

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

**DİLİMLENEREK DONDURULAN KIRMIZIBİBERİN BAZI FİZİKSEL VE  
KİMYASAL KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÖN İŞLEM OLARAK  
UYGULANAN OZMOTİK KURUTMANIN ETKİSİ**

**Handan BAŞÜNAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2016**



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

**DİLİMLENEREK DONDURULAN KIRMIZIBİBERİN BAZI FİZİKSEL VE  
KİMYASAL KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÖN İŞLEM OLARAK  
UYGULANAN OZMOTİK KURUTMANIN ETKİSİ**

**Handan BAŞÜNAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi  
tarafından FYL-2015-616 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**2016**



T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİLİMLENEREK DONDURULAN KIRMIZIBİBERİN BAZI FİZİKSEL VE  
KİMYASAL KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÖN İŞLEM OLARAK  
UYGULANAN OZMOTİK KURUTMANIN ETKİSİ

Handan BAŞÜNAL

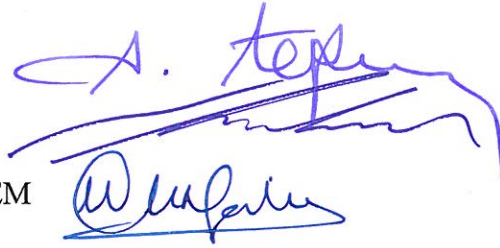
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 18.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Mustafa KARHAN

Doç. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM





## ÖZET

### DİLİMLENEREK DONDURULAN KIRMIZIBİBERİN BAZI FİZİKSEL VE KİMYASAL KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÖN İŞLEM OLARAK UYGULANAN OZMOTİK KURUTMANIN ETKİSİ

Handan BAŞÜNAL

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Temmuz 2016, 80 sayfa

Bu çalışmada dondurulmuş kırmızıbiber (*Capsicum annuum* L.) üretiminde ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutmanın biberin bazı kalite özellikleri ile işlemin enerji verimliliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla doğrudan, dondurulan kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberler  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 60 gün süreyle depolanmış ve depolamanın 0., 15., 30. ve 60. günlerinde örneklerde bazı fiziksel (su aktivitesi, renk, tekstür) ve kimyasal (nem, askorbik asit, antioksidan aktivite, karotenoid, peroksidaz ve lipoksigenaz enzim aktivitesi) analizler gerçekleştirilmiştir.

Kırmızıbiberlerin ozmotik kurutma optimizasyonu sıcaklık ( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $55^{\circ}\text{C}$ ), sorbitol/NaCl (1:1, 2:1, 3:1) ve çözelti/hammadde (5:1, 10:1, 15:1) oranı değişkenleri yanıt yüzey metodu kullanılarak Box-Behnken deneme desenine göre oluşturulmuştur. Bu değişkenler maksimum su kaybı ve minimum katı kazanımı olacak şekilde optimize edilerek optimum işlem koşulları belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda optimum ozmotik kurutma şartları  $25^{\circ}\text{C}$  sıcaklık, 2,41 sorbitol/NaCl oranı ve 15:1 çözelti/hammadde oranı olarak belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda doğrudan dondurulan örneklerin depolama boyunca nem değerlerinin %87,05-88,12, ozmotik ve sıcak hava ile kritik nem içeriğine kadar ( $\approx$  %70) kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiber örneklerinin nem değerlerinin ise %66,27-73,41 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu nem içerikleri ile ilişkili olarak en düşük su aktivitesi değeri (0,92) ozmotik kurutma sonrası dondurulan kırmızıbiberlerde, en yüksek su aktivitesi değeri (0,99) ise doğrudan dondurulan kırmızıbiberlerde tespit edilmiştir. Uygulanan işlemlerin ve depolama süresinin biberlerin *L*, *a* ve *b* renk değerleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Örneklerin yapısal özelliğini belirlemek için ölçülen kabuk delme kuvveti uygulamalara bağlı olarak depolama başlangıcında 16,15-17,83 N arasında bulunmuştur. Bu değer tüm örneklerde depolama süresine bağlı olarak azalmıştır. Kısmi olarak kurutulduktan sonra dondurulan örneklerin askorbik asit miktarının doğrudan dondurulan örneklere göre daha düşük olduğu ve bu değerlerin depolama süresine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. İki farklı yöntemle (DPPH ve ORAC) gerçekleştirilen antioksidan aktivite testlerinin sonuçlarına göre doğrudan dondurulan örneklerin antioksidan aktivitelerinin kısmi olarak kurutulduktan sonra dondurulan örneklere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Haşlama işlemi ile birlikte örneklerin peroksidaz enzim inaktivasyonu tamamen sağlanırken, lipoksigenaz enzim inaktivasyonu kısmen

başarılmıştır. Depolamanın 60. günü sonunda başlangıca göre biberlerin toplam karotenoid miktarındaki azalmalar doğrudan dondurulan, ozmotik kurutma sonrası dondurulan ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerde sırasıyla %57,97, %47,48 ve %46,93 olarak belirlenmiştir. Kısmi ön kurutma işlemlerinde harcanan enerji miktarları birbiriyle karşılaştırıldığında ozmotik kurutma için herhangi bir ısıtma gerekmediğinden, bu işlem için harcanan enerji miktarı (947,2 kJ/kg) diğerine (23.034,5 kJ/kg) nazaran oldukça düşük bulunmuştur. Elde edilen donma grafiklerine göre doğrudan dondurulan biberlerin sıcaklığı -25°C'ye yaklaşık 270 dakikada ulaşırken, kısmi ön kurutulduktan sonra dondurulan biberler -25°C'ye yaklaşık 105 dakikada ulaşmıştır. Böylece ön kurutma işlemi dondurma sırasında enerji sarfiyatı açısından 1/3 oranında avantaj sağlamıştır.

Araştırma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, dondurulmuş kırmızıbiber üretiminde dondurma işleminin enerji sarfiyatını azaltmak ve ürün kalitesini daha iyi muhafaza etmek amacıyla uygulanan ön kurutma işlemlerinin olumlu sonuçlar verdiği görülmüş ve endüstriyel uygulamalar için kırmızıbiberin belirlenen koşullarda ön kurutma işlemi uygulandıktan sonra dondurularak muhafaza edilmesinin tercih edilebilir yaklaşım olduğu anlaşılmıştır. Bu yaklaşımla dondurulmuş kırmızıbiber üretiminde kısmi kurutma uygulamalarıyla doğrudan dondurma karşılaştırıldığında kısmi kurutma uygulamalarıyla enerji girdilerinde azalma ve işlem süresinde kısalma sağlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Ozmotik kurutma, biber, dondurma, kısmi kurutulduktan sonra dondurma

**JÜRİ:** Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)  
Prof. Dr. Mustafa KARHAN  
Doç. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM



## ABSTRACT

### EFFECT OF OSMOTIC DRYING AS PRETREATMENT ON SOME PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY PROPERTIES OF SLICED FROZEN RED PEPPER

Handan BAŞÜNAL

MSc Thesis in Food Engineering  
Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ  
July 2016, 80 pages

The aim of this study was to investigate the influence of osmotic and hot air pre-drying treatments on some quality characteristics and energy efficiency of red pepper (*Capsicum annuum* L.) for frozen sliced red pepper production. For this purpose, frozen peppers directly, osmodehydrofrozen and convective dehydrofrozen peppers were stored at  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$  for 60 days. Some physical (water activity, color, texture) and chemical (moisture, ascorbic acid, antioxidant activity, carotenoid, peroxidase and lipoxygenase enzyme activity) analyses were performed at the storage days of 0, 15, 30 and 60th.

Osmotic dehydration treatments of red peppers were optimized by using response surface method according to Box-Behnken experimental design. Temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $55^{\circ}\text{C}$ ), sorbitol/NaCl (1:1, 2:1, 3:1) and solution ratio/raw material (5:1, 10:1, 15:1) were chosen as independent variable and treatment was optimized by maximum water loss and minimum solid gain. Optimum processing conditions were determined as  $25^{\circ}\text{C}$  treatment temperature, 2,41 sorbitol/NaCl ratio and 15:1 solution ratio:raw material in this optimization study.

Research results showed that moisture content value of frozen directly and osmodehydrofreezing with convective dehydrofreezing peppers changed between 87,05-88,12% and 66,27-73,41%, respectively during storage period. According to analyses results of water activity, osmodehydrofreezing peppers had lowest value (0,92) and frozen directly red peppers had highest value (0,99). All of applied treatments and storage period did not show significant effect on *L*, *a*, *b* color values of samples. Beginning of storage, skin puncture values of samples ranged from 16,15-17,83 N depending on treatments and these values decreased at the end of the storage. Ascorbic acid content of convective dehydrofrozen and osmodehydrofrozen samples were determined lower than the peppers frozen directly and ascorbic acid content of all samples decreased by storage period. Antioxidant activity determined by using two different method (DPPH ve ORAC) of frozen peppers were higher than convective dehydrofrozen and osmodehydrofrozen samples. Although peroxidase enzyme inactivation of samples was completely provided, lipoxygenase activity was partially provided by blanching. Carotenoid content losses were determined as 57,97, 47,48 ve 46,93% in frozen directly, osmodehydrofrozen and convective dehydrofrozen peppers, respectively at the end of the storage compared to beginning. Compared to the amount

of spent energy in pre-drying treatment, because of no heating required for osmotic dehydration, the amount of spent energy for osmotic drying (947,2 kJ/kg) was significantly lower than convective drying (23.034,5 kJ / kg). According to obtained the freezing temperature of the graphics, when temperature of frozen directly red peppers reached to -25°C in about 270 minutes, temperature of osmodehydrofrozen and convective dehydrofrozen peppers reached to -25°C in about 105 minutes. Thus, predrying provided 1/3 advantage in terms of energy consumption during freezing.

When the results are evaluated, low energy consumption and improved product quality during storage period were provided by pre-drying processes for frozen red pepper production. Pre-drying processes under the specified conditions were found to be preferred approach for industrial scale frozen red pepper production. Additionally shortened process time were obtained by pre-drying applications compared to directly freezing of red pepper.

**KEYWORDS:** Osmotic dehydration, pepper, freezing, dehydrofreezing

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Supervisor)  
Prof. Dr. Mustafa KARHAN  
Assoc. Prof. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM

## ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında dondurulmuş biber üretiminde dondurma işlemi maliyetlerini azaltmak amacıyla dondurma öncesi ozmotik ve sıcak hava ile kurutma işlemlerinin kullanım olanakları araştırılmıştır. Araştırma sonuçları dondurma işlemi maliyetlerini düşürmek için dondurma öncesi ozmotik ve sıcak hava ile kurutma yöntemlerinin kullanılabilceğini göstermiştir. Tez sonuçlarının konu ile ilgili araştırmacılara ve sektöre faydalı olmasını dilerim.

Bu çalışmayı tez konum olarak öneren, yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek, anlayış ve yardımından dolayı çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın çeşitli aşamalarında benden yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Cüneyt Dinçer'e, Uzman İhsan Burak ÇAM'a, Araş. Gör. İsmail TONTUL'a, Gıda Yüksek Mühendisi Emrah EROĞLU'na, Gıda Yüksek Mühendisi Zehra Kasımoğlu'na, Ecem VURAL'a ve ayrıca çalışmalarım boyunca maddi ve manevi yardımlarını benden hiçbir zaman esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Mehmet TORUN ve Gıda Yüksek Mühendisi Ferhan BALCI TORUN'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca yanımda olup maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, bu çalışmanın en başından en sonuna kadar her anlamda bana yardımcı olan sevgili babam Bülent BAŞÜNAL, annem Filiz BAŞÜNAL ve ağabeyim Bora BAŞÜNAL'a yürekten teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan ve desteğini hissettiğim Burak GÜLMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle aynı adı taşıyan FYL-2015-616 nolu projeye maddi destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI .....	3
2.1. Biber .....	3
2.2. Biberin Dünyadaki ve Türkiye'deki Yeri .....	6
2.3. Kurutma İşlemi ve Tarihsel Gelişimi.....	7
2.4. Ozmotik Kurutma .....	8
2.4.1. Ozmotik kurutmada kütle transfer mekanizması.....	11
2.4.2. Ozmotik kurutmada kütle transfer hızını etkileyen faktörler .....	12
2.4.2.1. Ozmotik kurutma işleminin süresi .....	12
2.4.2.2. Ozmotik kurutma işleminin sıcaklığı .....	13
2.4.2.3. Ozmotik kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin etkisi .....	13
2.4.2.4. Ozmotik çözeltinin çeşidi.....	13
2.4.2.5. Ozmotik çözelti konsantrasyonu .....	14
2.4.2.6. Ürünün geometrik şekli ve boyutu .....	14
2.4.2.7. Ozmotik çözelti ve hammadde oranı.....	15
2.4.2.8. Ozmotik çözeltinin karıştırılması .....	15
2.4.2.9. Hammadde özellikleri .....	15
2.4.3. Ozmotik kurutmanın avantaj ve dezavantajları .....	16
2.5. Gıdaların Dondurularak Muhafazası .....	16
2.5.1. Dondurma işlemi .....	17
2.5.2. Dondurma yöntemleri.....	18
2.5.3. Dondurulmuş gıdaların depolanması.....	19
2.5.4. Gıdaların dondurulması sırasında meydana gelen değişimler.....	19
2.6. Ozmotik Kurutma Sonrası Dondurma (Osmodehydrofreezing).....	20
2.6.1. Konvansiyonel dondurma işlemi ile kısmi kurutma sonrası dondurma işleminin etkilerinin karşılaştırılması .....	25
2.6.2. Kısmi kurutma sonrası dondurmanın ticari uygulamaları .....	28
3. MATERYAL VE METOT.....	29
3.1. Materyal .....	29
3.2. Yöntem.....	29
3.2.1. Ön işlemler .....	29
3.2.2. Ozmotik kurutma optimizasyonu .....	29
3.2.3. Sıcak hava ile kurutma .....	31
3.2.4. Biberlerin dondurulması .....	32
3.2.5. Analizler .....	33
3.2.5.1. Peroksidaz testi.....	33
3.2.5.2. Nem miktarı.....	33
3.2.5.3. Su aktivitesi .....	34

3.2.5.4. Su kaybı.....	34
3.2.5.5. Katı kazanımı .....	34
3.2.5.6. Ağırlık kaybı .....	34
3.2.5.7. Renk .....	34
3.2.5.8. Tekstür.....	34
3.2.5.9. Askorbik asit .....	35
3.2.5.10. Antioksidan aktivite .....	36
3.2.5.11. Peroksidaz aktivitesi .....	37
3.2.5.12. Lipoksigenaz aktivitesi .....	37
3.2.5.13. Toplam karotenoid miktarı .....	37
3.2.5.14. Enerji verimliliği .....	38
3.2.5.15. İstatiksel analiz.....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	40
4.1. Ozmotik Kurutma Optimizasyonu .....	40
4.1.1. Çözelti sıcaklığın ozmotik kurutma üzerine etkisi .....	44
4.1.2. Sorbitol/NaCl oranının ozmotik kurutma üzerine etkisi.....	45
4.1.3. Çözelti/hammadde oranının ozmotik kurutma üzerine etkisi.....	45
4.1.4. Yanıt yüzey metodu ile belirlenen optimum ozmotik kurutma şartları.	45
4.2. Dondurulmuş Kırmızıbiber Dilimlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikler .....	46
4.2.1. Nem miktarı değişimi .....	46
4.2.2. Su aktivitesi değişimi.....	46
4.2.3. Renk değişimi .....	47
4.2.3.1. <i>L</i> değeri değişimi .....	47
4.2.3.2. <i>a</i> değeri değişimi .....	48
4.2.3.3. <i>b</i> değeri değişimi .....	49
4.2.4. Tekstür değişimi .....	50
4.2.5. Askorbik asit değişimi .....	52
4.2.6. Antioksidan aktivite değişimi .....	54
4.2.7. Peroksidaz aktivitesi değişimi .....	57
4.2.8. Lipoksigenaz aktivitesi değişimi .....	57
4.2.9. Toplam karotenoid değişimi .....	59
4.2.10. Doğrudan dondurulan ile ön kurutma sonrası dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberlerin donma hızları .....	61
4.2.11. Enerji verimliliği.....	62
5. SONUÇ .....	64
6. KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$\lambda_{\max}$  Maksimum dalga boyu

N Newton

### Kısaltmalar

A Kurutma haznesi kesit alanı

ABD Amerika Birleşik Devletleri

$a_w$  Su aktivitesi

cm Santimetre

$c_p$  Havanın özgül ısısı

$c_{p1}$  Biberin donma noktası üzerindeki sıcaklıkta özgül ısısı

$c_{p2}$  Biberin donma noktası altındaki sıcaklıkta özgül ısısı

$c_{pm}$  Ozmotik çözeltinin özgül ısısı

$c_{pv}$  Biberin özgül ısısı

dk Dakika

E Toplam enerji

$E_p$  Pompa için gerekli mekanik enerji

FAO Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)

g Gram

$g_{m(OD)}$  Ozmotik kurutmadan sonra çözeltideki toplam katı miktarı

h/h Hacim/hacim

km Kurumadde

$L_g$  Biberin donma gizli ısısı

m Dondurulan biber miktarı

M Molar

M.Ö.	Milattan önce
mg	Miligram
mL	Mililitre
mM	Milimolar
$m_{m(OD)}$	Ozmotik kurutmada sonra kalan ozmotik çözelti miktarı
$m_{mo}$	Ozmotik çözelti miktarı
$m_{sm}$	Ozmotik kurutma sonrasında biberdeki katı kazanımı
$m_v$	Ozmotik kurutmada kullanılan biber miktarı
$m_w$	Ozmotik kurutma sonrası biberdeki su kaybı
Q	Ozmotik kurutma sırasında harcanan toplam enerji
$Q_1$	Biberin sıcaklığının donma noktasına düşmesi için uzaklaştırılması gereken enerji
$Q_2$	Donma noktasında uzaklaştırılması gereken enerji
$Q_i$	Evaporasyon işleminde harcanan enerji
$Q_{OD}$	Ozmotik kurutma işlemi sırasında ısıtma için harcanan enerji
r	Suyun donma sırasındaki faz değişim ısısı
sn	Saniye
t	Kurutma zamanı
$t_0$	Ortam sıcaklığı
$t_r$	Ozmotik çözelti sıcaklığı
v	Hava hızı
vb.	Ve benzeri
W	Evaporasyonla ozmotik çözülden uzaklaştırılan su miktarı
wf	Örneklerin son nemi
wi	Örneklerin başlangıç nemi
xf	Örneklerin son ağırlığı

