dr. Hasan VARDİN

Bu Tezin Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No:13083

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Biber Bitkisi	1
1.2. Biber Üretimi	1
1.3. Biberin Beslenmedeki Yeri ve Besinsel İçeriği	3
1.4. Kırmızıbiberin Değerlendirilme Şekilleri	3
1.5. Kırmızıbiberin Kurutulması	5
1.6. Güneş Enerjili Kurutucu İle Kurutma	6
1.7. Biber Kurutulmasında Farklı Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
2.1. Kurutma Hızı ve Kinetiği	8
2.2. Kurutma Modellemeleri	10
2.3. Renk Analizi	13
2.4. Su Aktivitesi	14
2.5. Aflatoksin	16
2.6. Polifenoloksidaz	18
2.7. Hidroksimetilfurfural (HMF)	20
2.8. Askorbik Asit	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Bitki materyali	27
3.1.2. Güneş enerjili kurutucu	27
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Kırmızıbiber kurutma işlemi ve pul biber üretimi	28
3.2.2. Fiziko kimyasal analizler	30
3.2.2.1. pH tayini	30
3.2.2.2. Kurutma hızı ve kinetiği	30
3.2.2.3. Kurutma modellemeleri	31
3.2.2.4. Renk analizi	32
3.2.2.5. Su aktivitesi tayini	32
3.2.2.6. Aflatoksin tayini	32
3.2.2.7. Polifenoloksidaz aktivitesi tayini	35
3.2.2.8. Hidroksimetilfurfural (HMF) tayini	37
3.2.2.9. Askorbik Asit (C vitamini) tayini	39
3.2.2.10. Pul biberde duyusal değerlendirme	41
3.2.3. Sonuçların değerlendirilmesi ve istatistiksel analizler	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	43
4.1. Kurutma İşlemi	43
4.2. pH Tayini	44
4.3. Kurutma Hızı ve Kinetiği	45
4.3.1. Kuru madde tayini	45
4.3.2. Kurutma İşlemleri	46
4.3.2.1. Açık havada kurutma	46
4.3.2.2. Güneş enerjili kurutucuda kurutma	47
4.3.2.3. Kabin kurutucuda kurutma	48
4.3.2.4. Vakum kurutucuda kurutma	50
4.4. Kurutma Modellemeleri	52
4.5. Renk Analizi	53
4.6. Pul Biberde Su Aktivitesi	54

4.7. Aflatoksin Tayini.....	57
4.8. Polifenoloksidaz Aktivitesi Tayini	57
4.9. Hidroksimetilfurfural (HMF) Tayini	59
4.10. Askorbik Asit (C Vitamini) Tayini.....	60
4.11. Son Ürünün (Pul biber) Duyusal Açından Değerlendirilmesi	61
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	77
EKLER.....	78

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI KURUTMA METODLARININ PUL BİBER KALİTESİ VE KURUTMA KİNETİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

Şahabettin DAĞHAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAASLAN
Yıl: 2015, Sayfa: 91

Bu çalışma kapsamında Şanlıurfa'da yetiştirilen *Capsicum annuum* L.türü kırmızıbiberden açık havada - gölgede kurutma, zorlamalı konveksiyonlu güneş enerjili kurutucuda kurutma, 55°C, 65°C ve 75°C'de olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta kabin ve vakum kurutucuda ayrı ayrı kurutma şeklinde farklı kurutma yöntemleri ile pul biber üretimi yapılmıştır. Bu kurutma yöntemlerinin pul biber kalitesi (aflatoksin içeriği, ürün rengi, C vitamini içeriği, hidrokümetilfurfural (HMF) içeriği, polifenoksidaz enzim aktivitesi, su aktivitesi, nem miktarı ve duyuşal özellikleri), C vitamini düzeyindeki değişim ve kuruma kinetiği üzerine etkisi incelenmiş ve kurutma yöntemleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Kurutma süresi bakımından optimum kurutma koşullarının vakum kurutucuda 75°C'de yapılan kurutma işlemi olduğu sonucuna varılmıştır. Kurutulan kırmızıbiberin kalite özelliklerini optimum miktarlarda koruyan koşullar ise vakum kurutucuda 55°C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi olarak belirlenmiştir. Açık havada yapılan kurutma işleminin (sıcaklık; 37±1.5°C, rüzgar hızı; 7±1 km/sa) uzun sürede gerçekleştiği (43 saat) ve açık hava koşullarından kaynaklanan hijyen problemlerinin yaşandığı belirlenmiştir. Güneş enerjili kurutucuda yapılan kurutma işleminin açık havaya göre kurutma işlemini kısalttığı (26 saat), askorbik asit düzeyini daha iyi koruduğu ($C_{son}/C_{ilk} = 0.24 \pm 0.017$), daha düşük PPO enzim aktivitesi sağladığı ($EA_{son}/EA_{ilk} = 0.14 \pm 0.004$) ancak sıcaklık artışına bağlı olarak HMF miktarını arttırdığı (57.91±1.93 mg/kg) belirlenmiştir. Kabin kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde 55°C'de askorbik asit düzeyi ve renk 65°C ve 75°C'de yapılan kurutma işlemlerine göre daha iyi korunmuş, daha düşük HMF düzeyi ve daha yüksek PPO enzim aktivitesi meydana gelmiştir. En fazla kararma kabin kurutucuda 65°C ve 75°C'de yapılan kurutma işlemlerinde gerçekleşmiş (65°C'de; $L^* = 25.88 \pm 0.44$, $a^* = 21.31 \pm 0.21$, $b^* = 10.83 \pm 0.10$, 75°C'de; $L^* = 24.48 \pm 0.10$, $a^* = 22.7 \pm 0.13$, $b^* = 10.42 \pm 0.14$), ayrıca duyuşal test panelistleri tarafından 75°C'de kurutmada ürün tadında yanma tespit edilmiştir. Kalite ve kuruma süresi bakımından en iyi şartların olduğu vakum kurutucu ile kurutma işlemlerinde sıcaklık artışı ile birlikte kuruma süresinin ve askorbik asit düzeyinin düştüğü, PPO enzim aktivitesi ve HMF düzeyinin arttığı saptanmıştır. Ayrıca vakum uygulamasının PPO enzim aktivitesini önemli düzeyde düşürdüğü belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre nem oranı (MR) değişimini en uygun tanımlayan matematiksel modelin Page ve Modifiye Page Modeli olduğu (R^2 ; 0.9841–1, χ^2 ; 0.0002–0.0043, MBE; (-)0.0151–0.0272 ve RMSE; 0.0114–0.0618), askorbik asit değişimi için de Page ve Modifiye Page modellerinin en uygun modellemeler olduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Pul biber, Kurutma Yöntemleri, PPO, HMF, Askorbik Asit.

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

THE EFFECT OF DRYING METHODS ON THE DRYING KINETICS AND QUALITY OF RED PEPPER

Şahabettin DAĞHAN

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Food Engineering Department

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet KARAASLAN
Year: 2015, Page : 91

In the scope of this study, the flaked red peppers were produced from *Capsicum annuum* L. type red peppers, cultivated in Şanlıurfa, dried on the open air (shade), convectionally forced sun energized dryer, cabinet dryer at different temperatures (75°C, 65°C, 55°C) and vacuum dryer at three different temperatures (75°C, 65°C, 55°C). Effects of these drying methods on the quality of last products (aflatoxin content, colour, ascorbic acid content, hydroxymethylfurfural (HMF) content, polyphenoloxidase enzyme activity, moisture content and sensory properties) and change of ascorbic acid level and drying kinetics of flaked red pepper which is produced under different drying methods were determined. Vacuum drying at 75°C was found as to be the optimum drying condition for peppers. Optimum quality parameters were well conserved in vacuum dried peppers at 55°C. In the open air drying (temperature; 37±1.5°C, wind velocity; 7±1 km/h), drying process completed in 43 hours and hygienic problems in the samples were observed. Sun drying of the samples completed in shorter time (26 hours), ascorbic acid content was well conserved ($C_{final}/C_{first}=0.24±0.017$), low polyphenoloxidase enzyme activity was measured ($EA_{final}/EA_{first}=0.14±0.004$) but high hydroxymethylfurfural (HMF) content (57.91±1.93 mg/kg) detected because of high temperature compared with open air drying. In the cabinet drying at 55°C, ascorbic acid content and colour were well conserved, high polyphenoloxidase enzyme activity and low hydroxymethylfurfural (HMF) content obtained compared with cabinet drying at 65°C and 75°C. The highest browning was determined at the cabinet drying at 65°C ($L^*=25.88±0.44$, $a^*=21.31±0.21$, $b^*=10.83±0.10$) and 75°C ($L^*=24.48±0.10$, $a^*=22.7±0.13$, $b^*=10.42±0.14$), also burned taste was reported in the flaked red pepper produced in cabinet dryer at 75°C. Increasing HMF content, decreasing polyphenoloxidase enzyme activity and drying time were obtained with increasing drying temperature in the vacuum dried samples which represented the optimum drying conditions. It is also determined that polyphenoloxidase enzyme activity decreased significantly because of applied vacuum. According to the results, the most qualified mathematical models for moisture ratio changes were Page and Modified-Page (R^2 ; 0.9841–1, χ^2 ; 0.0002–0.0043, MBE; (-) 0.0151–0.0272 and RMSE; 0.0114–0.0618) and Page model and Modified Page model for the changes of ascorbic acid content.

KEYWORDS: Red pepper, Drying methods, PPO, HMF, Ascorbic acid.

TEŐEKKÖR

Tezin her aŐamasında yardımcı ve yol gÖsterici olan danıŐman hocam sayınYrd. Doć. Dr. Mehmet KARAASLAN ve Doć. Dr. Hasan VARDİN'e, laboratuvar analizlerinde teknik destek sağlayan değerli ćalıŐma arkadaŐlarım kimyager Serpil YILMAZTEKİN, laborant UĖur KESKİN, gıda mÖhendisi Yusuf ARSLANĖRAY ve veteriner hekimler Mehmet SAVRUNLU ve M. Sabri ESKİ'ye, ayrıca sabır ve desteklerinden dolayı AİLEM'e teŐekkÖr ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Doğal koşullarda geleneksel Şanhurfa pul biber üretimi	5
Şekil 2.1. Gıda maddelerinde kuruma evreleri	8
Şekil 2.2. Maillard reaksiyonunun oluşum mekanizması.....	21
Şekil 2.3. Hidroksimetilfurfural (HMF) bileşiğinin kimyasal yapısı	21
Şekil 2.4. L-Askorbik asidin dönüşümlü olarak dehidro-L-askorbik aside okside olması	23
Şekil 3.1. Güneş enerjili kurutucunun kesit görünüşü.....	28
Şekil 3.2. Pul biber üretim deneme planı	29
Şekil 4.1. Açık havada ve güneş enerjili kurutucuda kurutulan kırmızıbiberlere ait kuruma eğrileri	47
Şekil 4.2. Güneş enerjili kurutucuya ait hava girişi çıkışları	48
Şekil 4.3. Kabin kurutucuda kurutulan kırmızıbiberlere ait kuruma eğrileri	49
Şekil 4.4. Vakum kurutucuda kurutulan kırmızıbiberlere ait kuruma eğrileri.....	50
Şekil 4.5. Açık havada ve güneş enerjili kurutucu kullanılarak üretilen pul biberlerde su aktivitesi değişim kinetiği	55
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda kabin kurutucu kullanılarak üretilen pul biberlerde su aktivitesi değişim kinetiği	56
Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklarda vakum kurutucu kullanılarak üretilen pul biberlerde su aktivitesi değişim kinetiği	56
Şekil 4.8. Açık havada kurutma ve güneş enerjili kurutucuda kurutma yöntemleriyle üretilen pul biberlerde askorbik asit değişiminin matematiksel modellemesine ait grafikler.....	62
Şekil 4.9. Kabin kurutucu kullanılarak üretilen pul biberlerde askorbik asit değişiminin matematiksel modellemesine ait grafikler	63
Şekil 4.10. Vakum kurutucu kullanılarak üretilen pul biberlerde askorbik asit değişiminin matematiksel modellemesine ait grafikler	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. 2012 Yılı verilerine göre dünyada başlıca biber üretimi yapan ülkeler.....	2
Çizelge 1.2. 2009-2013 Yılları arasında Türkiye kırmızıbiber ihracat rakamları.....	2
Çizelge 1.3. 2009-2013 Yılları Türkiye biber üretim miktarları	2
Çizelge 1.4. Ülkemizde 2009-2013 yılları arasında baharatlık kırmızıbiber üretim miktarları	4
Çizelge 1.5. Türkiye ve Şanlıurfa'da kırmızıbiber üretimi.....	5
Çizelge 2.1. Yarı teorik ve deneysel modeller ve denklemleri.....	12
Çizelge 2.2. Su aktivitesine bağlı mikroorganizma gelişimi	15
Çizelge 2.3. Bazı meyve ve sebzelerin askorbik asit içerikleri	24
Çizelge 2.4. Kuru kırmızıbiberin bileşiminde bulunan maddeler.....	24
Çizelge 2.5. Yeşil ve kırmızıbiberlerin taze ve pişmiş halde içerdikleri besin maddeleri, vitamin ve mineral maddeler	26
Çizelge 3.1. Kurutma modelleri ve denklemleri	32
Çizelge 4.1. Kırmızıbiberlere ait bazı fiziksel özellikler.....	44
Çizelge 4.2. Bazı sebzelere ait pH değerleri.....	45
Çizelge 4.3. Biber numunelerine ait pH değerleri.....	45
Çizelge 4.4. Taze kırmızıbiber numunesinde kuru madde ve nem değerleri.....	46
Çizelge 4.5. Güneş enerjili kurutucuda ortam ve kurutucu koşulları	48
Çizelge 4.6. Farklı metodlarla kurutulan kırmızıbiberlere ait kuruma verileri.....	51
Çizelge 4.7. Farklı metodlarla üretilen pul biberlere ait renk (L^* , a^* , b^*) değerleri	54
Çizelge 4.8. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin su aktivitesi (a_w) değerleri	54
Çizelge 4.9. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin PPO enzim aktivitesi değerleri	59
Çizelge 4.10. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin HMF değerleri.....	60
Çizelge 4.11. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin <i>l</i> -askorbik asit değerleri.....	61
Çizelge 4.12. Duyusal analiz değerlendirme sonuçları.	65

SİMGELER DİZİNİ

Abs	Absorbans
PPO	Polifenoloksidaz
AF	Aflatoksin
HMF	Hidroksimetilfurfural
K	Mutlak sıcaklık
k	Eğim
MBE	Mean beas error
MR	Nem oranı (birimsiz)
M_0	Başlangıç nem miktarı
M	Anlık nem miktarı
M_e	Denge nem miktarı
RMSE	Root mean square error
R^2	Regresyon katsayısı
T	Sıcaklık (K)
X^2	Chi-square
a,b,c, n	Model sabitleri
h	Plank sabiti (Js)
k, k_0 , k_1	Model katsayıları
a_w	Su Aktivitesi
EA	Enzim Aktivitesi
C	Konsantrasyon

1. GİRİŞ

1.1. Biber Bitkisi

Biber Solanacea familyasının *Capsicum* cinsine mensup ılık iklimlerde tek yıllık, tropik iklimlerde ise çok yıllık kültür bitkisi olarak bilinir (Beis, 1990). Biber üzerinde çalışan araştırmacılar, bitkinin anavatanının tropik ve subtropik ülkeleri olduğunu bildirmektedirler. Günümüzde Antarktika haricinde tüm dünyada üretilen biberin Osmanlı Devleti'nde ve Anadolu'daki kültivasyonu farklı yollarla 16.-17. yüzyıllar arasında yaygınlaşmıştır.

Biber bitkisi, çeşitlere göre değişmekle birlikte, uzunca oval biçimli ve kenarları düz yapraklara sahiptir. Yapraklarının rengi yeşilin açıktan koyuya kadar değişen tonlarındadır. Çiçekleri genellikle beyaz ve ender olarak menekşe rengindedir. Meyvesi 1-25 cm boyunda, şekil olarak oldukça değişken, genellikle kırmızı, bazen turuncu, sarı, kahverengi, yeşil, sarı veya erguvanidir. Biber ılık ve sıcak iklim sebzesi olup, soğuğa karşı oldukça duyarlıdır. Sıcaklığın 22-25 °C arasında olduğu hallerde en iyi büyüme meydana gelir. 35°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda büyüme yavaşlar ve çiçek ve meyve oluşumunda aksamalar olur. Sıcaklığın 45 °C'nin üzerine çıkmasından itibaren büyüme durur. Bitkiler düşük sıcaklıklara hassastır. 5 °C'ye kadar hayati fonksiyonlarını sürdürürler, sıcaklığın 0°C'nin altına düşmesiyle bitkiler tamamen ölürler (Şalk ve ark. 2008). Acı biberler yüksek sıcaklıklara tatlı biberlerden daha toleranslıdır.

1.2. Biber Üretimi

Dünyada biber üretimi 2000 yılında 20 777 828 ton iken 2012 yılına kadar düzenli bir artış trendi göstererek 2012 yılında 31 171 567 tona ulaşmıştır. Dünyada en büyük biber üretici ülke Çin olup, bunu Meksika ve Türkiye izlemektedir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. 2012 yılı verilerine göre dünyada başlıca biber üretimi yapan ülkeler (FAO, 2014)

Ülkeler	Ekim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
Çin	709 150	16 023 500	22.60
Meksika	136 132	2 379 736	17.48
Türkiye	96 000	2 072 132	21.58
ABD	30 880	1 064 800	34.48
İspanya	18 100	1 023 700	56.56
Nijerya	60 000	500 000	8.33
Dünya	1 914 685	31 171 567	16.28

Türkiye taze biber üretiminde dünyada üçüncü sırayı almasına ve tek başına dünya biber üretiminin % 7'sini karşılmasına karşılık, dünya işlenmiş biber üretiminde yalnızca % 3'lük bir paya sahiptir (Demiray, E. 2009). Türkiye, ihracatının büyük kısmını yaptığı Avrupa Birliği ülkelerinde gıda maddelerinde kabul edilebilir aflatoksin limitlerinin üzerinde aflatoksin içeren pul biber üretiminden, ticaretteki yasal zorluklardan ve ülkemizde mevcut biber üreticilerinin çoğunun uluslararası ticarete deneyimsiz ve rekabet gücünden yoksun olmasından dolayı ihracat konusunda aynı başarıyı gösterememiştir.

Çizelge 1.2. 2009, 2013 Yılları arasında Türkiye biber ihracat rakamları (Bitkisel ürün denge tabloları; "Sebzeler" 2000/01-2012/13, TÜİK, 2013)

Yıllar	Toplam İhracat	İhracat (AB ülkelerine)
2013	159 397	108 567
2012	144 855	102 992
2011	177 871	131 336
2010	176 301	136 715
2009	185 010	152 020

Türkiye'de son yıllarda üretilen biberin yaklaşık %40-45'ini sivribiber, %20'sini dolmalık biber, %35-40'ını salçalık biber elde etmeye uygun biberler teşkil eder (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. 2009-2013 yılları Türkiye biber üretim miktarları (Meyvesi için yetiştirilen sebzeler, 1988-2013. TÜİK, 2013)

	2009	2010	2011	2012	2013
Salçalık biber	700 000	782 000	730 000	748 000	742 000
Dolmalık biber	384 000	387 000	364 000	383 000	396 000
Sivri biber	752 000	816 000	879 000	911 000	945 000
TOPLAM	1 836 000	1 985 000	1 973 000	2 042 000	2 083 000

1.3. Biberin Beslenmedeki Yeri Ve Besinsel İçeriği

Biberler, domatesler hariç doğrudan yemekleri yapılmayan fakat bir çok yemeklere lezzet veren, salataların, kebapların, börek ve pizzaların kaçınılmaz malzemesi olan ve salça ve sosların yapımında kullanılan, pul biber ve toz biber yapımında kullanılan bu sebeple de dünya mutfaklarının vazgeçilmez maddesi olan bir sebzedir (Şalk ve ark., 2008).

Biberin yapısında başta askorbik asit olmak üzere bazı vitaminler, karotenoidler, yağ, mineraller ve aromatik bileşikler bulunmaktadır. Askorbik asit ve karotenoidler sahip oldukları antioksidan özellikleri sayesinde, bazı tip kanserleri, kardiyovasküler hastalıkları, arteriyosklerozisi ve yaşlanmayı önleyici etki göstermektedir (Kuşçu, A. 2002). Çizelge 2.5'te biberin taze, pişmiş ve kırmızı halde iken içerdiği besin madde miktarları verilmiştir.

Biberlerin acılık maddesi 'capsaicin' adlı maddedir. Kimyasal formülü $C_{18}H_{27}O_3N$ olan proalkaloid bir maddedir. Saf bir madde değildir, bazı amidlerin karışımı halindedir. Capsaicinin çok büyük bir kısmı meyvenin damarlarında olup, meyvenin diğer kısımlarında azdır.

Biberlerde bulunan maddelerden birisi de pigmentlerdir, kimyasal yapıları itibariyle "carotenoid" 'ler içinde yer alırlar. Bunlar meyvenin rengini meydana getiren renk maddeleridir. Meyvelerde sarı, kırmızı ve turuncu-kırmızı renklerin oluşmasını sağlarlar. Kullanıldıkları gıdalara kazandırmış oldukları cazip renkten dolayı birçok araştırmaya konu olmuştur (Özalp, 2010). Bu renk maddeleri antioksidan özelliklerinden dolayı insan sağlığı bakımından büyük öneme sahiptirler.

1.4. Kırmızıbiberin Değerlendirilme Şekilleri

Kırmızıbiberin diğer biberlere göre sahip olduğu farklı tat, aroma ve renk gibi özellikleri yoğun talep görmesine sebep olmaktadır. Kırmızıbiber meyveleri, önce yeşil renge sahip iken, meyve olgunlaşınca dalında kızarıp kırmızı renge dönüşürler.

Kırmızıbiberler, genellikle *Capsicum annuum* L., *C. chinense* L. ve *C. frutescens* L. olmak üzere üç türden kaynaklanır.

Taze haldeyken, sofralık olarak çeşitli yemek ve salataların hazırlanmasında kullanılan kırmızı biberin önemli bir kısmı, başta baharat olmak üzere salça, turşu, sos, hazır çorba ve konserve üretiminde kullanılmaktadır (Karagül ve ark., 2005). Kırmızıbiberin değerlendirilme şekilleri arasında ilk sırada toz ve pul biber şeklinde baharatlık ve çeşni olarak kullanımı gelmektedir. Türk Gıda Kodeksine göre, kırmızı pul biber; *Capsicum* cinsine giren bitkilerin tam olgunlaşmış meyvelerinin tekniğine uygun olarak kurutulup, sapları alındıktan sonra yarı öğütülerek pul haline getirilmiş, belirli oranlarda yemeklik bitkisel sıvı yağ ve yemeklik tuz karıştırılarak su ile tavllanmış haline denir (Türk Gıda Kodeksi, 2013). Ülkemizde, Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Kayseri, Bursa, Bilecik ve Gaziantep illerinde üretilen kırmızıbiberler, toz ve pul biber yapımına uygundur.

Türk Patent Enstitüsü tarafından 2001 yılında tescil edilmiş olan Şanlıurfa biberi, diğer bölgelerde yetişen kırmızıbiberlerden farklı olarak, kendisine has tat ve aromaya sahiptir. Şanlıurfa biberi bölgede, taze tüketiminin yanında salça, turşu, sos ve özellikle kurutmalık elde edilen pul biber şeklinde çok fazla miktarda tüketilmektedir (Akbay ve Candemir, 2006).

Türkiye’de baharatlık yaş kırmızıbiber üretimi son yıllarda düzenli bir artış göstererek 2013 yılı itibariyle 198 636 ton olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4. Ülkemizde 2009-2013 yılları arasında baharatlık kırmızıbiber üretim miktarları (Baharat bitkileri, 1988-2013. TÜİK, 2013)

	2009	2010	2011	2012	2013
Kırmızıbiber	196 900	186 272	162 125	165 527	198 636

Şanlıurfa ilinde ise 2013 yılında 82 353 ton baharatlık işlenmemiş kırmızıbiber üretimi yapılmıştır. Bu rakam aynı yıl Türkiye baharatlık kırmızıbiber üretiminin yaklaşık yarısını teşkil etmektedir (Çizelge 1.5).

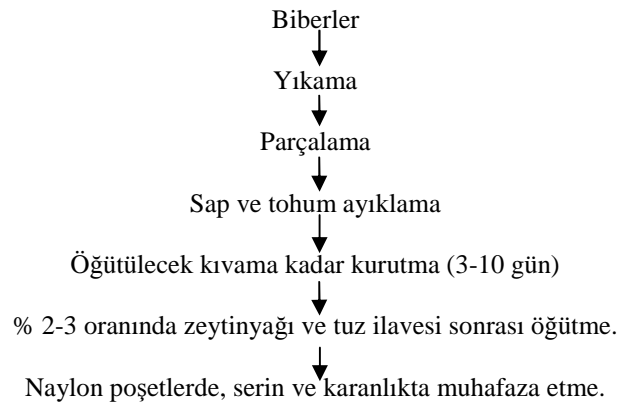
Çizelge 1.5. Türkiye ve Şanlıurfa'da kırmızıbiber üretimi (Baharat bitkileri, 1988-2013. TÜİK, 2013)

İl	Üretim Miktarı (ton)
Şanlıurfa	82 353
Türkiye	198 636

1.5. Kırmızıbiberin Kurutulması

Toz ve pul biber üretiminde en önemli aşama biberlerin kurutulması aşamasıdır. Kurutma ilk çağlardan beri kullanılan en eski muhafaza ve ürün işleme yöntemlerinden birisidir. Kurutma, gıda maddesinin bünyesindeki su oranının gıdadan uzaklaştırılması vasıtasıyla belli düzeye düşürülmesi işlemidir.

Kurutma işlemi doğal ve yapay (dehidrasyon) kurutma olarak ikiye ayrılır. Doğal kurutma açık şartlarda gölgede veya direkt güneş altında yapılabilir. Yapay kurutmada ise kabin veya tünellerde sıcak havayla kurutma, vakumla kurutma, kızıl ötesi kurutma, ozmotik kurutma, püskürtmeli kurutma, dielektrik kurutma ve mikrodalga ile kurutma gibi uygulamalarda güneş dışında diğer enerji kaynakları kullanılır (GAP Girişimci Destekleme Merkezleri, 2006). Doğal koşullarda kurutma, düşük işleme maliyeti nedeniyle günümüzde en yaygın uygulanan yöntemdir. Şanlıurfa'da da biber kurutma işlemi genellikle doğal koşullarda (gölgede veya güneş altında) kurutma yöntemiyle yapılır. Şanlıurfa'da kurutma aşamasını da içeren geleneksel pul biber üretimi aşağıdaki gibi yapılmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Doğal koşullarda geleneksel Şanlıurfa pul biber üretimi (Anonim a, 2013)

Bu yöntemin ekonomik olmasına rağmen ürünün mikrobiyal bulaşmaya açık olması, kuş, böcek gibi hayvanlar tarafından zarar görebilmesi, rüzgar, toz, toprak gibi olumsuz koşullardan etkilenmesi gibi dezavantajları vardır. Doğal koşullarda kurutma yönteminin hava şartlarına bağlı olması ve sürekli bir sistemin olmaması sınırlı miktarda üretime sebep olmaktadır. Dehidratörler ile kurutmada ise yüksek enerji maliyetleri problem olmaktadır. Bu yüzden yıllık toplam güneşli gün sayısı ve güneş radyasyon yoğunluğu bakımından Türkiye'nin en zengin yöresini oluşturan Şanlıurfa ili için güneş enerjisinin enerji kaynağı olarak kullanıldığı güneş enerjili kurutucular ön plana çıkmıştır.

1.6. Güneş Enerjili Kurutucu İle Kurutma

Güneş enerjili kurutucularda hava güneş kolektörlerinde ısıtılır, ısıtılan hava gıda maddelerinin bulunduğu ortama verilir ve gıda maddelerinin bünyesinde bulunan suyun uzaklaştırılması yoluyla kurutma sağlanır. Güneş enerjili kurutucular, kurutma havasının ürüne doğal (pasif kurutucular) ya da zorlanmış konveksiyon (aktif kurutucular) yoluyla iletilmesine göre iki grupta incelenirler. Doğal ve zorlanmış konveksiyon ilkesine göre çalışan güneş enerjili kurutucularda güneş enerjisinin kazanıldığı kolektör ve kurutmanın yapıldığı ortamın bütünleşik, ayrı veya kombine özellik göstermesine göre üç alt gruba ayrılır (GAP Girişimci Destekleme Merkezleri, 2006).