- $x_i$  Örneklerin ilk ağırlığı
- $\Delta T$  Sıcaklık farkı
- $\Delta T_1$  Biberin donma başlangıç sıcaklığı ile donma noktası arasındaki sıcaklık farkı
- $\Delta T_2$  Biberin donma noktası ile son sıcaklığı ( $-25^{\circ}\text{C}$ ) arasındaki fark
- $\rho$  Havanın yoğunluğu



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Biberin anatomisi .....	4
Şekil 2.2. Ozmotik kurutma sırasında gerçekleşen kütle transferleri .....	11
Şekil 3.1. Ozmotik kurutma aşamaları .....	30
Şekil 3.2. Kurutma öncesi ve sonrası tepsili kurutucu rafları üzerindeki biber dilimleri .....	31
Şekil 3.3. Sıcak hava ile kurutma sırasında biber dilimlerinin zamana bağlı nem değişimi .....	32
Şekil 3.4. Dondurucu içerisine yerleştirilen fan ve tepsiler .....	32
Şekil 3.5. Dondurma sıcaklığının takibi.....	33
Şekil 3.6. Askorbik asit standart eğrisi .....	35
Şekil 4.1. Sabit sorbitol/NaCl oranında (2) çözelti/hammadde oranı ve çözelti sıcaklığının su kaybı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu) .....	42
Şekil 4.2. Sabit çözelti/hammadde oranında (10) sorbitol/NaCl oranı ve sıcaklığın su kaybı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu).....	42
Şekil 4.3. Sabit sıcaklıkta (40°C) sorbitol/NaCl ve çözelti/hammadde oranının su kaybı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu).....	43
Şekil 4.4. Sabit sorbitol/NaCl oranında (2) çözelti/hammadde oranı ve sıcaklığın katı kazanımı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)...	43
Şekil 4.5. Sabit çözelti/hammadde oranında (10) sorbitol/NaCl oranı ve sıcaklığın katı kazanımı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)...	44
Şekil 4.6. Sabit sıcaklıkta (40°C) sorbitol/NaCl ve çözelti/hammadde oranının katı kazanımı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu).....	44
Şekil 4.7. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin depolama süresine bağlı kabuk delme kuvveti değişimi .....	51
Şekil 4.8. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerleri.....	52
Şekil 4.9. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri .....	54
Şekil 4.10. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerleri.....	56

Şekil 4.11. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutulularak dondurulan kırmızıbiberlerin depolamaya bağlı lipoksigenaz aktivitesi değerleri değişimi.....	58
Şekil 4.12. Doğrudan ve kısmi kurutulularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarı .....	60
Şekil 4.13. Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberin dondurma işlemi süresince sıcaklık değişimi.....	61
Şekil 4.14. Ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberin dondurma işlemi süresince sıcaklık değişimi.....	62
Şekil 4.15. Sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberin dondurma işlemi süresince sıcaklık değişimi.....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Taze kırmızıbiberin besin bileşimi .....	5
Çizelge 2.2. Dünya biber üretimi .....	6
Çizelge 2.3. Türkiye'nin 2010-2014 yıllarındaki biber üretimi .....	7
Çizelge 2.4. Türkiye'nin biber ihracatı .....	7
Çizelge 2.5. Ozmotik kurutularak dondurulan gıdalar ve dondurma yöntemleri .....	21
Çizelge 3.1. Ozmotik kurutma optimizasyonunda kullanılan Box-Behnken deneme deseni.....	30
Çizelge 3.2. Askorbik asit analizi HPLC koşulları .....	35
Çizelge 4.1. Ozmotik kurutma optimizasyon deneme deseni ve analiz verileri .....	40
Çizelge 4.2. Yanıt yüzey metodunda kullanılan modele ait eşitlik katsayıları .....	41
Çizelge 4.3. Optimum ozmotik kurutma koşulları.....	46
Çizelge 4.4. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin nem miktarı değerleri .....	46
Çizelge 4.5. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin su aktivitesi değerleri.....	47
Çizelge 4.6. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $L$ değerleri.....	47
Çizelge 4.7. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $L$ değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	48
Çizelge 4.8. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $L$ değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları.....	48
Çizelge 4.9. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $a$ değerleri.....	48
Çizelge 4.10. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $a$ değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	49
Çizelge 4.11. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $a$ değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları.....	49
Çizelge 4.12. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $b$ değerleri.....	49
Çizelge 4.13. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin $b$ değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	50

Çizelge 4.14. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin <i>b</i> değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları.....	50
Çizelge 4.15. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin kabuk delme kuvveti değerleri.....	50
Çizelge 4.16. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin kabuk delme kuvveti değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	51
Çizelge 4.17. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin kabuk delme kuvveti değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları.....	52
Çizelge 4.18. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerleri.....	52
Çizelge 4.19. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	53
Çizelge 4.20. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	54
Çizelge 4.21. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri .....	54
Çizelge 4.22. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	55
Çizelge 4.23. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları .....	55
Çizelge 4.24. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerleri.....	56
Çizelge 4.25. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları .....	56
Çizelge 4.26. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları .....	57
Çizelge 4.27. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin lipoksigenaz aktivitesi değerleri.....	58
Çizelge 4.28. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin lipoksigenaz aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	59

Çizelge 4.29. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin lipoksigenaz aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları .....	59
Çizelge 4.30. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarları .....	60
Çizelge 4.31. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarlarına ait varyans analizi sonuçları .....	60
Çizelge 4.32. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	61
Çizelge 4.33. Sıcak hava ile kurutma sırasında harcanan enerjinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar .....	63
Çizelge 4.34. Ozmotik kurutma sırasında enerji tüketimim hesaplaması için kullanılan sabitler .....	63
Çizelge 4.35. Ozmotik kurutma işlem aşamalarında harcanan enerji miktarı .....	63
Çizelge 4.36. Doğrudan dondurulan, ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurma işlemleri sırasında harcanan enerji .....	64



## 1. GİRİŞ

Gıda olarak tüketimi yaygın olan biber, *Magnoliophyta* bölümünde *Magnoliopsida* sınıfında, *Solanales* takımında, *Capsicum* türünü içerisinde bulunduran patlıcan, domates, petunya, patates ve tütünün yer aldığı *Solanacea* familyasında yer almaktadır (Bakker ve Van Uffelen 1988). İçerdiği besin bileşenleri ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle önemli bir besin maddesi olan biber taze tüketiminin yanı sıra salçaya ve turşuya işlenerek, kurutulularak baharat halinde, bazı çeşitleri ise közlenip konserveye işlenerek tüketilmektedir. Bunlara ilaveten biberin minimal işlenmiş veya dondurulmuş olarak da marketlerde yer almaya başladığı görülmektedir. Özellikle hazır yemek ve fast-food zincirinde bu tip işlenmiş ürünler önemli miktarda kullanım alanına sahiptir.

Biber, dünyada ve ülkemizde üretilen önemli sebze türlerinden biridir. 2012 yılı verilerine göre dünya biber üretimi 1,9 milyon ha alanda 30,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. En önemli biber üreten ülke 16,2 milyon ton ile Çin olup, bunu 2,3 milyon ton ile Meksika izlemektedir. Türkiye 99 bin ha alanda yaklaşık 2 milyon ton üretimi ile dünyada biber üretiminde 3. sırada yer almaktadır (Anonim 2012).

Günümüzde dondurulmuş gıdaların kolay işlenebilmesi, raf ömrünün uzun, kullanımının pratik olması, besin değerinin korunması, dondurma, çözündürme, pişirme işlemlerinin kolayca uygulanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı önemi gün geçtikçe artmaktadır. Çözünme esnasında üründe bazı kalite kayıplarının meydana gelmesi nedeniyle (Li vd 2002) dondurma işlemi tüm gıdalar için uygun olmamaktadır. Bu gibi sorunların önüne geçmek ya da en aza indirebilmek için araştırmacılar birçok yenilikçi dondurma işlemi araştırmakta ve geliştirmektedir. Bunlardan biri de kısmi kurutma sonrası dondurma (dehydrofreezing) işlemidir. Gıdadaki suyun bir kısmının uzaklaştırılması donma esnasında teorik olarak buz kristallerinin oluşumuna ve hücresel yapıya zarar vermeden büyümesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca dondurma işlemi öncesi kurutma işlemi ile ürünün donma süresi, başlangıç donma sıcaklığı ve ürün içerisinde oluşan buz kristali azalmaktadır. Gıdalara dondurma işlemi öncesi mikrodalga ve sıcak hava destekli kurutma ile ozmotik kurutma işlemlerinin uygulandığı bilinmektedir (Uemura ve Tagawa 2012). Ön kurutma işleminin ozmotik kurutma ile gerçekleştirildiği gıda dondurma süreçleri uluslararası literatürde 'osmohydrofreezing' olarak adlandırılmaktadır (James vd 2014).

Ozmotik kurutma, gıdaların hipertonic bir çözeltiye daldırması ile suyun kısmen uzaklaştırılması ve ozmotik çözeltideki çözünenlerin gıdaya difüze olması şeklinde gerçekleşmektedir. Gıdadan çözeltiye suyun geçişinde hipertonic çözelti ile gıda arasındaki ozmotik basınç farkı rol oynamaktadır. Bu nedenle ozmotik kurutma, yeni ürünler elde etmek ve enerji maliyetlerini düşürmek amacıyla kurutma ve dondurma işlemi öncesinde uygulanması tavsiye edilen bir ön işlemdir (Ponting 1973). Meyve ve sebzelerin ozmotik kurutulmasında en yaygın kullanılan ozmotik çözeltiler sakaroz, glukoz, fruktoz, sorbitol, mısır şurubu gibi şekerler ve sodyum klorür gibi tuzlardır. Ozmotik kurutma sonrası dondurma işlemi geniş ürün yelpazesine uygulanabilmesi, bu ürünlerin işlenmesi ve muhafazasında doğrudan dondurma veya sıcak hava ile tamamen kurularak depolamaya kıyasla daha az enerji gerektirmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Eroğlu ve Yıldız 2011).

Literatürde biberin farklı yöntemlerle kurutulması, dondurulması, ışınlanması gibi işlemlerle başta karotenoid olmak üzere diğer bileşenlerde meydana gelen değişimleri konu alan çalışmalar mevcuttur. Ancak biberin ozmotik kurutularak dondurulmasına yönelik herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada dilimlenmiş kırmızıbiberler (*Capsicum annuum* L.) dondurulmadan önce buhar ile haşlanarak enzimler inaktif hale getirildikten sonra ozmotik ve sıcak hava kurutma yöntemiyle kısmen kurutulmuştur. Ozmotik kurutmada sıcaklık (25°C, 40°C ve 50°C) çözelti/hammadde (5:1, 10:1 ve 15:1) ve sorbitol/NaCl (1:1, 2:1 ve 3:1) oranlarının biberlerdeki su kaybı ve katı kazanımı üzerine etkileri araştırılmış, dilimlenmiş biberde, su kaybının maksimum ve katı kazanımının minimum olduğu işlem koşulları optimize edilmiştir. Belirlenen optimum koşullarda ozmotik kurutma ve sıcak hava kurutma (60°C sıcaklık, 2 m/s hava hızı) işlemi kritik nem (yaklaşık %70) düzeyine kadar gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise iki farklı yöntemle belirli su içeriğine kadar kısmen kurutulan biberler -25°C sıcaklıkta ve ortalama 2±0,14 m/s hava hızında dondurulmuştur. Uygulanan işlemlerin ürünün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.



## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Biber

Biber *Magnoliophyta* bölümünde *Magnoliopsida* sınıfında, *Solanales* takımında, *Capsicum* cinsini içerisinde bulunduran patlıcan, domates, petunya, patates ve tütünün yer aldığı *Solanaceae* familyasında yer almaktadır (Anonim 2015b).

Çok geniş çeşitliliğe sahip olan *Capsicum* cinsi içerisinde 20-25 arasında biber türü bulunmasına rağmen bunlardan sadece 5 tanesinin (*C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens*) kültürü yapılmaktadır. Bu biberler capsicum, chili, chile, aji, paprika, piquin, cayenne gibi farklı isimlerle adlandırılmaktadır (Doğar 1999; Topuz 2002). Dünya üzerinde yetiştiriciliği en yaygın olarak yapılan tür Meksika ve Orta Amerika orijinli *Capsicum annuum* olup, bu tür tropikal ve subtropikal ılıman ekolojilere yüksek adaptasyon sağlamıştır (Bakker ve Van Uffelen 1988, Bosland 1992).

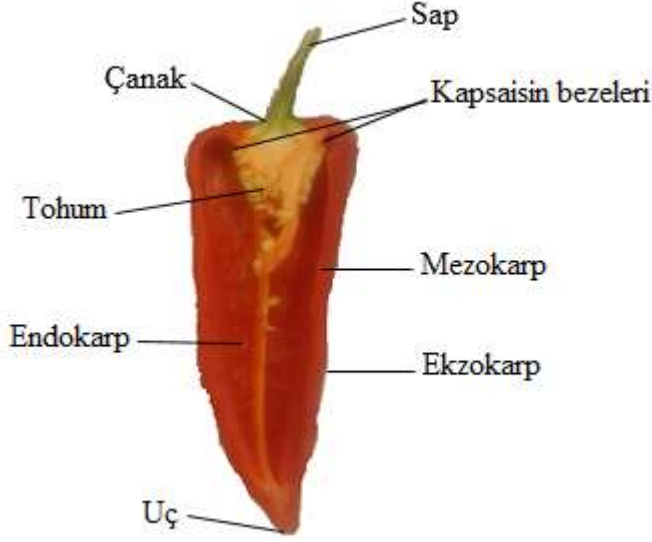
Biber, tek veya çok yıllık bir bitki olup ılık ve sıcak iklimlerde gelişme gösteren bir meyvedir. Gövde büyümenin ilk aşamalarında otsu olup daha sonra gevrek ve kısmen odunsu bir yapı kazanmaktadır. Yaprakları uzun, oval, yuvarlak, kenarları düz veya dalgalı, parlak veya tüylü olabilen biberin meyveleri şekil, renk, irilik, kabuk kalınlığı, et kalınlığı ve lezzetleri bakımından farklılıklar göstermektedir. Meyveler ince uzun, konik, dolmalık, kiraz ve domates şeklinde olup boyları 1-30 cm arasında değişmektedir. Meyvelerin et rengi açık yeşil, yeşil, koyu yeşil, beyaz, sarı beyaz ve sarıdır. Meyve olgunlaştıkça rengi değişmektedir. Tamamen olgunlaşmış meyvelerde renk beyaz, sarı, kırmızı, koyu kırmızı, mor ve morumsu siyah olmaktadır (Aybak 2007).

*Capsicum* cinslerinin gen merkezi Peru ve Venezuela'nın yer aldığı Orta Amerika'dır. Tarihte ilk biber yetiştiriciliği M.Ö. 7500 yıllarında yapılmış ve biber Amerika'da ilk yetiştirilen bitki türleri arasında yerini almıştır. Biber kültürünün Amerika'dan Avrupa'ya buradan ise Çin'e ve Hindistan'a hızlı bir şekilde yayıldığı bildirilmektedir (McLeod vd 1983, Pickersgill 1984). Cristof Colomb'un 1493'teki dönüş gezisinde İspanya ile tanıştırılana dek, Avrupa'da bilinmemektedir. Ticari yetiştiriciliğinin 1600'lü yıllardan itibaren yapıldığı bildirilen biber (DeWitt ve Gerlach 1990) bu tarihten sonra hızlı bir şekilde tüketim zincirindeki yerini almıştır. Ülkemizde ise özellikle 16. yüzyılda Osmanlı İmparatorluğu döneminde Orta Avrupa ülkeleri ile kurulan sıkı ilişkiler sonucu biber ilk önce İstanbul'a getirilmiş ve daha sonra buradan diğer bölgelerimize yayılmıştır (Şeniz 1992).

Biber meyvesi sap, tohum ve perikarp olmak üzere başlıca üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.1). Perikarp pürüzsüz ve parlak olup içerisinde gelişigüzel bir biçimde çok sayıda açık sarı renkli tohum plesantaya tutunmuştur. Tohumların 1000 tane ağırlığı çeşide bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık 5-8 gram arasında değişmektedir (Anonim 2016c).

Biberler bütün veya dilimlenmiş şekilde taze, pişmiş, konserve olarak; salça, turşu, sos, hazır çorbalar, ketçap, çocuk maması, sucuk, tarhana, pastırma üretiminde;

çeşnili peynir ve dolgulu zeytin üretiminde; kurutularak, toz ve pul biber imalatında; boya ve ilaç sanayinde kullanılmaktadır (Anonim 2009).



Şekil 2.1. Biberin anatomisi (Andrews 1999)

Biber A, B ve C vitamini, renk maddeleri, flavanoid ve antioksidan bileşikler içermesinden dolayı besin değeri yüksek bir gıdadır. Ayrıca biberde önemli miktarda magnezyum, demir, tiamin, riboflavin ve niasin bulunmaktadır. Özellikle C vitamini ve karotenoidlerce zengin olan biber düşük kalorili olması, yüksek lif ve doymamış yağ içeriği ile insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Howard vd 1994, Marín vd 2004).

Çizelge 2.1. Taze kırmızıbiberin besin bileşimi (Anonim 2016a)

İçerik	100 g meyvede
Protein	1,2 g
Karbonhidrat	4,8 g
Yağ	0,2 g
Lif	1,4 g
Su	92,21 g
Kalsiyum	9 mg
Demir	0,7 mg
Magnezyum	12 mg
Fosfor	22 mg
Potasyum	213 mg
Sodyum	13 mg
Çinko	0,25 mg
Askorbik asit	140 mg
Vitamin A	3131 IU
Vitamin B <sub>6</sub>	0,26 mg
Tiamin	0,08 mg
Niasin	0,5 mg
Riboflavin	0,08 mg

Kırmızıbiberin renginin ketokarotenoidlerden kapsantin, kapsorubin ve kapsantin 5,6 epoksit; ksantofillerden  $\beta$ -kriptoksantin, zeaksantin, violaksantin ve kapsolutein; karotenlerden de  $\beta$ -karotenden ileri geldiği bildirilmektedir (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1993).

Capsicum üzerindeki karotenoid çalışmaları 19. yüzyılda başlamıştır. Henri Braconnot ilk *Capsicum annuum* pigment araştırmasını 1817'de bildirmiştir (Braconnot 1817). 1927'de *Capsicum annuum*'dan kristal formda bir pigment elde edilmiş ve bu bileşenin kapsantin olarak adlandırılması önerilmiştir (İkan 2013). Benzer şekilde, von Zechmeister ve von Cholnoky paprikanın karotenoid içeriği ile ilgili birçok makale yayınlamışlar ve kapsantin ile kapsorubinin yanı sıra önceden tanımlanmayan  $\beta$ -karoten, kriptoksantin ve zeaksantin gibi karotenoidleri bulmuşlardır (Curl 1962). Paprikadan elde edilen lutein epoksid anteraksantin, violaksantin, kriptokapsin ve mutatoksanin gibi diğer yeni karotenoidler de sonraki çalışmalarda bildirilmiştir (Cholnoky vd 1955). Daha sonra kapsantin ve kapsorubinin, konjuge çift bağ sisteminin bir parçası olan keto gruplarına komşu sırasıyla bir ve iki siklopentan halkası içerdiği bulunmuştur (Barber vd 1960).

Kırmızıbiberdeki toplam karotenoidlerin %70-80'ini kapsantin ve kapsorubin oluşturmaktadır (Osuna-Garcia vd 1997, Pérez-Gálvez vd 2000). Kırmızıbiberin diğer renk maddelerinden olan  $\beta$ -karoten ve  $\beta$ -kriptoksantin,  $\beta$ -iyonon halkası ve bu halkaya bağlı polien zinciri bulundurması nedeniyle provitamin A aktivitesi göstermektedir. İnsanlar endojen izoprenoid öncülerinden A vitaminini sentezleyemez; ancak bitki karotenoidleri ( $\beta$ -karoten,  $\alpha$ -karoten,  $\gamma$ -karoten ve  $\beta$ -kriptoksantin) provitamin A (retinole dönüştürülebilir) kaynağı olduklarından bu renk maddeleri vücuda alındıktan sonra ince bağırsakta karoten oksijenaz ve retinaldehit reduktaz enzimleri sayesinde A

vitaminine dönüşmektedir (Topuz 2002, Uylaşer 2000). Ayrıca, biber C vitamini kaynağı olarak önemli bir besin maddesidir. Tüketilen gıdalardaki yağ, protein, E vitamini ve çinko miktarı karotenoidlerin biyoyararlılıklarını etkilemektedir. Normal koşullarda ince bağırsaktaki emilimi %47-81 arasında olan karotenoidler lipoproteinler aracılığıyla kana geçmektedir. Düşük yoğunluklu lipoproteinlerin okside olmasını önleyen karotenoidlerin bu etkileri ile kalp hastalıklarını engellediği belirtilmektedir (Li ve Van Eck 2007).

Ayrıca  $\alpha$ - ve  $\beta$ -karotenin deri, akciğer, karaciğer ve kolonda tümör oluşumunu (Nishino 1998) bildirilmiştir. Aynı şekilde, karotenoidler açısından zengin bir diyet ile doğrudan yaşa bağlı maküler dejenerasyon riskinin azalmasını bağlantılı olduğu bildirilmiştir (Snodderly 1995). Benzer şekilde, zeaksantin ve lutein (özellikle gözdeki maküler pigment bileşikleri) diyet alımı ile maküler dejenerasyon riskinin azalması arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir (Botella-Pavía ve Rodríguez-Concepción 2006, Rodríguez-Concepción vd 2004). Apokarotenoidler çok fonksiyonlu aktiviteler göstermekte kanser ve diğer dejeneratif hastalıkların önlenmesinde faydalı olabilmektedir (Veprık vd 2012). Biber apo-14'-zeaksantinal, apo-13'-zeaksantinon, apo-12'-kapsorubinal, apo-8'-kapsorubinal, 9,9'-diapo-10,9'-retro-karotene-9,9'-dion, apo-8'-zeaksantinal, apo-10'-zeaksantinal, apo-12'-zeaksantinal, apo-15'-zeaksantinal, apo-11'-zeaksantinal ve apo-9'-zeaksantinon gibi apokarotenoidleri üretmekte ve depolamaktadır (Maoka vd 2001). Ticari düzeyde karotenoidlerin, hayvan beslenmesinde ilaç amaçlı besin takviyeleri, gıda renklendiricisi, kozmetik ve nutrasötik ajanlar gibi çeşitli kullanım alanları vardır (Delgado-Vargas ve Paredes-López 2002).

## 2.2. Biberin Dünyadaki ve Türkiye'deki Yeri

Türkiye dünyadaki en önemli biber üreticisi ülkelerden biridir. 2012 yılı FAO verilerine göre 2.072.132 ton biber üretimi ile Türkiye, Çin ve Meksika'dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Biber üretiminde ülkemizi Endonezya, Amerika Birleşik Devletleri ve İspanya takip etmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Dünya biber üretimi (Anonim 2015a)

Ülkeler	Üretim (ton)
Çin	16.023.500
Meksika	2.379.36
Türkiye	2.072.132
Endonezya	1.656.615
Amerika Birleşik Devletleri	1.064.800
İspanya	1.023.700
Mısır	650.054
Nijerya	500.000
Cezayir	426.566
Diğer	5.009.159
Toplam	30.806.262

Ülkemizde biber üretiminin en fazla olduğu bölgeler Akdeniz, Ege, Marmara ve Batı Karadeniz'dir. Biber üretimi kullanım amacına göre salçalık, dolmalık ve sivri

olarak sınıflandırılmaktadır. Biber çeşitlerinin yıllara göre üretim miktarları Çizelge 2.3'te ihracat miktarları ve değerleri ise Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye'nin 2010-2014 yıllarındaki biber üretimi (Anonim 2015a)

Yıl	Ürün adı	Ekilen Alan (Dekar)	Üretim (Ton)
2010	Biber (Salçalık)	327.066	782.173
	Biber (Dolmalık)	165.993	387.626
	Biber (Sivri)	318.556	816.901
2011	Biber (Salçalık)	291.327	730.493
	Biber (Dolmalık)	158.400	364.930
	Biber (Sivri)	315.807	879.846
2012	Biber (Salçalık)	298.553	748.422
	Biber (Dolmalık)	157.876	383.213
	Biber (Sivri)	330.647	910.725
2013	Biber (Salçalık)	300.562	814.372
	Biber (Dolmalık)	155.091	398.470
	Biber (Sivri)	331.930	946.506
2014	Biber (Salçalık, Kapya)	298.351	829.809
	Biber (Dolmalık)	151.025	391.009
	Biber (Sivri)	313.431	907.126
	Biber (Çarliston)	26.931	104.364

Çizelge 2.4. Türkiye'nin biber ihracatı (Anonim 2015a)

Yıllar	Miktar (ton)	Değer (1.000 \$)
2005	63.918	57.928
2006	59.495	45.195
2007	51.379	46.142
2008	65.965	66.458
2009	64.765	61.008
2010	61.247	69.366
2011	68.599	77.621

### 2.3. Kurutma İşlemi ve Tarihsel Gelişimi

Kurutma, gıdaların güvenli bir şekilde uzun süre muhafaza edilebilmesi için nem içeriğinin azaltılması olarak tanımlanabilmektedir. Bu yöntem sayesinde, meyve ve sebzeler uzun süre bozulmadan muhafaza edilebilmekte ve tüm mevsimlerde tüketilebilmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebzeler doğrudan tüketilebildiği gibi endüstriyel olarak işlenip pek çok gıda ürününün hammaddesi olarak kullanılmaktadır.

Meyve ve sebzelerin kurutulması milattan önceki zamanlarda Çinliler, Hindular, Persler, Yunanlılar ve Mısırlılar tarafından gerçekleştirilmiştir. Yakın ve Orta Doğu halkı hurma, incir, şeftali ve üzümü güneşte kurutmuşlardır. Kurutma endüstriyel anlamda ise ilk olarak 18. yüzyılda sebzeler ile yapılmıştır. Doğal dehidrasyonun tarihi M.Ö. 20.000'e kadar uzanırken, mekanik kurutma ise İkinci Dünya Savaşı'nın sonundan bu yana hızla gelişim göstermiştir. Kurutma sanayinin gelişimi de dünyadaki savaş senaryoları ile yakın bir ilişki göstermiştir (Hayashi 1989). Nitekim Kırım'daki (1854-1856) İngiliz askerleri vatanlarından kurutulmuş sebzeleri yanlarında götürmüşler, Kanadalılar kurutulmuş sebzeleri Boer Savaşı (1899-1902) sırasında Güney Afrika'ya göndermişlerdir. Birinci Dünya Savaşı sırasında da Amerika'dan 4.500 ton civarında kurutulmuş sebze askerlere erzak olarak gönderilmiştir.

Bu tarihsel süreç içerisinde ön işlem ve kurutma koşulları ile ilgili sorunlar 19. yüzyıla kadar üstün kalitede kurutulmuş gıda eldesini geciktirmiştir. Gıdaların nem içeriğini düşürmek için rüzgar ve güneş ışığı gibi doğal enerjiler kullanılmıştır. Ancak bu yöntemler işlem süresinin uzun olması, yeterince hijyenik olmaması, homojen ve istenilen kalitede ürün sağlamaması gibi bazı olumsuzluk etkilere sahiptir. Bu dezavantajlar nedeniyle gıdaların kurutulmasında sıcak havada kurutma, ozmotik kurutma, vakum kurutma, donuk kurutma vb. yöntemler geliştirilmiştir (Hayashi 1989).

#### 2.4. Ozmotik Kurutma

Sebze ve meyveleri muhafaza etmek için birçok teknik kullanılmaktadır. Ozmotik kurutma bu tekniklerin en önemlilerinden birisi olup meyve ve sebzelerin muhafazası için etkili bir yöntem olarak son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Basit bir işlem olmakla birlikte renk, aroma ve besinsel bileşikler gibi başlangıç meyve ve sebze özelliklerinin korunmasıyla birlikte muz, ananas, mango gibi tropikal meyveler ve ayrıca yapraklı sebzelerin işlenmesine olanak sağlamaktadır (Pokharkar ve Prasad 1998). Düşük sıcaklıkta çalışıldığı için hava ve vakum kurutma işlemlerine kıyasla daha az enerji gerektirmektedir (Ponting 1973).

Ozmotik kurutma, gıdanın hipertonic bir çözeltiye daldırılması ile bitki dokusundan suyun kısmi olarak uzaklaştırılması için kullanılan bir ön işlemdir. Suyun uzaklaştırılması hücre zarlarından doğal yolla gerçekleşen ve hücrelerde tahribat yaratmayan ozmoz olayına dayanmaktadır. Dokudan çözeltiye suyun difüzyonu için yürütücü kuvvet, daha yüksek ozmotik basınçlı hipertonic çözelti ile sağlanmaktadır. Suyun difüzyonuna, ozmotik çözeltiden çözünen maddelerin dokuya aynı anda difüzyonu eşlik etmektedir. Proses süresince suyun dokudan uzaklaştırılması ve dokuya şeker/tuzun girişi sağlanırken her iki bileşen arasında su aktivitesi dengesi oluşmasıyla (net transferin sıfır olduğu denge durumu) dehidrasyon sona ermektedir (Çınar 2009).

Hüresel katı materyal hipertonic bir çözeltiye (şeker/tuz çözeltisi gibi) daldırıldığı zaman, materyalin ilk tabakasındaki hücreler hipertonic çözeltiyle temas etmekte ve böylece hücreler ile hipertonic çözelti arasında oluşan konsantrasyon farkı sebebiyle hücreler su kaybetmeye ve büzüşmeye başlamaktadır. Bu esnada ikinci tabaka hücrelerinin de turgor durumunda olduğu düşünülmektedir. Hücrelerin ilk tabakasındaki su kaybından sonra birinci ve ikinci tabaka arasındaki su kimyasal potansiyel fark

oluşturmaktadır. Ardından ikinci tabaka hücreleri suyu birinci tabaka hücrelerine pompalamakta ve sonra dokular büzüşmektedir. Kütle transfer ve doku büzüşmesi olayı materyalin yüzeyinden merkezine doğru gerçekleşmektedir. Zamanla materyal merkezindeki hücreler de su kaybetmekte ve uzun süren katı-sıvı temasıyla kütle transferi dengeye gelmektedir. Kütle transferi ve doku büzüşmesi olayı eş zamanlı olarak meydana gelmektedir. Bu nedenle, işlemin belirli bir sürecinde, kütle transferi ve doku büzüşmesi tüm materyalin sadece belirli bir kısmıyla ilişkilidir. Su transferi hücre zarından hücreler arası boşluklara ve sonra ozmotik çözeltiye doğru olmaktadır. Hücre zarı yarı geçirgen olduğu için hipertonic çözeltiden alınan çözünen sadece hücre dışı boşluklarda toplanmaktadır. Farklı tabakadaki hücrelerde farklı koşullarda su kaybı, katı kazanımı ve doku büzüşmesi olmaktadır; ancak aynı tabaka hücrelerinde aynı fiziksel koşullar mevcuttur (Shi ve Le Maguer 2003).

Ozmotik taşımadan sorumlu hücre zarı tamamen seçici olmadığından hücrede bulunan düşük molekül ağırlıklı çözünen maddeler (organik asitler, indirgen şekerler, mineraller, aromalar ve renk bileşikleri) ozmotik çözeltiye sızabilmektedir (Dixon ve Jen 1977, Giangiacomo vd 1987, Lerici vd 1985). Bu maddeler de ürünün duyu ve besinsel özelliklerini etkilemektedir (Chavan ve Amarowicz 2012).

Meyvenin karmaşık hücre yapısı, meyve içerisindeki suyun difüzyonu için ekstra bir direnç yaratan, yarı geçirgen bir zar olarak işlev görmektedir. Bir iç ve bir dış olmak üzere toplam iki direnç ozmotik dehidrasyon sırasında kütle transferine karşı koymaktadır. Katı-sıvı arayüzü akışkan dinamiği dış direnci yönetirken iç direnç, hücre yapısı ve farklı kütle akışları arasındaki etkileşimden etkilenmektedir. Genel işlem koşulları altında dış direnç iç dirence kıyasla ihmal edilebilmektedir.

Vega-Gálvez vd (2008) kırmızı biberin kurutulmasında rehidre ürünün yapı özellikleri ve biberin kalitesi üzerine hava kurutma sıcaklığının etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda konvansiyonel sıcak hava ile kurutmanın rehidre ürünün besinsel ve ticari kalitesini olumsuz yönde etkilediğini, uygulanan yüksek sıcaklıkların daha yumuşak biber dokusuna ve daha fazla renk kaybına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Arslan ve Özcan (2011) kırmızı çan biberleri (*Capsicum annuum* L.) güneşte, sıcak hava ile ve mikrodalga fırında kurularak renk değişimlerini ve antioksidan aktivite değerlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar mikrodalga ile kurutmanın diğer kurutma yöntemlerine göre daha kısa sürede gerçekleştiğini, her bir yöntemle kurutmanın biberlerin parlaklık, kırmızılık ve sarılık değerlerinde azalmalara neden olduğunu ve kuru örneklerin taze örneklerden daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca antioksidan aktivite üzerine kurutma süresinin kurutma sıcaklığından daha etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kaymak-Ertekin (2002) tarafından yapılan bir çalışmada yeşil ve kırmızı biber dilimlerinin kuruma kinetiği üzerine bazı ön işlemler (haşlama, sülfid uygulaması ve sodyum klorüre daldırma) ile kurutma hava hızı ve sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonuçları suyun difüzyon katsayısının kurutma sıcaklığından etkilenmediğini, kuruma hızı üzerine hava hızının etkisinin önemsiz olduğunu, haşlama ön işleminin kuruma hızını artırırken, ozmotik ön işlemin kuruma hızını düşürdüğünü ve kurutulmuş biberlerin rehidrasyon kapasitesinin düşük olduğunu göstermiştir.