1.6.1. Bütünleşik tip güneş enerjili kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutma ortamı doğrudan güneş kolektörleri altında kalmakla beraber sera etkisi ile de hava ısınmakta ve kurutma işlemi gerçekleşmektedir.

1.6.2. Ayrı tip güneş enerjili kurutucular

Bu tip kurutucularda hava ayrı bir ortamda (solar kolektör) ısıtılmakta ve ısınan hava kurutuculardan geçirilmektedir.

1.6.3. Kombine tip güneş enerjili kurutucular

Bu kurutucularda ise hava hem ayrı olarak kolektörde ısıtılmakta hem de kurutma kabini güneş ile etkileşim içerisinde olmaktadır. Endüstride ihtiyaca göre farklı tipte tasarımlara rastlanmaktadır.

1.7. Biber Kurutulmasında Farklı Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kurutulmuş ürünlerin raf ömrü her ne kadar önemli derecede uzatılsa bile, kurutma işlemi gıdaların kimi özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilmektedir. Kurutma işlemi aynı zamanda son ürün kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerden birisidir. Son yıllarda gelişen tüketici bilinciyle beraber doğal özellikleri korunmuş, işlenmiş gıdalar daha yoğun talep görmektedir. Bu amaçla farklı kurutma tekniklerinin karşılaştırılması kullanımı daha kaliteli gıda ürünlerinin üretimini sağlayabilecektir.

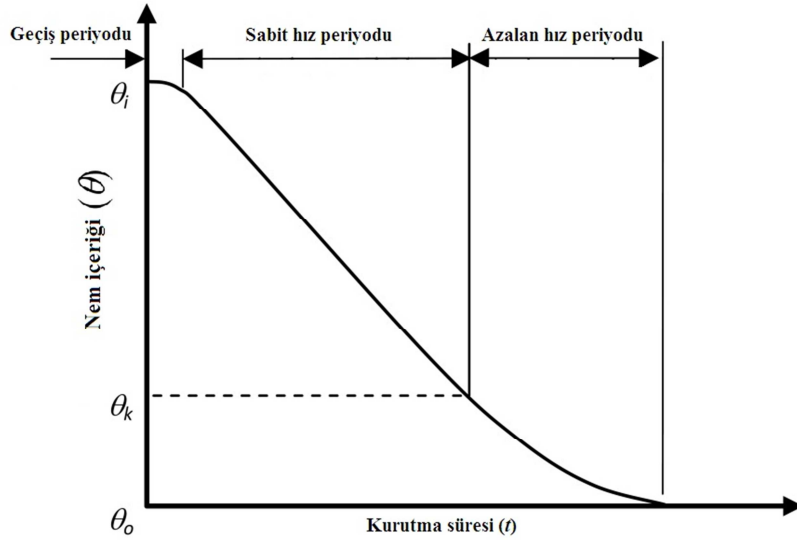
Şanlıurfa ili coğrafik olarak; yıl boyunca yüksek sıcaklığa sahip ve bu lokasyonda yıllık toplam güneşli gün sayısı ve güneş radyasyon yoğunluğu bakımından Türkiye'nin en zengin yöresidir. Dolayısıyla Şanlıurfa ili için açık havada ve güneş enerjisinin enerji kaynağı olarak kullanıldığı güneş enerjili kurutma sistemleri önde gelen kurutma alternatiflerindedir. Bu tip kurutucu ve kurutma yöntemlerinin her ne kadar kendilerine has avantajları olsa da çeşitli dezavantajlarının da olmasından dolayı bir dizi yaygın ve alternatif kurutucu ve kurutma yönteminin doğru bir karşılaştırma ile karşılaştırılması önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada; Şanlıurfa'da yetiştirilen *Capsicum. annum Linn.* türü kırmızı biberden pul biber üretiminde farklı kurutma yöntemlerinin (zorlamalı konveksiyonlu güneş enerjili kurutucuda kurutma, kabin kurutucuda kurutma, vakum kurutucuda kurutma, açık havada gölgede kurutma) pul biber kalitesi (aflatoksin içeriği, ürün rengi, C vitamini içeriği, hidroksimetilfurfural (HMF) içeriği, polifenoloksidaz enzim aktivitesi, su aktivitesi, nem miktarı ve duyu özellikleri) ile C vitamini düzeyindeki değişim ve kuruma kinetiği üzerine etkisi incelenmiş ve kurutma yöntemleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Kurutma Hızı ve Kinetiği

Kurutma, gıda maddesinin bünyesindeki su oranının gıdadan uzaklaştırılması vasıtasıyla belli düzeye düşürülmesi işlemidir (Evranoz ve Çataltaş, 1989).

Kurutma sırasında geçiş, sabit hız ve azalan hız periyodu olmak üzere üç evre görülür. Geçiş periyodu, kurutulacak maddenin kurutucu havayla dengeye geldiği geçiş süresini temsil eder. Sabit hız periyodunda, kurutmaya alınan maddenin içindeki suyun yüzeye hareket hızı, yüzeyden suyun buharlaşma hızına eşittir. Azalan hız periyodunda ise buharlaşma kurutulmuş maddenin içinde olmaya başlar (Şekil 2.1). Kurutma hızı ve kinetiği kurutucu, kurutma ortamı ve kurutulmuş gıda maddesinin fiziksel özelliklerine göre farklılık gösterir.



Şekil 2.1. Gıda maddelerinde kuruma evreleri (Wai ve ark..2012)

Kurutma işlemi uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmadan kalmasını, ürünün nemini mikrobiyal gelişme veya diğer reaksiyonları sınırlayacak seviyeye düşürerek sağlar. Buna ek olarak nem miktarının düşürülmesi ile aroma ve besin

değeri gibi kalite özelliklerinin muhafazası, ürün hacminin azaltılmasıyla da, gıda maddesinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliğin artması sağlanır (Evranoz ve Çataltaş, 1989).

Doğantan ve ark. (1987), güneş enerjili bir kurutucuda kırmızıbiber kurutmak üzere kurutma havası sıcaklığı ve hava hızının kuruma hızına etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, kuruma havası sıcaklığının 45 °C'den 60 °C'ye yükselmesi, kuruma süresini 30 saatten 17 saate azalmasını sağlamıştır. Çalışmada sıcaklığın 60 °C'nin üzerine çıkması engellenmiştir. Daha yüksek kuruma havası sıcaklıklarında kırmızıbiberde yanma meydana gelmiştir. Laboratuvar çalışmalarına göre en uygun kurutma sıcaklığının 55 °C olduğu belirtilmiştir. Hava hızındaki artış kuruma süresini kısaltmıştır ve 0.5 m/s den daha yüksek hava hızı kuruma hızında önemsiz bir artışa neden olmuştur.

Doğantan ve Tunçer (1989), yaptıkları çalışmada laboratuvar tipi kurutucuda kırmızıbiberin karakteristik kuruma özelliklerinin saptanmasına çalışmışlardır. Kırmızıbiber için kuruma sıcaklığının en fazla 60°C olması gerektiği gözlenmiş, özellikle 65°C'de biberde yanma olacağı saptanmıştır. Optimum hava akımı hızı 0.5m/s olması gerektiği tespit edilmiştir. Kurutmadan önce biberlerin yarılmasıyla, kurutma süresinin önemli ölçüde azalacağı belirlenmiştir.

Tırıs ve ark. (1994), çeşitli meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılan, güneş enerjili hava ısıtıcısı ve kurutma odasından oluşan bir güneş enerjili kurutucu üzerinde araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada çekirdeksiz üzüm, taze fasulye, tatlı biber ve kırmızıbiber kurutulmuştur. Karşılaştırma sonucunda güneş enerjili kurutucunun kuruma zamanını azalttığını ve geleneksel metoda göre daha iyi ürün kalitesi sağladığını saptamışlardır.

Koyuncu ve Pınar (2001), yaptıkları çalışmada kırmızıbiberin kurutulmasında kullanılabilen doğal akışlı güneşli kabin tip bir kurutucu tasarlamışlardır. Bu kurutucu, kuruma süresince çevre koşullarının ürün üzerindeki olumsuz etkilerini son derece azaltmakta ve kaliteyi yükseltmektedir. Ayrıca kurutucunun

kullanılmasıyla, 1 kg ürün için gerekli kuruma süresinin 3.5 saatten 1.28 saate düşürüldüğünü, böylece kuruma süresinin 2.73 kat azaltılabileceği belirlemişlerdir.

Onat (2002), havalı güneş kolektörü ile kırmızıbiber kurutmuştur. Çalışmasında, kırmızıbiber için kurutma süresini etkileyen temel faktörlerin kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemi olduğunu çok az miktarda da hava hızının etkisinin olduğunu belirtmiştir. Kırmızıbiber için en uygun kurutma hava hızının 0.5 m/s olduğunu ortaya koyarak, 65°C'nin üzerindeki kurutma işlemlerinde biberlerin renklerinde siyahlaşma olduğunu, 70°C'nin üzerinde ise biberlerde yanma olduğunu gözlemlemiştir.

Koç ve ark. (2004), kırmızıbiber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Açıkta kurutulan biberlerin toplam 37 saatte ilk ağırlıklarının %14'üne, buna karşın kurutucu içerisinde kurutulan biberlerin ilk ağırlığının %20'sinin altına düşmesi 46 saat sürmüştür.

Vega-Galvez ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada 50°C ve 90°C arasındaki kurutma sıcaklıklarının kırmızıbiberlerin bazı fizikokimyasal özelliklerine, rehidrasyon kapasitesine, rengine, askorbik asit içeriğine ve toplam fenolik madde içeriğine etkisini incelemişlerdir. Rehidrasyon kapasitesinin, kurutma sıcaklık derecelerinin artmasıyla azaldığını ve en iyi su tutma kapasitesinin 50°C'de kurutulan numunelerde olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. Kurutma Modellemeleri

Kurutma işleminin matematiksel modellenmesi yeni kurutma sistemlerinin tasarımında veya geliştirilmesinde kullanılabildiği gibi, kurutma işleminin kontrolü amacıyla da kullanılabilir. Bu modellerde kullanılan tüm parametreler (kurutma havası, sıcaklığı ve hızı gibi) direkt olarak kurutma koşullarına bağlıdır. Modellemelerin en önemli özelliği kurutma koşullarını en açıklayıcı şekilde belirten matematiksel eşitliklere dayanmasıdır. Matematiksel eşitliklerin çözümü kurutma

işleminde ilk duruma dayalı olarak herhangi bir zaman ve noktada parametrelerin belirlenmesine olanak sağlamalıdır (Kaleta ve Górnicki, 2010).

Kurutma proseslerinin standardizasyonu için en çok kullanılan teorik, yarı teorik ve deneysel modellemeler eşitliklerdeki parametre farklılıklarına göre kendi aralarında gruplara ayrılmaktadır (Toğrul ve Pehlivan, 2002).

Yarı teorik modeller tahmine dayalı teorik eşitliklerle ilgilidir (Hii ve ark, 2009) ve genellikle sıcaklık, bağıl nem, hava akışı ve nem gibi parametreler içeren eşitliklerde kullanılmaktadır (Mohapatra ve Rao, 2005). Yarı teorik modellemeler genellikle Fick'in ikinci yasasının çözümlenmesiyle veya bazı modifiye modellerin sadeleştirilmesiyle oluşturulan eşitliklerdir. Teorik eşitliklere göre daha kısa süreli hesaplamalar için yeterlidir. Bu nedenle hesaplamaların yapılabilmesi için ürünün geometrik şekline, iletkenliğine veya kütle difüzyon değerleri gibi parametrelerin ölçülmesine gerek duyulmamaktadır. Yarı teorik modellemelere Henderson ve Pabis modeli, Lewis modeli, modifiye Page modeli (Özdemir ve Devres, 1999), Newton modeli, Page modeli, logaritmik ve yarı logaritmik gibi modellemeler örnek olarak verilebilir (Hii ve ark., 2009) (Çizelge 2.1).

Deneysel modellemelerde kurutma sırasında elde edilen fiziksel değerler dikkate alınmamaktadır. Bu modellemelerde kurutulan ürünün nem miktarı ve kurutma süresi arasındaki ilişkiden yararlanılarak hesaplamalar yapılabilmektedir (McMinn, 2006; Hii ve ark., 2009). Deneysel modellemeler kurutma işlemi sırasında deney koşullarına ait kurutma eğrisi elde edilmesine yardımcı olabilmektedir. Ancak fiziksel parametreler değerlendirilemediğinden tam ve kesin sonuçlar elde edilememektedir. Deneysel modellemelere Thompson modeli, Wangh ve Singh modeli gibi modellemeler örnek olarak verilebilir (Özdemir ve Devres, 1999) (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Yarı teorik ve deneysel modeller ve denklemleri

Model adı	Denklem	Kaynak
Newton	$MR = \exp^{-kt}$	Sarsavadia ve ark..1999
Page	$MR = \exp^{-kt^n}$	Diamente ve Munro.1991
Modified Page	$MR = \exp^{-[kt^n]}$	Overhults ve ark., 1973
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp^{-kt}$	Henderson ve Pabis, 1961
Wangh ve Singh	$MR = 1+at+bt^2$	Wangh ve Singh, 1978

Correa ve ark. (1999) tarafından yapılan diğer bir çalışmada Page modeline ek olarak Henderson modelinin de kolzanın kurutulmasında uygun bir modelleme olduğu belirtilmiştir. Kolzanın çimlenmesi ve direnç kazanması için kurutma sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Antalya’da yetişen sultana üzümünün kurutulduğu bir çalışmada (Yaldız ve ark., 2001) 2 farklı kutucunun (kabin kurutucu ve bir hava kurutucusu olan dolaylı konveksiyon güneş kurutucu) kullanıldığı kurutma işleminde en uygun kurutma modeli olarak two-term modeli belirlenmiştir.

Doymaz ve Pala (2002), kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, farklı işlem ve hava kurutma şartları altında kırmızıbiberlerin kurutulmasının teorik ve deneysel bir çalışmasını sunmuşlardır. Parçalanmış biberlerin kuruyan kavisleri de dikkate alınarak üstel denklem ve Page denklemi kullanılmış ve her iki denklemin R^2 değerleri karşılaştırılarak üstel denklemden dahaiyi kurutma karakteristiklerini sağlayan denklemin Page denklemi olduğu sonucunavarılmıştır.

Deneysel modellemelerin kullanıldığı bir çalışmada, k, n ve c sabitleri çekirdeksiz üzümde belirlenmiş ve kuruma eğrisi oluşturulmuştur. Ayrıca Henderson eşitliği de çekirdeksiz üzümün kurutma optimizasyonu için uygun model olarak belirlenmiştir (El-Ghetany, 2006).

Kingsly ve Singh (2006), anardana ürünü elde edilirken kabin tipi kurutucu kullanarak 3 farklı sıcaklıkta kurutma(50°C, 55°C, 60°C) modelini belirlemişlerdir.

Kuruma olayının kuruma hızının düşüş sürecinde gerçekleştiğini ve modellemeye Thompson modelinin en uygun model olduğunu göstermişlerdir.

Wang ve ark. (2007), 4 farklı sıcaklıkta (75°C, 85°C, 95°C, 105°C) elma posasını kuruttukları çalışmada kuruma hızının 2 farklı azalma oranı periyodu (falling rate period) gösterdiğini belirlemişlerdir. İkinci periyotta efektif nem difüzyonunun altı kat daha iyi olduğunu, en uygun modelin ise logaritmik model olduğunu tespit etmişlerdir.

Duc ve ark. (2011), Page modelinin kolza tohumunun kurutulmasında en uygun model olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmada, kolzanın küresel şeklinden dolayı efektif nem difüzyonu Fick'in ikinci kuralıyla hesaplanmıştır.

Sharma ve ark. (2011) ise üç farklı sıcaklıkta (55°C, 60°C, 65°C) yaptıkları nar kurutması çalışmasında kuruma kinetiğini ve modelini belirlemelerinin yanı sıra difüzyon katsayısını ve aktivasyon enerjisini de hesaplayarak göstermişlerdir.

2.3. Renk Analizi

Renk tüketicinin ürün beğenisini etkileyen en önemli faktörlerin başında sayılmaktadır (Maskan, 2001). L^* , a^* , b^* CIE tarafından kabul edilen uluslararası renk uzayıdır. Bu uzayda L^* lüminisans veya parlaklığı temsil etmekte ve 0 (siyah) ile 100 (beyaz) arasında değişen değerler alabilmektedir. a^* ve b^* bilşenleri ise negatif değerler için yeşil ve maviyi, pozitif değerler için ise kırmızı ve sarıyı temsil etmektedirler. $L^*a^*b^*$ uzayında a^* ve b^* eksenleri kullanılarak matematiksel olarak hesaplanabilen Hue açısı ise 0° ile 360° arasında değişmekte olup, 0° kırmızı-mor, 90° sarı, 180° mavimsi-yeşil ve 270° ise mavi rengi temsil etmektedir. Literatürde CIE'nin önermiş olduğu $L^*a^*b^*$ uzayı veya HunterLab tarafından önerilen Lab uzayı gıdaların rengini temsil etmek için kullanılmaktadır (Bingöl ve Devres, 2009).

Goda ve ark. (1997), kırmızıbiberin en önemli renk bileşeni olan kapsantin ve kapsantin esterlerinin ışıktan etkilenme durumunu araştırmışlardır. Bu çalışmada serbest ve esterleşmiş kapsantin 4000 lüks ışığa maruz bırakılmış, serbest haldeki kapsantin uygulama başlangıcından itibaren bozulma gösterirken, esterleşmiş kapsantinde ancak birkaç hafta sonra bozulma saptanmıştır.

Biber karotenoidlerinin sıcaklıkla ilişkileri konusunda yürütülen bir araştırmada, 60°C'nin altındaki sıcaklıklarda sarı renk maddelerinin (ksantofiller ve β-karoten) daha fazla bozulduğu, 60°C'nin üstündeki sıcaklıklarda ise kırmızı renk maddelerinin (kapsantin ve kapsorubin) bozulmasının hızlandığı belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığının artması kırmızıbiberin toplam karotenoid miktarında azalmaya neden olmaktadır (Jaren ve Minguez, 1999).

Vega-Galvez ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada 50°C ve 90°C arasındaki kurutma sıcaklıklarının kırmızıbiberlerin bazı fizikokimyasal özelliklerine, rehidrasyon kapasitesine, rengine, askorbik asit içeriğine ve toplam fenolik madde içeriğine etkisini incelemişlerdir. Renk değerlerinin (L*,a*, b*) kurutma sıcaklığından etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Arslan ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada kırmızıbiber dilimlerini güneşte, kurutma kabinde ve mikrodalga fırında kurutmuşlardır. Kurutma kabinde 50 ve 70°C sıcaklıkta, mikrodalga fırında ise 210 ve 700W mikrodalga güçlerinde kurutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca güneşte kurutma ve mikrodalga kurutma kombinasyonu ile işlem yapmışlardır. Kurutulmuş kırmızıbiberlerin renk değerleri ve antioksidan içerikleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda güneşte kurutma ve mikrodalga kurutma (700W) kombinasyonu ile kurutulan kırmızıbiberlerin renk değerlerinin diğer yöntemlerle kurutulanlara göre daha iyi olduğu ifade edilmiştir.

2.4. Su Aktivitesi

Kurutma ile gıdaların korunması iki şekilde gerçekleşir:

1) Mikroorganizmaların gelişmesi ve enzimlerin aktivitesi için gerekli olan su uzaklaştırılır,

2) Suyun uzaklaşması ile gıdada bulunan tuzların, şekerlerin ve asitlerin konsantrasyonunda artış meydana gelerek mikroorganizmaların gelişmesine elverişsiz kimyasal bir ortam oluşturulur. Kurutulmuş gıdaların mikrobiyal stabilitesi, mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerinin engellenmesi neticesinde elde edilir.

Gıda kurutmasında önemli bir parametre de su aktivitesidir ve gıdanın buhar basıncının (p), saf suyun buhar basıncına (p₀) oranı olarak tanımlanır. Ayrıca su aktivitesi, gıdayı çevreleyen ortamın denge bağıl nemine (ERH) oranı olarak da belirtilir.

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{ERH}{100}$$

Su aktivitesi serbest suyun mikroorganizmalar tarafından kullanılabilirliğinin bir ölçüsüdür. Tüm mikroorganizmalar için optimum ve minimum bir su aktivitesi değeri vardır. Su aktivitesinin optimum seviyenin altına indirilmesi spor oluşumu ve bakteri gelişimini yavaşlatırken, minimumun altına indirilmesi bakteri gelişimini durdurmaktadır. Taze sebze, meyve, et ve sütün su aktivitesideğeri 0.97 ile 0.99 arasında iken, kurutulmuş gıdaların su aktivitesi değeri genellikle 0.70 ve altındadır (Bingöl ve Devres, 2009). Çizelge 2.2'de Su aktivitesi ve mikroorganizma gelişimi arasındaki ilişki verilmiştir.

Çizelge 2.2. Su aktivitesine bağlı mikroorganizma gelişimi (Karel, 1975)

Bazı mikroorganizmalar	Su Aktivitesi	Bazı Gıdalar
Birçok bakteri	1.0-0.9	Taze Sebze, Meyve, Et, Balık, Süt vb.
Birçok maya ve Küf	0.9-0.8	Orta Nemli Gıdalar, Tuzlanmış Gıdalar, Reçeller
Halofilik Bakteriler	0.8-0.7	Yulaf Ezmesi
Bazı Küf ve Mayalar	0.7-0.6	Kurutulmuş Meyveler
	0.5	Kurutulmuş Gıdalar

Cesur (2013), kurutma metodları ve şartlarının nar tanesinin kurutma kinetiği ve kalitesi üzerine etkisinin incelendiği çalışmada ön işlem uygulamanın ilk üründe su aktivitesini düşürdüğünü, en düşük su aktivitesinin kabin kurutucuda 75°C

yapılan, ön işlem uygulanan nar tanelerinde belirlendiğini belirtmiştir. Kurutulan nar tanelerinin (%16 nem içeriği) su aktivitesi değerlerinin (a_w) 0.385–0.532 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan su aktivitesi ölçümlerinde ise ağırlık değişim süresini olumlu etkileyen sıcaklık artışının son üründe su aktivitesini düşürdüğü belirlenmiştir.

2.5. Aflatoksin

Aflatoksinler, memeliler için toksik, yaygın ve bilinen en etkili küf kaynaklı kanserojen maddedir (Ellis ve ark.,1991). Aflatoksinlerin çeşitli işleme yöntemleri ile tamamen ortadan kaldırılamadığı ve çok az oranda bile insan sağlığı açısından risk oluşturabileceği ifade edilmektedir (Bullerman, 1979).

Aflatoksin oluşumuna sebep olan küfler toprak kaynaklı olup fındık, fıstık, badem, mısır, buğday, kuru incir ve pul biber gibi birçok gıdanın toprakla teması sonucu gıdalara geçmektedir. Aflatoksin oluşumu genelde hasat, üretim ve depolama dönemlerinde olmaktadır. Mevsimsel etkiler, ortamın nem ve sıcaklık koşulları, küf oluşumu ve böcek tahribatı gıdada aflatoksinin gelişmesine neden olur.

İsimplendirmede aflatoksinlerden ince tabaka kromatografisinde uzun dalga boyu ultraviyole ışık altında mavi (blue) floresan verenler B_1 ve B_2 , yeşil (green) floresan verenler ise G_1 ve G_2 olarak adlandırılmıştır. Aflatoksin B_2 , B_1 'in, aflatoksin G_2 de G_1 'in dihidro türevleridir ve “in vivo” koşullarda metabolik olarak B_1 ve G_1 'e okside olmadıkları sürece biyolojik olarak inaktiftirler (Groopman ve Kensler, 1988).

Aflatoksinler içinde AFB_1 hem miktar hem de toksisite bakımından en başta gelenidir. Toksik A.*flavus* kültürleri ve aflatoksin ile kontamine olmuş ürünlerdeki biyolojik aktiviteden aflatoksin B_1 ve daha az olarak da aflatoksin G_1 sorumludur (Groopman ve Kensler, 1988). Bu yüzden gıdalarda aflatoksin tayini denince genellikle aflatoksin B_1 analizi kastedilmektedir.

Ülkemizde kırmızıbiber üretiminin en fazla yapıldığı bölge olan Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bazı üreticiler, kırmızıbiberleri toprak üzerinde kurutmakta ve daha sonra fabrikalara satmaktadırlar. Bu şartlarda üretilen kırmızıbiberin toprak kökenli küf kontaminasyonuna ve aflatoksin oluşumuna oldukça açık bir ürün olacağı düşünülmektedir. Kırmızıbiber üretiminde, içi açılmadan kurutulan kırmızıbiberlerin iç boşluğu fungal kolonizasyon için dolayısıyla da aflatoksin oluşumu için uygun bir ortam oluşturmaktadır.

Taydaş ve Aşkın'ın (1995) Türkiye'de pazarlanan kırmızıbiberlerde yapmış olduğu bir araştırmada, 33 adet taze, 33 adet kuru, 31 adet toz ve 30 adet pul kırmızıbiber olmak üzere toplam 127 kırmızıbiber örneği incelenmiş ve 127 adet kırmızıbiber örneğinin 83 tanesinde aflatoksin B₁, 2 tanesinde hem aflatoksin B₁ hem de aflatoksin B₂ bulunduğu belirtilmiştir. 31 adet toz biber örneğinin 28 tanesinde aflatoksin B₁ bulunduğu, 3 tanesinde ise aflatoksine rastlanmadığı belirtilmiştir.

Dokuzlu (2000), tarafından yapılan çalışmada 30 adet kırmızı toz biberde aflatoksin B₁, B₂, G₁ ve G₂ analizleri yapılmıştır. İnce tabaka kromatografi ve yarı nicel hesaplama yöntemi ile analiz edilen numunelerin %46.66'sında değişik konsantrasyonlarda aflatoksin saptanmıştır. 30 adet kırmızı toz biber örneğinin 13 tanesinde B₁, 1 tanesinde B₁ + G₁ tespit edilmiştir. Örneklerde aflatoksin B₁ miktarı 5-25 ppb, G₁ miktarı 15 ppb bulunmuştur. Aflatoksin B₂ ve G₂'ye rastlanmamıştır.

Dinçoğlu ve Karaçal (2006), tarafından yapılan çalışmada Aralık 2004 ve Temmuz 2005 tarihleri arasında İzmit Bölgesinde değişik satış noktalarından temin edilen 192 adet baharat örneği için (50 kırmızı pulbiber, 57 kimyon, 45 toz biber ve 40 siyah pul biber) toplam aflatoksin ve aflatoksin B₁ (AFB₁) düzeylerinin saptanması amacıyla ELISA metoduyla yapılan analizlerde; Toplam aflatoksin analizinde 132 (%68.75) örnekte pozitiflik tespit edilmiştir. Pozitif örneklerin 35'i (%26.52) kırmızı pul biber, 69'u (%52.27) siyah pul biber, 18'i (%13.64) kimyon ve 10'u (%7.58) toz biber şeklinde ortaya çıkmış, örneklerin 78'inde (%40.63) ise AFB₁ saptanmış, 25 (%32.05) kırmızı pul biber, 47 (%60.26) siyah pul biber, (%5.13)

kimyon ve 2 (%2.56) toz biberde ise AFB₁ ile kontaminasyon belirlenmiştir. 192 baharat örneğinin 11'inin (%5.73) toplam aflatoksin, 7'sinin ise (%3.65) AFB₁ yönünden Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen limit değerlerin üzerinde etken içerdiği tespit edilmiştir. Tüm baharat türlerinde toplam aflatoksin miktarının 1-12 ppb, AFB₁ miktarının ise 1-10ppb aralığında olduğu saptanmıştır.

Kanbur ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada Kayseri'de tüketime sunulan 50 adet kırmızıbiber örneğindeki aflatoksin B₁ (AFB₁) EIA yöntemi ile analiz edilmiş, örneklerin tümünde AFB₁ varlığına rastlanmıştır. AFB₁ değerleri, 1.48-70.05 ppb aralığında tesbit edilmiştir ve kırmızıbiber numunelerin üç adetinde (%6.0) Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliğine göre baharatlarda bulunmasına izin verilen düzeyden (5 ppb) yüksek AFB₁ olduğu belirlenmiştir.

Öztekin ve ark. (2006), kurutulan kırmızıbiberde renk değişimi, aflatoksin oluşumu, mikrobiyal yük ve depolama zararlılarının değişimi incelenmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre üretim ve depolama esnasında aflatoksin oluşumu ve depolama zararlılarının gelişimini önleyen renk, tat ve aromayı koruyan yeni bir üretim ve depolama stratejisine gereksinim olduğu belirlenmiştir. Bu yeni yaklaşımda ozonlu suyla ürün yıkama, kurutma sistemlerinin etkin kullanımı, vakum-hermetik depolama teknikleri, bilgisayar destekli depo kontrolü gibi işlemler öngörülmüştür.

Makaracı (2006), farklı kurutma yöntemlerinin kırmızıbiberlerde aflatoksin oluşumu üzerine etkisini incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada kırmızıbiberleri açık havada, fırında ve mikrodalga fırında kurutmuştur. Aflatoksin analizlerinde yapmış olduğu hiçbir kurutma yönteminde aflatoksine rastlamamıştır.

2.6. Polifenoloksidaz (PPO)

PPO'lar meyve ve sebzelerin hasat, depolama ve işleme kalitesi ve ekonomisini belirleyen çok önemli enzimlerdir. Oksijen geçişine neden olan hasat,

depolama ve işleme sırasındaki zedelenme, kesilme ve diğer mekanik zararlar çoğu meyve ve sebzelerde melanin oluşumuna, bu da hızla esmerleşmeye neden olur. Esmerleşme yüzünden meyvelerde önemli kayıplar olmaktadır. Meyve ve sebzelerin taşınması veya işlenmesi sırasında meydana gelen zedelenmeleri, kesilmiş yüzeylerinin hava ile temas etmesi ya da dondurulma işleminden sonra çözdürülmesi enzimatik esmerleşmeye yol açar. Polifenoloksidaz muz, şeftali, kayısı, elma, üzüm, çilek ve bazı tropik meyveler ve suları, ayrıca, patates, marul ve diğer yapraklı sebzelerde esmerleşmeye sebep olan önemli bir enzimdir. Renk de bir çok gıda maddesi için önemli bir kalite kriteridir.

Esmerleşme bir çok gıda maddesi için istenmeyen bir durum iken bazı gıda maddeleri için ise istenen bir durumdur. Örnek olarak, çay, kahve, kakao, siyah üzüm ve siyah incirlerde PPO aktivitesi istenen bir durumdur. Çünkü enzim sayesinde bu ürünler istenen son ürün karakteristiklerine kavuşurlar (Gökkaya, 2005). Baharatlardan Şanlıurfa yöresinde üretimi yapılan “isot” adı verilen esmer pul biberin üretiminde polifenoloksidaz aktivitesi istenen bir durum iken Gaziantep-Kahramanmaraş yöresinde üretilen kırmızı pul biberde istenmeyen bir durumdur. Gıda maddelerinde polifenoloksidaz enziminin tayini substrat üzerine olan aktivitesinin belirlenmesi yoluyla yapılmaktadır.

Kocatürk (2008), tarafından yürütülen çalışmada enginardan saflaştırılan polifenoloksidaz enziminin aktivitesi katekolün substrat olarak kullanıldığı 5 ile 70°C arası sıcaklıklardaki aktiviteleri belirlenmiş 10°C den sonra sürekli bir düşüşle 70°C de ilk andaki aktivitenin %20-25 arası seviyeye indiği ortaya konulmuştur.

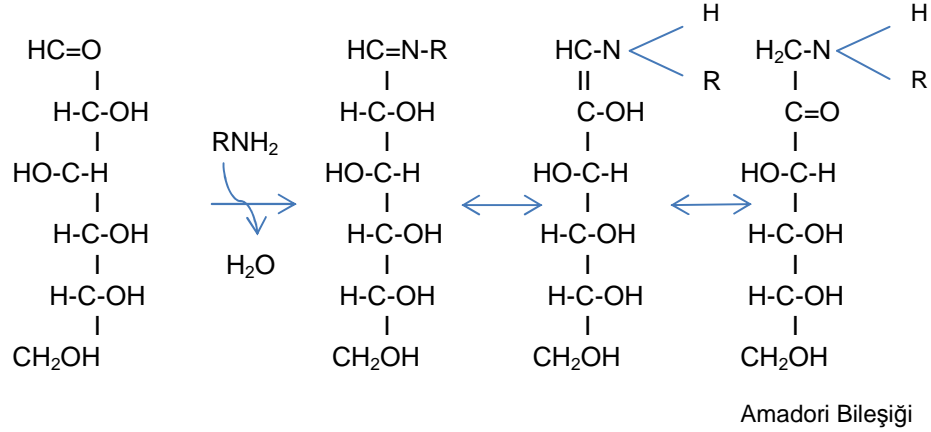
Vega-Galvez ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada 50 ve 90°C arasındaki kurutma sıcaklıklarının kırmızıbiberlerin bazı fizikokimyasal özelliklerine, rehidrasyon kapasitesine, rengine, askorbik asit içeriğine ve toplam fenolik madde içeriğine etkisini incelemişlerdir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte toplam fenolik madde değerlerinin azaldığını ifade etmişlerdir.

Akbulut (2011), tarafından yapılan çalışmada, dereotundan saflaştırılan polifenoloksidaz enziminin farklı substratlar kullanılarak değişik sıcaklıklardaki aktiviteleri belirlenmiş ve genel olarak 10 ile 60°C arasında yüksek aktivite gözlenirken, 60°C den sonra substrat türleri fark etmeksizin enzim aktivitesinin ilk andaki enzim aktivitesine oranının %20 seviyelerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Substrat olarak katekol kullanıldığında en yüksek aktivite 10°C civarında gözlenirken, artan sıcaklıkla birlikte düşen enzim aktivitesi 80-90°C arasında ilk andaki enzim aktivitesine oranla %20 seviyelerine gerilemiştir.

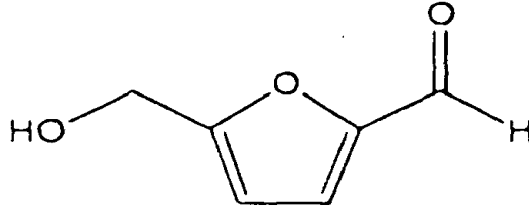
2.7. Hidroksimetilfurfural (HMF)

HMF bileşiği sanayi alanında birçok şekerli gıda ürününün, kurutulmuş gıdaların, kahvenin, meyve suyunun, reçel ve salçanın kendi proseslerinde ürüne yüklenen ısı düzeyinin birindeksi olarak değerlendirilmektedir (Henares ve ark., 2012). Birçok şekerli üründe bulunan HMF, miktar olarak meyve sularında 5 mg/l, meyve suyu konsantrelerinde ise 10 mg/kg' dan fazla ise üretim sırasında aşırısı yüklemesi yapıldığının belirtisi olarak kabul edilir. Furfural (FUR) ve 5-hidroksimetilfurfural (HMF) bir çok gıda maddesinin bozulmasında kalite indeksi olarak kullanılmaktadır (Li ve ark., 1988; Cemeroğlu ve ark., 2004).

Pastörizasyon, kızartma veya kurutma gibi ısı işlemler gıdaları korumanın en yaygın yöntemleridir. Uygun koşullar altında, gıdalar beklenen organoleptik ve besinsel özelliklerini korumakta; ancak, aşırı işlemenin bileşenlerin zarar görmesine ve besinsel değerlerin azalmasına neden olabilmektedir. HMF enzimatik olmayan esmerleşmenin bilinen bir göstergesi ve gıdaların aşırı ısıtma ve/veya depolama boyunca meydana gelen bozucu değişimlerin bir işareti olarak kullanılmaktadır. Taze gıdalarda HMF değerinin sıfıra yakın olup, işlenmiş gıdalarda önemli düzeylere ulaşması nedeniyle kalite göstergesi olarak kullanılmaktadır (Arena ve ark., 2001).



Şekil 2.2. Maillard reaksiyonunun oluşum mekanizması



Şekil 2.3. Hidroksimetilfurfural (HMF) bileşiğinin kimyasal yapısı

Zanoni ve ark. (1998), domatesi plot tesis boyutundaki kabin kurutucuda kurutmuşlar ve çalışmalarında HMF miktarındaki değişime kurutma sırasında oksidatif sıcaklık değişiminin neden olduğunu belirlemişlerdir.

Shinoda ve ark. (2005), tarafından biber ve domatesin de aralarında bulunduğu bir dizi sebze ve meyvede haşlama sonucu meydana gelen HMF miktarı belirlenmiştir. Biber ve domatesten elde edilen ve konsantre edilen salçada 0.4-18 ppm arasında, haşlanmış örneklerde ise 12.8-3500 ppm arasında HMF tespit edilmiştir.

Duru (2008), kuşburnu nektarlarının 5°C, 25°C, 35°C ve 45 °C sıcaklıklarda depolanması süresince kimyasal esmerleşme kriterlerinden olan HMF oluşumunu incelemiş, buna göre HMF düzeyi artan sıcaklıkla birlikte sürekli artış göstermiştir.

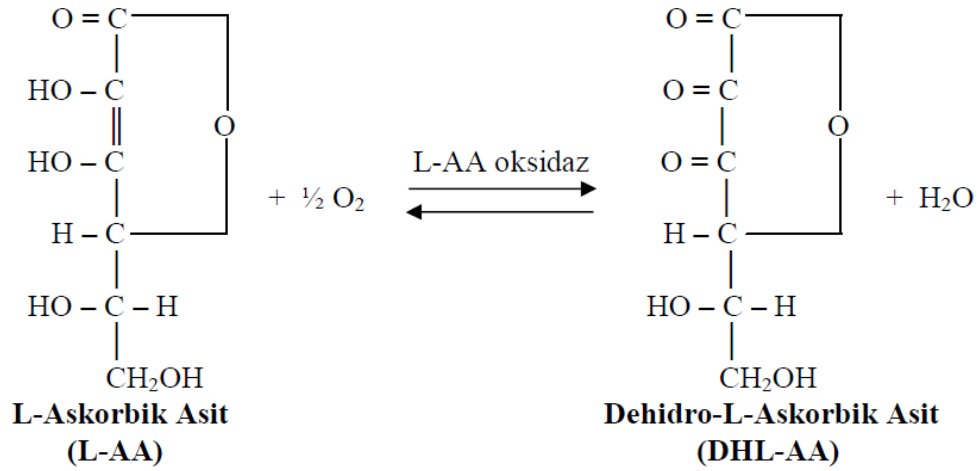
Ayan (2010), domatesi 40 °C, 50 °C, 60°C sıcaklıklarda ve açık havada (güneşte) kurutarak meydana gelen HMF miktarını belirlemiş, sadece 60°C sıcaklıkta fırında kurutulan biberlerde 29.9-31.147mg/g HMF tespit etmiştir.

Wojdylo ve ark. (2014), ekşi kirazın farklı kurutma teknikleri ile kurutulması sırasında HMF oluşumunu incelemiş, buna göre 50, 60 ve 70°C’de konvektif kurutucu ile kurutulan kirazda HMF düzeyinin artan sıcaklığa bağlı olarak sürekli arttığı gözlenmiştir. Taze kirazda tespit edilebilir düzeyde HMF’ye rastlanmamış, 50°C’de yapılan kurutmada 0.01-0.02 mg/kg civarında, 60°C’de yapılan kurutmada 0.2 mg/kg civarında, 70°C’de yapılan kurutmada ise 0.5 mg/kg civarında HMF oluşumu gözlenmiştir.

2.8. Askorbik Asit

Kimyasal adıyla “askorbik asit”, diğer adıyla C vitamini; C₆H₈O₆ kapalı formülüne sahip, insan sağlığı açısından önemli bir kimyasal bileşendir. Molekül ağırlığı 176g/mol’dür. Erime noktası 192 °C’dir (Anonim b, 1996). Doğada en yaygın bulunan vitamin olan askorbik asit; başta turunçgil meyveleri olmak üzere, çeşitli yeşil sebzelerde, domates, lahana, biber, patates, çilek vb. meyveler gibi bitkisel ürünlerde bol miktarda, hayvansal ürünlerden ise sadece süt ve ciğerde düşük düzeyde bulunmaktadır (Cemeroğlu ve Acar, 1986). Askorbik asit; suda, etanolde, metanolde ve asetonda çözünebilir. Eterde, petrol eterinde, kloroformda ve benzende çözünmez. Sulu çözeltileri kolaylıkla oksidasyona uğrayan askorbik asit en fazla pH 5-6’da stabildir (Anonim b, 1996).Oksidasyondaki ve redüksiyondaki rolü nedeniyle hemen hemen her canlı dokuda bulunan askorbik asit beyaz, kristal halde bir bileşiktir. Çeşitli izomerleri (*l*-askorbik asit, *d*-askorbik asit, *d*-izoaskorbik asit = eritorbikasit) vardır. Askorbik asit denildiğinde bu izomerlerden *l*-askorbik asit akla gelir. Çünkü, sadece bu izomerin biyolojik aktivitesi vardır. D-askorbik asit’in ve *d*-izoaskorbik asit’in hiçbir biyolojik aktivitesi yoktur, yani bunlar C vitamini işlevine sahip değildirler. Askorbik asit kristal haldeyken dayanıklı bir bileşik olmasına karşın, çözelti halindeyken kolaylıkla parçalanabilmektedir. Ayrıca, askorbik asit çeşitli etmenlerden kolaylıkla etkilenerek oksidasyona uğramaktadır. Özellikle

oksijen, ısı ve ışık askorbik asidin parçalanmasına neden olan başlıca etmenlerdir. Askorbik asit enzimatik yolla da parçalanmaktadır. Başta askorbik asit oksidaz (EC 1.10.3.3) enzimi olmak üzere lipoksigenaz, fenol oksidaz, sitokrom oksidaz ve peroksidaz gibi enzimler askorbik asidin parçalanmasını katalize eden enzimlerdir. Bunlardan sadece askorbik asit oksidaz, askorbik asidi doğrudan doğruya okside ederken diğerleri dolaylı olarak oksidasyona neden olurlar. Bu nedenlerden dolayı C vitamini vitaminler içerisinde en az stabil olanıdır (Cemeroğlu ve Acar, 1986; Pyler, 1988; Çakmakçı ve Çelik, 2004).



Şekil 2.4. L-Askorbik asidin dönüşümlü olarak dehidro-*l*-askorbik aside okside olması (Fitchett ve Frazier, 1986; Cemeroğlu ve Acar, 1986)

Taze gıdalarda bol miktarda bulunan askorbik asit antioksidan ve oksidasyon reaksiyonlarında esmerleşme özelliği gibi birçok biyolojik fonksiyona sahiptir (Kulkarni ve Aradhya, 2005). Kurutma işlemi uygulanan gıdalarda askorbik asit miktarı korunuyorsa, genellikle gıdadaki diğer bileşenler de korunmaktadır (Orak ve ark., 2011). Gıdaya uygulanan işlemler sırasında proses tipi, ürünün fiziksel özelliği ve sıcaklık-zaman ilişkisine bağlı olarak çeşitli miktarlarda askorbik asit kaybı meydana gelmektedir (Goula ve Adamopoulos, 2006). Askorbik asit meyve ve sebzelerde bulunan, gıdanın kalite göstergesi olarak ifade edilen önemli bir bileşendir (Goula ve Adamopoulos, 2006; Orak ve ark., 2011).

Çizelge 2.3. Bazı meyve ve sebzelerin askorbik asit içerikleri (Anonim c, 2014)

Meyve	Askorbik Asit (mg/100g)	Meyve	Askorbik Asit (mg/100g)
Erik	3	Havuç	6
Elma	6	Eski Patates	8
Şeftali	7	Bezelye	25
Muz	11	Yeni Patates	30
Ananas	25	Kabak	40
Domates	25	Karnıbahar	60
Narenciye	50	Brokoli	110
Çilek	60	Yaban Turbu	120
Kuş Üzüümü	200	Kırmızıbiber	140
Kuşburnu	1000	Maydanoz	150

Akgül'ün (1985), bildirdiğine göre kuru kırmızıbiber içerdiği birçok kimyasal bileşik nedeniyle insan beslenmesi ve sağlığı bakımından önem arz etmektedir. Çizelge 2.4'te kuru kırmızıbiberin bileşimi verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kuru kırmızıbiberin bileşiminde (100g) bulunan maddeler (Akgül, A. 1985.)

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	13.8 g	Su	7.9 g
Yağ	6.2 g	Lif	30.2 g
Karbonhidrat	31.6 g	Demir	0.23 mg
β-Karoten	4.91 mg	Fosfor	0.3 mg
Tiamin	0.06 mg	Kalsiyum	0.2 mg
Riboflavin	1.36 mg	Potasyum	2.4 mg
Niasin	15.3 mg	Askorbik Asit	58.8mg

Tripathi ve Nath (1989), çeşitli daldırma çözeltilerinin kurutulmuş domates dilimlerinin kalitesine etkilerini belirlemek için yaptıkları çalışmada, Pant T-2 çeşidi domatesi 60 saniye süre ile %2.5 tuz içeren kaynayan su ile muamele ettikten sonra 1.5 mm kalınlığında dilimlere ayırmışlar ve çeşitli solüsyonlara daldırarak kabin tipi bir kurutucuda ilk 4 saat 78°C, daha sonra kuruyuncaya kadar 53°C sıcaklıkta kurutmuşlardır. Araştırmacılar %5 sodyum metabisülfite ve %2.5 nişasta içeren solüsyonda 2 dakika süre ile yapılan daldırılma işleminden sonra kurutulan domates örneklerinin su geri kazanım özelliklerinin ve renginin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Kuruma süresince askorbik asit içeriğinin neredeyse tamamının yok olduğunu saptamışlardır.

Zanoni ve ark. (1998), 80°C ve 110°C hava sıcaklığı ve 1.5 m/s hava hızı şartlarında kurutulan Rita çeşidi domateslerde oksidasyondan kaynaklanan askorbik asit kayıplarını incelemişlerdir. Çalışma sırasında domatesler, ikiye ayrılıp çekirdek ve parankima 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.

Giovanelli ve ark. (2002), domateslerin işleme teknolojisine bağlı olarak maruz kaldıkları oksidasyon ve ısı hasarının domateslerin antioksidan özelliklerine etkilerini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada, domates pulpu, puresi, salçası ve kurutulmuş domatesleri materyal olarak kullanarak bunların antioksidan içeriklerini incelemişlerdir. Kurutulmuş domates örneklerini, Rita çeşidi domatesin ortadan ikiye ayırarak laboratuvar tipi bir kurutucuda 80°C sıcaklıkta %25 bağıl neme kadar kurutulmasıyla elde etmişlerdir. Araştırma sonunda en fazla askorbik asidin domates pulpunda olduğunu, domates salçasının çok az C vitamini içerdiğini, kurutulmuş domateslerde ise neredeyse tamamının (%92) yok olduğunu belirtmişlerdir.

Koç ve ark. (2004), kırmızıbiber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada açık havada hızlı kurutma olmasına karşın, *l*-askorbik asit (C vitamini) ve renk seviyeleri incelendiğinde kurutucu ile kurutulan biberlerde elde edilen değerler (askorbik asit: 21.6mg/100g, ekstrakte edilebilir renk değeri:425.2) açıkta kurutulan biberlerden (askorbik asit: 20.2mg/100g, ekstrakte edilebilir renk değeri: 286.2) daha yüksek bulunmuştur.

Marfil ve ark. (2008), yaptıkları domates kurutması çalışmasında sıcaklığın (60°C, 400 dak.) artmasıyla askorbik asit miktarının düştüğünü, ozmotik ön işlem uyguladıklarında ise azalmanın daha az miktarlarda olduğunu saptamışlardır.

Biberler iyi bir Vitamin A ve C kaynağıdır. Şalk ve ark. (2008)'nin verdiği çizelgede (Çizelge 2.5) biberin taze, pişmiş ve kırmızı halde iken içerdiği besin madde miktarları gösterilmiştir. Çizelgede bazı besin maddelerinin meyvenin kırmızı renk almasıyla arttığı görülmektedir.

Çizelge 2.5. Yeşil ve Kırmızıbiberlerin taze ve pişmiş halde içerdikleri besin maddeleri vitamin ve mineral maddeler (Şalk ve ark., 2008)

	Besin Maddeleri (g/100g)						
	Kuru Madde	Enerji (Cal)	Su	Protein	Yağ	Toplam Şeker	Karbonhidratlar
Yeşil (taze)	7-8	22	92-93	0.9-1.2	0.2-0.3	3.8	4.4
Yeşil (pişmiş)	-	-	-	-	-	-	-
Kırmızı (taze)	9	29	91	0.8-1.2	0.6-0.9	-	5.3-5.9
	Vitaminler (mg/100g)					Niacin	Vit C
	Vit. A IU*	B1	B2				
Yeşil (taze)	530	0.06-0.07	0.02-0.04		0.40	120-160	
Yeşil (pişmiş)	420	0.06	0.07		0.5	96	
Kırmızı (taze)	2200-5700	0.05-0.11	0.08-0.46		0.5-0.7	165-220	
	Mineral Maddeler (mg/100g)						
	Ca	Fe	Mg	P	K	Na	S
Yeşil (taze)	7-11	0.40	12-13	22-25	-	-	19
Yeşil (pişmiş)	9	0.5	-	16	149	9	-
Kırmızı (taze)	4-13	0.3-0.6	4-13	20-30	-	-	-

Shih ve ark. (2008) taze çilekleri 4.1 mm kalınlıkta dilimlemiş ve kızılötesi ile 3 000 ve 5 000 (W/m²) sabit ısı akışı altında ön kurutmaya tabi tutmuşlardır. 3 000 (W/m²) ile yapılan ön kurutmada çileğin 80°C'ye kadar ısınmasının 19.5 dakika sürdüğünü, buna karşın 5 000 (W/m²) ile 2.5 dakika sürdüğünü gözlemlemişler. Buradan son ürünün kalite kriterleri de göz önüne alınarak optimize edilmiş işlem parametrelerinin zaman ve enerji kazanımı sağladığı görülmektedir.

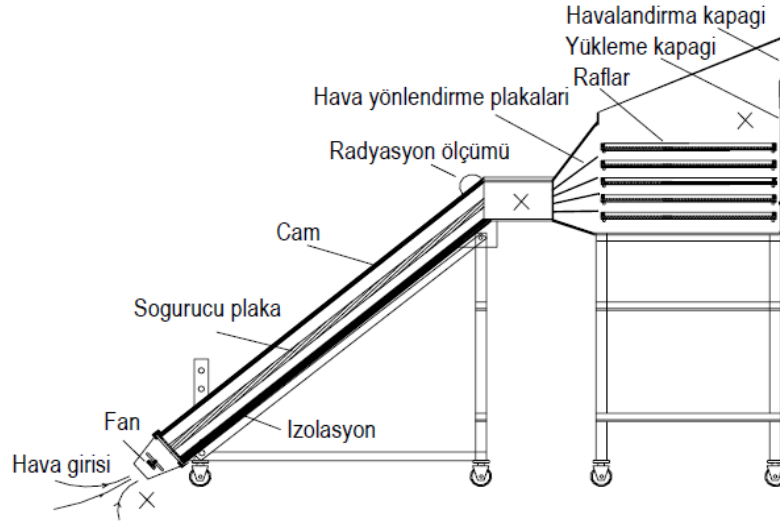
Arslan ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada kırmızıbiber dilimlerini güneşte, kurutma kabininde ve mikrodalga fırında kurutmuşlardır. Kurutma kabininde 50°C ve 70°C sıcaklıkta, mikrodalga fırında ise 210 ve 700W mikrodalga güçlerinde kurutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca güneşte kurutma ve mikrodalga kurutma kombinasyonu da işlem yapmışlardır. Kurutulmuş kırmızıbiberlerin renk değerleri ve antioksidan içerikleri incelenmiştir. Mikrodalga kurutma (210W'ta) ve kurutma kabininde 50°C'de kurutulan numunelerin antioksidan içeriğinin diğer işlemlerle kurutulan numunelere göre düşük olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM**3.1. MATERYAL****3.1.1.Bitki materyali**

Araştırmada materyal olarak kırmızıbiber kullanılmıştır. Yeterli olgunluğa erişmiş, taze kırmızıbiberler Şanlıurfa piyasasında temin edilmiştir. Aynı üreticiden biber hafta arayla 3 ayrı parti halinde biber alınmıştır. Alınan ilk parti biberler güneş enerjili kurutucuda ve açık havada kurutma için kullanılmıştır. İkinci parti biberler vakum kurutucuda, üçüncü parti biberler ise kabin kurutucuda kurutulmuştur. Pul biber üretimine geçmeden önce ve üretim sırasındaki aşamalarda alınan numuneler, analizler yapılana kadar dondurucuda -20°C’de, neme karşı korunaklı ambalajlarda muhafaza edilmiştir. Analizler için analitik saflıkta kimyasal maddeler kullanılmıştır.

3.1.2. Güneş enerjili kurutucu

Biber kurutma işinde kullanılan zorlamalı konveksiyonlu kurutucu güneş enerjili hava ısıtıcı kolektör ve kurutma odası olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır. Güneş enerjili hava ısıtıcı kolektör, 220 VAC ile çalışan santrifüj bir fana sahip 195x95x12 cm ebatlarında bir kolektördür. Kurutma odası ise 90x70 cm ebatlarında 5 adet raftan müteşekkil 10 kg kapasiteli bir bölümdür.



Şekil 3.1. Güneş enerjili kurutucunun kesit görünüşü

3.2. YÖNTEM

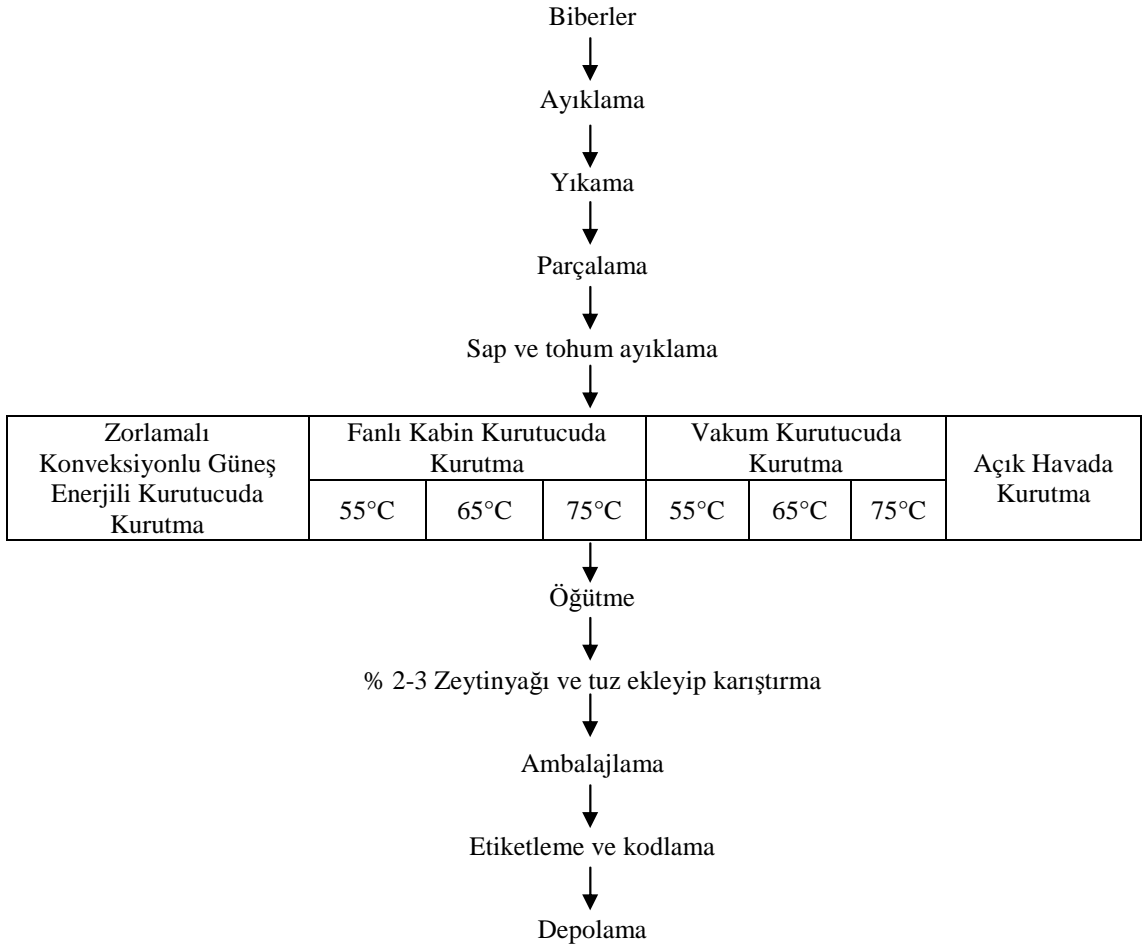
3.2.1. Kırmızıbiber kurutma işlemi ve pul biber üretimi

Araştırmada kullanılan kırmızıbiberler Şekil 3.2’de görüldüğü gibi pul biber üretim planına göre işlenmiştir. Kurutularak istenen nem düzeyine ulaşan örnekler, analizler yapılana kadar -20°C ’de, neme karşı korunaklı ambalajlarda muhafaza edilmiştir.