Vega-Gálvez vd (2009) kırmızıbiberin (*Capsicum annuum* L. var. *Hungarian*) kurutma sıcaklığının örneklerin bazı fizikokimyasal özellikleri (rehidrasyon kapasitesi, renk, tekstür, askorbik asit, antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde miktarı) üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları rehidrasyon oranının sıcaklık ile azaldığını ve maksimum su tutma kapasitesinin 50°C'de başarıya ulaştığını, askorbik asit ve toplam fenolik madde miktarının ise hava kurutma sıcaklığının azalmasıyla azaldığını göstermiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda (80 ve 90°C) kurutmanın düşük sıcaklıklarda (50, 60 ve 70°C) kurutmaya göre biberin antioksidan aktivitesini daha iyi koruduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Raji Abdul Ganiy vd (2010) tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı varyetelerdeki şili biberleri sakaroz ve sodyum klorür çözeltileri kullanılarak ozmotik olarak kurutulmuştur. Yüksek konsantrasyonda (50° ve 60°Briks) sakaroz çözeltisi kullanılarak yapılan ozmotik kurutma işleminin sodyum klorür çözeltisi kullanılarak yapılan ozmotik kurutmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sodyum klorür kullanımının daha düşük işlem süresi, enerji ve maliyete neden olduğu, ayrıca ozmotik kurutma sonrası biber renginin daha iyi korunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Morais vd (2002) üç farklı kırmızıbiber çeşidinde  $\beta$ -karoten ve kapsantin pigmentlerinin stabilitesi üzerine haşlama ve donuk depolamanın (6 ay) etkisini araştırmışlardır. Pigment stabilitesinin haşlama koşulları, depolama süresi ve biber kültürlerine bağlı olarak değiştiği ve ayrıca pigment stabilitesi üzerine depolama süresinin haşlama koşullarından daha fazla etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

Ozdemir vd (2008) dilimlenmiş yeşilbiberlerin ozmotik kurutulmasında sıcaklık (20-40°C), süre (15-600 dk), tuz (0-10g/100g) ve sorbitol (0-10g/100g) konsantrasyonu parametrelerini yanıt yüzey yöntemi kullanarak optimize etmişlerdir. Çalışma sonucunda optimum proses koşulları; 5,5 g tuz/100g ve 6 g sorbitol/100g konsantrasyonu, 30°C kurutma sıcaklığı ve 240 dakika işlem süresi olarak belirtilmiştir. Belirtilen işlem koşullarında optimum su kaybının %23,3 ve katı kazanımının %4,1 olduğu bildirilmiştir.

Ade-Omowaye vd (2002) sakaroz (5-45 g/100 g) ve sodyum klorür (0-15 g/100 g) çözeltisini birlikte kullanarak kırmızı paprikayı ozmotik kurutmuşlardır. İki farklı ozmotik çözeltinin bir arada kullanılması ozmotik kurutma boyunca ürüne çözünen difüzyonu kontrol edilebildiğinden daha iyi duyu kalite sonuçları vermiştir.

Chenlo vd (2006) Padron biberlerini (*Capsicum annuum* L. var. *Longum*) sodyum klorür çözeltisi kullanarak ozmotik kurutmuşlar ve ozmotik kurutma boyunca kütle transfer hızını belirlemişlerdir. Biberlerde, bağımsız değişkenler olarak farklı sodyum klorür konsantrasyonları (%17-26,5), sıcaklık (25-45C) ve süre (8 saate kadar) ile ozmotik kurutma gerçekleştirmişlerdir. Katı kazanımı, ağırlık kaybı ve su kaybının işlem sıcaklığı ve tuz konsantrasyonu ile arttığı, su kaybı/tuz kazanımı oranının düşük sıcaklık ve tuz konsantrasyonlarında daha yüksek, renk değişiminin ise az olduğu belirlenmiştir. Kütle transfer hızının biber yüzeyindeki mumun giderilmesiyle artırılabilceği belirtilmiştir.



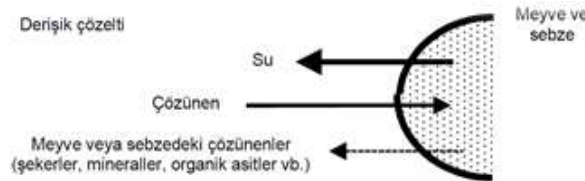
Ozen vd (2002) çalışmalarında dilimlenmiş yeşilbiberin ozmotik dehidrasyonunu etkileyen işlem faktörlerini araştırmışlardır. Bu amaçla ozmotik kurutma boyunca ağırlık kaybı, katı kazanımı, tuz ve sorbitol kazanımı, su aktivitesi, hammadde ve çözelti briksi üzerine etki eden parametreler olan farklı tuz (%2-10) ve sorbitol (%0-10) konsantrasyonu, karıştırma hızı (0-80 d/dk), hammadde/çözelti oranı (1:3-1:6) ve sıcaklık (20-50°C) ile çalışılmıştır. İşlem sonucunda tuz ve sorbitol konsantrasyonunun en önemli faktör olduğu belirtilmiştir. Ozmotik kurutmanın 90 dakikasında katı kazanımını ve hammadde briksini arttırdığı ve su aktivitesini düşürdüğü bildirilmiştir. Çalışmaya göre bir diğer önemli faktörün ise sıcaklık olduğu belirtilmiş ve sıcaklığın işlemin ilk 2 saati boyunca ağırlık kaybını arttırdığı ve 20 saat ozmotik kurutmadan sonra su aktivitesini düşürdüğü belirlenmiştir. Ancak karıştırma ve hammadde/çözelti oranının daha az etkisi olduğu belirtilmiştir.

Ade-Omowaye vd (2003) ozmotik kurutma ve atımlı elektrik alan ön işlemlerinin kırmızı çan biberlerin sıcak hava ile kurutulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sıcak hava kurutma öncesi atımlı elektrik alan ve sodyum klorür ya da sakaroz çözeltisi ile kısmi ozmotik kurutma bir arada uygulandığında kırmızıbiber renk kalitesinin korunduğunu ve kütle transfer hızının arttığı bildirilmiştir.

#### 2.4.1. Ozmotik kurutmada kütle transfer mekanizması

Kütle transfer mekanizması, ozmotik dehidrasyon işleminin kontrolü ve anlaşılabilmesi için oldukça önemlidir. Ozmotik dehidrasyon mekanizması tam olarak bilinmemektedir; ancak açıklayabilmek için kullanılan yaklaşımlar makroskobik ve mikroskobik kütle transfer mekanizmalarıdır (Le Maguer ve Yao 1995). Panades vd (2008) bu mekanizmaları difüzyon ve kapilarite teorisi ile açıklamışlardır. Bu yaklaşımda, transfer mekanizmalarından difüzyon; konsantrasyon değişim ölçüsüne, kapilarite teorisi ise basınç değişim ölçüsüne bağlı hidrodinamik mekanizma ile açıklanmıştır.

Mikroskobik yaklaşıma göre, ozmotik dehidrasyon sırasında, zıt akış akısında apoplazmatik (hücreler arası boşluklardaki transfer) simplazmatik (yakın iki hücre arasındaki transfer) transmembran (hücre duvarında hücre içi ve dışında olan transfer) akış olmak üzere üç tip kütle transferi (Şekil 2.2) meydana gelmektedir (Marcotte vd 1991). Mikroskobik yaklaşımda gıdanın ozmotik çözelti ile temasında ozmotik maddenin hücre içi ve hücrelerarası transferi; gıdanın ve çözeltinin özelliklerine, su ile ozmotik madde arasındaki kimyasal potansiyel farkına ve dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Dehidrasyon sırasında gıdada görülen değişimler büzülme, porozite kaybı, hücre parçalanması gibi yapısal değişikliklerdir.



Şekil 2.2. Ozmotik kurutma sırasında gerçekleşen kütle transferleri (Us 2006)

Diğer bir mikroskopik yaklaşım mekanizması ise hidrodinamik mekanizmadır. Bu mekanizmada aynı ozmotik dehidrasyon koşulları altında farklı gıdaların farklı su efektif difüzyon katsayıları vermeleri, gıdanın bünyesindeki porlar içinde oluşan kapiler basıncın farklı olması ile açıklanmakta ve bu basınç ozmotik dehidrasyonun yürütücü gücünü oluşturmaktadır.

Makroskopik yaklaşıma göre, hücresel yapıda ve yarı geçirgen özellikteki hücre duvarına sahip gıdalar hipertonic çözeltilerin içine daldırıldıkları zaman ürünle çözelti arasında ozmotik basınç farkı oluşmakta ve üründeki su difüzyonla ozmotik çözeltiliye transfer olmaktadır. Buradaki difüzyonun yürütücü gücü konsantrasyon ve basınç farkıdır. Bu fark ne kadar büyükse geçiş o oranda hızlı olmaktadır; ancak bu belirli bir seviyeye kadar devam etmektedir (Derossi vd 2008). Suyun çözeltiliye difüzyonu sırasında aynı zamanda çözeltiden de ürüne ozmotik madde geçişi olmaktadır. Hücre duvarının yarı geçirgen özelliği sayesinde su ve ozmotik maddenin yanı sıra, organik asitler, tuzlar, mineraller gibi diğer çözünen maddeler de ozmotik çözeltiliye geçmektedir. Hücre yapısı korunduğu sürece su ve çözünen maddelerin geçişlerini sağlayan temel mekanizma ozmotik ve geçiş direnci de hücre duvarıdır (Torreggiani ve Bertolo 2004). Rastogi vd (2000) ozmotik dehidrasyonun ürün yüzeyinden merkezine doğru ilerleyerek gerçekleştiğini ve efektif difüzyon katsayısının orta kısımda yüzeye kıyasla düşük iken merkeze yakın noktalarda, ozmotik çözeltiliye temas olmadığından, daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

#### **2.4.2. Ozmotik kurutmada kütle transfer hızını etkileyen faktörler**

Meyve/sebze çeşit ve olgunluğu, ön işlemler, sıcaklık, ozmotik madde konsantrasyonu ve niteliği, karıştırma, materyalin geometrisi, ozmotik çözelti örnek oranı, fizikokimyasal özellikler, katkılar ve basınç gibi değişkenler ozmotik dehidrasyon işlemini etkilemektedir. Kütle transferini etkileyen bu faktörler aşağıda ayrı başlıklar altında açıklanmıştır.

##### **2.4.2.1. Ozmotik kurutma işleminin süresi**

Yapılan ozmotik dehidrasyon optimizasyon çalışmaları kütle transfer hızının ilk 2 saatte en yüksek hızda gerçekleştiğini göstermiştir. Örnekten suyun uzaklaşma hızı dehidrasyonun ilk saatinde başlangıç hızının yaklaşık %20'sine ve 3 saat içinde başlangıç hızının yaklaşık %10'una düşmektedir. Katı kazanımı da benzer düşüş eğilimi göstermektedir. Başlangıçta su kaybı hızı, hipertonic çözelti ve taze meyve özsuyu arasındaki ozmotik itici gücün büyüklüğünden kaynaklanmaktadır (Ramaswamy 2007). Bu su kaybı, denge durumu oluşuncaya kadar devam etmektedir. Ancak dengeye gelme durumu oluşurken fazla oranda katı kazanımı gerçekleştiğinden materyal-çözelti arasında yürütücü kuvvet azalmakta ve su uzaklaşma hızı da buna bağlı olarak yavaşlamaktadır. Bu denge durumu oluşmadan kısa süreli olarak gerçekleştirilen ozmotik dehidrasyonda, çok yüksek katı kazanımı olmadan önemli miktarda su uzaklaştırmanın mümkün olduğu belirtilmiştir (Lenart 1996, Ponting 1973, Torreggiani 1993).

Ozmotik kurutma işlemi, uzaklaşan su miktarının maksimum ve katı kazanımının minimum olduğu ana kadar devam edebilmekte ve ozmotik kurutma süresi

bu şekilde belirlenebilmektedir. Optimum ozmoz süresi ürün yapısı ve boyutları ile işlem koşullarından etkilenmektedir. Özellikle yüzey geçirgenliği düşük meyvelerde işlem daha uzun sürede gerçekleşmektedir. Riva ve Masi (1990) sakaroz çözeltisi içerisinde ozmotik kurutma yaptıkları çalışmada üzümlerin içerdiği suyun %30'unu uzaklaştırmak için 48 saat ve %60'ını uzaklaştırmak için de 144 saat ozmotik kurutma gerçekleştirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Ancak ozmotik işlem süresinin artması ürünlerin duyuşal özelliklerinde ve depolama stabilitelerinde önemli bir avantaj sağlamadığı yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiştir (Maftoonazad 2010).

#### **2.4.2.2. Ozmotik kurutma işleminin sıcaklığı**

Ozmotik çözelti sıcaklığında belirli bir sınıra kadar olan artış ozmoz hızını da arttırmaktadır. Çözelti sıcaklığı arttıkça genellikle daha düşük viskoziteli ortam gelişmekte ve yüzeyde daha iyi kütle transferi gerçekleşerek daha fazla su kaybı sağlanmaktadır (Ramaswamy 2007). Sıcaklığın daha da artırılması hücre duvarının yarı geçirgenliğini etkilemekte ve ozmoz hızını azaltmaktadır. Ayrıca hücre zarı da tahrip olduğundan ürünün doku özellikleri değişmekte ve katı kazanımı artmaktadır. Bu nedenle 60°C limit sıcaklık olarak belirtilmiştir (Le Maguer 1988). Ancak 49°C'nin üzerinde enzimatik esmerleşme ve aroma kaybının gerçekleştiği bildirilmiştir (Ponting vd 1966).

#### **2.4.2.3. Ozmotik kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin etkisi**

Kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerden %1' lik sitrik aside daldırma meyveleri enzimatik esmerleşmeye karşı korumak için kullanılmıştır. Meyveler kurutma öncesi, oleat esterlerinin alkali veya asit çözeltilerine daldırılarak renk kaybına karşı korunmuştur (Hussain vd 2004, Sunjka ve Raghavan 2004). Torreggiani (1993) meyve ve sebzelerin kurutma öncesi uygulanan haşlama ya da kimyasallarla (SO<sub>2</sub> vb.) ön işlemin renk kaybını önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Haşlama ya da dondurmanın su kaybı hızı ile birlikte katı kazanım hızını da arttırdığı bildirilmiştir. Bu durum hücre duvarı geçirgenliğinin artması ve seçiciliğin azalması ile açıklanmıştır (Ponting 1973, Torreggiani 1993).

#### **2.4.2.4. Ozmotik çözeltinin çeşidi**

Ozmotik kurutmada kullanılan çözeltiler düşük su aktivitesine ve yüksek çözünürlüğe sahip olmalı, toksik bileşikler içermemeli, kurutulacak ürünün duyuşal özellikleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır. Bu nedenle meyvelerin ozmotik kurutulmasında yaygın olarak sakaroz; sebze, et ve balıkların ozmotik kurutulmasında ise sodyum klorür çözeltisi kullanılmaktadır. Bunların haricinde glukoz, früktoz, laktoz, dekstroz, maltoz, polisakaritler, maltodekstrin ve mısır şurubu da ozmotik madde olarak kullanılabilir (Contreras ve Smyrl 1981, Hawkes ve Flink 1978a). Bolin vd (1983) elmanın ozmotik kurutulmasında sakarozla yüksek früktoz mısır şurubunun daha yüksek su difüzyon hızı sağladığını belirtmişlerdir. Daha düşük molekül ağırlıklı sakaritler (glukoz, früktoz, sorbitol vb.) sağladıkları yüksek penetrasyon hızı nedeniyle katı transferini kolaylaştırmaktadır ve böylece işlemin ana etkisi dehidrasyon yerine katı maddece zenginleştirme olmaktadır. Katı içeriğinin artmasıyla birlikte difüzyon katsayısı azalmaktadır (Welti vd 1995). Bu da doğal meyve çözünen kaybını engelleyen yüksek molekül ağırlıklı bileşenler tarafından oluşturulan bariyer katmanı ile

gerçekleşmektedir (Saurel vd 1994). Yapılan çok sayıda çalışma sakaroz ve tuz çözeltileri ile gerçekleştirilen dehidrasyon için ozmoz dağılım eğrileri arasında büyük farklılıklar ortaya koymuştur (Lenart ve Flink 1984). Analizler şekerin ince bir tabaka halinde birikerek kütle transferini engelleyebildiğini, tuzun ise dokuya daha fazla nüfuz edebildiğini göstermiştir. Ozmotik çözeltideki tuzun varlığı sıkıştırılmış bir yüzey tabakası oluşumunu engellemekte ve daha yüksek oranda su kaybı ve katı kazanımı sağlamaktadır. Tuz konsantrasyonunun artırılması yürütücü kuvvetin artmasıyla daha düşük su aktivitesine neden olmaktadır.

Wack ve Collignan (1994) yaptıkları çalışmada düşük sıcaklıkta (10°C) et ve balıktan suyun kısmen uzaklaştırılmasında konsantre sakaroz ve tuz çözeltileri kullanmışlardır. Araştırmacılar bu çalışmalarında şekerin su kaybını teşvik ederek tuz alımını engellediğini belirlemişlerdir.

Ozmotik maddenin molekül ağırlığı arttıkça dehidrasyon oranı da artmakta; ancak ozmotik maddenin gıdaya nüfuz etmesi istenildiğinde, meyve şekeri üretiminde olduğu gibi, molekül ağırlığı düşük madde tercih edilmelidir (Çınar 2009). Kullanılan tuz ve şekerin molekül büyüklüğü arttıkça suyun uzaklaştırılması kolaylaşırken ozmotik çözelti gıda yüzeyinde bir bariyer oluşturduğundan çözünen kaybı da azalmaktadır (Torreggiani ve Bertolo 2004).