Literatür araştırması sonucu biber kurutulması için hava akımlı ortamda 55°C - 65°C arası uygulamaların iyi sonucu verdiği, 65 - 75°C arası sıcaklıklarda biberde siyahlaşma ve daha yüksek sıcaklıklarda ise yanma meydana geldiği anlaşılmıştır (Onat, 2002). Bu açıdan en iyi sıcaklık uygulamasının tespiti için örnekler 55°C , 65°C ve 75°C ’lerde hava akımlı kabinde ve vakum kurutucuda kurutulmuştur. Güneş enerjili kurutucunun zorlamalı konveksiyonlu olmasından dolayı güneş enerjili kurutucuda kurutma ortam sıcaklığının 80°C ’nin üzerine çıkmamasına dikkat edilmiştir. Açıkta kurutma işleminin kontrollü olması için gölgede kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemi esnasında taze üründen başlayarak kurutulmuş son ürüne ulaşıncaya kadar belirli aralıklarla örnekler alınıp nem oranı değişim grafikleri çıkarılarak biberlerin kuruma kinetiği belirlenmiştir. Kuruma kinetiğine bağlı olarak

matematiksel modeller istatistiki olarak incelenerek hangi modellemenin en uygun şekilde deneysel verileri temsil ettiği belirlenmiştir. Laboratuvara getirilen hammaddede, kuruma başlangıcında, kuruma aşamalarında ve elde edilen son üründe (pul biber) kalite analizleri yapılmıştır.

Çalışmalar 2 tekerrür, analizler 2 paralel olarak yürütülmüştür.



Şekil 3.2: Pul biber üretim deneme planı

3.2.2. Fiziko kimyasal analizler**3.2.2.1. pH tayini**

Taze biber numunesinin pH tayininde inoLab marka (Almanya) pH ölçer kullanılmıştır. Homojen hale gelene kadar doğrayıcı (Waring 8011BU, ABD) yardımıyla parçalanan ve suyu açığa çıkan taze biberlerin bulunduğu behere pH-metrenin probu daldırılarak doğrudan ölçüm yapılmıştır.

3.2.2.2. Kurutma hızı ve kinetiği

Taze biber numunelerinin ilk andaki kuru madde miktarı parçalarına ayrılmış olan örneklerden tartılarak, vakum fırınında 70°C’de 100mmHg basınç altında sabit ağırlığa ulaşmaya kadar (24 saat) kurutulması ile bulunmuştur (Kirk ve Sawyer, 1991).

$$\% \text{ Kuru Madde} = [M_1 / m] \times 100$$

$$M_1 = \text{Kurutulmuş örneğin ağırlığı}$$

$$m = \text{Örneğin ilk andaki ağırlığı}$$

Değişik proseslerle kurutulmakta olan ürünlerden kurutma işlemi sırasında belirli aralıklarla numune alınarak tartım yapılmış, kütleli değişim incelenmiş ve anlık nem değerleri belirlenmiştir. Bu işlem ürün ağırlığının ilk andaki ağırlığın %10-12’si düzeyine kadar devam etmiştir. Bu değişen ağırlık verileri ve nem değerleri kurutma kinetiği, hızı ve ilgili modellemelerin tespitinde kullanılmıştır.

$$\% \text{ Nem} = [(M_1 - M_2) / m] \times 100$$

$$M_1 = \text{Örneğin ağırlığı} + \text{sabit tartıma getirilen kurutma kabının ağırlığı}$$

$$M_2 = \text{Kurutulmuş örnek} + \text{sabit tartıma getirilen kurutma kabının ağırlığı}$$

$$m = \text{Örneğin ilk andaki ağırlığı}$$

3.2.2.3. Kurutma modellemeleri

Kurutma işlemleri sonunda elde edilen veriler Çizelge 3.1 de gösterilen modellere göre hesaplanmıştır. Her bir modelleme için regresyon analizi (R^2) ve istatistiksel hesaplamalar (Chi-Square (χ^2), Mean Beas Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE)) yapılarak hangi sıcaklık derecesi ve kurutma koşuluna hangi modellemenin en uygun olduğu saptanmıştır (Toğrul ve Pehlivan, 2004; Kingsly ve Singh 2006; Sharma ve ark, 2011). Bu değerler STATISTICA (statsoft) programı kullanılarak QuasiNewton metodu ile hesaplanmıştır (Toğrul, 2010). R^2 değerinin 1'e en yakın olduğu; χ^2 , MBE, RMSE değerlerinin minimum olduğu modellemeler kurutma işlemi için en uygun modelleme olarak gösterilmiştir.

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

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})$$

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

- MR : Nem oranı (birimsiz)
 M_0 : Başlangıç nem miktarı
M : Anlık nem miktarı
 M_e : Denge nem miktarı
k : Eğim
t : Kuruma süresi (dk)
a : Henderson ve Pabis sabitleri
n : Page sabiti
N : Gözlem sayısı
 R^2 : Regresyon katsayısı
RMSE : Root mean square error
 X^2 : Chi-square
MBE : Mean beas error

Çizelge 3.1. Kurutma modelleri ve denklemleri

Model adı	Denklemler	Kaynak
Newton	$MR = \exp^{-kt}$	Sarsavadia ve ark..1999
Page	$MR = \exp^{-kt^n}$	Diamente ve Munro.1991
Modified Page	$MR = \exp^{-[kt]^n}$	Yaldiz ve ark..1999
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp^{-kt}$	Yağcıoğlu ve ark..1999
Wangh ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Toğrul ve Pehlivan 2004

3.2.2.4. Renk analizi

Farklı kurutma yöntemleriyle üretilmiş pul biberlerde Lovibond marka (ABD) kolorimetre kullanılarak L, a, b değerleri belirlenmiştir.

3.2.2.5. Su aktivitesi tayini

Su aktivitesi miktarı Novasina marka (İsviçre) masa tipi su aktivitesi cihazı ile doğrudan belirlenmiştir.

3.2.2.6. Aflatoksin tayini

Aflatoksin analizinde AOAC 999.07, 2000 metoduna göre Shimadzu marka HPLC cihazı kullanılmıştır.

Gıda maddelerinde Aflatoksin tayini için kullanılan HPLC-FLD analiz yönteminin prensibi; örneğe uygulanan ön işlemlerden sonra (ekstraksiyon, ekstraktın temizlenmesi, immunoaffinity safhası, HPLC'ye enjeksiyon) kantitatif analiz ilkesine dayanmaktadır.

3.2.2.6.1. Kullanılan alet ve ekipmanlar

Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC)

Shimadzu LC-20AD HPLC Pump

Shimadzu SIL-20ADHT Auto Sample

Shimadzu RF-10AXL Fluorescence detector(FLD)

Shimadzu CTO-20AC Column Oven

Bilgisayar ve yazılım (HP, LCsolution)
HPLC kolonu (ODS3 -250 mm-5µm- 4.6 mm)

3.2.2.6.2. Kullanılan kimyasallar

Sodyum Klorür	: HPLC Grade
Asetonitril	: HPLC Grade
Metanol	: HPLC Grade
KBr	: %99.5 saflıkta
Nitrik Asit	: %65 saflıkta
PBS	: HPLC Grade
Saf su	: Ultra saf su

Aflatoksin B₁, B₂, G₁, G₂standartı :Supelco Aflatoksin Mix Kit-M Cat. No. 46300U, 1'er mL'lik 5 adet ampulden oluşan 2694ng/mL konsantrasyonlu, sertifikalı mix standart. Her ampul 1007 ng/mL B₁, 286 ng/mL B₂, 1071 ng/mL G₁, 330 ng/mL G₂ içermektedir.

PBS: Hazır olarak temin edilebilen PBS tabletleri kullanılır (1 tablet 100 mL distile suda çözündürülür). 25° C nin altında saklanır.

HPLC mobil faz : Saf su : ACN : MeOH (600:200:300 / v:v:v) karışım hazırlanır. Çözeltinin litresinde 120 mg KBr ve 350µL 4N Nitrik Asit ilave edilerek kullanmadan önce 0.45 mikron gözenekli filtre kağıdından süzülür. Bu çözelti oda sıcaklığında 1 hafta dayanabilir. Çözeltinin taze hazırlanması gerekir.

Aflatoksin B₁, B₂, G₁, G₂ standartlar: Konsantrasyonu belli olan sertifikalı hazır mix standart kullanılmaktadır. 2-8°C'de gün ışığı almayan yerde muhafaza edilmelidir.

II. Aşama standart solüsyonu: Ampüllerden 1 tanesi kırılarak 1 mL aflatoksin standardı 10 mL' lik Balon jofeye aktarılır ve üzerine 9 mL metanol ilave edilir.

3.2.2.6.3. Kalibrasyon eğrisinin hazırlanması

Kalibrasyon standardını hazırlamak için II. Aşama standarttan 90 µl, 2.5 ml lik balon jofeye aktarılır. Üzerine 910 µl metanol ve 1.5 ml ultra safsu ilave edilerek iyice karıştırılır. Sonrasında balon jofe içerisindeki karışım vialer olarak cihazın 20.40.60.80 ve 100 µl enjeksiyonlarda kalibrasyon standardı olarak okutulur.

Oluşturulan kalibrasyon tablosu ile 5 noktalı kalibrasyon eğrisi çizilerek, korelasyon katsayısının en az 0.999 olması sağlanır.

3.2.2.6.4. Analiz işlemi

Analiz işlemi ekstraksiyon, immunoafinite safhası ve enjeksiyon safhalarından oluşmaktadır.

Ekstraksiyon işleminde; 1 000 mL'lik blender kabına 50 g numune 0.01g hassasiyetli terazide tartılır. Üzerine 5 g NaCl ilave edilir, % 80 lik MeOH'den 300 ml eklenir. 5 dk yüksek devirde karıştırılır. Cam huni kullanılarak kaba filtre kağıdından ve Whatman No:4 filtre kağıdından geçirilerek süzülür. Süzütüden 10 mL pipetle alınır ve üzerine 60 mL PBS (8.1.) solüsyonu ile karışmaları sağlanır. Sonrasında İmmunoafinite safhasına geçilir.

İmmunoafinite safhasında; IAC kolonun başındaki mavi kısım çıkarılır ucu kesilir ve tekrar takılır. Kolon bu kısımdan enjektöre sabitlenir. 50 mL'lik enjektöre pipetle 10 mL ekstrakt alınır. Kolondan saniyede 1 damla akacak şekilde geçirilir. Daha sonra 15 mL saf su geçirilerek yıkama yapılır. Akış hızı 5 mL/dk'yı geçmemelidir. Kolondan birkaç kez hava geçirilip su tamamen çıkarılır. 1 mL MeOH eklenerek kolondan yavaşça geçirilir. Tüm metanol 2.5 mL'lik balon jofede toplanır.

1.5 mL saf su ile işlem tekrarlanır ve su aynı balon jøjeye alınır. Toplam hacim 2.5 ml ye tamamlanır. Vortekste iyice karıştırılır. 2 mL'lik vialle alınarak enjeksiyon yapılır.

Enjeksiyon safhasında; Numunelerin cihaza enjeksiyonundan önce kalibrasyon eğrişi hazırlamış olduğumuz standart solüsyonu kullanarak kontrol edilir. Standart enjeksiyon sonucu kabul edilebilir bir sonuç ise numunelerin enjeksiyonu yapılabilir. Her bir numuneden 1 defa olmak üzere 100 µL enjeksiyon yapılır.

3.2.2.6.4. Hesaplama

Önce seyreltme faktörü hesaplanır. 50 g numune 300 mL ye seyreltilir, bu karışımdan 10 mL alınır ve üzerine 60 mL PBS ilave edilir. İmmunuaaffinite kolondan 70 mL geçirilir. 2.5 ml lik balon jøjeye alınır, hacim tamamlandıktan sonra vialle alınarak cihaza verilip 100 µl enjekte edilir. Cihaza seyreltme faktörü yazılır ve çıkan pikin integrasyonu alınarak sonuç ppb olarak bulunur.

$$\text{Seyreltme faktörü: } \implies \frac{300\text{ml}}{50\text{g}} * \frac{70\text{ml}}{10\text{ml}} * \frac{2.5\text{ml}}{70\text{ml}} * \frac{1}{0.1\text{ml}} = 15$$

Sonuçlar Türk Gıda Kodeksi, 2008/26 nolu “Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkındaki Tebliğ”de belirtilen aflatoksin limitlerine göre değerlendirilmiştir.

3.2.2.7. Polifenoloksidaz aktivitesi tayini

3.2.2.7.1. Kullanılan kimyasal maddeler

0.05 M fosfat tamponu (pH=6.5) : 6 gram NaH₂PO₄ (0.05 mol) 900 ml saf suda çözüldü. pH=6.5 oluncaya kadar 1M NaOH ilave edildi ve saf suyla 1000 ml'ye tamamlandı.

0.01 M fosfat tamponu (pH=6.5) : 1.2 gram NaH_2PO_4 (0.01 mol) 900 ml saf suda çözülür. pH=6.5 oluncaya kadar 1M NaOH ilave edildi ve saf suyla 1000 ml'ye tamamlandı.

Katekol : 0.110 gram (1×10^{-3} mol) katekol tartıldı. 10 ml olacak şekilde saf suda çözülerek 0.1 M çözelti hazırlandı.

3.2.2.7.2. Örnek hazırlama

Örneklerden 10 gr tartılarak, soğuk ortamda 90 ml sodyum fosfat tampon (pH: 6.5, 0.05 M) ve 0.5 gr PVPP (Polivinilpolipirrolidone) ile 5 dk düşük devirde homojenize edilmiştir. Elde edilen homejenat önce kaba filtre kağıdından, daha sonra ise Whatman 2 filtre ile buz banyosundaki kaba süzülüp santrifüj (Elektro-mag M415 E) edilmiştir (10 dk, $4-6^\circ\text{C}$ 'de, 10000 g). Elde edilen bu süzüntü kaba enzimdir.

3.2.2.7.3. Tayin ve hesaplama

1 ml enzim oda sıcaklığına getirilip, 8 ml tampon (0.01 M) ve 1 ml katekol (0.1M) ile karıştırılıp, spektrofotometre ile 420 nm'de katekole (0.1 M) karşı absorbans değerleri okunmuş ve zamana karşı absorbans grafiği elde edilmiştir. Absorbans öncelikle zamana karşı doğrusal artış göstermekte olup, sonrasında sabitlenmektedir. Doğrusal artışın eğimi renk değişim (esmerleşme) hızı, yani enzim aktivitesini vermektedir.

Enzim aktivitesi; 1 dakikada 25°C 'de 0.001 absorbanslık artışa neden olan enzim miktarı anlamına gelmektedir. Bu yüzden 1 ünite için 1 ml enzimin göstermiş olduğu aktivite 0.001'e bölünmektedir (U/ml). Bu değer de suda çözünür kuru madde değerine bölünmüştür. Çünkü suda çözünür kuru madde değeri farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan pul biberlerde farklılıklar göstermemektedir (Yemenicioğlu ve Özkan, 1997).

3.2.2.8.Hidroksimetilfurfural tayini

Hidroksimetil furfural birçok aldehit gibi barbiturik asit ve p-toluidin ile kırmızı renkli bileşikler oluşturur. Oluşan kırmızı rengin intensitesi HMF miktarına bağlı olduğundan kantitatif kolorimetrik tayin için bu durum esas olarak kabul edilir.

Örnekler TS 6178 ISO 7466/ Nisan 2002 'de belirtildiği gibi hazırlandıktan sonra spektrofotometrede 1 cm optik yollu küvetler içerisinde, 550 nm dalga boyunda, tanık örneğe karşı absorbans ölçülerek değerlendirilmiştir. Bulunan sonuçlar mg hmf/kg biber olarak ifade edilmiştir.

3.2.2.8.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Carrez (I) çözeltisi: 160g Potasyum demir (II) hekzasiyanür su içinde çözülerek 1 L'ye seyreltilir.

Carrez II çözeltisi: 300 g Çinko sülfat heptahidrat, suda çözülerek 1 L'ye seyreltilir.

P-toluidin çözeltisi: 20.0 gp-toluidin (erime noktası 45 °C olan) yaklaşık 100 mL propan-2-ol'de, gerekirse su banyosu üstünde ısıtılarak çözülüp, 20 mL buzlu asetik asit ilave edilerek kantitatif olarak 200 mL ölçülü balona aktarılır. Isıtıldığı takdirde soğutulup işaret çizgisine kadar propan-2-ol ile seyreltilir. Bu çözelti, koyu kahverengi bir şişede, soğutucu içinde 1 ay muhafaza edilebilir.

Barbitürük asit çözeltisi: 0.500g Barbitürük asit yaklaşık 70 mL suda gerektiğinde su banyosu üstünde ısıtılarak çözülüp, kantitatif olarak 100 mL ölçülü balona aktarılır, ısıtıldığı takdirde soğutulup, işaret çizgisine kadar seyreltilir. Bu çözelti soğutucu içinde muhafaza edilmelidir.

3.2.2.8.2. Örnek hazırlanma

Numuneler iyice karıştırılarak homojenize edilir. Dondurulmuş veya derin dondurulmuş ürünler kapalı bir kaptaki çözölmeye bırakılır ve bu işlem sırasında oluşan sıvı, ürüne ilave edilerek karıştırılır ve homojenize edilir.

Analiz numunesinden 10 mL veya 10 g, veya 5 mL veya 5 g gibi daha az miktarda deney numunesi alınabilir.

Deney numunesi 100 mL'lik ölçölü balona aktarılır. 50 mL su ilave edilir. 20°C ±1°C'de kontrol edilen su banyosu üzerine yerleştirilir. 2 mL Carrez-I ve 2 mL Carrez-II-ilave edilir. Her ilaveden sonra karıştırılır. İşaret çizgisine kadar su ile tamamlanır, çözelti süzölür, süzölütünün ilk 20 mL'si atılır.

3.2.2.8.3. Kalibrasyon eğrisi hazırlama

Minimum standart konsantrasyonu sıfır olmak üzere, aşağıdaki yol izlenerek standart bir kalibrasyon eğrisi hazırlanır.

Standart stok çözeltisi: 1000 ml'lik balon jöjeye askorbik asitten 100 mg tartılarak su ile çizgisine tamamlanır. Stok çözelti 5, 10, 15, 20, 25 mg/L olacak şekilde gereken oranlarda seyreltilir. Örnek hazırlama ve tayin safhasında belirtilen aşamalardan sonra elde edilen absorbanlar vasıtasıyla kalibrasyon eğrisi hazırlanır.

3.2.2.8.4. Tayin

A ve B tüplerine 2'şer mL'lik deney çözeltisi konur.

Her iki tüpe 5 er mL p-toluidin çözeltisi ilave edilip, kapağı kapatılır ve çalkalanır. 1-2 dakika bekletilir.

A tüpüne 1 mL su ilave edilip çalkalanır. (Referans çözelti).

B tüpüne 1 mL barbitürik asit çözeltisi ilave edilip çalkalanır.

550 nm'de absorbansı barbitürik asit ilavesinden sonraki 3-4 dakika içinde referans çözeltiye karşı ölçülür.

Not: Absorbans, barbitürik asit çözeltisi ilavesinden sonra 3-4 dakikada maksimuma erişir ve daha sonra hızla düşer. Okuma maksimum absorbansta yapılmalıdır.

3.2.2.8.5. Hesaplama

5-HMF miktarı kilogramda veya litrede mg olarak aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$\text{5-HMF miktarı (mg/kg)} = \frac{m_1 \times V_1}{V_2 \times m_0}$$

m₁= Tayin'de ölçülen numune absorbansına karşılık gelen 5-HMF kütlesi (kalibrasyon eğrisinden okunan), µg

m₀= Deney numunesinin kütlesi (deney numunesi kütlece alındığında), g

V₀ = Deney çözeltisinin hacmi (deney numunesi hacimce alındığında), mL

V₁ = Deney çözeltisinin hacmi, mL (100 mL)

V₂ = Deney çözeltisinden alınan (tüpe konan) hacim , mL

3.2.2.9. Askorbik asit (C vitamini) tayini

Askorbik asit analizinde AOAC.1990 Ch 37, Metod No: 986.13 metoduna göre Shimadzu marka HPLC cihazı kullanılmış ve L-Askorbik asit miktarındaki değişim belirlenmiştir.

3.2.2.9.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Analiz sırasında, yalnızca aşağıda belirtilen analitik saflıktaki kimyasallar ve ultra saf su kullanılmalıdır.

MeOH

Asetonitril (kromatografi için)
% 85 Fosforik Asit (o-Fosforik asit)

KH₂PO₄: 0.02 M potasyumdihidrojen fosfat: 2.72 g KH₂PO₄ suda çözülür ve yaklaşık 900 ml'ye tamamlanır. Tampon pH'sı % 85'lik fosforik asit ile 2.4'e ayarlanır ve litreye tamamlanır.

3.2.2.9.2. Örnek hazırlama

2g numune 100 ml %60 metil alkol çözeltisinde 10 dakika düşük devirde homojenize edilir ve daha sonra 6000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilir.

C18 kartuşundan, enjektör yardımıyla, sırasıyla önce 10 ml Asetonitril, sonra da 10 ml H₂O geçirilerek kartuş şartlandırılır.

Kartuştan 10 ml hava geçirilir (enjektör boş pompalanarak).

10 ml örnek kartuştan yavaş bir şekilde (damlalar halinde) geçirilir.

İlk 4-5 ml örnek atılır.

Kalan 4-5 ml örnek toplanır ve 0.45µm'lik filtreden geçirilerek viallere konup cihaza yerleştirilir.

3.2.2.9.3. Kromatografik şartlar

Mobil faz: 0.02 M KH₂PO₄ % 100 oranında cihaza verilir.

Akış hızı: 0.8 ml/dak.

Dalga boyu: 214 nm (Diğer analitler için uygun dalga boyları spektrum alınarak bulunmalıdır).

Enjeksiyon hacmi: 20 µl

Kolon: Analitik kolon

Kolon sıcaklığı: Oda sıcaklığı (20°C)

UV-DAD Dedektör

Analitik kolon: C18 kolon

3.2.2.9.4. Kalibrasyon eğrisi hazırlama

Minimum standart konsantrasyonu sıfır olmak üzere, aşağıdaki yol izlenerek standart bir kalibrasyon eğrisi hazırlanır.

Standart stok çözeltisi: 200 ml'lik balon jöjeye askorbik asitten 200 mg tartılarak su ile çizgisine tamamlanır.

Standart çalışma çözeltisi: Stok çözeltiler 10, 20, 40, 60, 80 mg/100ml olacak şekilde gereken oranlarda seyreltilir. Örnek hazırlama safhasında belirtilen yöntemle filtre edilen stok çözeltiler viallere konarak cihaza verilir ve cihaz tarafından kalibrasyon eğrisi hesaplanır.

3.2.2.9.5. Hesaplama

Cihaza ait bilgisayar uygulaması ile kalibrasyon eğrisi kullanılarak, analiz edilen numunede bulunan askorbik asit konsantrasyonu hesaplanmıştır. Belirlenen kurutma yöntemlerinin uygulanması esnasında belirli aralıklarla alınan numunelerdeki askorbik asit düzeyi tespit edilmiş ve kurutma işlemi sürecinde askorbik asit düzeyindeki yüzde değişim belirlenmiştir. Sonuçlar kuru ve yaş bazda ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3.2.2.10. Pul biberde duyuşal değerlendirme

Duyuşal değerlendirmede ürünler renk, tat, aroma, koku ve genel izlenim gibi özellikleri bakımından değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Duyuşal analizler dört temel tada duyarlılıkları test edilmiş 10 kişilik bir panelist grubu tarafından yapılmıştır. Örneklerin duyuşal özellikleri kalitenin derecelendirilmesinde kullanılan *Grafik Skala* metodu ile değerlendirilmiştir.

3.2.3. Sonuçların değerlendirilmesi ve istatistiksel analizler

Laboratuvar denemeleri, tesadüf parselleri deneme desenine göre 2 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Sonuçlar ANOVA yöntemiyle SPSS (analytical software) programında (LSD) istatistiksel olarak yorumlanmıştır. Gerekli grafikler Sigma Plot programı ile çizilmiştir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA**4.1. Kurutma İşlemi**

Kurutma amacıyla piyasadan alınan kırmızıbiberlerden 3 ayrı numune seçilerek fiziksel özellikleri belirlenmiş (Çizelge 4.1), homojen hale gelene kadar öğütülen materyalin pH derecesi tespit edilmiştir.

Kurutulmak üzere alınan kırmızıbiberler manuel olarak parçalanmış, sap, tohum ve yabancı maddeler uzaklaştırılmıştır. Vakum kurutucu kullanılarak kırmızıbiberlerin toplam kuru madde miktarı tespit edilmiştir.

Açıkta, güneş enerjili kurutucuda, kabin kurutucuda (ayrı ayrı 55°C, 65°C, 75°C'de), ve vakum kurutucuda (ayrı ayrı 55°C, 65°C, 75°C'de) olmak üzere 8 farklı koşulda kurutma işlemi yapılmıştır.

Tüm kurutma yöntemlerinde kırmızıbiberlerin serme sıklığının (g/m^2) aynı olmasına dikkat edilmiş, bu sayede sonuçların sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesine olanak sağlanmıştır. Hava akış hızını etkilemeyecek ve ortam koşullarını numunelere en iyi düzeyde yansıtacak kurutma kapları seçilmiştir. Kurutma ortamlarına konan numunelerin süreç içerisinde düzenli ağırlık ölçümleri yapılmış ve elde edilen ağırlık değişim verileri ile regresyon analizi (R^2) ve istatistiki bazı hesaplamalar (χ^2 , MBE, RMSE) kullanılarak kurutma hızı, kinetiği ve en uygun matematiksel kurutma modellemesi belirlenmiştir. Ağırlık değişimleri takip edilmiş ve bu ağırlık değişimi verileri ile nem oranı $(m-m_e)/(m_0-m_e)$ hesaplanmıştır (Sharma ve ark., 2011).

Kurutma işlemlerinde süreç içerisinde belirli aralıklarla alınan numuneler nemden etkilenmeyecek şekilde ambalajlanıp kodlanarak -20°C'de derin dondurucuda analizlerin yapılacağı tarihe kadar muhafaza edilmiştir.

HMF, PPO ve aflatoksin analizi ilk ve son numunelerde, askorbik asit, renk ve su aktivitesi tayinleri ilk ve son numuneler de dahil olmak üzere tüm ara numunelerde yapılmıştır. Renk ve su aktivitesi tayinleri numuneler kurutma ortamından alındıktan hemen sonra yapılmıştır. Elde edilen veriler analiz konusu olan maddelerdeki değişimin görülebilmesine olanak sağlamıştır. Son ürünlerde duyu analizler yapılarak farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen ürünlerin albenisi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. Kırmızıbiberlere ait bazı fiziksel özellikler

Fiziksel özellikler	Değerler
Meyve ağırlığı	65±5 g
Meyve boyu	14±2 cm
Meyve çapı	4.5±0.5 cm
Meyve suyu rengi	Kırmızı
Cidar kalınlığı	0.11± 0.01cm
Cidar rengi	Kırmızı

4.2. pH Tayini

Bir çok nedenden dolayı pH kavramı gıda bilimi ve teknolojisi açısından çok önemli kabul edilmektedir. Örneğin, meyve ve sebzelerde olgunluk derecesi, gıdalarda renk, tat, aroma ve tekstür oluşumu gibi kalite özellikleri, bazı gıda maddelerinin depolanmaya dayanıklılıkları, her bir mikroorganizma ve enzim için optimum, minimum ve maksimum çalışma pH derecelerinin bulunmasından dolayı mikroorganizma ve enzimlerin gıdalarda kontrolü veya bunların kullanımı ve bazı muhafaza metotlarıyla gıdaların korunmasında optimum koşullar pH ile yakından ilgilidir ve pH'nın yakından kontrolü ile mümkündür (Anonim d, 2014).

Sebzeler genel itibarı ile meyvelerden daha yüksek pH derecesine sahiptir. Domates dışında tüm taze sebzeler düşük asitli gıdalar içerisinde yer almaktadır. Düşük asitli gıdalar 4.6 ile 6, 9 arasındaki pH değerlerine sahiptir (Anonim e, 1962).

Yapılan çalışmada B₁, B₂, B₃ olarak adlandırılan üç ayrı partiden alınan biber numunesinde pH ölçümleri yapılmış ve ortalama pH=4.95 bulunmuştur. Elde edilen

değer, bitki materyalinin olgun biber numunesinde olması gereken pH değer aralığında değere sahip olduğunu göstermiştir.

Çizelge 4.2. Bazı sebzelere ait pH değerleri (Anonim e, 1962)

Sebze	pH
Lahana	5.20 - 6.80
Havuç	5.88 - 6.40
Mısır Tanesi	4.90 - 5.38
Salatalık	5.12 - 5.78
Marul	5.80 - 6.15
Patlıcan	5.50 - 6.50
Biber	4.65 - 5.45
Yeşilbiber	5.20 - 5.93

Çizelge 4.3. Biber numunelerine ait pH değerleri

Biber Numunesi	pH Derecesi
B ₁	4.79
B ₂	4.97
B ₃	5.08
Ortalama ((B ₁ +B ₂ +B ₃) / 3)	4.95

4.3. Kurutma Hızı ve Kinetiği

4.3.1. Kuru madde tayini

B₁, B₂ ve B₃ olarak adlandırılan üç adet taze kırmızıbiber numunesinin ilk andaki kuru madde miktarı ve nemi parçalara ayrılmış olan örneklerden 11.434±0.106g tartılarak, vakum fırınında 70°C'de 100mmHg basınç altında sabit ağırlığa ulaşınca kadar (24 saat) kurutulması sonucu son ağırlıklarından faydalanılarak bulunmuştur (Kirk ve Sawyer, 1991). Kurutma işlemi sırasında elde edilen veriler ve taze kırmızıbiber numunesinde tespit edilen kuru madde ve nem değerleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.4).

Taze kırmızıbiber numunesinin ilk andaki kuru madde miktarı % 8.75, nem düzeyi ise % 91.25 olarak belirlenmiştir. Tespit edilen kuru madde miktarı, kurutma işlemlerinde kullandığımız kırmızıbiberlere ait nem değerlerinin hesaplanmasında

kullanılmıştır. Ayrıca askorbik asit, HMF, polifenoloksidaz ve aflatoksin tayinlerinde elde edilen sonuçlar kuru madde bazında hesaplanarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.4. Taze kırmızıbiber numunesinde % kuru madde miktarı ve nem değeri

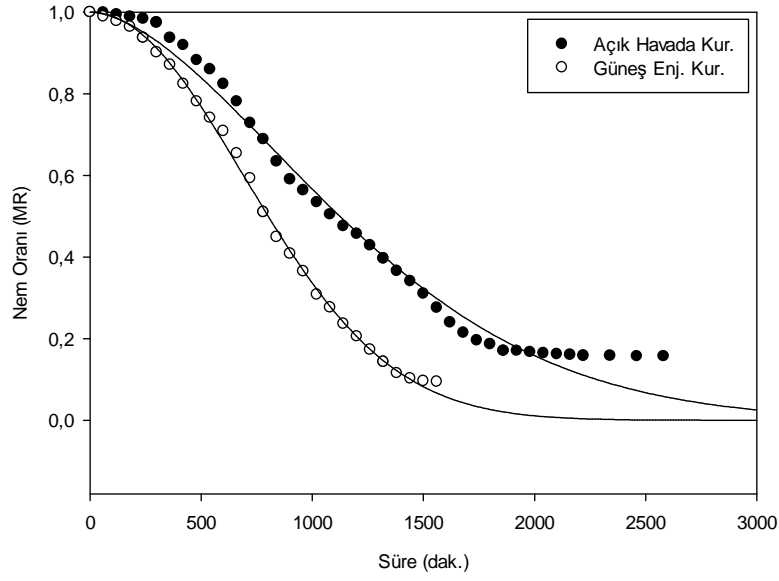
Saat	B ₁ (g)	B ₂ (g)	B ₃ (g)	Ortalama (g)
09:40	11.54	11.33	11.33	11.40
09:40 (sonraki gün)	0.98	1.00	1.01	1.00
Kuru Madde (%)				8.75
Nem (%)				91.25

4.3.2. Kurutma işlemleri

Kurutma işlemi açık havada, kabin tipi fanlı kurutucuda, vakum kurutucuda ve güneş enerjili kurutucuda yapılmıştır (Ek 4).

4.3.2.1. Açık havada kurutma

Kurutma işlemi için temizlenip ayıklanan numuneler tüm kurutma işlemlerinde olduğu gibi açıkta kurutmada da temizlenmiş beton zemine 1600 g/m² serme sıklığında yayılmıştır (Ek 4). Kurutma günlerinde ortam sıcaklığı gölgede en yüksek 37±1.5°C, en düşük 23 ± 1°C, nem en düşük %18 ± 3, en yüksek %52 ± 4, hava hızı ise gündüz koşullarında 7±1 km/sa olarak ölçülmüştür. İşaretlenerek tartım numunesi olarak belirlenen numuneler her saat başında hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Kurutma işlemi güneşlenme süreleri dikkate alındığında 43 saat sürmüş ve ürünün son nemi %14.31±1.23 olarak tespit edilmiştir. Son ürünün nem oranı ise (MR) 0.160 ± 0.0135 olmuştur. Kurutma sürecinde 400 - 1 800 dakikalar arasında ürün neminde hızlı bir düşüş gerçekleşmiş, 2 000 dakikadan sonra ise çok az bir değişim gözlenmiştir (Şekil 4.1).



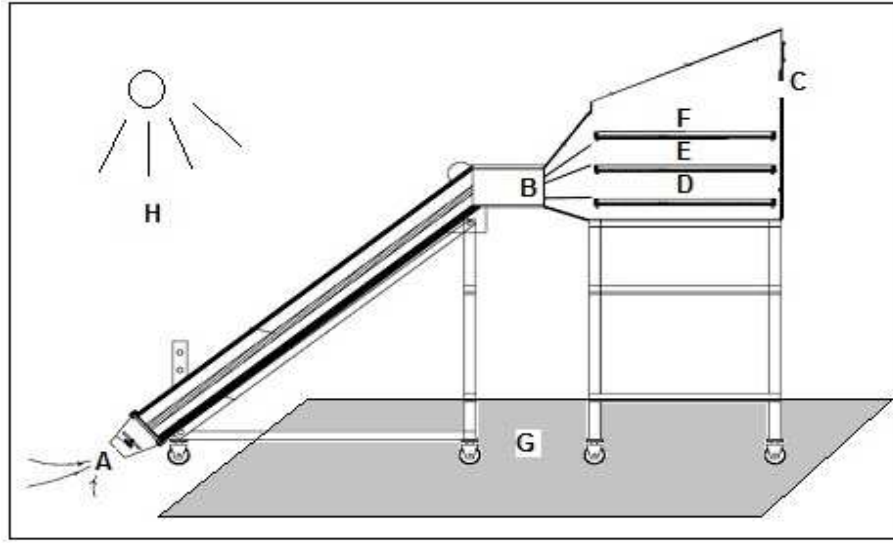
Şekil 4.1. Açık havada ve güneş enerjili kurutucuda kurutulan kırmızıbiberlere ait kuruma eğrileri

4.3.2.2. Güneş enerjili kurutucuda kurutma

Kurutma işlemi için temizlenip ayıklanan numuneler diğer kurutma işlemlerinde olduğu gibi güneş enerjili kurutucuda da $1\ 600\ \text{g/m}^2$ serme sıklığında serilmiştir (Ek 4). Numuneler kurutma kabininin alt, orta ve üst raflarına serilmiştir. Kurutma işleminin yapıldığı günlerde tespit edilen hava ve kurutucu koşulları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.5, Şekil 4.2).

İşaretleterek tartım numunesi olarak belirlenen numuneler her saat başında hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Kurutma işlemi güneş enerjili kurutucuya ait kolektörün ürettiği enerji vasıtasıyla çalışan fanın çalıştığı süreler olan etkin güneşlenme süreleri dikkate alındığında 26 saat sürmüş ve son ürünün nemi $\%8.59 \pm 0.67$ olarak tespit edilmiştir. Etkin güneşlenme günün 08-17 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Son ürünün nem oranı (MR) 0.094 ± 0.0073 olmuştur. Kurutma sürecinde ürün neminde 240-1200 dakikalar arasında hızlı bir düşüş gerçekleşmiş, 1 440 dakikadan sonra ise değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.1).

Güneş enerjili kurutucuda kabin girişi sıcaklık ve hava hızı değerleri ($42\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ve 3.1 ± 0.2 m/s) açık hava koşullarından ($34.1\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ve 0.3 ± 0.3 m/s) daha yüksek olmuştur. Güneş enerjili kurutucuda kurutma işlemi açıkta kurutmadan daha kısa sürede sona ermiş (1560 dak.) ve daha düşük nem oranına sahip son ürün (0.094 ± 0.0073) elde edilmiştir (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.6). Bu durumun oluşmasında güneş enerjili kurutucunun kabin içi sıcaklık değerinin açık hava koşullarından daha yüksek değerde olması etkili olmuştur.



Şekil 4.2. Güneş enerjili kurutucuya ait hava giriş çıkışları (A:Fan Girişi, B:Kabin Girişi, C:Kabin Çıkışı, D: Alt Raf, E: Orta Raf, F: Üst Raf, H: Açık Hava (Güneş), G: Açık Hava (Gölge))

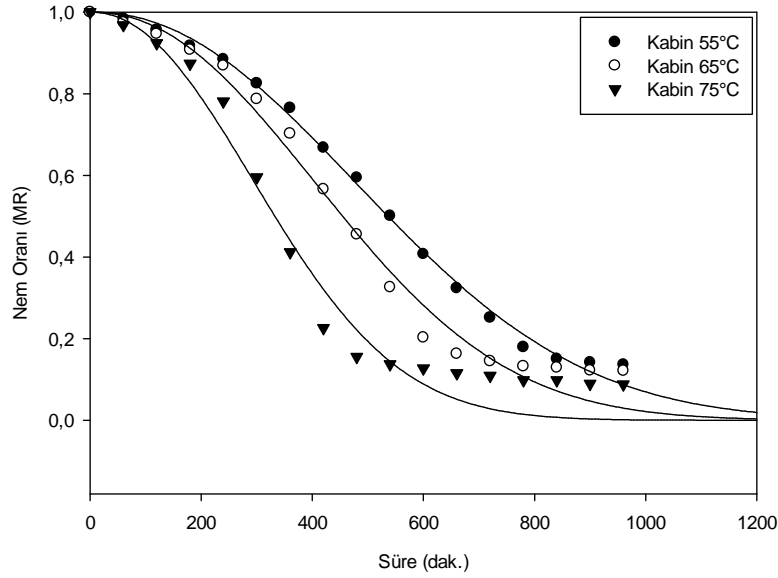
Çizelge 4.5. Güneş enerjili kurutucuda ortam ve kurutucu koşulları

Yer	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Hava Hızı (m/s)
Fan Girişi	34.5	1.54 ± 0.5
Kabin Girişi	42 ± 0.2	3.1 ± 0.2
Kabin Çıkışı	39.5	-
Açık Hava (Gölge)	34	0.3 ± 0.3
Açık Hava (Güneş)	34.1 ± 0.1	0.3 ± 0.3

4.3.2.3. Kabin kurutucuda kurutma

Kurutma işlemi için temizlenip ayıklanan numuneler tüm kurutma işlemlerinde olduğu gibi kabin kurutucuda kurutmada da $1\ 600$ g/m² serme sıklığında serilmiştir (Ek 4). Kabin kurutucularda 55°C , 65°C ve 75°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta

kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutucu içerisinde hava hızı 1.2 m/s olarak ölçülmüştür. İşaretlenerek tartım numunesi olarak belirlenen numuneler her saat başında hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Kurutma işlemine 16 saat sonra son verilmiştir. Kurutma işlemlerinde 75°C’de 10.5, 65°C’de 13, 55°C’de ise 15 saatten sonra nem değerlerinde önemli bir değişim gözlenmediğinden kurutma işlemlerinin bu sürelerde sona erdiği söylenebilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kabin kurutucuda kurutulan kırmızıbiberlere ait kuruma eğrileri

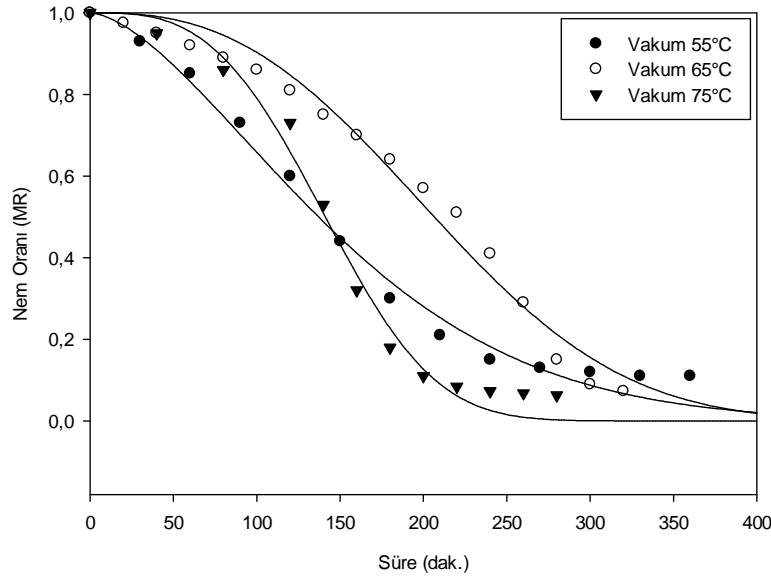
Kabinde kurutma işleminde 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıklarda son ürününün nemi sırasıyla %12.45, %11.04, %8.06, nem oranı (MR) ise sırasıyla 0.140 ± 0.0122 , 0.120 ± 0.0047 ve 0.088 ± 0.0038 olmuştur (Çizelge 4.6).

Kabinde kurutma işleminde 55°C’de kurutma sürecinde 230-720 dakikalar arasında ürün neminde hızlı bir düşüş gerçekleşmiş, 780 dakikadan sonra ise önemli bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.3). Kabinde kurutma işlemleri arasında en hızlı kuruma 75°C’de kurutma işleminde (10.5 saat), en geç ise 55°C’de kurutma işleminde gerçekleşmiştir (15 saat). Son üründe en yüksek nem oranı 55°C’de kurutmada (0.140 ± 0.0122), en düşük nem oranı ise 75°C’de kurutmada gerçekleşmiştir (0.088 ± 0.0038). Sıcaklık artışının kuruma hızını arttırdığı ve daha düşük son ürün nem oranı sağladığı gözlenmiştir (Çizelge 4.6, Şekil 4.3).

4.3.2.4. Vakum kurutucuda kurutma

Kurutma işlemi için temizlenip ayıklanan numuneler tüm kurutma işlemlerinde olduğu gibi vakum kurutucuda kurutmada da $1\ 600\ \text{g/m}^2$ serme sıklığında serilmiştir (Ek 4). Vakum kurutucularda 55°C , 65°C ve 75°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta, 100mmHg basınç altında kurutma işlemi yapılmıştır. İşaretlenerek tartım numunesi olarak belirlenen numuneler belirli aralıklarla tartılarak ağırlıkları kayıt altına alınmıştır.

Vakum kurutucuda kurutma işleminde 55°C , 65°C ve 75°C sıcaklıklarda kurutma işlemi 360, 320 ve 280 dakika, son ürünün nemi sırasıyla $9.97\pm 0.79\%$, $6.64\pm 0.43\%$, $5.75\pm 0.12\%$, son ürünün nem oranı ise sırasıyla 0.11 ± 0.0086 , 0.073 ± 0.0047 ve 0.063 ± 0.0013 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.6).



Şekil 4.4. Vakum kurutucuda kurutulan kırmızıbibere ait kuruma eğrileri

Vakum kurutucuda kurutma işlemleri arasında en yavaş kuruma 55°C 'de kurutmada (360 dak.), en hızlı kuruma ise 75°C 'de kurutmada gerçekleşmiştir (280 dak.). Son üründe en yüksek nem oranı 55°C 'de kurutmada (0.11 ± 0.0086), en düşük nem oranı ise 75°C 'de kurutmada gerçekleşmiştir (0.063 ± 0.0013). Sıcaklık artışının

kuruma hızını arttırdığı ve daha düşük son ürün nem oranı sağladığı gözlenmiştir (Çizelge 4.6, Şekil 4.4).

Tüm kurutma yöntemlerini birlikte değerlendirdiğimizde vakum kurutucu ile kurutmanın diğer kurutma yöntemlerine göre çok daha hızlı kurutma sağladığını (320 ± 20 dak.) ve daha düşük nem düzeyine sahip son ürün elde edilmesine olanak sağladığını (7.86 ± 2.11), vakum kurutucu dışındaki sistemlerde de sıcaklık artışının kuruma hızını artırıp son üründe nem düzeyinin düşük çıkmasını sağladığı görülmüştür (kabinde 75°C 'de süre; 630 dak., MR; 0.088). Aynı sıcaklık değerlerinde kurutma yapıldığında ise vakumda kurutmanın kuruma hızını arttırırken, nem oranını daha da düşürdüğü görülmüştür (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Farklı metodlarla kurutulan kırmızıbiberlere ait kuruma verileri

Kurutma İşlemi	Kurutma Süresi (dak.)	Nem (% Yaş Baz)	Nem Oranı (MR)
Açık Hava	2580	14.31±1.23	0.160±0.0135
Güneş En. Kur.	1560	8.59±0.67	0.094±0.0073
Kabin (55°C)	900	12.45±1.12	0.140±0.0122
Kabin (65°C)	780	11.04±0.43	0.120±0.0047
Kabin (75°C)	630	8.06±0.35	0.088±0.0038
Vakum (55°C)	360	9.97±0.79	0.110±0.0086
Vakum (65°C)	320	6.64±0.43	0.073±0.0047
Vakum (75°C)	280	5.75±0.12	0.063±0.0013

Koyuncu ve Pınar (2001), yaptıkları çalışmada kırmızıbiberin kurutulmasında kullanılabilir doğal akışlı güneş enerjili kabin tip bir kurutucu tasarlamışlardır. Bu kurutucu, kuruma süresince çevre koşullarının ürün üzerindeki olumsuz etkilerini son derece azaltmakta ve ürün kalitesini yükseltmektedir. Ayrıca kurutucunun kullanılmasıyla, 1 kg ürün için gerekli kuruma süresinin 3.5 saatten 1.28 saate düşürüldüğünü, böylece kuruma süresinin 2.73 kat azaltılabileceği belirlemişlerdir.

Madhlopa ve ark. (2002), geliştirdikleri bir güneş enerjili kurutucuyu mango kurutmada kullanmışlardır. Kurutma sonunda nem oranının 85 'den 13 'e düştüğünü belirtmişlerdir. Bu güneş enerjili kurutucu ile havanın sıcaklığını öğle üzeri 31.7°C ' den 40.1°C ye yükseltebildiklerini ifade etmişlerdir.

Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmada kullandığımız güneş enerjili kurutucu kurutma işlemini 43 saatten 26 saate düşürmüş ve kurutma süresini 1.65 kat azaltmıştır (Şekil 4.1). Koyuncu ve Pınar (2001) tarafından yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında çalışmamız kapsamında kurutma süresinde meydana gelen azalma ve açık havada kurutmaya göre kalite artışının meydana geldiğinin göstergesi olan genel kabul edilebilirlik puanındaki artış (Güneş Enj.: 8.4, Açık havada kurutma: 8.3 puan (Çizelge 4.12) olumlu olarak değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmada kullandığımız güneş enerjili kurutucu vasıtasıyla açık havada ortam sıcaklığı $34.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$, hava hızı 0.3 ± 0.3 m/s iken kurutucuya ait kabin girişinde sıcaklık $42 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ve hava hızı 3.1 ± 0.2 m/s'ye yükselmiştir (Çizelge 4.5). Madhlopa ve ark. (2002), tarafından yapılan çalışmada güneş enerjili kurutucu ile elde edilen sıcaklık artışına benzer sıcaklık artışı ve artan hava hızı olumlu değerlendirilmiştir.

4.4. Kurutma Modellemeleri

Kabinde ve vakum kurutucuda 3 farklı sıcaklıkta (55°C . 65°C . 75°C), açık havada ve güneş enerjili kurutucuda olmak üzere 8 farklı şekilde kurutulan biberlere Page, Modified Page, Newton, Hendersson&Pabis ve Wangh& Singh matematiksel modellemeleri uygulanmıştır. Hesaplanan nem içeriği değerlerinden modellemelerde yaygın olarak kullanılan bir parametre olan nem oranı (MR) (Akpınar ve ark., 2006) elde edilmiştir. Nem oranlarının zamana (dakika) karşı grafikleri çizilmiş ve 5 ayrı modellemenin istatistiki parametreleri belirlenmiştir. Matematiksel modellemeler için thin layer kurutma yöntemi ve eşitlikleri kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı olan R^2 başta olmak üzere χ^2 , Root Mean Square Error (RMSE), Mean Beas Error (MBE) değerleri en uygun modellemenin belirlenmesi için önemli kriterler olarak kabul edilmiştir. İstatistiki parametrelerin belirlenmesinden sonra R^2 değerinin en yüksek; χ^2 , RMSE ve MBE değerlerinin en düşük olduğu modelleme en uygun model olarak ifade edilmiştir (Kingsly ve Singh, 2007).

Doymaz ve Pala (2002), kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, farklı işlem ve hava kurutma şartları altında kırmızıbiberlerin kurutulmasının teorik ve deneysel bir çalışmasını sunmuşlardır. Parçalanmış biberlerin kurumasına Page modellemesinin uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmada uygulanan modellemeler sonucunda elde edilen verilere göre her kurutma metodu için en uygun matematiksel modellemelere ait R^2 değerleri 0.9841–1 değerleri arasında, χ^2 değerleri 0.0002–0.0043 arasında, MBE (-) 0.0151–0.0272 ve RMSE 0.0114–0.0618 değerleri arasında değişmektedir (EK 1.1-1.2). Elde edilen istatistiksel veriler ışığında nem oranı değişimi için en uygun modellemenin Page ve Modified Page modeli olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer bir çalışma olan Doymaz ve Pala'nın (2002) yaptıkları çalışmada da Page modelinin en uygun modelleme olarak bulunması çalışmamız da elde ettiğimiz sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

4.5. Renk Analizi

Kırmızıbiberlerin açık havada, güneş enerjili kurutucu ile, kabinde ve vakum kurutucuda üç ayrı sıcaklık (55°C .65°C .75°C) kurutulması sonucu elde edilen son ürünlerde ve ilk ürünlerde renk analizi yapılmıştır. İlk ürünlerde L^* , a^* , b^* değerleri sırasıyla 29.38±1.29, 15.93±1.92, 11.80±1.79, son ürünlerde ise 25.09±1.72, 22.99±1.68, 9.39±2.07 olarak saptanmıştır. Tüm kurutma yöntemlerinde elde edilen son ürünlerde L^* ve b^* değerleri azalmışken a^* değeri artmıştır (Çizelge 4.7). Açık hava ve 75°C'de vakum kurutucuda kurutma sonucu elde edilen biberlerin L^* ve a^* değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p<0.01$). Kabin kurutucuda sıcaklık arttıkça L^* ve b^* değeri düşüp a^* değeri yükselmiştir (75°C'de; $L^*=24.48±0.10$, $a^*=22.7±0.13$, $b^*=10.42±0.14$). Aynı şekilde vakum kurutucuda da sıcaklık arttıkça L^* ve b^* değeri düşüp a^* değeri yükselmiştir (75°C'de; $L^*=23.37±0.21$, $a^*=23.98±0.19$, $b^*=8.22±0.03$). L^* ve b^* değerlerinin düşmesi ve a^* değerinin artması bu iki son üründe daha siyaha yakın ve koyu kırmızı rengin elde edildiğini göstermektedir. Bu durumda Vega-Galvez ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi renk değerlerinin (L^* , a^* , b^*) kurutma sıcaklığından

etkilendiğini sıcaklık artışının rengi koyulaştırdığı ve siyahlaştırdığı söylenebilir. Ama bu durum 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıklar arasında istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$) (Çizelge 4.7). Vakum kurutucuda 55°C’de işlenen biberlerde ürün renginin en iyi korunduğu tespit edilmiştir ($L^*=24.72\pm0.28$, $a^*=-24.09\pm0.35$, $b^*=8.78\pm0.09$). Bu sonuç sıcaklık süre ilişkisinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.7. Farklı metodlarla üretilen pul biberlere ait renk (L^* , a^* , b^*) değerleri

Metod	L^*		a^*		b^*	
	İlk	Son	İlk	Son	İlk	Son
Açık Hava	29.01±0.61	24.55±0.12 ^b	14.01±0.20	24.67±0.34 ^c	10.64±0.42	7.32±0.19 ^a
Güneş Enj.	29.83±0.80	24.48±0.61 ^c	14.86±0.34	24.18±0.11 ^b	12.04±0.18	8.43±0.11 ^a
Kabin 55 °C	30.67±0.77	26.81±0.52 ^c	17.84±0.19	23.39±0.47 ^b	13.58±0.27	11.46±0.31 ^a
Kabin65 °C	30.67±0.77	25.88±0.44 ^c	17.84±0.19	21.31±0.21 ^b	13.58±0.27	10.83±0.10 ^a
Kabin75 °C	30.67±0.77	24.48±0.10 ^c	17.84±0.19	22.7±0.13 ^b	13.58±0.27	10.42±0.14 ^a
Vakum55 °C	28.09±0.34	24.72±0.28 ^c	17.46±0.41	24.09±0.35 ^b	10.01±0.11	8.78±0.09 ^a
Vakum65 °C	28.09±0.34	24.07±0.33 ^c	17.46±0.41	22.36±0.23 ^b	10.01±0.11	8.04±0.13 ^a
Vakum75 °C	28.09±0.34	23.37±0.21 ^b	17.46±0.41	23.98±0.19 ^c	10.01±0.11	8.22±0.03 ^a

abc Aynı sütundaki farklı harfler istatistiki olarak önemlidir ($p<0.01$)

4.6. Pul Biberde Su Aktivitesi

Farklı kurutma yöntemleri ile kırmızıbiberlerin kurutulması sırasında belirli aralıklarla alınan numunelerde su aktivitesi (a_w) tayini “Novasina” marka masa tipi cihaz ile doğrudan yapılmıştır. Taze kırmızıbiberde su aktivitesi değeri 0.98 ± 0.01 olarak tespit edilmiş ve son ürünlerde (pul biber) su aktivitesinin 0.27 ± 0.002 ile 0.49 ± 0.025 arası değerler aldığı gözlenmiştir (Çizelge 4.8).