#### 2.4.2.5. Ozmotik çözelti konsantrasyonu

Çözelti konsantrasyonu ozmotik kurutma işleminde önemli bir faktördür ve bir çok araştırmacı ozmotik kurutmada kütle transferi üzerine çözelti konsantrasyonunun etkisini çalışmışlardır. 60-70° Briks şeker çözeltisinin su kaybı ve katı kazanımı açısından optimum olduğu belirtilmiştir (Chaudhari vd 1993). 60-70°Briks konsantrasyonda ozmotik kurutulan elma dilimlerinde %50 ağırlık kaybı sağlandığı görülmüştür. Örneklerde renk kaybını önlemek için sülfür dioksit kullanımına da gerek duyulmamıştır. Yapılan birçok çalışma ile ozmotik çözelti konsantrasyonu arttıkça su kaybının ve katı kazanımının arttığı belirlenmiştir. Ancak %65'in üzerindeki konsantrasyonlarda ozmotik kuruma hızının fazla değişmediği de ifade edilmiştir (Ponting vd 1966). Benzer şekilde Islam ve Flink (1982) yaptıkları çalışma ile kurumada kazanımının sakaroz veya glukoz çözelti konsantrasyonunun artmasıyla %40'a kadar arttığını ve belli bir değerden sonra etkilenmediğini belirtmişlerdir. Rahman ve Lamb (1991) su kaybı ve şeker kazanımının sıcaklık ve şeker konsantrasyonu ile doğrusal olarak arttığını belirtmişlerdir.

#### 2.4.2.6. Ürünün geometrik şekli ve boyutu

Kurutma sırasında gerçekleşen kütle transfer hızı örneklerin geometrisine ve boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimler her birim hacmin sahip olduğu yüzey alanına bağlı olarak meydana gelmektedir. Kurutulan materyalin yüzey alanı arttıkça su kaybı artmakta ve dilim kalınlığı arttıkça kütle kaybı daha az olmaktadır. Yapılan bir çalışmada aynı kurutma koşullarında elma dilim kalınlığı 10 mm'den 5 mm'ye düşürüldüğünde ağırlık kaybının yaklaşık 1.3 kat arttığını belirtmişlerdir (Contreras ve Smyrl 1981). Diğer bir çalışmada da yüzey alanının örnek kalınlığına

oranı değerlendirilmiş ve bu oranın artmasıyla katı kazanımının arttığı ve su kaybının en yüksek düzeye ulaştığı, daha sonra yeniden azaldığı belirtilmiştir (Lerici vd 1985).

#### 2.4.2.7. Ozmotik çözelti ve hammadde oranı

Su kaybının ozmotik çözelti/hammadde oranına göre değişiklik gösterdiği ancak katı kazanımının hemen hemen hiç değişmediği belirtilmiştir (Flink 1980). Bazı araştırmacılar kuruma sırasında ozmotik çözelti konsantrasyonunun düşmesini engellemek amacıyla çözelti/hammadde oranının yüksek olması (en az 30:1) gerektiğini vurgulamışlardır (Chandra ve Kumari 2015). Ancak diğer bir çalışmada yüksek miktardaki ozmotik çözelti kullanımının pratik uygulamalarda yeterince ekonomik olmayacağı değerlendirilmiş ve ozmotik kurutmada kullanılacak optimum çözelti/hammadde oranının 4-6 arasında olması önerilmiştir. Ayrıca ozmotik kurutma sırasında seyrelen çözeltilerin konsantre edilerek yeniden kullanılmasının ekonomik olarak avantajlı olabileceği belirtilmektedir (García-Martínez vd 2002).

#### 2.4.2.8. Ozmotik çözeltinin karıştırılması

Ozmotik kurutma sırasında çözeltinin karıştırılması suyun çözeltiliye difüzyonunu hızlandırmakta ve materyalin daha homojen kurutulmasını sağlamaktadır (Contreras ve Smyrl 1981). Özellikle yüksek konsantrasyonlu çözeltilerde karıştırmanın etkisiyle ozmoz hızlanmakta ve kütle transferi artmaktadır (Hawkes ve Flink 1978b, Ponting vd 1966). Benzer şekilde Raoult vd (1989) karıştırmanın etkisinin düşük konsantrasyonlu çözeltilerde çok az olmasına karşın yüksek konsantrasyonlu çözeltilerde artan çözelti viskozitesine bağlı olarak kütle transferinde ek bir direnç meydana geldiğini ve karıştırma ile bu direncin azaldığını belirtmiş ve böylece su kaybının kolaylaştığını ifade etmişlerdir. Ancak bazı hassas meyvelerin kurutulmasında karıştırmanın kuruma hızına olumlu etkisi olmasına karşın meyve dokusuna zarar verebilmektedir. Nitekim Ponting vd (1966) ozmotik kurutmada sırasında uygulanan karıştırma işleminin kurutulan materyale zarar vereceğine dikkat çekmiş ve karıştırma işlemi için ek bir ekipman tasarımına ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Aynı şekilde Mavroudis vd (1998) de karıştırma hızının su kaybı üzerinde pozitif bir etkisinin olduğunu ancak katı kazanımını etkilemediğini rapor etmişlerdir.

#### 2.4.2.9. Hammadde özellikleri

Hammaddenin kimyasal kompozisyonunun (protein, karbonhidrat, yağ, tuz vb.) ve fiziksel yapısının (gözeneklilik, hücrelerin dizilimi, liflilik ve kabuk) ozmotik kurutma kinetiği üzerinde etkisi olmaktadır. Hammaddenin cinsi ve olgunluğu su kaybı ile katı kazanımını etkileyen faktörlerdendir. Çeşitli meyvelerin su kaybı ve katı kazanımı arasında büyük farklılık gözlenmesinin nedenleri; meyvenin dokusal özellikleri, başlangıçtaki çözünen ve çözünmeyen katı içeriği, hücrelerarası boşluklar ve meyvenin enzim aktivitesindeki değişimler olarak sıralanmaktadır (Giangiacomo vd 1987, Lenart ve Flink 1984).

Shi vd (1997) domatesin ozmotik kurutulmasında meyveden çözeltiliye geçen suyun kütle transfer hızını azalttığı için fiziksel ve kimyasal kabuk soyma yöntemleri üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla fiziksel yöntem olarak uygulanan kabuk delme

işleminin domatesin ozmotik dehidrasyonu sırasında suyun uzaklaştırılmasında daha etkili olduğu ve kimyasal kalıntı bırakmadığı sonucuna varılmıştır.

### 2.4.3. Ozmotik kurutmanın avantaj ve dezavantajları

Ozmotik kurutmanın pratik koşullarda uygulanması yönüyle bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Literatürden derlenen bu avantaj ve dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır (Islam ve Flink 1982, Jackson ve Mohamed 1971, Ponting vd 1966).

Avantajlar:

- Suyun uzaklaştırılması işlemi düşük sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinden aroma ve renk kaybı minimum düzeyde gerçekleşmektedir.
- Ozmotik çözelti olarak şeker ve şeker şurubu çözeltisi kullanıldığında aroma daha fazla korunmaktadır.
- Şekerle kaplı meyve parçaları enzimatik ve oksidatif esmerleşmeye karşı korunmakta böylece sülfür dioksit kullanımına gerek kalmamaktadır.
- Bu sistemde su kısmen uzaklaştırıldığından daha sonraki kurutma işlemi için nemi azaltılmış yarı mamul elde edilmektedir.
- Faz değişimi meydana gelmeden su uzaklaştırıldığından konvansiyonel kurutma yöntemlerine nazaran enerji tüketimi daha azdır.
- Katı kazanımı ile ürün yoğunluğu artmakta, bu da dondurarak kurutmada daha kaliteli ürün elde edilmesini desteklemektedir.
- Ozmotik kurutma ile kısmi olarak kurutulan ürünlerin rehidrasyondan sonraki yapısal özellikleri daha iyi olmaktadır.
- Ürün raf ömrü büyük ölçüde arttırılmaktadır.
- Ozmotik kurutma işleminde basit ekipmanlar kullanılmaktadır.

Dezavantajlar:

- Asit seviyesindeki azalma bazı ürünlerin karakteristik tadının azalmasına neden olmaktadır. Bu ozmotik çözeltiye meyve asidi ekleme ile engellenebilmektedir.
- Şeker kaplama bazı ürünler için istenmemektedir ve kurutma sonrasında yüzey suyunun çabucak giderilmesi gerekmektedir.
- Vakum kurutma, sıcak hava ile kurutma ve haşlama gibi diğer işlemlerle kombine edildiğinde pahalı olmaktadır.
- Elde edilen ürünlerin su aktivitesi daha yüksektir.
- Uzun zaman alabilen bir prosestir.

### 2.5. Gıdaların Dondurularak Muhafazası

Kolay işlenebilirliği, raf ömrünün uzun olması, her mevsim bulunabilirliği, kullanımının pratik olması, besin değerini kaybetmemesi, ev koşullarında hazırlanması ve tüketiminin kolay olması gibi özelliklerinden dolayı dondurulmuş gıdaların önemi

giderek artmaktadır. Dondurarak muhafaza ile birçok meyve ve sebzenin rengi, aroması ve besin değeri korunmaktadır. Diğer tüm proseslerde olduğu gibi kaliteli dondurulmuş meyve ve sebze elde etmek için kaliteli hammadde kullanılması gerekmektedir. Ayrıca meyve ve sebzenin türü, çeşidi, olgunluk derecesi, dondurma işlemi öncesinde uygulanan bazı ön işlemler, ambalaj tipi ve depolama koşulları da kaliteli ürün elde edilmesinde önemli bir yere sahiptir (De Ancos vd 2006).

Gıdaların bozulmasını önlemek amacıyla dondurulması çok eski zamanlardan beri uygulanmaktadır. Çinliler, kış aylarının dışında gıdaları dondurarak raf ömrünü uzatan ilk millet olmuşlardır. Bu amaçla M.Ö. 1000 yıllarında buz dolu mahzenleri kullanmışlardır. Daha sonraları Yunanlılar ve Romalılar da mahzenlerinde sıkıştırılmış buz kullanmışlardır. Dondurulmuş gıda sanayinin öncüsü ABD’de doğa bilimleri uzmanı olan Clarence Birdseye 1912 yılında çalışmalarına başlamış ve ilk dondurma işlemini bir sonraki günde taze kalabilmeleri için yakaladığı balıklarda gerçekleştirmiştir. 1930 yılında Birdseye, Massachusetts’te dondurulmuş gıda üretim hattı kurmuş ve 26 çeşit donuk ürün piyasaya sürülmüştür. Bu ürünler 18 çeşit et, ıspanak, bezelye, meyve, balık ve ıstiridyeden oluşmaktadır. Daha sonra General Foods şirketi dondurulmuş gıda prosesinin patentinin Birdseye’den satın almıştır. 1940’lı yıllarda parmak patates ve pizza üretimine başlanmıştır. ABD’de sektörün ilk organize kuruluşu olan NAFFP (Dondurulmuş Gıda Toptancıları Ulusal Birliği) kurulmuştur. Mc Donald’s’ta 1960’larda dondurulmuş ürünler kullanmaya başlamıştır. 1990’lı yıllarda ise dondurulmuş meyve ve sebzelerin besin değerlerinin tazeleriyle eşit olduğu kanıtlanmıştır (Anonim 2016b).

Dondurulmuş gıda üretiminde meyve ve sebzeler, su ürünleri ve unlu mamuller olmak üzere üç temel ürün grubu bulunmaktadır. Sebze ve meyvelerde dondurmaya elverişli olan fasulye, biber, kabak, soğan, patlıcan, enginar, brokoli, domates, bezelye, pırasa, ıspanak, havuç, mantar, bamya, Brüksel lahanası; çilek, vişne, dağ çileği, üzüm, erik, incir, ahududu gibi gıdalar yer almaktadır (Hekimoğlu ve Altındağ 2012).

### 2.5.1. Dondurma işlemi

Dondurma işlemi ile gıdanın sıcaklığı donma noktasının altına düşürülmekte ve su içeriğinin büyük bir kısmı buz forma dönüşerek gıdalarda bozulmaya neden olan fiziksel, biyokimyasal ve mikrobiyal değişimler yavaşlatılmaktadır. Hücrelerin metabolik reaksiyonları geciktiğinden gıdanın tat, tekstür ve besinsel değerleri diğer muhafaza yöntemlerine göre daha çok korunmaktadır. Ancak dondurma işlemi ile iyi sonuç alınabilmesi için dondurma yöntemi, donmuş gıdanın depolanması ve çözündürülmesi bir arada düşünülmelidir (Delgado ve Sun 2001, Wu vd 2009).

Dondurma işleminde ürün sıcaklığı genellikle -18°C kadar düşürülmekte ve bu sıcaklığa akdar dondurma işlemi; ürün donma noktasına kadar soğutma (ön soğutma), kristalleşme gizli ısısının uzaklaştırılması (faz geçişi) ve ürünü nihai depolama sıcaklığına kadar soğutma (koşullandırma) olmak üzere üç ayrı fazda incelenmektedir. Dondurma işleminin faz geçişi aşaması kristalizasyon boyunca suyun buza dönüşmesini kapsamaktadır. Bu aşama dondurulmuş ürün kalitesi ve işlem verimliliğini belirleyen önemli adımdır (Alizadeh vd 2009, Alvarez vd 2010, Fennema vd 1973, Kiani ve Sun 2011).

Meyve ve sebzeler dondurulurken öncelikle, hücreler arası boşluklarda suyun kristalizasyonu gerçekleşmektedir. Bu boşluklardaki havada bulunan nemin soğuması ve yoğunlaşması sonucunda oluşan su seyreltik bir çözelti özelliği göstermekte ve bu çözeltinin konsantrasyonu hücre içi sıvının konsantrasyonundan daha düşük olmaktadır. Böylece hücreler arasındaki suyun donma noktası daha yüksek olmaktadır. Ayrıca hücre zarının hücre içinde buz oluşumuna gösterdiği bir çeşit direnç de eklenince hücre içinde kristalizasyon gecikmektedir.

Gıdaların dondurulmasında donma hızı, kalite üzerinde oldukça etkili olduğundan büyük bir önem taşımaktadır (Jul 1984, Martino vd 1998, Tomas ve Anon 1990). Dokudan ısı yavaş uzaklaştırıldığında hücre dışında buz kristalleri oluşup büyümektedir. Bu esnada donmamış hücre dışı sıvısı ile donmamış hücre içi sıvısı arasında ozmotik basınç farkı artmaktadır. Ozmotik basıncın dengeye ulaşması için hücre içinden hücre dışına su buharı transferi gerçekleşmektedir. Böylece hücre dışındaki kristallerin büyümesi artarken hücre içinde buz kristali oluşmamaktadır. Ancak hızlı dondurma ile hücre dışında oluşan buz kristallerine karşın hücre içindeki su hücre dışına aynı anda transfer olamadığından hücre içindeki su da hızlıca donmaktadır. Hızlı dondurma ile hücre içi ve dışında oluşan buz kristalleri küçüktür ve homojen dağılmaktadır (Anonim 2009). Türk Gıda Kodeksi Hızlı Dondurulmuş Gıdalar Tebliği'ne göre de hızlı dondurulmuş gıda maddeleri; ürün tipine bağlı olarak mümkün olduğunca çabuk maksimum kristalizasyonun sağlanması ile hızlı dondurma işlemi uygulanan, ürünün tüm noktalarında termal stabilizasyonun  $-18^{\circ}\text{C}$  veya daha düşük seviyede sağlandığı, bu durumun sürekli korunduğu ve bu şekilde pazarlandığı gıda maddelerini ifade etmektedir.

### 2.5.2. Dondurma yöntemleri

Meyve ve sebzelerin dondurulması esnasında gıdanın boyutları, gıdanın fiziksel özellikleri, ambalajlı olup olmadığı, istenilen donma hızı ve üretim maliyeti hususları dikkate alınarak soğuk havada, indirekt kontakt, daldırarak ve kriyojenik dondurma gibi farklı dondurma yöntemleri uygulanmaktadır (Anonim 2009).

Soğuk hava ile dondurma işlemi durgun havada ve hava akımında olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır. Durgun havada dondurma iyi izole edilmiş,  $-15^{\circ}$  ile  $-30^{\circ}\text{C}$  arası sıcaklıktaki soğuk odalarda gerçekleştirilmektedir. Durgun havanın ısı iletimi düşük olduğundan dondurma işlemi de uzun sürmektedir. Hava akımında dondurmada ise  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $-45^{\circ}\text{C}$  arasında değişen sıcaklıktaki hava, fanlar yardımıyla gıda ile evaporatör arasında hızlıca hareket etmektedir. Bu sayede gıdalar hızlı ve kısa sürede donmaktadır. Bu dondurma yönteminde tünel, akışkan yatak ve spiral bantlı donduruculardan faydalanılmaktadır.

İndirekt kontakt metodunun ilkesi içten soğutulan iki plaka arasına yerleştirilen ambalajlı ürünlerin plaka ile teması sonucu  $-18^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulmasına dayanmaktadır. Gıdaların bu yöntemle dondurulabilmesinin tek şartı, dondurulacak plakalar ve ambalajlı yüzeyin düzgün biçimde temas etmesi gerektiğinden ürünün şekilsiz ambalajlanmamış olmasıdır (Anonim 2016c).