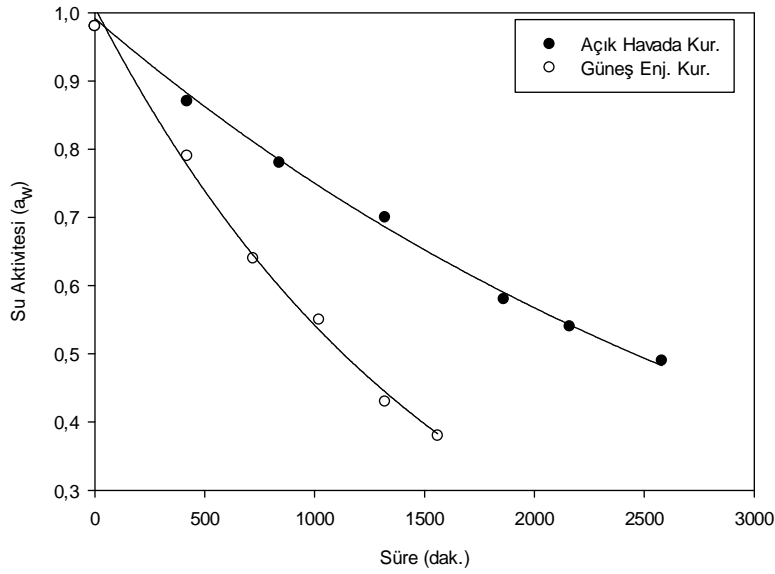
Çizelge 4.8. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin su aktivitesi (a_w) değerleri

Metod	a_w
Açık Hava	0.49±0.025
Güneş Enj.	0.38±0.020
Kabin 55 °C	0.44±0.012
Kabin 65 °C	0.39±0.014
Kabin 75 °C	0.32±0.022
Vakum 55 °C	0.41±0.021
Vakum 65 °C	0.30±0.007
Vakum 75 °C	0.27±0.002

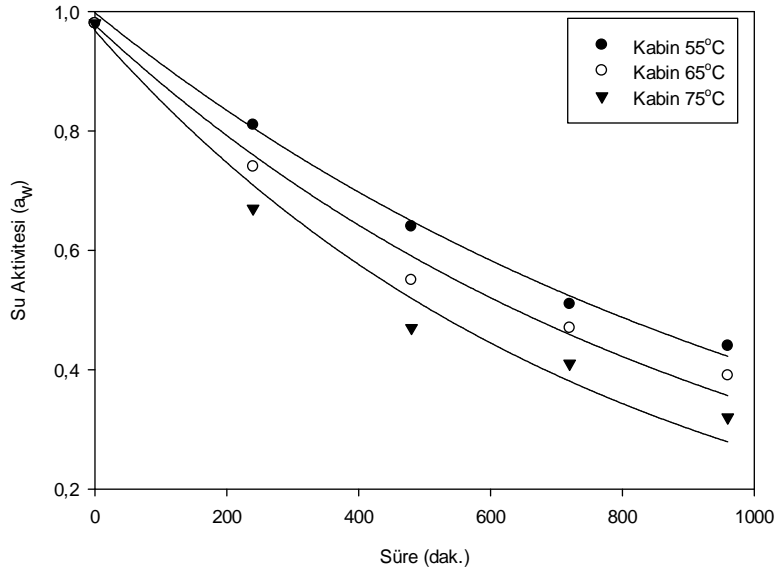
Açık havada yapılan kurutma işleminde son üründe (pul biber) su aktivite değeri 0.49 ± 0.025 olarak belirlenmiştir. Güneş enerjili kurutucuda yapılan kurutma

işlemi açık havada yapılan kurutma işlemine göre son üründe daha düşük su aktivitesi (0.38 ± 0.020) ve daha kısa sürede kuruma sağlamıştır (1 560 dak.) (Çizelge 4.8 ve Şekil 4.5). Güneş enerjili kurutucunun açık hava koşullarından daha yüksek ortam sıcaklığı ($40.3\pm 1.9^{\circ}\text{C}$) sağlaması su aktivitesi değerinin daha düşük çıkmasını sağlamıştır (Çizelge 4.5 ve 4.8).

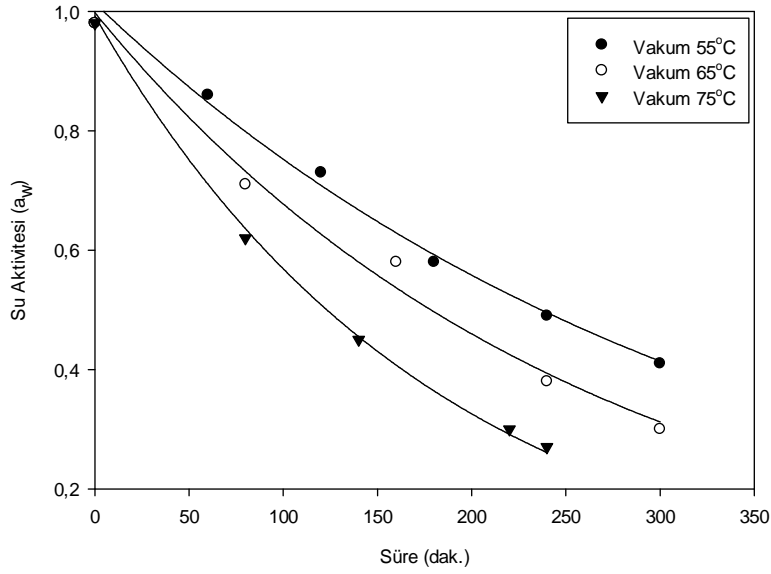
Vakum kurutucuda 55°C , 65°C ve 75°C 'de yapılan kurutma işlemlerinde son ürünlerde su aktivitesi değerleri sırasıyla 0.41 ± 0.021 , 0.30 ± 0.007 , 0.27 ± 0.002 , kabin kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde ise son ürünlerde su aktivitesi değerleri sırasıyla 0.44 ± 0.012 , 0.39 ± 0.014 , 0.32 ± 0.022 bulunmuştur. Vakum ve kabin kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde sıcaklık arttıkça son üründe su aktivitesi değerinin düştüğü saptanmıştır. (Çizelge 4.8, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).



Şekil 4.5. Açık havada ve güneş enerjili kurutucu kullanılarak üretilen pul biberlerde su aktivitesi değişim kinetiği.



Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda kabin kurutucu kullanılarak üretilen pul berlerde su aktivitesi değişim kinetiği



Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklarda vakum kurutucu kullanılarak üretilen pul biberlerde su aktivitesi değişim kinetiği

Kurutma metodları ve şartlarının nar tanesinin kurutma kinetiği ve kalitesi üzerine etkisinin incelendiği çalışmada (Cesur, 2013) en düşük su aktivitesi değerinin kabin kurutucuda 75°C yapılan ve ön işlem uygulanan nar tanelerinde bulunduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada kurutulan nar tanelerinin (%16 nem içeriği) su

aktivitesi değerlerinin (a_w) 0.385–0.532 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan su aktivitesi ölçümlerinde ise ağırlık değişim süresini olumlu etkileyen sıcaklık artışının son üründe su aktivitesini düşürdüğü belirlenmiştir.

Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmada da Cesur (2013) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi tüm kurutma yöntemlerinde sıcaklığın artışıyla su çıkışının hızlandığı ve dolayısıyla su aktivitesinin düştüğü belirlenmiştir ($p<0.01$). Kabin ve vakum kurutucularda aynı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde ise vakum kurutucuda su aktivitesinin daha hızlı düştüğü ve daha düşük su aktivitesi değerlerinde son ürün meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

4.7. Aflatoksin Tayini

İlk andaki taze kırmızıbiber örneklerinin ve açık havada, güneş enerjili kurutucu ile, kabin ve vakum kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (55 °C, 65 °C ve 75 °C) yapılan kurutma işlemlerinde elde edilen pul biber numunelerinin aflatoksin içerikleri “Shimadzu” marka HPLC cihazı kullanılarak tayin edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonunda elde edilen ekstraktlar viallere konarak cihaza yerleştirilmiş ve okuma işlemi yapılmıştır (Ek 5). Numunelerden elde edilen ekstraktların hiç birinde aflatoksin rastlanmamıştır. Açık havada kurutma işleminin beton zeminde yapılması ve kurutma işlemi öncesi zeminin yıkanması, kurutma öncesi numunelerin yıkanması, kontamine olduğu düşünülen numunelerin ayıklanması aflatoksin oluşumunu önleyici faaliyetler olmuştur. Bunun yanında güneş enerjili, kabin ve vakum kurutucuların kurutma işlemi için kapalı ortam sağlamaları da aflatoksin sebebi olan mikroorganizma bulaşmasına karşı önleyici faaliyetler olmuştur.

4.8. Polifenoloksidaz Aktivitesi Tayini

Açık havada, güneş enerjili kurutucu ile, kabin ve vakum kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (55 °C, 65 °C ve 75 °C) yapılan kurutma işlemlerinde elde edilen pul biberler (son ürün) ve ilk andaki taze kırmızıbiber numunelerinde “Perkin Elmer” marka spektrofotometre kullanılarak polifenoloksidaz (PPO) analizi yapılmıştır.

Polifenoloksidaz enzimi gıda maddelerinde enzimatik esmerleşmeye sebep olan, bazı gıda maddelerinde arzu edilen rengin elde edilmesine olanak sağladığı için istenen, bazı gıda maddelerinde ise istenmeyen bir enzimdir. Polifenoloksidaz enzimi sıcaklık artışından olumsuz yönde etkilenen bir enzim olmasından dolayı analizin ekstrakt hazırlama kısmı buz banyosunda gerçekleştirilmiştir. Kırmızıbiber numunelerinde polifenoloksidaz enziminin varlığı enzim içeren ekstraktın substrat olarak kullanılan katekol maddesi üzerine olan etkinliğinin belirlenmesiyle tespit edilmiştir. Enzim aktivitesi; 1 dakikada 25 °C’de 0.001 absorbanslık artışa neden olan enzim ünitesi (EÜ) anlamına gelmektedir. Analiz sonucu elde edilen enzim aktivitesi değeri, kırmızıbiber numunelerinin suda çözünür kuru madde miktarına bölünerek doğru bir karşılaştırma yapılmasına olanak sağlanmıştır. Son üründe tespit edilen enzim aktivitesinin ilk ürün olan taze kırmızıbiberdeki enzim aktivitesine oranı (EA_{son}/EA_{ilk}) belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Bulunan enzim aktivitesi oranı ile kurutma koşullarının enzim aktivitesi üzerine etkisi belirlenmiştir.

Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmada kurutulmuş biber numunelerindeki enzim aktivitesi oranı (EA_{son}/EA_{ilk}) 0.07 ± 0.007 - 0.41 ± 0.024 arası değerlerde olmuştur. En yüksek değer 55°C ’de kabin kurutucuda (0.41 ± 0.024), en düşük değer ise 55°C ’de vakum kurutucuda meydana gelmiştir (0.07 ± 0.007). Güneş enerjili kurutucuda kurutma işleminde enzim aktivitesi oranı açık havada kurutma işlemine göre daha düşük olmuştur ($0.14\pm 0.004 < 0.17\pm 0.011$). Kabin kurutucuda kurutmada sıcaklığının artması enzim aktivitesi üzerine olumsuz etkide bulunmuştur (75°C ’de= 0.09 ± 0.001). Kabin ve vakum kurutucuda eşit sıcaklık uygulamalarında kabin kurutucuda kurutma işleminde daha yüksek enzim aktivitesi oranı elde edilmiştir. Akbulut (2011) ve Kocatürk (2008) tarafından yapılan çalışmada da elde ettiğimiz sonuca benzer olarak sıcaklık artışının enzim aktivitesini düşürdüğü belirlenmiştir ($p < 0.01$) (Çizelge 4.9). Ayrıca aynı sıcaklıklarda vakum uygulamasının da enzim aktivitesini düşüren önemli bir etken olduğu da belirlenmiştir ($p < 0.01$) (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin PPO enzim aktivitesi değerleri

Kurutma Yöntemi	EÜ/g(kuru madde).dak		EA _{son} /EA _{ilk}
	İlk	Son	
Açıkta Hava	50.31±1.17	8.55±0.355	0.17±0.011
Güneş Enj. Kurutucu	47.46±1.34	6.83±0.003	0.14±0.004
Kabin Kurutucu (55°C)	51.46±0.89	21.13±0.870	0.41±0.024
Kabin Kurutucu (65°C)	51.46±0.89	13.11±1.270	0.25±0.029
Kabin Kurutucu (75°C)	51.46±0.89	4.53±0.013	0.09±0.001
Vakum Kurutucu (55°C)	42.17±1.73	2.77±0.166	0.07±0.007
Vakum Kurutucu (65°C)	42.17±1.73	3.57±0.034	0.08±0.004
Vakum Kurutucu (75°C)	42.17±1.73	5.31±0.103	0.13±0.003

4.9. Hidroksimetilfurfural (HMF) Tayini

Açık havada, güneş enerjili kurutucu ile, kabin ve vakum kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (55 °C, 65 °C ve 75 °C) yapılan kurutma işlemlerinde elde edilen pul biber numunelerinde “Perkin Elmer” marka spektrofotometre kullanılarak hidroksimetilfurfural (HMF) analizi yapılmıştır. Hidroksimetilfurfural (HMF) maillard reaksiyonu sırasında ortaya çıkan (Zhang ve ark., 2012) ve çeşitli gıda ürünlerinin (reçel, salça, kahve, kurutulmuş meyveler) prosesi aşamasında ısının etkisini belirleyen bir parametredir (Henares ve ark., 2012).

Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmada son ürünlerde HMF miktarları 10.02±1.13 ile 213.69±7.11 (mg HMF/kg kuru madde) arasında bulunmuştur. Kabin ve vakum kurutucuda sıcaklık arttıkça meydana gelen HMF miktarında da artış meydana gelmiştir (Vakum 75°C=86.80±2.73 mg/kg, Kabin 75°C=213.69±7.11 mg/kg). Vakum ve kabin kurutucuda aynı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde ise kabinde kurutma işlemlerinde daha yüksek miktarda HMF meydana gelmiştir (Çizelge 4.10). Aynı sıcaklıklarda kabin kurutucuda kurutma işlemi vakum kurutucuda kurutma işleminden daha kısa sürede sona ermiştir. Dolayısıyla sıcaklık aynı iken kurutma süresinin artması HMF miktarını arttırmıştır. Güneş enerjili kurutucuda kabin içi sıcaklık (40.3±1.9°C) açık havaya göre (34.1±0.1°C) daha yüksektir (Çizelge 4.5). Güneş enerjili kurutucuda, açık havada yapılan kurutma işlemine göre son üründe meydana gelen HMF miktarı daha yüksek bulunmuştur (57.91±1.93 mg/kg>52.49±2.16 mg/kg) (Çizelge 4.10). Wojdylo ve ark. (2014), ve Zaroni ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmalarda ve bu tez kapsamında

yaptığımız çalışmada görüldüğü gibi kurutma işlemlerinde sıcaklık ve sürenin artışı ile HMF miktarında artışa sebep olmuştur.

Çizelge 4.10. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin HMF değerleri

Kurutma Yöntemi	mg HMF / kg kuru madde
Açıkta Hava	52.49±2.16
Güneş Enj. Kurutucu	57.91±1.93
Kabin Kurutucu (55°C)	83.69±2.65
Kabin Kurutucu (65°C)	152.29±4.89
Kabin Kurutucu (75°C)	213.69±7.11
Vakum Kurutucu (55°C)	10.02±1.13
Vakum Kurutucu (65°C)	41.90±1.54
Vakum Kurutucu (75°C)	86.80±2.73

4.10. Askorbik Asit (C vitamini) Tayini

Açık havada, güneş enerjili kurutucu ile kabin ve vakum kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (55 °C, 65 °C ve 75 °C) yapılan kurutma işlemlerinde kurutma süresince belirli aralıklarla alınan kırmızıbiber numunelerinde Shimadzu marka HPLC cihazıyla L-askorbik asit analizi yapılmıştır. Askorbik asit gıda maddelerinde bulunan önemli kalite bileşenlerinden biridir. Gıdaya uygulanan işlemler sırasında proses tipi, ürünün fiziksel özelliği ve sıcaklık-zaman ilişkisine bağlı olarak çeşitli miktarlarda askorbik asit kaybı meydana gelmektedir (Goula ve Adamopoulos, 2006).

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada askorbik asitin sıcaklık ve oksijen varlığından etkilenme düzeyi ve bu süreçte numunelerde bulunan askorbik asit miktarındaki değişiminin matematiksel modellemesi belirlenmiştir.

Son ürünlerde askorbik asit konsantrasyonu oranı (C_t/C_o) 0.069±0.006 ile 0.410±0.009 arası değerler gözlenmiştir. En düşük değer 75°C'de kabinde kurutucuda (0.069±0.006), en yüksek değer ise 55°C'de vakum kurutucuda kurutulan numunelerde gözlenmiştir (0.410±0.009) (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Farklı metodlarla üretilen pul biberlerin askorbik asit değerleri

	İlk	Son	C_{son}/C_{ilk}
Açıkta Hava	620.93±13.220	120.43±7.371	0.195±0.016
Güneş Enj. Kurutucu	734.13±5.483	177.55±11.155	0.240±0.017
Kabin Kurutucu (55°C)	238.42±8.331	38.83±1.743	0.163±0.013
Kabin Kurutucu (65°C)	238.42±8.331	22.88±0.323	0.096±0.002
Kabin Kurutucu (75°C)	238.42±8.331	16.37±0.859	0.069±0.006
Vakum Kurutucu (55°C)	786.74±19.468	325.65±0.978	0.410±0.009
Vakum Kurutucu (65°C)	786.74±19.468	215.38±7.258	0.275±0.016
Vakum Kurutucu (75°C)	786.74±19.468	159.15±7.076	0.210±0.014

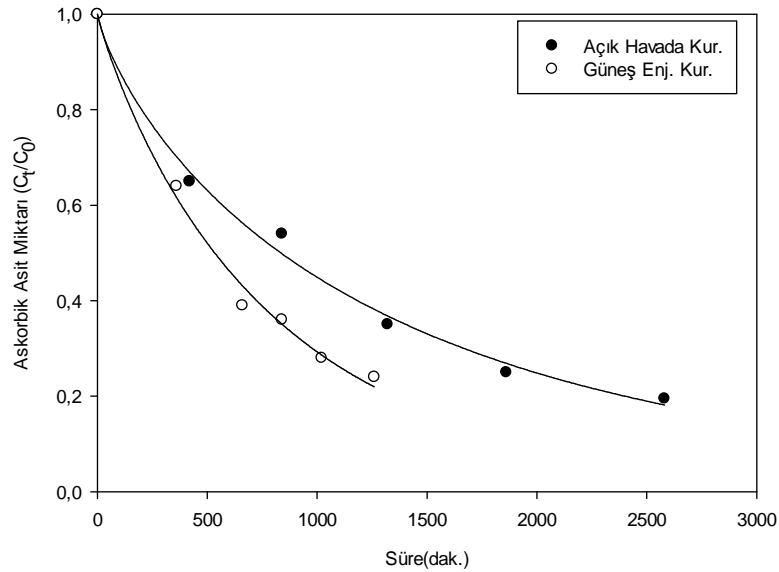
A.A.:Askorbik Asit

Güneş enerjili kurutucu ile yapılan kurutma işleminde açık havada kurutmaya göre askorbik asit konsantrasyon oranı Koç ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi daha yüksek gözlenmiştir ($0.240 \pm 0.017 > 0.195 \pm 0.016$). Kabin ve vakum kurutucularda yapılan kurutma işlemlerinde ise yukarıda belirtilen Marfil ve ark. (2008), Zanoni ve ark. (1998) ve Giovanelli ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmalarda olduğu gibi sıcaklık artışı askorbik asit konsantrasyon oranındaki düşüşü arttırmıştır (Vakum (75°C)= 0.210 ± 0.014 , Kabin (75°C)= 0.069 ± 0.006). Yaptığımız çalışmada ve Koç ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada güneş enerjili kurutucuda açık havadan ($34.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$) daha yüksek sıcaklık ($42 \pm 0.2^\circ\text{C}$) elde edilmesine rağmen daha yüksek değerlerde askorbik asit bulunması açık havada daha uzun süren kurutma işlemi (46 saat), oksijen ve güneş ışığı faktörüyle açıklanabilir. Vakum ve kabin kurutucularda aynı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde kabin kurutucuda kurutma ile elde edilen örneklerde vakum kurutucuda kurutmadan daha düşük askorbik asit konsantrasyon oranı meydana getirmiştir (Çizelge 4.11 ve Ek 4). Bu durumun kabinde kurutma işlemlerinde meydana gelen kurutma süresinin (10.5, 13 ve 15 saat) daha uzun olmasından dolayı sıcaklık etkisinin artması şeklinde yorumlanmıştır.

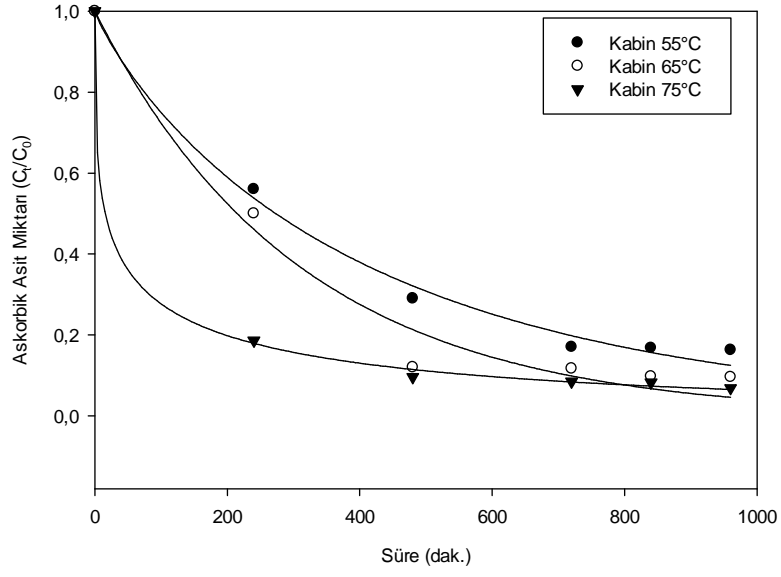
Kabinde ve vakum kurutucuda 3 farklı sıcaklıkta (55°C .65°C .75°C), açık havada ve güneş enerjili kurutucuda olmak üzere 8 farklı şekilde kurutulan biberlerdeki askorbik asit konsantrasyonundaki değişime (C_t/C_0) Page, Modified Page, Newton, Hendersson&Pabis ve Wangh&Singh matematiksel modellemeleri uygulanmıştır. Konsantrasyon oranlarının (C_t/C_0) zamana (dakika) karşı grafikleri çizilmiş ve 5 ayrı modellemenin istatistiki parametreleri belirlenmiştir. Korelasyon

katsayısı olan R^2 başta olmak üzere χ^2 , Root Mean Square Error (RMSE), Mean Beas Error (MBE) değerleri en uygun modellemenin belirlenmesi için en önemli kriterler olarak kabul edilmiştir. İstatistiki parametrelerin belirlenmesinden sonra R^2 değerinin en yüksek; χ^2 , RMSE ve MBE değerlerinin en düşük olduğu modelleme en uygun model olarak ifade edilmiştir (Kingsly ve Singh, 2007).

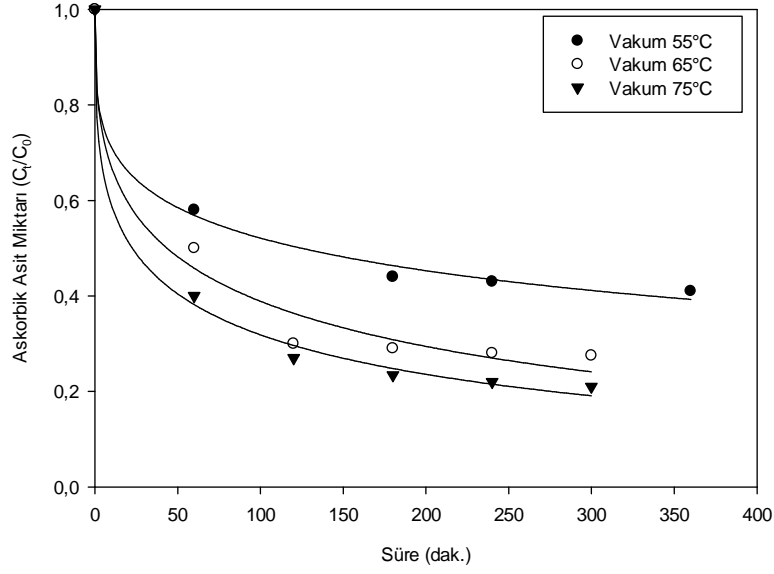
Uygulanan modellemeler sonucunda elde edilen verilere göre her kurutma metodu için en uygun matematiksel modellemelere ait R^2 değerleri 0.948–1 değerleri arasında, χ^2 değeri 3.10E-5–0.007 arasında, MBE (-) 0.0004–0.007 ve RMSE 0.0043–0.0649 değerleri arasında değişmektedir (EK 1.3-1.4). Elde edilen istatistiksel veriler ışığında askorbik asit konsantrasyonundaki değişim (C_t/C_0) için en uygun modellemenin Page ve Modified Page modeli olduğu sonucuna varılmıştır (EK 1.3-1.4).



Şekil 4.8. Açık havada kurutma ve güneş enerjili kurutucuda kurutma yöntemleriyle üretilen pul biberlerde askorbik asit değişiminin matematiksel modellemesine ait grafikler



Şekil 4.9. Kabin kurutucuda kurutma yöntemiyle üretilen pul biberlerde askorbik asit değişiminin matematiksel modellemesine ait grafikler



Şekil 4.10. Vakum kurutucuda kurutma yöntemiyle üretilen pul biberlerde askorbik asit değişiminin matematiksel modellemesine ait grafikler

4.11. Son Ürünün (Pul Biber) Duyusal Açıdan Değerlendirilmesi

Açık havada, güneş enerjili kurutucu ile, kabin ve vakum kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (55 °C, 65 °C ve 75 °C) yapılan kurutma işlemlerinden elde edilen son ürünlerde renk, sertlik, tat-aroma ve genel kabul edilebilirlik açısından duyusal analizler yapılmış ve sonuçlar istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir.

Panelistlerin numuneleri duyusal açıdan değerlendirmelerinde kayıtların tutulması için duyusal analiz formu (Cesur, 2013) kullanılmıştır (EK 1.6). Elde edilen puanların aritmetik ortalamaları alınarak istatistiksel açıdan “Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi”ne tabi tutulmuş ve sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi kurutulan biber numunelerinin aldığı puanlar renk açısından 3.0-4.5 arasında, sertlik açısından 1.1-2.5 arasında, tat-aroma bakımından 2.9-4.7 arasında, genel kabul edilebilirlik açısından 4.5-8.5 arasında değişmektedir.

Renk açısından yapılan değerlendirmede 75°C’ye ayarlı kabin kurutucuda elde edilen numunenin açık kahve rengine (puan: 3), 75°C’ye ayarlı vakum kurutucuda elde edilen numunenin kırmızı rengine (puan: 4.5) yakın olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Sertlik açısından yapılan değerlendirmede en sert numunenin 75°C’de kabin kurutucuda elde edilen numune (puan: 2.5), en yumuşak numunenin ise 55°C’de vakum kurutucuda elde edilen numune (puan: 1.1) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Tat-aroma açısından yapılan değerlendirmede en beğenilmeyen numunenin 75°C’ye ayarlı kabin kurutucuda elde edilen numune (puan: 2.9 (orta)), en beğenilen numunenin ise 55°C’ye ayarlı vakum kurutucuda elde edilen numune (puan: 4.7 (çok iyi)) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Genel kabul edilebilirlik açısından en beğenilmeyen numunenin 75°C’de kabin kurutucuda elde edilen numune (puan: 4.5 (çok az beğenmedim veya ne beğendim ne beğenmedim), en beğenilen numunenin ise 55°C’de kabin kurutucuda elde edilen numune (puan: 8.5 (çok beğendim veya çok fazla beğendim)) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

İstatistiksel olarak yapılan değerlendirmede açık havada, güneş enerjili kurutucu ile, kabin ve vakum kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (55 °C, 65 °C ve 75 °C) yapılan kurutma işlemlerinden elde edilen son ürünlerde renk, sertlik, tat-aroma ve genel kabul edilebilirlik açısından elde edilen tüm farklı puanlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$).