Daldırarak dondurma yöntemi meyve ve sebzeler için oldukça sınırlı bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemle belirgin bir şekli olmayan ürünler başarılı bir şekilde dondurulabilmektedir. Genellikle ambalajsız ürünlerin düşük sıcaklıklara kadar soğutulmuş bir sıvıya (tuz çözeltisi, şeker şurubu, gliserol çözeltisi) daldırılması şeklinde uygulanmaktadır (Cemeroğlu 2009).

Kriyojenik dondurma, kaynama noktası çok düşük olan sıvı azot (-195°C) veya sıvı karbondioksit (-78°C) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kriyojenik sıvı ile muamele süresi, gıda çapının yarıya kadar olan kısmının donarak bir kabuk oluşumunu sağlayacak kadardır. Oldukça düşük dereceye kadar soğumuş olan kabuk daha sonra tüm meyvenin donmasını ve -20°C ila -25°C arasında dengeye ulaşmasını sağlamaktadır. Genellikle ürünün kriyojenik sıvılara daldırılması ve üzerine püskürtülmesi şeklinde uygulanmaktadır (Cemeroğlu 2009).

### 2.5.3. Dondurulmuş gıdaların depolanması

Gıdaların dondurulması işlemi dondurarak muhafazanın yalnızca bir aşamasıdır. Dondurulmuş ürünler dondurma tesisinin üretim deposu, transit deposu ve perakende satış deposunda depolanmaktadırlar. Gıdaların tat, renk, koku gibi karakteristik özelliklerinin korunabilmesi için tüketim aşamasına kadar bozulmaları önlenerek soğuk zincir kırılmamalıdır ve depolar arası taşımalarda ürün sıcaklığı -18°C'nin üzerinde tutulmalı ve ürün çözülmemelidir (Anonim 2016c).

### 2.5.4. Gıdaların dondurulması sırasında meydana gelen değişimler

Dondurma işlemi sırasında meydana gelen en belirgin değişim ürün hacminindedir. Saf su 0°C'de buz haline gelirken hacmi yaklaşık %9 artmasına rağmen, meyve ve sebzeler donarken bu kadar büyük bir hacim artışı gözlenemez. Bunun sebebi ise donma ile birlikte suyun hacmi artsa da diğer katıların hacminin azalması ve hücreler arası boşlukların da hacim artışını sınırlamasıdır. Meyve ve sebze hücre içi suyunu kaybetmesiyle önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Yavaş dondurma işlemi sonucunda hücre kuruyarak büzüşmektedir. Ayrıca oluşan buz kristalleri de hücre hasarlarına neden olmaktadır (Anonim 2009).

Dondurulmuş ve ardından tüketilmek için çözündürülmüş meyveler çiğneme esnasında taze meyveler gibi direnç gösteremez; yani gevrekliğini kaybetmiş olur. Sebzelerde bu durum pişirme ile turgor kaybı gerçekleşeceğinden çok önemli olmamaktadır. Donma işlemi sırasında oluşacak yapısal zararlanma hızlı dondurma ile minimum düzeyde kalmaktadır. Ayrıca, haşlama gibi ön işlemler de yapısal zararlanmaları ve enzimlerin hızlandığı biyokimyasal değişimleri azaltmaktadır (Sürel 2012).

Ambalajsız dondurulan ürünlerde buharlaşmayla birlikte az ya da çok su kaybı meydana gelmektedir. Üründeki su kaybı dondurucuya girdiği sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle dondurulacak olan meyve ve sebzelere soğuk hava ile ön soğutma uygulaması ile su kayıpları azaltılabilmektedir. Ayrıca ürün önce ısıtılıp sonra hafifçe dondurularak yüzeyde ince bir buz tabakası oluşturularak dondurma sırasında

süblimasyonla bir miktar nem bu tabakadan kaybedilmekte ve böylece nem kaybı önlenmektedir (Anonim 2009).

## 2.6. Ozmotik Kurutma Sonrası Dondurma (Osmodehydrofreezing)

Dondurma, yüksek kaliteli, besleyici ve uzun depolama ömrüne sahip ürün üretiminin sağlandığı en yaygın gıda muhafaza yöntemidir. Ancak, dondurma tüm gıdalar için uygun değildir. Dondurulmuş birçok gıda çözünme esnasında bazı fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı kalite kayıplarının yaşandığı bilinmektedir. Bu gibi sorunları aşmak için halen dünya çapında birçok yenilikçi dondurma işlemi araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Bunlardan birisi kısmi kurutma sonrası dondurma (dehydrofreezing) işlemidir. Bu işlemde ilk olarak ürün istenilen nem düzeyine kadar kurutulmakta ve daha sonra dondurulmaktadır. Bu da dondurma işlemi için yardımcı bir basamaktır. Özellikle meyve ve sebzeler için uygun bir yöntemdir. Meyve ve sebzeler etten daha fazla su içermekte ve hücreli yapıları ete göre daha esnek olduğundan donma sırasında daha fazla zarar görebilmektedir. Donma öncesi suyun bir kısmının uzaklaştırılması teorik olarak buz kristallerinin oluşumuna ve hücreli yapıya zarar vermeden büyümesine imkan sağlamaktadır. Dondurma işlemi öncesi su içeriğindeki azalma ile donma süresi, başlangıç donma noktası ve ürün içerisinde oluşan buz miktarı azalmaktadır. Sık sık yeni ortaya çıkan teknoloji olarak bahsedilmesine rağmen bu kavram, 1940'lerde geliştirilmeye başlanmıştır. Ancak patates, havuç ve soğan gibi ürünlere ticari olarak uygulanan bir işlem olarak kalmıştır. Son yıllarda da kısmi kurularak dondurma işlemine yeniden bir ilgi oluşmuştur (James vd 2014).

Kısmen kurutulmuş gıdaları dondurma işlemi 'dehydrofreezing' olarak bilinmektedir. Kurutma işlemi özellikle ozmotik ise tüm süreç 'osmodehydrofreezing' olarak adlandırılmaktadır. Bu terim ABD Tarım Bakanlığı Batı Bölgesel Araştırma Laboratuvarı'nda ortaya atılmış, ilk kez 1946'da Howard ve Campbell tarafından literatüre geçirilmiş ve 1949'da patentlenmiştir. Havuç, bezelye ve patatesin kısmen kurutulup dondurulması orjinal patentte örnek olarak verilmiştir (Howard 1949). Elma, kiraz, kayısı ve paprika çalışmalarına da atıfta bulunulmuştur (McGrath ve Kerr 1963).

Ozmotik kurutma sonrası dondurma 1940'lı yıllarda geliştirilmesine ve 1950'lerden beri ticari olarak uygulanmasına rağmen, 1990'lı yıllara kadar kısmen kurularak dondurmanın bilimsel literatürde (ABD Tarım Bakanlığı Batı Bölgesel Araştırma Laboratuvarı tarafından üretilen makale ve yazıların ilk serilerinin haricinde) az ilgi gördüğü dikkati çekmektedir (McGrath ve Kerr 1963).

Ancak daha sonraki yıllarda gıdaların ozmotik kurutma sonrası dondurma işlemine yönelik kapsamlı araştırmalar yapılmıştır (Çizelge 2.5). Bu çalışmaların çoğunda dondurma işlemi hava akımlı, kabin ya da sandık tipi dondurucular kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En yaygın çalışma sıcaklığı durgun havada ya da hava akımında (hava hızı en fazla 6,5 m/s) -40°C'dir (James vd 2014).

Çizelge 2.5. Ozmotik kurutulmuş dondurulan gıdalar ve dondurma yöntemleri

Gıda	Kurutma yöntemi	Dondurma koşulları	Referans
Kayısı	Ozmotik, vakum + ozmotik, hava	4 m/s hızda ve -40°C'de hava akımı ardından -20°C'de 8 ay depolama	Forni vd. 1997
Elma	Ozmotik	2°C/dk ve 4°C/dk arasındaki soğutma hızında -35°C ve ardından -35°C'de depolama	Tregunno ve Goff 1996
Elma	Ozmotik	-30°C'de ve 3 m/s hızda hava akımı	Spiazzi vd. 1998
Elma	Ozmotik	-40°C'de hava akımı	Agnelli vd. 2001
Elma	Ozmotik	-28°C'de ve 1,5 saat 0,55 m/s hava akımı ardından 15 gün -18°C'de depolama 10 dk -63°C'de sıvı nitrojen ardından 15 gün -18°C'de depolama	Bunger vd. 2004
Elma	Ozmotik	-40°C'de hava akımı	Marani vd. 2007
Elma	Ozmotik	-40°C'de hava akımı	Agnelli vd. 2005
Brokoli	Ozmotik	-10°C ve -18°C'de dondurucu	Ohnishi ve Miyawaki 2005
Havuç	Ozmotik	-30°C ve 3 m/s hızda hava akımı	Spiazzi vd. 1998
Havuç	Ozmotik	-10°C ve -18°C'de dondurucu	Ohnishi ve Miyawaki 2005
Havuç	Ozmotik	-18°C'de dondurucu	Ando vd. 2012
Salatalık	Ozmotik	24 saat -40°C'de dondurucu ardından -5°C, -8°C, -12°C ve -15°C'de depolama	Dermesonlo uoglou vd. 2008
Yeşil fasulye	Ozmotik	Sıvı nitrojen ardından -17°C'de 2 ve 4 ay depolama	Biswal ve Bozorgmehr 1989; Biswal vd. 1991
Kivi	Hava, ozmotik	15 dk -35°C ardından -20°C'de depolama	Torreggiani vd. 1987; Crivelli vd. 1987a
Kivi	Ozmotik, hava,	-40°C ve 6,5 m/s hızda	Robbers vd.

	kombine		hava akımı	1997	
Kivi	Ozmotik		-30°C ve 3 m/s hızda hava akımı	Spiazzi 1998	vd.
Kivi	Ozmotik, vakum + ozmotik		4°C/dk soğutma hızında -40°C ardından 24 saat ve 1 ay -18°C'de depolama	Chiralt 2001	vd.
Kivi	Ozmotik, vakum + ozmotik		4°C/dk soğutma hızında -40°C zorlamalı hava ardından 24 saat ve 1 ay -18°C'de depolama	Talens 2001	vd.
Kivi	Ozmotik, vakum + ozmotik		4°C/dk soğutma hızında -40°C zorlamalı hava ardından 30 gün -18°C'de depolama	Talens 2003	vd.
Mango	Ozmotik, vakum + ozmotik		4°C/dk soğutma hızında -40°C zorlamalı hava ardından 24 saat ve 1 ay -18°C'de depolama	Chiralt 2001	vd.
Mango	Ozmotik		-18°C'de dondurucuda durağan değişme	Floury 2008	vd.
Mango	Ozmotik		Hava akımlı dondurucu ardından -18°C'de 20 hafta depolama	Rincon ve Kerr 2010	ve
Kavun (misk)	Ozmotik		15 dk -48°C'de ve 4 m/s hızda hava akımı ardından 4 ay -20°C'de depolama	Maestrelli vd. 2001	
Kavun (su)	Ozmotik		24 saat -40°C'de kabin dondurucu ardından -5°C, -8°C, -12°C ve -15°C, -20°C'de depolama	Dermesonlo uoglou 2007b	vd.
Kavun (beyaz)	Ozmotik		-30°C'de ve 3 m/s hızda hava akımı	Spiazzi 1998	vd.
Papaya	Ozmotik		-28°C'de ve 1,5 saat (yavaşı) 0,55 m/s hava akımı ardından 15 gün -18°C'de depolama 10 dk (hızlı) -63°C'de sıvı nitrojen ardından 15 gün -18°C'de depolama	Moyano 2002	vd.
Armut	Ozmotik		-40°C'de hava akımı	Agnelli 2005	vd.
Bezelye	Ozmotik		-30°C'de ve 3 m/s hızda hava akımı	Spiazzi 1998	vd.

Bezelye	Ozmotik		2 saat -40°C'de lab. kabin dondurucu ardından -3°C, -5°C, -8°C, -12°C ve -18°C, -24°C'de depolama	Giannakourou ve Taoukis 2003
Ananas	Ozmotik, kurutma	hava	-31,5°C'de 2 saat hava akımı	Ramallo ve Mascheroni 2010
Patates	Ozmotik		-30°C'de ve 3 m/s hızda hava akımı	Spiazzi vd. 1998
Patates	Ozmotik		-10°C ve -18°C'de dondurucu	Ohnishi ve Miyawaki 2005
Patates	Atımlı elektrik alan (PEF) + ozmotik		-80°C'de ve 2 m/s hızda dondurucu hava akımı	Ben Ammar vd. 2010
Rambutan	Ozmotik		-40°C'de 25 dk sıvı nitrojen ardından -18°C'de 3, 60 ve 120 gün depolama	Lowithun ve Charoenrein 2009
Çilek	Ozmotik, ozmotik + hava	hava,	15 dk -48°C'de ve 4 m/s hava akımı ardından -20°C'de depolama	Sormani vd. 1999
Çilek	Ozmotik, vakum + ozmotik, hava		4°C/dk soğutma hızında -40°C ardından 24 saat ve 1 ay -18°C'de depolama	Chiralt vd. 2001
Çilek	Vakum + ozmotik		-23°C'de 30 dk hava akımı	Xie vd. 2004
Çilek	Ozmotik, vakum + ozmotik		30 dk katı CO <sub>2</sub> ardından -18°C'de 1 ay depolama	Blanda vd. 2009
Çilek	Ozmotik, kurutma, ozmotik + hava kurutma	hava	24 saat 4°C/dk hızda ardından 1 ay ve 6 ay -18°C'de depolama	Moraga vd. 2006
Domates	Ozmotik		24 saat -40°C'de lab. kabin dondurucu ardından -12°C ve -20°C'de 3, 6 ve 12 ay depolama	Dermesonlou vd. 2007a
Domates	Ozmotik		24 saat -40°C'de lab. kabin dondurucu ardından -5°C, -8°C, -12°C, -15°C ve -20°C'de 3, 6 ve 12 ay depolama	Dermesonlou vd. 2007c

Kısmi kurutulduktan sonra dondurulmuş meyve ve sebzelerin kalitesi üzerine donma hızı ve dondurma yönteminin etkisinin araştırıldığı çalışmalarda farklı donma hızları karşılaştırılmış ve donma hızının ürün kalitesi üzerine önemli etkisi olduğu vurgulanmıştır. Moyano vd (2002) donma hızının papayanın su aktivitesi, tekstürü ve

duyusal kalitesi üzerine tüm ozmotik işlem parametrelerinin önemli bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalar kısmi kurutulduktan sonra dondurulmuş meyve ve sebzelerin donma hızının, geleneksel yöntemle dondurulmuş meyve ve sebzelerin donma hızından önemli ölçüde farklı olmadığını göstermiştir (Tressler ve Evers 1957). Ancak, kısmi kurutulduktan sonra dondurulan ürünlerin donma sürelerinin işlem görmemiş ürünlere göre daha az olduğu kanıtlanmıştır (Pham 2008, Ramallo ve Mascheroni 2010, Shizuka vd 2008, Wu vd 2009). Ramallo ve Mascheroni (2010) işlem görmüş ananasın su içeriği ile donma süresi arasında net bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Kısmi kurutulduktan sonra dondurulan ananasın donma işlemi, konvansiyonel dondurulanlara kıyasla hemen hemen yarısı kadar sürede gerçekleşmiştir.

Dondurma öncesi ön işlem olarak gıdalara ozmotik dehidrasyon uygulanmasının enzimatik esmerleşmeyi (Conway vd 1983) ve çözünme sırasında yapısal çökme ile su salma probleminin azaltıldığı bildirilmiştir (Forni vd 1987). Bitki hücrelerinin donması ve çözünmesi sırasında doku içinde meydana gelen değişikliklerde plazma membranının yapısı önemli bir rol oynamakta olup dondurma hasarında ilk olarak etkilenen kısım olarak kabul edilmektedir (Partmann 1975, Salisbury ve Ross 1985).

Tregunno ve Goff (1996) ozmotik dehidrasyon nedeniyle şeker ilavesinin çözünmüş rehidre elmanın doku sertliğini arttırdığını ve donma işlemi sırasında meyve hücre membranlarında çok fazla zarar meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Talens vd (2002a) kivi ve çilekte bulunan uçucu bileşenler üzerinde ozmotik kurutmanın 1 ay süresince -18°C'de dondurulmuş halde depolamanın etkisini incelemiş ve ozmotik kurutulan meyveler taze meyvelerden daha yüksek seviyede bazı etil esterleri içerirken kiviinin karakteristik taze ve yeşil aromasına katkıda bulunan bazı bileşikler daha düşük miktarlarda içermektedir.

Farklı konsantrasyon (40-60 °Briks), sıcaklık (20-40°C) ve sürede (30-90 dk) ozmotik kurutulmuş ve dondurulmuş papayanın duyusal özellikleri incelenmiştir. Meyve dokusunun korunmasında en iyi işlemin hızlı dondurma olduğu belirlenmiştir. Optimum ozmotik kurutma koşullarının 65 °Brikste, 20°C sıcaklık ve 60 dk süre olarak belirlenmiştir. (Moyano vd 2002). Ozmotik kurutulduktan sonra dondurma (osmodehydrofreezing) işlemi farklı uygulamalarda kullanılmak üzere fonksiyonel özelliklere sahip, koruyucu içermeyen, nemi azaltılmış ürün üretimi için uygun bir yöntem olarak önerilmiştir (Forni vd 1997, Torreggiani vd 1995). Biswal vd (1991) ozmotik dehidrasyonu sebzelerin dondurulmasında ara bir basamak olarak belirtmiştir. Üründen su kaybı ve ürüne tuz alımının belirlenmesinde tuzun ve suyun hareketi modellenmiştir. 20°C'deki %10 NaCl-su çözeltisinde 30 dk boyunca ozmotik kurutulan yeşil fasulyeler daha sonra hava akımlı dondurucuda dondurulmuştur. Renk, sertlik, doku ve tat testleri ürünün kabul edilebilir duyusal özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Dondurulmuş ve ozmotik kurutularak dondurulmuş ürünler karşılaştırıldığında çileklerin her iki yöntemle dondurulmasıyla çok benzer, ananasın ise daha iyi kalite özellikleri gösterdiği belirtilmiştir (Tomasichio vd 1986).