Çizelge 4.12. Duyusal analiz değerlendirme sonuçları

Kurutma Yöntemi	Renk	Sertlik	Tat-Aroma	Genel Kabul Edilebilirlik
Açık Hava	4.1 ^d	1.4 ^c	4.4 ^e	8.3 ^f
Güneş Enj.	4.1 ^d	1.3 ^b	4.6 ^g	8.4 ^g
Kabin 55°C	4.0 ^c	1.4 ^c	4.5 ^f	8.5 ^h
Kabin 65°C	3.3 ^b	2.3 ^e	3.4 ^b	6.4 ^b
Kabin 75°C	3.0 ^a	2.5 ^f	2.9 ^a	4.5 ^a
Vakum 55°C	4.2 ^e	1.1 ^a	4.7 ^h	8.2 ^e
Vakum 65°C	4.2 ^e	1.4 ^c	4.2 ^d	7.8 ^d
Vakum 75°C	4.5 ^f	1.9 ^d	4.1 ^c	7.6 ^c

abcdef Aynı sütundaki farklı harfler istatistiki olarak önemlidir ($p<0.05$)

Renk : $p<0.01$

Sertlik : $p<0.05$

Tat-Aroma : $p<0.05$

Genel kabul edilebilirlik: $p<0.05$

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Şanlıurfa'da yöresinde yetiştirilen ve pulbiber yapımında kullanılan *Capsicumannum L.* türü kırmızıbiberler açık havada, güneş enerjili kurutucuda, kabinde (55°C, 65 °C, 75 °C'de ayrı ayrı) ve vakum kurutucuda (55°C, 65 °C, 75 °C de ayrı ayrı) kurutma olmak üzere 8 farklı kurutma yöntemiyle kurutulmuş ve kalite özellikleri belirlenmiştir.

Her kurutma süresi boyunca belirli aralıklarla numunelerde ağırlık tartımı yapılarak kırmızıbiberlerin kurutma kinetikleri belirlenmiş, belirli aralıklarla alınan numunelerde askorbik asit tayini yapılarak her kurutma yönteminde meydana gelen askorbik asit miktarındaki değişim belirlenmiş ilk ve son ürünlerde HMF, polifonol oksidaz enzim aktivitesi, renk, aflatoksin ve su aktivitesi tayini yapılmıştır. Ayrıca her son üründe 10 farklı paneliste duyu testleri yapılarak "Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi" ile son ürün albenileri arasında istatistiksel karşılaştırmalar yapılmıştır. Kurutma kinetiği ve askorbik asit değişiminin 6 farklı matematiksel modelleme denenerek en uygun matematiksel modellemesi belirlenmiştir.

Kurutma süreleri 280-2580 dak. arasında, nem oranları ise 0.063 ± 0.0013 - 0.16 ± 0.0135 arasında, su aktiviteleri 0.27 ± 0.002 - 0.49 ± 0.025 arasında gerçekleşmiştir. En kısa sürede kurutma, en düşük nem oranı ve su aktivitesi vakum kurutucuda 75°C'de (280 dak, MR: 0.063 ± 0.0013 , a_w : 0.27 ± 0.002) en uzun sürede kurutma, en yüksek nem oranı ve su aktivitesi açık havada kurutmada (2 580 dak, MR: 0.160 ± 0.0135 , a_w : 0.49 ± 0.025) gerçekleşmiştir. Vakum ve kabin kurutucularında aynı sıcaklıklarda yapılan kurutmalarda ise vakum kurutucu ile daha düşük süreler, nem oranları ve su aktiviteleri kurutma hızının arttığı, son ürün nem oranlarının ve su aktivitelerinin ise düştüğü gözlemlenmiştir. Her kurutma yönteminde belirli aralıklarla alınan numunelerin nem oranları belirlenerek nem oranı değişim kinetikleri elde edilmiştir. 6 farklı matematiksel modelleme denenmiş ve nem oranı değişimlerinin Page ve Modified Page matematiksel modellemesine uyduğu belirlenmiştir.

Güneş enerjili kurutucu ile yapılan kurutmada açık havada yapılan kurutmaya göre daha düşük polifenoloksidaz enzimi aktivitesi oranı (EA_{son}/EA_{ilk}) gerçekleşmiştir ($0.14\pm 0.004 < 0.17\pm 0.011$). Burada sıcaklık arttıkça EA_{son}/EA_{ilk} 'nin düştüğü görülmüştür. Kabin kurutucuda yapılan kurutmalarda 55°C , 65°C , 75°C için EA_{son}/EA_{ilk} değerleri sırasıyla 0.41 ± 0.024 , 0.25 ± 0.024 ve 0.09 ± 0.001 olarak gerçekleşmiştir. Burada da yine sıcaklık arttıkça EA_{son}/EA_{ilk} 'nin düştüğü gözlemlenmiştir. Kabin ve vakum kurutucularda aynı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde ise vakum kurutucularda daha düşük EA_{son}/EA_{ilk} 'lerinin görülmesi (EA_{son}/EA_{ilk} 55°C 'de; 0.07 ± 0.007 , 65°C 'de; 0.08 ± 0.004 , 75°C 'de; 0.13 ± 0.003) basınç arttıkça EA_{son}/EA_{ilk} 'nin arttığını göstermektedir. Vakum kurutucularda sıcaklık arttıkça kurutma süreleri kısalmaktadır. Kısa süreli kurutma işlemi yan zamanda kısa süreli vakum uygulamasıdır. Burada vakum süresi arttıkça EA_{son}/EA_{ilk} 'ninde meydana gelen düşüş vakum uygulamasının sıcaklıktan daha fazla EA_{son}/EA_{ilk} 'nini düşürdüğü anlamına gelmektedir.

Farklı kurutma yöntemiyle yapılan kurutma yöntemlerinde son üründe meydana gelen HMF miktarları 10.02 ± 1.13 ile 213.69 ± 7.11 (mg HMF/kg kuru madde) arasında bulunmuştur. En düşük miktar vakum kurutucuda 55°C 'de yapılan kurutmada (10.02 ± 1.13 mg/kg) en yüksek miktar ise kabin kurutucuda 75°C 'de yapılan kurutmada (213.69 ± 7.11 mg/kg) tespit edilmiştir. Aynı sıcaklıklarda vakum kurutucuda oluşan HMF miktarı kabin kurutucuda meydana gelen HMF miktarından oldukça düşüktür (Çizelge 4.10). Güneş enerjili kurutucuda açık havada kurutmaya göre daha yüksek HMF oluşumu görülmüştür ($57.91\pm 1.9 > 52.49\pm 2.16$). Kabin ve vakum kurutucularda aynı sıcaklıklarda vakum kurutucu ile kurutulan ürünlerde daha düşük HMF oluşumu görülmüştür (Vakum 75°C hariç). Buradan yüksek sıcaklık-sürenin HMF oluşumunu arttırdığı gözlemlenmiştir.

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen numunelerin hiç birinde aflatoksine rastlanmamıştır. Aflatoksin oluşumu genel olarak taze üründe meydana gelen mikrobiyal bulaşma sonrasında uygun koşullarda mikroorganizmanın çoğalıp toksik aflatoksin maddesini oluşturması olarak açıklanabilir. Tüm kurutma yöntemleri öncesinde taze biberlerin yıkanması, vakum ve kabinde meydana gelen yüksek

kurutma sıcaklığı ve kısa kurutma süreleri, açık havada kurutmada kurutma zemini olan beton yüzeyin kurutma işlemi öncesi yıkanması ve güneş enerjili kurutucuda kurutma tepsilerinin temizlenmesinin aflatoksin oluşumunu engellediği düşünülmektedir.

Farklı kurutma yöntemleri ile yapılan kurutma işlemleri sonunda elde edilen son ürünlerde yapılan renk analizlerinde L*, a*, b* değerleri sırasıyla 25.09±1.72, 22.9±1.68 ve 9.39±2.07 olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklık arttıkça L* ve b* değerinin düştüğü, a* değerinin ise arttığı görülmüştür. En düşük L* ve b*, en yüksek a* değeri 75°C'de vakum ve kabin kurutucular ile yapılan kurutmalarda meydana gelmiştir. L* ve b* değerinin düşüp a* değerinin artması koyuluk-siyahlık artışı anlamına gelmektedir. Bundan sıcaklık artışı ile daha koyu-siyah son ürün elde edildiği söylenebilir.

Farklı kurutma yöntemleri süresince belirli aralıklarla alınan numunelerde yapılan askorbik asit tayini sonucunda elde edilen verilerle askorbik asit konsantrasyonundaki değişimin her kurutma yöntemi için Page ve Modified Page matematiksel modellemelerine uyduğu gözlemlenmiştir. Son ürünlerde ise askorbik asit konsantrasyonu (C_{son}/C_{ilk}) 0.069±0.006-0.410±0.009 arasında gerçekleşmiştir. En yüksek oran vakum kurutucuda 55°C'de yapılan kurutmada (0.410±0.009) en düşük oran ise kabin kurutucuda 75°C'de yapılan kurutmada (0.069±0.006) gerçekleşmiştir. Vakum ve kabin kurutucuda sıcaklık arttıkça askorbik asit konsantrasyonunda düşüş meydana gelmiş, vakum ve kabin kurutucuda aynı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde ise kabin kurutucuda daha düşük askorbik asit konsantrasyonu gözlemlenmiştir. Güneş enerjili kurutucu ile yapılan kurutmada açık havada kurutma işleminden daha yüksek askorbik asit konsantrasyonu meydana gelmiştir. Buradan güneş enerjili kurutucuda sıcaklık daha yüksek olsa da kurutma süresinin daha kısa olması (1580 dak.), kurutma ortamının kapalı olmasından kaynaklanan ışığa ve oksijene daha az maruz kalınması açık havada yapılan kurutma işlemine göre daha yüksek askorbik asit konsantrasyonunun gözlemlenmesinde etkili olmuştur. Vakum kurutucuda yapılan kurutma işleminde kabine göre daha yüksek askorbik asit konsantrasyonunun görülmesi vakum kurutucuda kurutma süresinin

kısalığı ve ortam oksijen düzeyinin kısıtlı olması ile açıklanabilir. Tüm kurutma yöntemleri ele alındığında sıcaklık, süre, ışık ve ortam oksijen düzeyinin artması ile askorbik asit miktarında düşme meydana geldiği görülmektedir.

Tüm kurutma yöntemleri ile elde edilen son ürünlerde yapılan duyusal değerlendirmede kabin kurutucuda 65°C ve 75°C'de yapılan kurutma işlemleri ile elde edilen ürünlerin genel kabul edilebilirlik bakımından en düşük puanları (sırayla 6.4 ve 4.5) olarak en az beğenildikleri, kabin kurutucuda 55°C'de, güneş enerjili kurutucuyla, açık havada ve vakum kurutucuda 55°C'de kurutma işlemleriyle kurutulan ürünlerin ise genel kabul edilebilirlik bakımından en yüksek puanları (sırayla 8.5, 8.4, 8.3 ve 8.2) olarak en fazla beğenilen ürünler olmuştur.

Türkiye biber üretiminde Dünyada 3. sırada yer alıp aynı zamanda Dünya biber üretiminin %7'sine sahip olarak biber üretiminde önemli bir noktadadır. Türkiye'de yetiştirilen biberler sivribiber, dolmalık biber, çarliston biber, kapyra, domates biberi, kurutmalık biber ve pul biber elde etmeye uygun baharatlık biberlerdir. Bazı biber çeşitleri doğal olarak kırmızı iken bazıları ise olgunlaşma döneminde dalında kızarır. Kırmızıbiberin değerlendirilme şekilleri arasında ilk sırada toz ve pul biber şeklinde baharatlık ve çeşni olarak kullanımı gelmektedir. 2013 yılında Türkiye'de yaklaşık olarak 200 bin ton baharatlık kırmızıbiber yetiştirilmiş ve bunun yaklaşık yarısı Şanlıurfa yöresinde gerçekleşmiştir. Şanlıurfa'da pul biber üretimi genellikle açık havada kurutma yöntemiyle gerçekleştirilir. Kırmızıbiber ve pul biber üretiminin bu düzeyde yüksek olduğu Şanlıurfa yöresi için pul biber üretiminde en önemli basamak olan kurutma işleminin açık havada yapılmasının yanında alternatif farklı kurutma yöntemlerinin belirlenmesi, kurutma yöntemlerinin ekonomisi, uygulanabilirliği ve ürün kalitesine etkisinin belirlenerek doğru kurutma yönteminin tespiti önemlidir. Doğru kurutma yöntemi, uygulanabilirliği en kolay olup en kaliteli ürün üretimini sağlayan yöntemdir. Bu tez kapsamında bölge şartları için doğru kurutma yönteminin tespitine yönelik yapılan çalışmada kabin veya vakum tipi kurutucuda 55°C sıcaklıkta, açık havada ve güneş enerjili kurutucu ile yapılan kurutma işlemleri ön plana çıkmıştır. Açık havada yapılan kurutma işleminde mevcut bir takım hijyen problemleri ve buna bağlı sağlık sorunları, kabin ve vakum tipi kurutucuların

maliyetinin yüksek oluşu, yıllık güneşlenme düzeyi bakımından Türkiye’de birinci sırada bulunan Şanlıurfa yöresi için güneş enerjili kurutucuyu önemli bir alternatif olarak ön plana çıkarmıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışma ve elde edilen verilerden dolayı enerji maliyetinin olmaması, enerji kaynağı olarak kullanılan güneş ışınları bakımından yörenin Türkiye’nin en zengin bölgesi olması, kurutma işleminin kapalı ortamda yapılmasından dolayı yukarıda belirtilen hijyen problemlerinin daha da azalması ve kaliteli ürün elde edilmesine olanak sağlamasından dolayı güneş enerjili kurutucularda kurutma işlemi önerilmektedir. Aynı zamanda sanayi alanında kırmızıbiber kurutulması için kurutucu dizayn edilmesi ile uygun proses ve kurutma koşullarının belirlenmesinde optimum şartların Page modeline göre oluşturulabileceği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ACAR, J., ALPER,N., ve EVREN,V., 1997. Meyve ve Sebze Teknolojisi Kalite Kontrol Laboratuar Klavuzu. Hacettepe Üniversitesi, Beytepe, Gıda Müh. Böl., Ankara, 156s.
- AKGÜL, A. 1985. Tad, Koku ve Renk Katkısı Olarak Kırmızıbiber. Gıda, 10 (6): 355-360.
- AKBAY, C., CANDEMİR, S., 2006. Kahramanmaraş'ta Kırmızıbiber Üretimi ve Sorunları. <http://ciftci.ksu.edu.tr/dokumanlar/kirmizibibersorunlari.htm>, 24 Eylül 2009.
- AKBULUT, N., 2011. Dereotundan (*Anethum Graveolens*) İzole Edilen Polifenoloksidaz Enziminin Bazı Killerle İmmobilizasyonu ve Seçilmiş Özelliklerinin İncelenmesi Konulu Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi FBE, Erzurum.
- AKPINAR, E. K., BICER, Y., and CETINKAYA, F., 2006. Modelling of Thin Layer Drying of Parsley Leaves in a Convective Dryer and Under Open Sun. Journal of Food Engineering, 75:308-315.
- Anonim a, <http://www.isotcunuz.com/isot-cesitleri-s.html>, 1 Temmuz 2013.
- Anonim b, 1996. Merck Catalogue (Reagents, Chemicals, Diagnostics)1996.
- Anonim c, 2014.http://www.hammaddeler.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3343&Itemid=310, 14 Ağustos 2014.
- Anonim d, 2014. Gıda Analiz ve Teknoloji Laboratuvarı-I Dersi Modül 3, ERÜ Gıda Mühendisliği, Kayseri.
- Anonim e, 1962. pH Values Of Food Products. Food Eng. 34(3): 98-99.
- AOAC Official Method of Analysis 2000. Aflatoxin B₁ and Total Aflatoxins in Peanut Butter, Pistachio Paste and Paprika Powder, Method 999.07, 2000.
- AOAC Official Method of Analysis 2000 17th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Method 934.01, 2000.
- AOAC Official Method of Analysis 1990 Ch 37, AOAC INTERNATIONAL, Method 986.13, 1990.
- ARENA, E., FALLICO, B., MACCARONE, E., 2001. Thermal damage in bloodorange juice: kinetics of 5-Hydroxymethyl-2-furancarboxaldehyde formation. International Journal of Food Science and Technology, 36;145-151.
- ARSLAN, D., ÖZCAN, M. M., 2011. Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change indrying behavior, colour and antioxidant content. Food and Bioproducts Processing, 89: 504-513.
- AYAN, H., 2010. Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates(*Lycopersitcum Esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi FBE, Ankara.
- BEİS, S. H. 1990. Kırmızıbiberden Gıda Boyası Eldesi. Anadolu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- BİNGÖL, G., DEVRES, Y., 2009. Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FBE, 13, İstanbul.
- BUZKAN, N., YÜZER, D., 2009 .“Kahramanmaraş Kırmızı Biberlerinde Tohumla Taşınan Virüslerin Moleküler Tanısı” Alatarım, , 8 (1) : 1-7.

- BULLERMAN, L.B., MAHJOUR, A. ve GOURMA, H. (1986). Mold growth and aflatoxin production in olives. Abstract, XIV International Congress of Microbiology, 7-13 September, Manchester, UK.
- CEMEROĞLU, B., 2004. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. 1.Cilt. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları. s.79-95.
- CEMEROĞLU, B. Ve ACAR, J., 1986. Meyveve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği. Yayın No:6, Ankara, 512s.
- CESUR, Ö., 2013. Kurutma Metodlari Ve Şartlarının Nar Tanesinin Kurutma Kinetiği ve Kalitesi Üzerine Etkisi, Harran Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 43, 73, Şanlıurfa.
- CORREA, P. C., MARTINS, J.H., and CHRIST, D., 1999. Thin Layer Drying Rate and Loss of Viability Modelling for Rapeseed. Journal of Agricultural Research, 74:33-39.
- ÇAKMAKÇI, S. ve ÇELİK, İ., 2004. GıdaKatkı Maddeleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum. 214s.
- DEMİRAY, E. 2009. Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β -Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- DİNÇOĞLU, A.H., KARAÇAL, F., 2006. Türkiye 9. Gıda Kongresi; İzmit Bölgesinden Elde Edilen Çesitli Baharat Türlerindeki Aflatoksin Düzeylerinin Saptanması, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs 2006. Gıda Teknolojisi Derneği, 33:831-834, Bolu.
- DOĞANTAN, S.Z., TUNÇER, İ.K., BAŞÇETİNÇELİK, A., 1987. Use Of Solar Energy For Red Pepper, Third Technical Meeting of the FAO-CNRE on Solar Drying. 9-11 September 1987, Stuttgart F.R. of Germany.
- DOĞANTAN, S.Z., TUNÇER, İ.K., 1989. Kahramanmaraş kırmızıbiberinin kurutulmasında önemli olan karakteristik parametrelerin deneysel saptanması. Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi, HORTCD. Abs. 890358135.13.1; s.42-48. Türkiye.
- DOKUZLU, C., 2000. Kırmızı Toz Biberlerde Aflatoksin, Bursa.
- DOYMAZ, İ., PALA, M., 2002. Hot-air drying characteristics of red paper. Journal of Food Engineering, 55, 331-335.
- DUC, L.A., HAN, J.W., and KEUM, D.H., 2011. ThinLayer Drying Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Stored Products Research, 47:32-38.
- DURU, N., 2008. Kuşburnu Nektarındaki Karotenoidlerin Depolama Stabilitesi Yüksek Lisans Tezi, i, Ankara.
- EL-GHETANY, H. H., 2006. Experimental Investigation and Empirical Correlations of Thin Layer Drying Characteristics of Seedles Grapes. Energy Conversion and Managment, 47:1610-1620.
- ELLİS, W.O., SMİTH, J.P., SİMPSON, J.P. ve OLDHAM, J.H. (1991). Aflatoxin in food: Occurrence, biosynthesis, effects on organisms, detection, and methods of control. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 30, 403-439.
- EVİRANUZ, Ö., ÇATALTAŞ, İ., 1989. Gıda İşleme Teknolojisi, AnkaOfset birinci baskı, 260-262, Ankara.
- FAO, 2014, <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>, 18 Aralık 2014
- GAP Girişimci Destekleme Merkezleri, 2006. Güneş Enerjisi ile kurutulmuş gıda ürünleri ve pazar potansiyeli, GAP GİDEM yayınları. S.20-25, Ankara

- 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.
- GROOPMAN, J.D. AND KENSLER, T.W., 1988, Aflatoxin Exposure in Human Populations: Measurements and Relationship to Cancer, *CRC Critical Review in Toxicology*, 19(2), 113-145.
- GODA, Y., NAKAMURA, H., SAKAMOTO, S. S., ISHIKAWA, K., MAITANI, T., YAMADA, T. 1997. Photo- stability of coloring constituents in paprika color. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan* , 38 (4): 240-247.
- GOULA, A. M., and ADAMOPOULOS, K. G., 2006. Retention of Ascorbic Acid During Drying of Tomato Halves and Tomato Pulp. *Drying Technology*, 24:57-64.
- GÖKKAYA, Ö., 2009. Beyaz Kirazmeyvesi (Starks Gold) Polifenoloksidaz Enziminin Karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi FBE, s:4, Adana.
- HENARES, J.A. R., VILLANOVA, B.G., and HERNANDEZ, E.G., 2008. Occurrence of Frosine and Hydroxymethylfurfural as Markers of Thermal Damage in Dehydrated Vegetables. *Eur Food Research Technology*, 228:249-256.
- HII, C. L., LAW, C. L., and Cloke, W., 2009. Modeling Using A New Thin Layer Drying Model and Product Quality of Cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90:191-198.
- JAREN-GALAN, M., MINGUEZ-MOSQUERA, M. I. 1999. Effect of pepper lipoxygenase activity and its linked reactions on pigments of the pepper fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (11): 4532-4536.
- KALETA A, GÓRNICKI K (2010). Some remarks on evaluation of drying models of red beet particles. *Energ Convers Manage* 51: 2967–2978.
- KARADENİZ, F. 2000. Turunçgil meyveleri ve meyve sularında kanser önleyici fitokimyasallar. *Gıda* 12, 85-89.
- KARAGÜL, S., KELEŞ, D., DEMİRTAŞ, B., 2005, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Biber (*Capsicum annum*) Yetiştiriciliğinin Problemleri ve Çözüm Önerileri, Gap IV. Tarım Kongresi, 21 Eylül 2005, Şanlıurfa.
- KAREL, M. (1975). Stability of low and intermediate moisture foods. In *Freeze drying and advanced food technology*, pp. 651-663, Eds. Goldblith, S.A., Rey, L. ve Rothmayr, W.W., Academic Press, New York.
- KANBUR, M., LİMAN, B. C., ERASLAN, G., ve ALTINORDULU, Ş., 2006. Kayseri’de Tüketime Sunulan Kırmızıbiberlerde Aflatoksin B₁’in Enzim Immunoassay (EIA) ile Kantitatif Analizi, *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 3(1): 21-24, Kayseri.
- KINGSLEY, A.R.P., SINGH, D. B., MANIKANTAN, M. R., and JAIN, R.K., 2006. Moisture Dependent Physical Properties of Dried Pomegranate Seeds (Anardana). *Journal of Food Engineering*, 75:492-496.
- KINGSLEY, A. R. P., and SINGH, D.B., 2007. Drying Kinetics of Pomegranate Arils. *Journal of Food Engineering*, 79:741-744.
- KIRK, R., S., SAWYER, R., 1991. *Pearson’s Composition and Analysis of Foods*. Longmans Scientific and Technical, Singapore.

- KOCATÜRK, S., 2008. Enginar Polifenoloksidazının Alginat ve Karragenan Jellerde İmmobilizasyonu ve Bazı Biyokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi Konulu Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi FBE, Edirne.
- KOÇ, A., B., TOY, M., HAYOĞLU, İ., VARDİN H., 2004. Kırmızıbiber Kurutmada Kullanılan Güneş Enerjili Bir Kurutucu Performansı, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 8, 57-65.
- KOYUNCU, T., PINAR, Y., 2001. Kırmızıbiber için bir güneşli kurutucu tasarımı. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, Şanlıurfa, 423-430.
- KULKARNI, A. P., ARADHYA, S. M., 2005. Chemical Changes and Antioxidant Activity in Pomegranate Arils During Fruit Development. Food Chemistry, 93:319-324.
- KUŞÇU, A., 2002. Sürekli Sistemde Kurutma İşleminin Kırmızıbiberde Kalite Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- LII, Z., SAWAMURA, M., KUSUNOSE, H., 1988. Rapid Determination of Furfural and 5-Hydroxymethylfurfural in Processed Citrus Juices by HPLC. Agricultural Biological Chemistry, 52(9): 2231-2234.
- MADHLOPA, A., JONES, S. A., KALENGASAKA J. D., 2002. A Solar Air Heater with Composite Absorber Systems for Food Dehydration. Renewable Energy, 27(1). S: 27-37. ISSN 0960-1481.
- MAKARACI, A., 2006. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kırmızıbiberlerde Aflatoksin Oluşumu Üzerine Etkisi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 21-22, Tekirdağ.
- 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. (2001). Kinetics of colour change of kiwi fruits during hot air and microwave drying, Journal of Food Engineering, 48, 169-175. Taylor and Francis Group, LLC., Florida
- MOHAPATRA, D., and RAO, P.S., 2005. A Thin Layer Drying Model of Parboiled Wheat. Journal of Food Engineering, 66:513-518
- ONAT, A., 2002. Kırmızıbiberin Havalı Güneş Kolektörü Sistemi ile Kurutulması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 129-130, İstanbul.
- ORAK, H.H., AKTAS, T, YAGAR, H, ISBİLİR, S.S., EKİNCİ, N., and SAHİN, F.H., 2011. Antioxidant Activity Some Nutritional and Colour Properties Of Vacuum Dried Strawberry Tree (*Arbutus Polonorum* L.) Fruit. Acta Scientiarum Polonorum Technology Alimentarius, 10:327-38.
- OZDEMİR, M., and DEVRES, Y. O., 1999. The Thin Layer Characteristics of Hazelnuts During Roasting. Journal of Food Engineering, 42:225-233.
- ÖZALP, R. 2010. Ülkemizde Biber Üretimi ve Örtü Altı Biber Yetiştiriciliği. Tarım Türk Dergisi, 24:29-32.
- ÖZTEKİN, S., İŞİKBER, A. A., DAYISOYLU, K. S., DUMAN, A. D., SOYSAL Y., 2006. Present Status of Turkish Red Chili Pepper. Deutsch-Türkische Agrarforschung, 8. Symposium vom 04. Oktober-08. Oktober 2005 an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig, Cuvillier Verlag-Göttingen. s :201-207.

- PYLER, E. J., 1988. Baking Science and Technology. Sosland Publishing Company, U.S.A., 1345s.
- RESNIK, S., CHIRIFE, J. 1979. Effect of moisture content and temperature on some aspects of nonenzymatic browning in dehydrated apple., J. of Food Sci., 44(2), 601-605.
- SALDAMLI, I., 2007. Gıda Kimyası Kitabı. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 3, s:573. ISBN 9754911908, 9789754911909, Ankara.
- SHARMA, S. R., ARORA, S., and CHAND, T., 2011. Air Drying Kinetics of Pomegranate Seeds. International Journal of Food Engineering, 7(2):7.
- SHIH, C., PAN, Z., MCHUGH, T., WOOD, D. and HIRSCHBERG, E. (2008). Sequential infrared radiation and freeze-drying method for producing crispy strawberries. American Society of Agricultural and Biological Engineers, ISSN 0001-2351.
- SHINODA, Y., KOMURA, H., HOMMA, S., MURATA, M., 2005. Browning of Model Orange Juice Solution: Factors Affecting the Formation of Decomposition Products. Bioscience. Biotechnology. Biochemistry. 69(11): 2129-2137.
- ŞALK, A., ARIN, L., DEVECİ, M., POLAT, S. 2008. Özel Sebzeçilik. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tekirdağ.
- TAYDAŞ, EE., ve AŞKIN, O., 1995. Kırmızı Biberlerde Aflatoksin Oluşumu, *Gıda*, 20: 3-8.
- TIMOUMI, S., MIHOUBI, D. and ZAGROUBA, F. 2007. Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infrared drying of apple slices. LWT, 40, 1648-1654.
- TIRAŞ, M., 2003. Kahramanmaraş Merkez İlçede Kırmızı Biber Tarımı, Doğu Coğrafya Dergisi, 10, 66-80.
- TIRIS, Ç., ÖZBALTA, N., TIRIS, M., DİNÇER, İ., 1994. Experimental Testing Of A New Solar Dryer, International Journal of Energy Research, 18: 483-490.
- TOĞRUL, I. T., and PEHLIVAN, D., 2004. Modelling of Thin Layer Drying Kinetics of Some Fruits Under Open-Air Sun Drying Process. Journal of Food Engineering, 65:413-425.
- TRIPATHI, R. N. AND NATH, N., 1989, Effect of starch dipping on quality of dehydrated tomato slices, Journal of Food Science and Technology, 26(3):137-141.
- TS 6178 ISO 7466, Meyve ve sebze ürünleri- 5- Hidroksimetilfurfural (5- Hmf) içeriğinin tayini Türk Standardı, 2002
- TÜİK, 2013, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, 18 Aralık 2014
- ÜNAL, M. Ü. ve ŞENER, A., 2006. Determination of Some Biochemical Properties of Polyphenoloxidase from Emir Grape (*Vitis vinifera* L. cv. Emir). Journal of the Science of Food and Agriculture, 86: 2374-2379.
- VEGA, A., SCALA, K., RODRÍQUEZ, K., LEMUS, R., MİRANDA, M., LOPEZ, J., WON. M. 2009. Effect of air drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper. Food Chemistry, 117: 647-653.
- VEGA-GALVEZ, A., DÍ SCALA, K., RODRIGUEZ K., 2009. Effect of air drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian). Food Chemistry, 117.647-653.