Lowithun ve Charoenrein (2009) dondurulmuş rambutanın (*Nephelium lappaceum*) kalitesi üzerine farklı şekerlerle (sakaroz, trehaloz ve maltitol) ozmotik ön

işleminin etkisini çalışmışlardır. Sakaroz ile yapılan ön çalışma tat, doku ve kabul edilebilirlik açısından en yüksek puanları almıştır. Ramallo ve Mascheroni (2010) ananas dilimlerinin son kalitesi üzerinde sıcak hava kurutma ve dondurma öncesi osmotik dehidrasyonun etkisini incelemiştir. Osmotik dehidrasyon ve sıcak hava kurutma dondurma işlem süresinin azalmasında faydalı olmuştur. Sıcak hava kurutmaya nazaran osmotik kurutma boyunca biraz daha fazla askorbik asit kaybı meydana gelmiştir.

Rincon ve Kerr (2010) osmotik dehidrasyon ve sonrasında dondurma işleminin mango dilim kalitesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Osmotik kurutma ile mevcut suyun bir kısmı uzaklaştırıldığından dondurma sırasında buz oluşumu için daha az su bulunmaktadır. Aynı zamanda yüksek kaliteli dondurulmuş mango parçaları elde etmek için olgun ya da olgunlaşmamış meyveden daha az kullanılması mümkündür. Chottanom ve Srisa-Ard (2011) sakaroz ve sorbitol kullanımının su içeriğini azaltmada en etkili olduğunu; ancak en yüksek katı kazanımının ise sorbitol kullanımı ile gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Sorbitol kullanılması durumunda katı içeriğindeki artış sakarozun küçük molekül boyutuna sahip olması sebebiyle iki kattır. %60 sakaroz ile sorbitol çözeltisi renkte değişime ve likopen içeriğinde azalmaya neden olmaktadır.

### **2.6.1. Konvansiyonel dondurma işlemi ile kısmi kurutma sonrası dondurma işleminin etkilerinin karşılaştırılması**

Kısmi kurutarak dondurma işlemi 1940'larda Birleşik Devletler Tarım Bölümü Batı Bölgesel Araştırma Laboratuvarında geliştirildiğinde başlıca avantajının maliyet tasarrufu sağladığı belirtilmiştir (Tressler ve Evers 1957). Geleneksel dondurulmuş ürünlerle kıyaslandığında ağırlık ve hacim azaldığından soğutma ve taşıma giderleri de azalmıştır. O zamandan beri geleneksel donmaya karşı kalite avantajları üzerinde durulmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucu kısmi kurutarak dondurma işleminin hem ürün kalitesi hem de işlem verimliliği açısından birçok avantaj sağlamış olduğu ve işlenmiş gıdanın termo-fiziksel özelliklerinde olumlu değişikliklere neden olabileceği ortaya konmuştur. Kalite ve işlem avantajları olarak sızıntı kaybının azalması, dokunun, rengin ve besin değeri muhafazasının iyileştirilmesi, enzimatik esmerleşmenin azalması, ağırlık/hacim azalması, daha kısa donma süresi ve ısı yükünün azalması sıralanmıştır. Kısmi kurutma ile işlenmiş üründe meydana gelen değişimler ise daha az su içeriği (daha düşük özgül ısı kapasitesi), daha düşük donma noktası ve camsı geçiş sıcaklığının artmasıdır.

Kısmi kurutarak dondurma işleminde dondurulacak su miktarı az olduğundan aynı ürünün donma süresi konvansiyonel dondurmaya göre daha azdır (Pham 2008, Ramallo ve Mascheroni 2010). Kısmi kurutulduktan sonra dondurulan ürünlerin donma süresinin işlem görmemiş ürünlere göre %20-50'ye kadar azaldığı belirtilmiştir (Ramallo ve Mascheroni 2010, Spiazzi vd 2000).

Gıdanın su içeriği azaldığından ısı yükü de azalacak ve böylece donma işlemi süresince gerekli enerji miktarı da azalacaktır (Huxsoll 1982). Crivelli vd (1987) kısmi

kurularak dondurmanın konvansiyonel dondurmaya kıyasla %27 enerji tasarrufu sağladığını belirtmişlerdir.

Dehidrasyon ön işlemi işlenmiş ürünün termal özelliklerinde olumlu değişiklikler yaratabilmektedir. Tocci ve Mascheroni (2008) yaptıkları çalışmada taze ve ozmotik kurutulmuş kivinin termal özelliklerini karşılaştırmışlardır. Suyun bir kısmının uzaklaştırılması entalpi ve ısı kapasitesinin düşmesine ve ozmotik kurutmayla birlikte üründe şeker absorpsiyonu meydana geldiğinden donma noktası sıcaklığının daha düşük olmasına neden olmuştur.

Meyve ve sebzelere uygulanan ozmotik kurutma ön işlemi camsı geçiş sıcaklığını ( $T_g$ ) yükseltebilmektedir. Donma boyunca sıcaklık azaldığından buz oluşumu donmamış matriksin viskozitesinde ve suda çözünür bileşenlerin konsantrasyonunda artışa neden olmaktadır. Donmamış matriks amorf cam yapısındadır (Lim vd 2006). Bu değişikliğin meydana geldiği yerdeki sıcaklık aralığı maksimum konsantre olmuş fazın camsı geçiş sıcaklığıdır (Giannakourou ve Taoukis 2003). Bozulma difüzyon kontrollüdür ve camsı durumda çok daha yavaş meydana gelmektedir; bu da dondurulmuş ürüne daha uzun raf ömrü sağlamaktadır. Camsı geçiş sıcaklığı altında veya bu sıcaklığa yakın bir sıcaklıkta depolamayla bezelyede optimum renk ve C vitamini muhafazası sağlanmaktadır. Bezelyede camsı geçiş sıcaklığı değeri oldukça yüksektir ve -20 ile -26°C arasındadır (Lim vd 2006). Ancak bir gıda için normal camsı geçiş sıcaklığı değerine hemen ulaşılamazsa uygulanabilir bir depolama sıcaklığının üzerinde camsı geçiş sıcaklığı artırılarak gıda formülasyonunu değiştirmek mümkün olabilir (Forni vd 1997). Karbonhidrat çözeltileriyle yapılan ozmotik ön işlemi, camsı geçiş sıcaklığı değerini arttıran bir kısım suyun uzaklaşması ve katı kazanımı sayesinde, doku değişikliğine yol açmaktadır (Del Valle vd 1998, Forni vd 1997, Giannakourou ve Taoukis 2003, Lowithun ve Charoenrein 2009, Torreggiani vd 1999). Elmada (Bunger vd 2004, Del Valle vd 1998), kayısıda (Forni vd 1997), bezelyede (Giannakourou ve Taoukis 2003), papayada (Moyano vd 2002) ve rambutanda (Lowithun ve Charoenrein 2009) camsı geçiş sıcaklığı artış göstermiştir. Bununla birlikte, bu çalışmalarda meyve ve sebzelerin camsı geçiş sıcaklığı hala çok düşüktür ve camsı geçiş sıcaklığı 10°C'den daha az artmıştır.

Donma-çözünme kaynaklı doku yumuşamasına karşı ozmotik dehidrasyonun koruyucu etkisi olduğunun elma (Marani vd 2007), patlıcan (Wu vd 2009), brokoli, havuç (Ohnishi ve Miyawaki 2005), salatalık (Dermesonlouoglou vd 2008) ve bezelye (Giannakourou ve Taoukis 2003) ile yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Giannakouros ve Takis (2003) ozmotik işlemle ön kurutma uygulanmış bezelyelerin sertlik ve yapışkanlık gibi parametrelerini incelemişlerdir. Çözüldükten sonra işlem görmemiş örneklerin sertliğinin %20 ve yapışkanlığının %30, piştikten sonra da sertliğinin %10 ve yapışkanlığının %15 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bu etki armut, çilek (Marani vd 2007) ve patatesten (Ohnishi ve Miyawaki 2005) gözlenmemiştir.

Birçok çalışmada kısmi kurutulduktan sonra dondurulan meyve ve sebzelerin dokusu detaylı bir şekilde incelenmiştir (Ammar vd 2010, Ando vd 2012, Ohnishi ve Miyawaki 2005, Sormani vd 1999, Tregunno ve Goff 1996). Tregunno ve Goff (1996) kısmi kurutulduktan sonra donma işleminde kullanılan çözünen çeşidinin donma sırasında oluşan buz kristallerini etkileyebildiğini gözlemlemişlerdir. Kriyo-taramalı



mikroskobu sakaroz ve sorbitolle muamele edilmiş elmalarda buz oluşumunun hücre içi, mısır şurubu ile işlem görenlerde ise hücre dışı olduğunu göstermiştir. Çözünen maddenin donma işleminde çekirdeklendirici olarak görev alabildiğini ve mısır şurubu molekülleri daha büyük olduğundan hücre dışında kaldığını ve burada buz oluşumuna neden olduğunu ileri sürmüşlerdir. Sormani vd (1999) hava ile kurutulup dondurulduktan sonra çözölen çölelerde dokunun daha az zarar gördüğünü göstermişlerdir. Ohnishi ve Miyawaki (2005) işlem görmüş ve görmemiş havuç, brokoli ve patatesin hücre duvarında büzüşme olmasına rağmen donma sonrası hücresel yapının işlem görmemişlerden daha iyi olduğunu ve bununla birlikte patates örneklerinin ozmotik işleminden etkilendiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar özellikle dehidrasyon-rehidrasyon sonrasında brokoli dokusunun tazeninkiyle hemen hemen aynı olduğunu bildirmişlerdir.

Kısmi kurutulduktan sonra donma işleminin elma (Marani vd 2007), patlıcan (Wu vd 2009), brokoli ile havuç (Ohnishi ve Miyawaki 2005), kivi (Talens vd 2002b), kavun (Maestrelli vd 2001, Spiazzi vd 2000), armut (Marani vd 2007), rambutan (Lowithun ve Charoenrein 2009) ve çöle (Moraga vd 2006, Xie ve Zhao 2004) gibi birçok meyve ve sebze de sızıntı kaybını azalttığı belirtilmiştir. Ön işlem görmeyen taze çölelerde sızıntı kaybı %38 iken %50 yüksek früktozlu mısır şurubu çözeltisi ile muamele edilmiş çölelerde sızıntı kaybı yaklaşık %20 olmuştur (Xie ve Zhao 2004). Ancak ananasın ozmotik kurutulduktan sonra dondurulması sızıntı kaybını arttığı bildirilmiştir (Ramallo ve Mascheroni 2010).

Kısmi kurutulduktan dondurulmuş ürünler geleneksel dondurulmuş ürünlerle kıyaslandığında besin değerlerinin, genellikle C vitamini (L-askorbik asit), muhafaza edildiğine dair birçok çalışma vardır (Dermesonlouoglou vd 2007b, Giannakourou ve Taoukis 2003, Rincon ve Kerr 2010). Ozmotik kurutma ön işlemi ile şekerin emilimi dondurulmuş ürünün depolanması sırasında C vitamininin muhafazası üzerinde koruyucu etki göstermiştir. Forni vd (1997) maltozun C vitamini muhafazasında sakaroz ve sorbitolden daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Kısmi kurutulduktan sonra dondurulmuş bezelyelerde askorbik asit kayıp oranının üç kat kadar azaldığı rapor edilmiştir (Giannakourou ve Taoukis 2003). Ozmotik ön işlem dondurulmuş karpuzda besin değerlerinin (likopen) muhafazasını iyileştirmiştir (Dermesonlouoglou vd 2007a). Ancak bazı ozmotik ön işlemler askorbik asit içeriği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Tuz kullanımının askorbik asit oksidasyonunu hızlandırdığı bildirilmiştir (Biswal ve Bozorgmehr 1989).

Kısmi kurutulduktan sonra dondurma işleminin patlıcan (Wu vd 2009), kavun (Dermesonlouoglou vd 2007a), armut (Bolin ve Huxsoll 1993) ve bezelyede (Giannakourou ve Taoukis 2003, Talens vd 2002b) rengi geliştirdiğine dair birçok çalışma mevcuttur. Ayrıca bu işlem elma gibi bazı ürünlerde enzimatik esmerleşmeyi de azaltabilmektedir (Marani vd 2007).

Yapılan birkaç çalışma olgunluk ve çeşitin önemini vurgulamaktadır. Maestrelli vd (2001) kullanılan kavun çeşidinin çok önemli olduğunu belirtmiştir. Rony çeşidinin dondurma ve kısmi kurutulduktan sonra dondurma işlemi için Mirado çeşidinden daha uygun olduğunu kanıtlamışlardır. Rincon ve Kerr (2010) yaptıkları çalışmayla donmuş depolama boyunca sertlik ve bütünlüğü muhafaza edilerek daha az olgun meyvenin

ozmotik kurutmayla biraz yumuşatılabileceğini göstermiştir. Mango dilimleriyle yaptıkları diğer bir çalışmada ise işlem görmüş daha az olgun meyvenin daha düşük asit içeriğine ve olgun meyveden daha yüksek C vitamini miktarına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Ozmotik kurutma ön işlemi boyunca çeşitli çözeltilerle muamele etmenin dondurulmuş ürünün genel kalitesini geliştireceği, meyve ve sebzelerin prebiyotik, vitamin, mineral, diyet lif, balık yağı ile bitkisel steroller gibi fizyolojik olarak aktif bileşenlerle zenginleştirilmesi yoluyla fonksiyonel dondurulmuş gıda geliştirilmesinde bir yöntem olarak kullanılabilirliği ileri sürülmüştür (Chiralt vd 2001, Fito vd 2001).

### 2.6.2. Kısmi kurutma sonrası dondurmanın ticari uygulamaları

Meyve ve sebzelerin kısmi kurutma sonrası dondurulması Kuzey Amerika'daki birçok üretici tarafından ticari olarak gerçekleştirilmektedir. Genel olarak ozmotik kurutmadan ziyade hava kurutma yöntemini kullanmaktadırlar. Bazı kurutma ekipmanları üreticileri (Bühler gibi) ise kendi sistemlerini geliştirmişlerdir (James vd 2014).

Piyasadaki kısmi kurutma sonrası dondurulan dilimlenmiş meyve ve sebzeler çorba, börek, sulu yemekler, soslar, salatalar ve pizzalarda kullanılmaktadır. Oregon Patates Şirketi (Boardman, Oregon, USA), Fruvemex (Mexicali, Meksika) ve Gilroy Gıda (Gilroy, Kaliforniya, USA) gibi üreticiler patlıcan, kabak, Şili biberi, soğan, biber, patates, tatlı mısır, çilek ve domatesin kısmi kurutma sonrası dondurulmuş ürünler olduğunu bildirmişlerdir. Birçok firma ürünleri kısmi kurutulduktan sonra dondurulan ürün olarak tanımlarken Gilroy Gıda ürünlerini "Kontrollü Nem"e sahip sebzeler olarak tanımlamaktadırlar. Doğranmış ve dilimlenmiş patates gibi ürünler haşlanmakta ve depolama boyunca ağarmayı önlemek için sodyum asit pirofosfat kullanılmaktadır. Üreticiler geleneksel dondurma yöntemine kıyasla ürünlerin daha iyi renkte, daha iyi tekstüre sahip, daha hızlı pişme süresi olduğunu ve pişirme sırasında bütünlüğünü daha iyi koruduğunu savunmaktadırlar (James vd 2014).

Kısmi kurutma sonrası dondurma işleminde yenilikler yapılmaktadır. EnWave Kurumu, Kanada merkezli dondurulmuş sebze üreticisine (Bonduelle) Radyant Enerji Vakum ("REV™") teknolojisini kullanarak kısmi kurutulduktan sonra dondurulan sebzeleri geliştirmek ve piyasaya sürmek için özel küresel haklar tanımıştır (Durance 2013). Bu teknoloji vakum-mikrodalga kurutmanın bir formudur. Bu yöntemle düşük sıcaklık, kısa sürede gerçekleştiğinden geleneksel hava kurutmaya göre avantajlıdır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Araştırmada Antalya Halinden temin edilen *Capsicum annuum* L. türüne ait kapyra tipi kırmızıbiber kullanılmıştır. Bu amaçla farklı zamanlarda 5 kez yaklaşık 20 kg biber temin edilmiştir. Her defasında bu biberler ozmotik kurutma optimizasyonu ve dondurma çalışmalarında kullanılana kadar (3-4 gün) buzdolabında +4°C’de muhafaza edilmiştir. Analizlerde kullanılan metanol (%99.8), metafosforik asit, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), fluorescein sodyum tuzu, troloks, 2,2'-Azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride, aseton (%99.5), sodyum fosfat monobazik monohidrat, sodyum fosfat dibazik heptahidrat, guayakol (%99), hidrojenperoksit (%50), linoleik asit (%99) ve Tween 20 Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Ön işlemler

Denemelerde kullanılan biberler ticari koşullarda olduğu gibi yıkandıktan sonra lazer bıçaklı doğrayıcı ile 6 mm kalınlığında enine halka şeklinde dilimlenmiştir. Daha sonra bu biber dilimleri enzimatik faaliyetleri engellemek için buharlı pişiricide 5 dk haşlanmıştır. Haşlama işleminden sonra biberler soğutulmuş ve kritik nem düzeyine (yaklaşık %70) kadar ozmotik olarak kurutulmuştur. Ozmotik kurutma işlemi; 15:1 çözelti/hammadde ve 2,41 sorbitol/NaCl oranında ve 25°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Uygulanan bu ozmotik kurutma koşullarına dilimlenmiş kırmızıbiberde uygulanan optimizasyon sonucu karar verilmiştir.