- VELİOĞLU, S., KARADENİZ, F., ve AYDAR, G., 1992. Meyve Suyunda Fiziksel ve Kimyasal Analizler. Meyve Suyu Endüstrisinde Kalite Kontrol Semineri Kitabı. Gıda Araş. Fonu, Yayın no:1. Ank.Üniv. Ziraat Fak. Gıda Bil. ve Tekn. Böl. Ankara, 129-140.
- WAI, R., IP, L., WAN, E., 2012. The New Use of Diffusion Theories for the Design of Heat Setting Process in Fabric Drying, Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Pokfulam,, Hong Kong SAR.144.
- WANG,Z., SUN, J., LIAO,X., CHEN, F., ZHAO, G., WU, J., and HU, X., 2007. Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace. Food Research International, 40:39-46.
- WOJDYŁO, A., FIGIEL, A., LECH, K., NOWICKA, P. and OSZMIAŃSKI, J., 2014. Effect of Convective and Vacuum–Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour Cherries, Food and Bioprocess Technology, 7: 829-841.
- YALDIZ, O., ERTEKIN, C., and UZUN, H. I., 2001. Mathematical Modeling of Thin Layer Solar Drying Of Sultana Grapes. Energy, 26 (5):457–465.
- YAYLAYAN, V. 1990. In search of alternative mechanisms for the Maillard reaction. Trends in Food Science and Technology, 1(7): 20-22.
- YEMENİCİOĞLU, A., ÖZKAN, M. ve CEMEROĞLU, B., 1997. Heat Inactivation Kinetics of Apple Polyphenoloxidase and Activation of its Latent Form. Journal of Food Science, 62(3): 508-510.
- YEMİŞ, O. 2001. Kırmızıbiberlerden Oleoresin Capsicum Üretimi Üzerine Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- ZANONI, B., PERI, C., NANI, R and LAVELLIA, V., 1998. Oxidative Heat Damage of Tomato Halves as Affected by Drying,. Food Research International, 5:395-401.
- ZHANG, Y., HAN, B., and EZEJI, T. C., 2012. Biotransformation of Furfural 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) by *Clostridium acetobutylicum* ATCC824 During Butanol Fermentation. New Biotechnology, 29:345-351.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şahabettin DAĞHAN
Uyruğu :T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi :Nusaybin, 1983
Telefon :0414-3121525
Fax :0414-3135998
e-mail :daghan47@hotmail.com

EĞİTİM

Derece

Lise :Gaziantep Anadolu Lisesi, Şhitkamil, Gaziantep, 2002
Üniversite :Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, Mersin, 2010
Yüksek Lisans :Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-Devam Ediyor	Şanlıurfa Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü	Kalite Yönetim Birim Sorumlusu

YABANCI DİLLER

İngilizce (Orta seviye)

EKLER

EK 1.1 Kurutma işlemi sırasında ağırlık değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

İşlem	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	Chi (X ²)	a	b	k	n
Açıkta Kurutma	Page	0.9885	0.0087	0.0336	0.0014			4.69E-06	1.70E+00
	Modified Page	0.9885	0.0087	0.0336	0.0014			7.17E-04	1.70E+00
	Newton	0.9096	0.0165	0.0941	0.0107			6.83E-04	
	Henderson & Pabis	0.9576	-0.0062	0.0645	0.005	1.19E+00		8.36E-04	
	Wang & Singh	0.9538	0.0173	0.0673	0.0055	-4.97E-04	4.73E-08		
Kabin 55°C	Page	0.9966	-0.0004	0.0187	0.0004			8.90E-03	2.1586
	Modified Page	0.9966	-0.0004	0.0187	0.0004			1.57E+00	2.16E+03
	Newton	0.8596	0.0188	0.1196	0.0152			1.42E+00	
	Henderson & Pabis	0.9056	-0.0095	0.0981	0.0096	1.17E+03		1.72E+00	
	Wang & Singh	0.9692	0.0097	0.0561	0.0036	-6.92E-01	-3.40E-04		
Kabin 65°C	Page	0.9841	0.0086	0.0436	0.0022			1.30E-03	2.16E+03
	Modified Page	0.9841	0.0086	0.0435	0.0021			1.86E+00	2.17E+03
	Newton	0.8616	0.0151	0.1284	0.0175			1.77E-03	
	Henderson & Pabis	0.9033	-0.0121	0.1073	0.0131	1.18E+00		2.12E-03	
	Wang & Singh	0.9308	0.0169	0.0908	0.0093	-1.14E-03	1.00E-07		
Kabin 75°C	Page	0.9697	0.0272	0.0618	0.0043			3.09E-06	2.12E+00
	Modified Page	1						-6.08E-04	1.44E+00
	Newton	0.8867	0.0179	0.1205	0.0154			2.49E-03	
	Henderson & Pabis	0.9174	-0.0197	0.0604	0.0041	1.17E+00		2.90E-03	
	Wang & Singh	0.9229	0.1158	0.0378	0.0016	-1.96E-03	1.02E-06		

EK 1.2 Kurutma işlemi sırasında ağırlık değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

İşlem	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	Chi (X ²)	a	b	k	n
Vakum 55°C	Page	0.989	0.0074	0.0343	0.0014			5.81E+00	1.59E+03
	Modified Page	0.989	0.0074	0.0343	0.0014			5.81E-03	1.5931
	Newton	0.9379	0.0071	0.0818	0.0072			5.83E+00	
	Henderson & Pabis	0.9559	-0.0081	0.0689	0.0056	1.1154		6.52E-03	
	Wang & Singh	0.9682	0.013	0.0585	0.004	-4.54E-03	5.36E-06		
	Modified Page	0.9807	-0.0151	0.0431	0.0021			5.04E-07	2.65E+00
Vakum 65°C	Page	0.9807	-0.015	0.0431	0.0021			4.22E-03	2.65E+00
	Modified Page	0.9807	-0.015	0.0431	0.0021				
	Newton	0.7931	0.0206	0.1411	0.0212			3.55E-03	
	Henderson & Pabis	0.8398	-0.0091	0.1242	0.0175	1.16E+00		4.33E-03	
	Wang & Singh	0.9932	-0.0007	0.0255	0.0007	-7.26E-04	-7.41E-06		
	Modified Page	0.9866	0.0093	0.0419	0.0021			1.13E-07	3.16E+00
Vakum 75°C	Page	0.8056	0.0049	0.1595	0.0277			6.58E-03	
	Modified Page	0.8056	0.0049	0.1595	0.0277				
	Newton	0.8384	-0.02	0.1453	0.0254	1.18E+00		7.58E-03	
	Henderson & Pabis	0.9095	0.0139	0.1088	0.0142	-3.59E-03	-7.44E-07		
	Wang & Singh	0.9988	-0.0004	0.0114	0.0002			7.90E-07	2.05E+00
	Modified Page	0.9988	-0.0004	0.0114	0.0002			-2.42E-04	7.11E-01
Güneş Enerjili Kurutma	Page	0.874	0.0173	0.1153	0.0166			9.77E-04	
	Modified Page	0.874	0.0173	0.1153	0.0166				
	Newton	0.9253	-0.0104	0.0888	0.0099	1.19E+00		1.20E-03	
	Henderson & Pabis	0.974	0.0111	0.0524	0.0036	-5.26E-04	-8.11E-08		

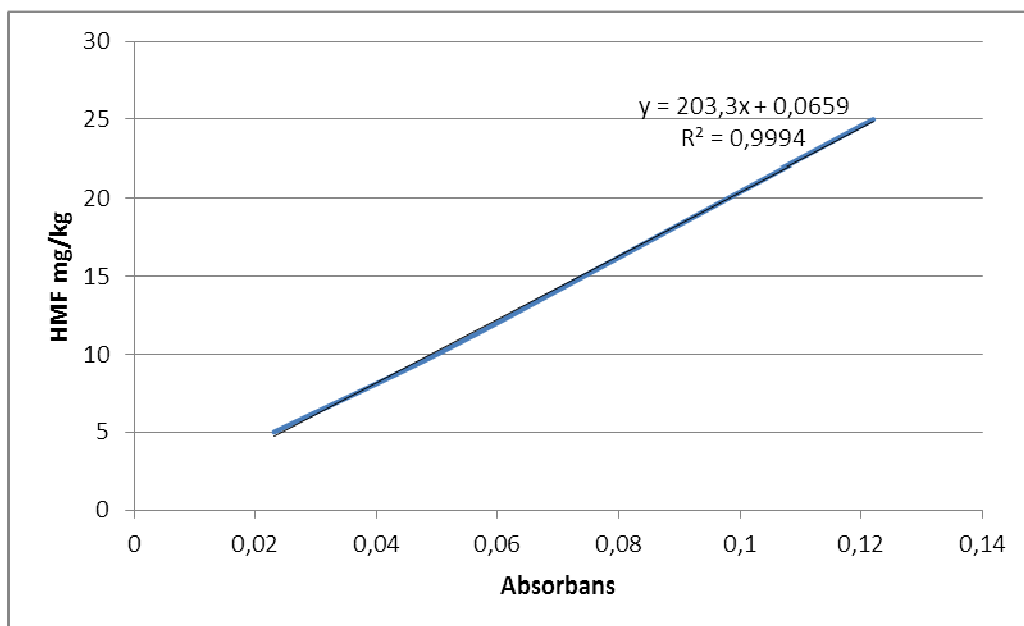
EK 1.3 Kurutma işlemi sırasında L-askorbik asit değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

İşlem	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	Chi(X ²)	a	b	k	n
Açıkta Kurutma	Page	0.9924	-0.0004	0.0241	0.0009			2.84E-03	8.15E-01
	Modified Page	0.9924	-0.0004	0.0241	0.0009			7.50E-04	8.15E-01
	Newton	0.981	-0.0021	0.038	0.0017			7.57E-04	
	Henderson & Pabis	0.9838	0.0034	0.0351	0.0018	9.68E-01		7.26E-04	
Kabin 55°C	Wang & Singh	0.9828	-0.0071	0.0361	0.002	-6.91E-04	1.49E-07		
	Page	0.9936	0.0019	0.0245	0.0009			5.81E-03	8.56E-01
	Modified Page	1	-	-	-			-7.44E-04	5.46E-01
	Newton	0.9891	0.0041	0.032	0.0012			2.36E-03	
Kabin 65°C	Henderson & Pabis	0.9894	0.0059	0.0315	0.0015	9.88E-01		2.33E-03	
	Wang & Singh	0.9979	-0.0018	0.014	0.0003	-2.11E-03	1.31E-06		
	Page	0.981	0.007	0.0463	0.0032			3.96E-03	9.68E-01
	Modified Page	1	-	-	-			-7.87E-04	7.21E-01
Kabin 75°C	Newton	0.9809	0.0084	0.0464	0.0026			3.27E-03	
	Henderson & Pabis	0.9809	0.0081	0.0464	0.0032	1.00E+00		3.28E-03	
	Wang & Singh	0.987	-0.002	0.0383	0.0022	-2.54E-03	1.71E-06		
	Page	0.999	0.00024	0.0082	0.0001			2.96E-01	3.23E-01
Kabin 75°C	Modified Page	1	-	-	-			-4.28E-04	9.73E-02
	Newton	0.9697	0.0389	0.0585	0.0041			6.48E-03	
	Henderson & Pabis	0.9698	0.0396	0.0584	0.0051	9.95E-01		6.45E-03	
	Wang & Singh	0.8867	-0.0177	0.1131	0.0192	-3.12E-03	2.35E-06		

EK 1.4 Kurutma işlemi sırasında L-askorbik asit değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

İşlem	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	Chi(X ²)	a	b	k	n
Vakum 55°C	Page	0.9964	0.0001	0.0133	0.0003			1.90E-01	2.69E-01
	Modified Page	0.9964	0.0001	0.0133	0.0003			2.07E-03	2.69E-01
	Newton	0.679	-0.0222	0.1253	0.0196			3.74E-03	
	Henderson & Pabis	0.7637	0.0051	0.1075	0.0193	8.74E-01		2.99E-03	
	Wang & Singh	0.8643	-0.0196	0.0815	0.0111	-4.94E-03	9.46E-06		
	Page	0.948	0.0023	0.0649	0.007			1.11E-01	4.49E-01
Vakum 65°C	Modified Page	0.948	0.0023	0.0649	0.007			7.43E-03	4.49E-01
	Newton	0.78	0.0157	0.1334	0.0223			7.90E-03	
	Henderson & Pabis	0.8072	0.0221	0.125	0.026	8.98E-01		6.37E-03	
	Wang & Singh	0.9098	-0.0177	0.0854	0.0122	-8.04E-03	1.87E-05		
	Page	0.9998	-7.80E-06	0.0043	3.10E-05			7.16E-01	1.39E-01
	Modified Page	0.9998	-7.80E-06	0.0043	3.10E-05			9.04E-02	1.39E-01
Vakum 75°C	Newton	0.8483	0.0271	0.12	0.018			1.01E-02	
	Henderson & Pabis	0.8545	0.03237	0.1175	0.023	9.44E-01		9.41E-03	
	Wang & Singh	0.9098	-0.0122	0.0925	0.0143	-9.07E-03	2.31E-05		
	Page	0.9908	0.0011	0.0253	0.001			2.10E-03	9.23E-01
	Modified Page	0.9908	0.0011	0.0253	0.001			1.25E-03	9.23E-01
	Newton	0.9895	0.001	0.027	0.0009			1.25E-03	
Güneş Enerjili Kurutucu	Henderson & Pabis	0.9895	0.0017	0.027	0.0011	9.96E-01		1.25E-03	
	Wang & Singh	0.9945	0.0003	0.0195	0.0006	-1.18E-03	4.65E-07		

EK 2 Hidroksimetilfurfural (HMF) standart eğrisi



EK 3 Duyusal analiz formu

PUL BİBER DUYUSAL ANALİZ FORMU

Panelistin Adı Soyadı : _____

Tarih : _____

1. RENK

1 2 3 4 5

- 5. Koyu Kırmızı
- 4. Açık Kırmızı
- 3. Açık Kahve
- 2. Koyu Kahve
- 1. Çok Kötü

2. SERTLİK

1 2 3 4 5

- 5. Çok Sert
- 1. Yumuşak

3. TAT-AROMA

1 2 3 4 5

- 5. Çok İyi
- 4. İyi
- 3. Orta
- 2. Kötü
- 1. Çok Kötü

4. GENEL KABUL EDİLEBİLİRLİK

1 2 3 4 5 6 7 8 9

- 9. Çok fazla beğendim
- 8. Çok beğendim
- 7. Az beğendim
- 6. Çok az beğendim
- 5. Ne beğendim, ne beğenmedim
- 4. Çok az beğenmedim
- 3. Biraz beğenmedim
- 2. Beğenmedim
- 1. Hiç beğenmedim

EK 4 Kırmızıbiber kurutma işlemi



a) Açık havada kurutma



b) Güneş enerjili kurutucuda kurutma



c) Kabin kurutucuda kurutma



d) Vakum kurutucuda kurutma

EK 5 Kırmızıbiber ekstraktları



a) Aflatoksin analizi için hazırlanan kırmızıbiber ekstraktları



b) Askorbik asit analizi için hazırlanan kırmızıbiber ekstraktları.

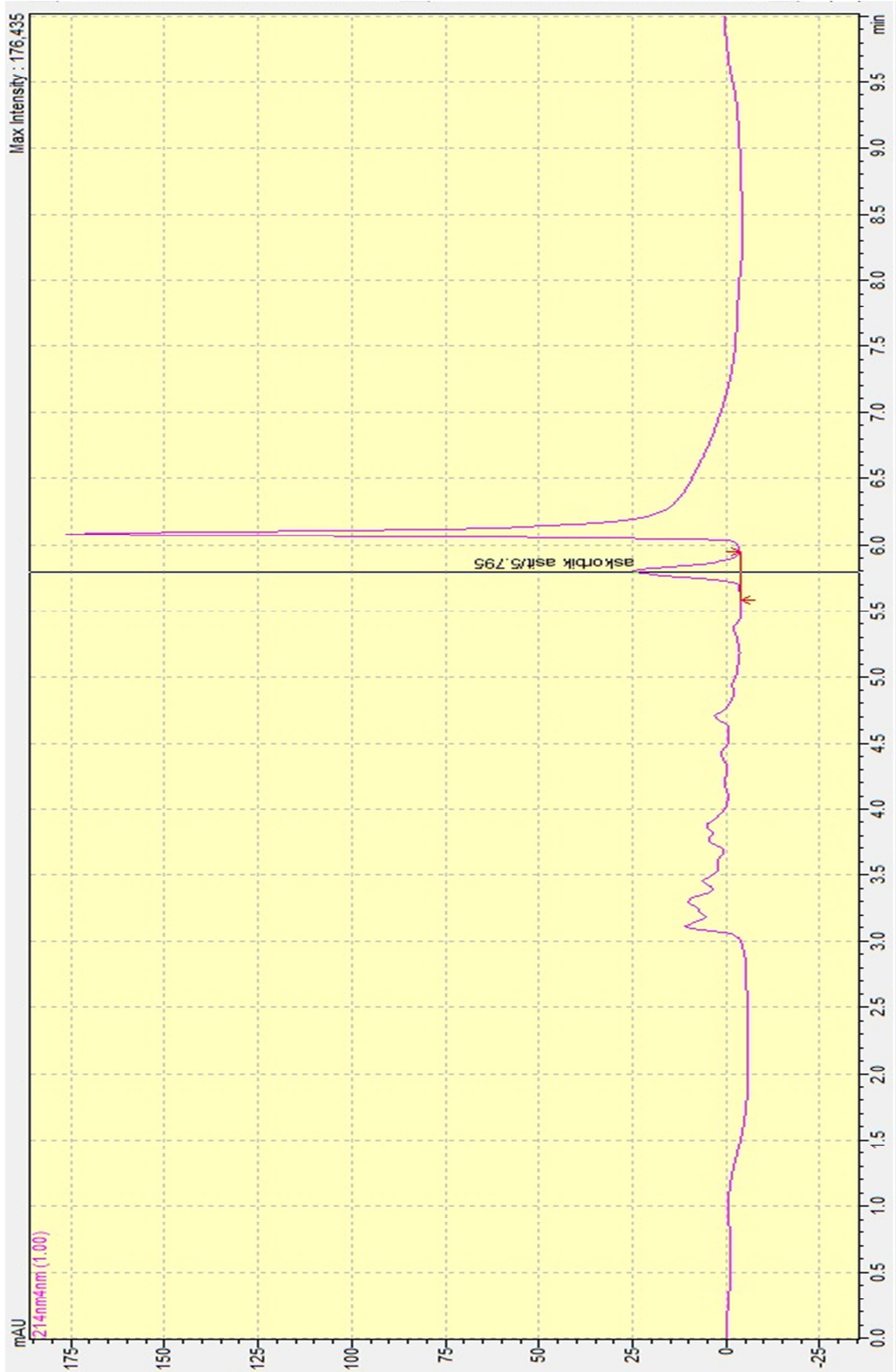
EK 6.1 Açık havada kurutulan taze kırmızıbiberde askorbik asit analizine ait HPLC kromatogramı



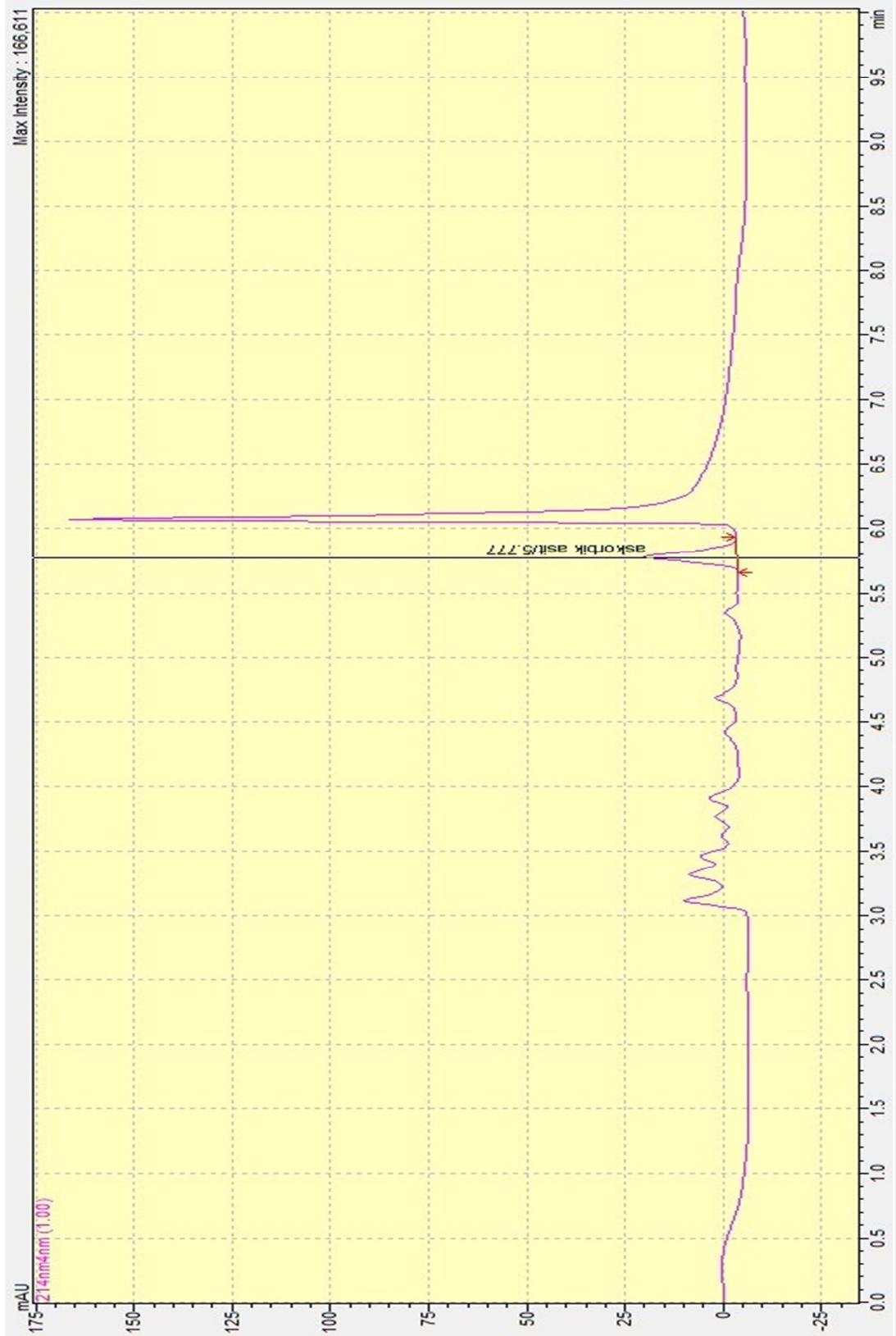
EK 6.2 Güneş enerjili kurutucuda kurutma işlemiyle üretilen pul biberde askorbik asit analizine ait HPLC kromatogramı



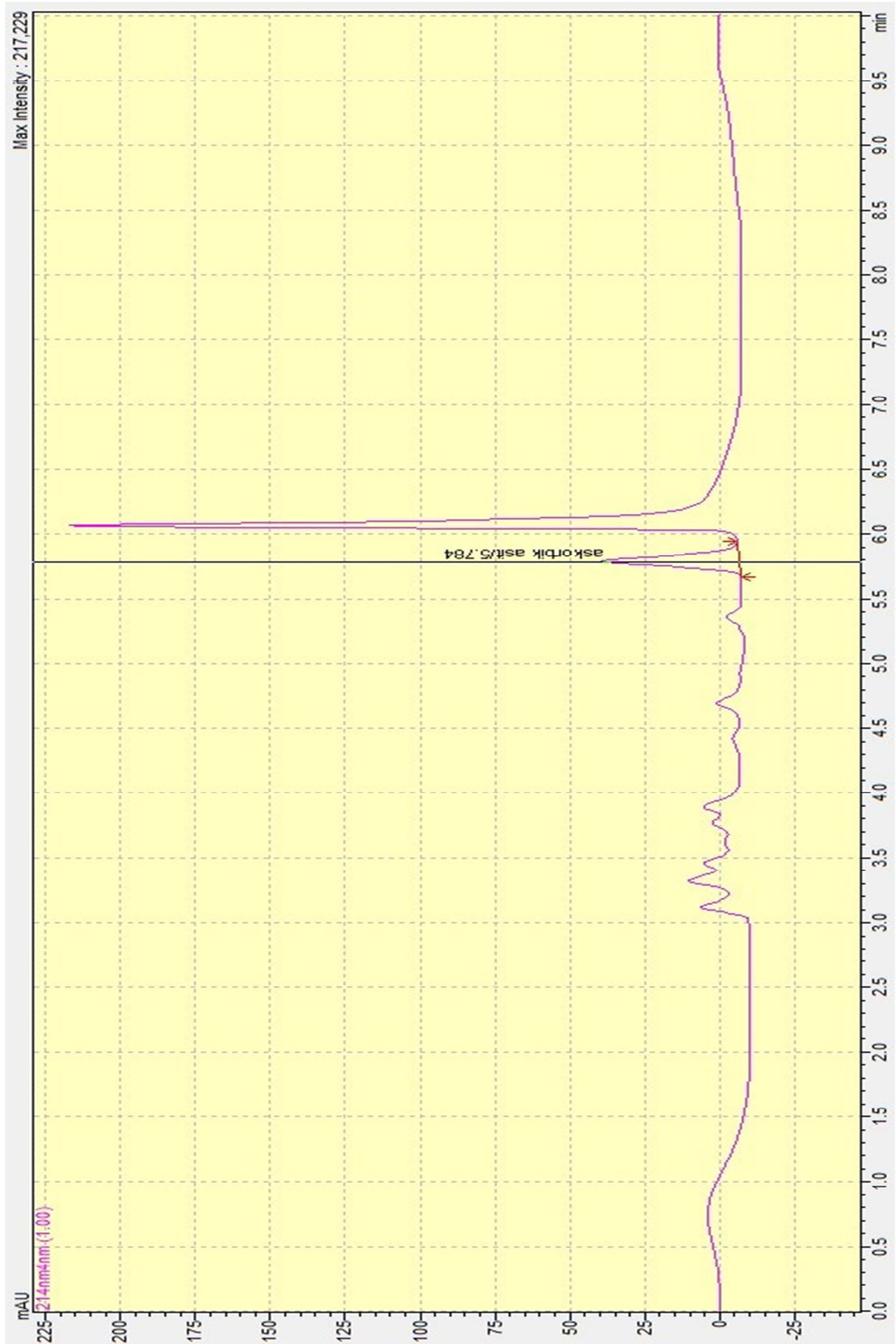
EK 6.3 Kabin kurutucuda kurutulan taze kırmızıbiber askorbik asit analizine ait HPLC kromatogramı



EK 6.4 Kabin kurutucuda 55°C’de kurutma işlemiyle üretilen pul biberde askorbik asit analizine ait HPLC kromatogramı



EK 6.5 Vakum kurutucuda kurutulan taze kırmızıbiber askorbik asit analizine ait HPLC kromatogramı



EK 6.6 Vakum kurutucuda 75°C’de kurutma işlemiyle üretilen pul biberde askorbik asit analizine ait HPLC kromatogramı