##### 3.2.2. Ozmotik kurutma optimizasyonu

Optimizasyon işlemi Design Expert 7.0 (Stat-Ease Co., Mineapolis, ABD) paket programı ile yanıt yüzey metodu kullanılarak Box-Behnken deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.1). Ozmotik kurutma işlemlerinde sıcaklık 25°C, 40°C ve 55°C, çözelti/hammadde oranı 5:1, 10:1 ve 15:1, sorbitol/NaCl oranı da 1:1, 2:1 ve 3:1 olarak uygulanmıştır. Sorbitol/NaCl oranları oluşturulurken çözeltideki NaCl konsantrasyonu sabit tutulup sorbitol çözeltisi %8’lik, %16’lık ve %24’lük hazırlanmıştır. Bu oranların belirlenmesinde ön çalışmalarda elde edilen biber örneklerinin duyuşal özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Ozmotik kurutma çözeltisinin seçiminde Ozen vd (2002) yaptıkları çalışmalardan yararlanılmıştır.

Çizelge 3.1. Ozmotik kurutma optimizasyonunda kullanılan Box-Behnken deneme deseni

Desen	Sıcaklık (°C)	Çözelti/Hammadde	Sorbitol/NaCl
1	40	10:1	2:1
2	25	10:1	1:1
3	40	15:1	1:1
4	55	10:1	1:1
5	55	5:1	2:1
6	25	10:1	3:1
7	40	15:1	3:1
8	40	5:1	1:1
9	25	5:1	2:1
10	55	15:1	2:1
11	55	10:1	3:1
12	40	10:1	2:1
13	40	10:1	2:1
14	40	5:1	3:1
15	25	15:1	2:1

Dilimlenen biberler haşlama işlemini takiben oda sıcaklığına geldikten sonra tartılarak sorbitol-NaCl (Çizelge 3.1'deki konsantrasyonlarda) çözeltisine daldırılmıştır. Ozmotik kurutma işlemi su banyosu içerisinde 1 L'lik kapaklı cam kavanozlarda 140 d/dk hızda yatay düzlemde çalkalanarak gerçekleştirilmiştir. İşlem, ozmotik kurutmanın en hızlı gerçekleştiği ilk 90 dakikada sürdürülmüştür. Bu süre sonunda biber dilimleri süzölmüş, soğuk deiyonize su ile durulanıp kurutma kağıdı ile yüzey suyu uzaklaştırılmıştır. Daha sonra dilimlenmiş biberlerin ağırlıkları ve nem miktarları belirlenmiştir. Bu işlemler sonrasında elde edilen veriler yanıt yüzey yöntemiyle su kaybının maksimum ve katı kazanımının minimum olduğu sıcaklık, hammadde/çözelti ve sorbitol/NaCl oranı optimum işlem koşulları olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.1' de ozmotik kurutma aşamaları verilmiştir.



Şekil 3.1. Ozmotik kurutma aşamaları



Şekil 3.1'in devamı

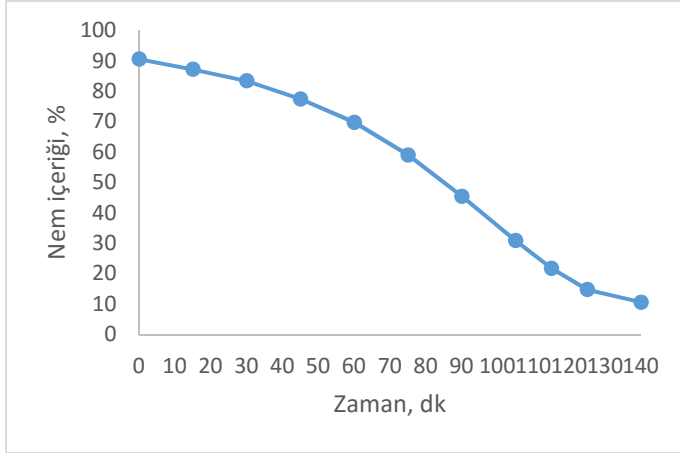
### 3.2.3. Sıcak hava ile kurutma

Dilimlenmiş ve haşlanmış kırmızıbiberler tepsili kurutucuda 60°C sıcaklık ve 2 m/s hava hızında nem değeri %10'a düşüne kadar kurutulmuştur. Şekil 3.2'de biber dilimlerinin kurutma öncesi ve sonrası görünümLeri verilmiştir.



Şekil 3.2. Kurutma öncesi ve sonrası tepsili kurutucu rafları üzerindeki biber dilimleri

Biber dilimlerinin zamana bağlı nem içeriği Şekil 3.3'te verilmiş ve örnekler kritik nem olan %70 neme kadar sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulmuştur.



Şekil 3.3. Sıcak hava ile kurutma sırasında biber dilimlerinin zamana bağlı nem değişimi

### 3.2.4. Biberlerin dondurulması

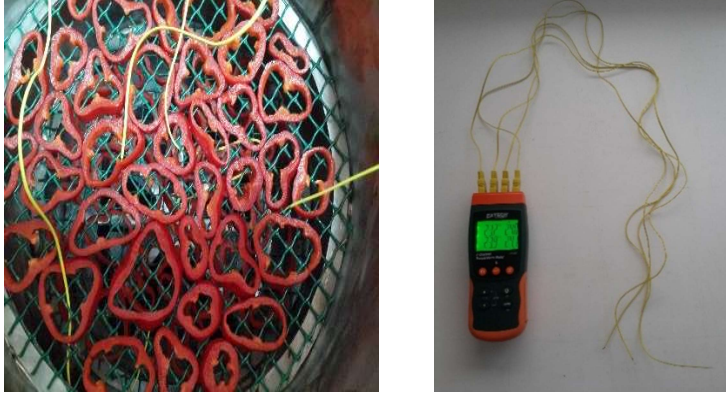
Ön işlemleri tamamlanan dilimlenmiş taze kırmızıbiber ile sıcak hava ve ozmotik kurutma ile kritik neme (%70) kadar kurutulmuş kırmızıbiberler dondurulmuştur. Dondurma işlemi, derin dondurucu (Uğur Ucf 10 Sf, -45°C) içerisine yerleştirilen düzenek ile sağlanan hava akımında ( $2\pm 0,14$  m/s) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Dondurucu içerisine yerleştirilen fan ve tepsiler

Dilimlenmiş biberler tepsiler üzerine tek sıra halinde dizilerek -25°C'de dondurulmuştur. Dondurma sırasında hava ve ürünün sıcaklık değişimi veri kaydedicili ısı çifti (Extech SDL 200) ile ölçülmüştür. Cihaza bağlı sıcaklık sondalarından üç tanesi her bir tepsideki değişimin izleneceği dilimlenmiş biberin merkez noktasına yerleştirilmiştir. Diğer sonda ise dondurucu içerisine konularak ortam sıcaklığının ölçülmesi sağlanmıştır. Bu işlemlerde K tipi ısı çifti kullanılmıştır. Yapılan sıcaklık ölçümleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.





Şekil 3.5. Dondurma sıcaklığının takibi

Dondurma işleminde dilimlenmiş biberlerin merkez sıcaklığı izlenmiş ve bu sıcaklık  $-25^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra dondurma işlemi sonlandırılarak örnekler polietilen torbalar içerisinde  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de depolamaya alınmıştır. Depolamanın 0., 15., 30. ve 60. günlerinde örneklerde aşağıda belirtilen fiziksel ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Haşlanmış ve dilimlenmiş taze kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile ön kurutulan kırmızıbiberlerin dondurma işlemleri üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.5. Analizler

Uygulamalardan elde edilen dondurulmuş biber örnekleri analiz edilmeden önce beher içerisinde nem almayacak şekilde kapatıldıktan sonra buzdolabı koşullarında ( $+4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) 1 gece bekletilerek çözündürülmüştür. Örnekler çözündürüldükten sonra aşağıdaki analizlere tabi tutulmuştur.

#### 3.2.5.1. Peroksidaz testi

Ön işlem olarak uygulanan haşlama işleminin yeterliliğini test etmek için küçük parçalara ayrılan biber örneklerinden tüpe 5 g alınarak üzerine sırası ile 1 mL %1'lik guayakol ve 1 mL %0,5'lik hidrojen peroksit çözeltisi ilave edilerek çalkalanmış 2. ve 5. dk sonundaki renk değişimleri takip edilmiştir. Kırmızımsı-kahverengi renk oluşmuşsa test pozitif olarak, herhangi bir renk değişimi olmadığı durumda da negatif olarak değerlendirilmiştir (Cemeroğlu 2013)

#### 3.2.5.2. Nem miktarı

Ozmotik ve sıcak hava ile kurutulan, ozmotik kurutularak dondurulan, doğrudan dondurulan ve sıcak hava ile kritik neme kadar kurutulup dondurulan örneklerin nem miktarı gravimetrik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla kırmızıbiberler havanda parçalanmış ve bu parçalanmış kırmızıbiberlerden yaklaşık 3 g örnek darası alınmış kurutma kabına tartılarak etüvde  $70^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. İlk ve son tartımlar üzerinden nem miktarı hesaplanmıştır (Cemeroğlu 2013).

### 3.2.5.3. Su aktivitesi

Ozmotik kurutulan, ozmotik kurutularak dondurulan, doğrudan dondurulan ve sıcak hava ile kritik neme kadar kurutulup dondurulan örneklerin su aktivitesi ( $a_w$ ) değerleri su aktivitesi tayin cihazı (Aqua Lab 4TE, ABD) ile belirlenmiştir. Örnekler cihaz içerisindeki ölçüm kabına yerleştirilmiş, ortam denge nisbi nemine ulaştıktan sonra ölçüm sonucu cihaz ekranından okunmuştur. Dondurulmuş örneklerin  $a_w$  değeri çözündürme sonrası oda sıcaklığında ölçülmüştür.

### 3.2.5.4. Su kaybı

Ozmotik kurutma sonrasında dilimlenen biberlerdeki yüzde su kaybı (SK) aşağıdaki eşitliğe (3.1) göre hesaplanmıştır (Souza vd 2007):

$$SK (\%) = \frac{(w_i * x_i) - (w_f * x_f)}{w_i} \quad (3.1)$$

### 3.2.5.5. Katı kazanımı

Ozmotik kurutma sonrasında dilimlenen biberlerdeki yüzde katı kazanımı (KK) aşağıdaki eşitliğe (3.2) göre hesaplanmıştır (Souza vd 2007):

$$KK(\%) = \frac{[w_f * (1 - x_f) - w_i * (1 - x_i)]}{w_i} \times 100 \quad (3.2)$$

### 3.2.5.6. Ağırlık kaybı

Dilimlenen biberlerin ozmotik kurutma sonrasında yüzde ağırlık kaybı (AK) aşağıdaki eşitliğe (3.3) göre hesaplanmıştır (Souza vd 2007):

$$AK (\%) = \frac{w_i - w}{w_i} \times 100 \quad (3.3)$$

Eşitliklerdeki (3.1, 3.2 ve 3.3)  $w_i$ : örneklerin başlangıç nemini,  $w_f$ : örneklerin son nemini,  $x_i$ : örneklerin ilk ağırlığını ve  $x_f$ : örneklerin son ağırlığını ifade etmektedir.

### 3.2.5.7. Renk

Depolama süresi boyunca biber örneklerinin renk değişimi renk ölçüm cihazı (UltraScan VIS HunterLab, ABD) ile ölçülmüştür. Ölçümler öncesinde cihaz önce siyah ve sonra beyaz kalibrasyon plakaları ile kalibre edilmiştir. Örneklerin rengi  $L$  (koyuluk-açıklık),  $a$  (yeşillik-kırmızılık),  $b$  (mavilik-sarılık) olarak kaydedilmiştir (Topuz 2008).

### 3.2.5.8. Tekstür

Örneklerin yapısal özellikleri tekstür analiz cihazı (TAXT plus Stable Microsystems, Godalming, Surrey, UK) kullanılarak ölçülmüştür. Örneklerin yüzey sertliği değerlendirmek amacıyla delme gücü (N) ölçülmüştür. Ölçümler oda



sıcaklığında 5 mm'lik silindirik sonda (SMSP/5) yardımıyla 1,7 mm/s test hızında ve 2 mm batma derinliğinde gerçekleştirilmiştir (Vega-Gálvez vd 2009).

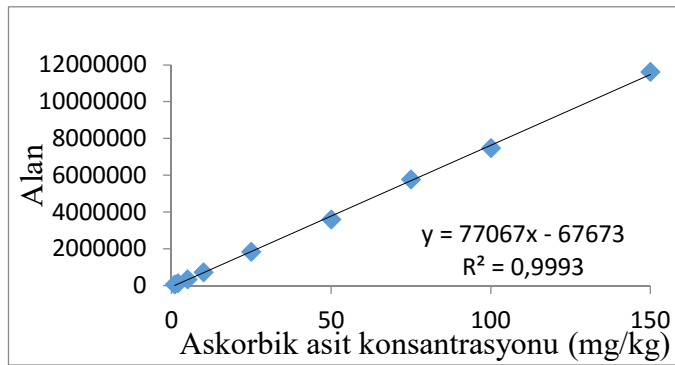
### 3.2.5.9. Askorbik asit

Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit miktarı Asami vd (2003)' e göre HPLC ile belirlenmiştir. Bu amaçla örnekler 2'şer gram tartılarak 8 mL metafosforik asit çözeltisi (%6) içerisinde 1 dk boyunca ultraturrax ile homojenize edildikten sonra 4°C sıcaklık ve 10000 d/dk hızda 10 dk santrifüj edilmiştir. Daha sonra taze, dondurulmuş ve sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan örneklerden elde edilen ekstraktlar 20 kat, ozmotik kurutulduktan sonra dondurulanlar ise 5 kat seyreltilerek membran filtreden (0.45 µm) süzülüş ve HPLC'ye enjekte edilmiştir. Örnekler DGU-20A<sub>5</sub> degaz ünitesi, LC-20AD pompa ünitesi, SIL-20AD otomatik örnekleyici, CTO-20AC kolon fırını, SPD-20M20A diode array detektörden oluşan HPLC sisteminde analiz edilmiştir.

Örneklerin askorbik asit miktarı, örneklerle aynı koşullarda cihaza enjekte edilen 9 farklı konsantrasyondaki L-askorbik asit standart çözeltileri ile oluşturulan kurve yardımıyla hesaplanmıştır. Kromatografi koşulları Çizelge 3.2 ve askorbik asit standart kurvesi Şekil 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Askorbik asit analizi HPLC koşulları

Kolon	Nucleosil 5 C 18
Kolon sıcaklığı	35°C
Hareketli faz	Ultra saf su, pH 2,2 (Sülfürik asit ile ayarlanmış)
Akış hızı	0,8 mL/dk
Dedektör	Diode Array, 245 nm.
Enjeksiyon miktarı	20 µL
Analiz süresi	20 dk



Şekil 3.6. Askorbik asit standart eğrisi

### 3.2.5.10. Antioksidan aktivite

Toplam antioksidan aktivite tayininin belirlenmesinde DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikalinin inhibisyonu ve Serbest Radikalleri Soğurma Yeteneği (ORAC) olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır.

Ekstraksiyon işlemi için biber örnekleri küçük parçalara ayrılarak 5 gram tartılmış, 15 mL %80 metanol ile homojenize edilmiş ve ultrasonik banyo içerisinde oda sıcaklığında 30 dk süreyle ekstrakte edilmiştir. Elde edilen ekstrakt 7000×g hızda 10 dk santrifüj edilmiş ve sıvı kısım ayrı bir tüpe aktarılmıştır. Kalan katı kısım 15 mL %80 metanol ile ultrasonik banyoda 30 dk süreyle ikinci kez ekstrakte edilerek santrifüjleme işlemine tabi tutulmuş ve tekrar sıvı kısım ayrılarak ilk ekstrakt ile birleştirilmiştir (Arslan ve Özcan 2011, Zhang ve Hamauzu 2003).

DPPH radikalının inhibisyonuna dayalı antioksidan aktivite Fernández-León vd (2013) tarafından uygulanan yönteme göre belirlenmiştir. Bu amaçla ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan örnekler 5 kat, sıcak hava ile kritik neme kadar kurutulduktan sonra dondurulan örnekler 20 kat ve doğrudan hava akımında dondurulan örnekler ile taze örnekler 10 kat seyreltilmiştir. Seyreltilmiş örnek ekstraktından 50 µL ve üzerine taze hazırlanmış 60 µM DPPH çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım vortekslelendikten sonra karanlıkta ve oda sıcaklığında 30 dk bekletilmiştir. DPPH çözeltisinin absorbansı bekleme süresinin başında saf metanole karşı 516 nm dalga okunmuştur. 30 dk inkübasyon sonrası örneklerin absorbans ölçümü yapılarak DPPH çözeltisinin absorbansına göre farkları hesaplanmıştır. Örneklerin antioksidan aktivitesi bu absorbans farkları kullanılarak, farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış troloks ile elde edilen eğri yardımıyla g troloks eşdeğer aktivite/100g kuru örnek ağırlığı cinsinden hesaplanmıştır.

Serbest Radikalleri Soğurma Yeteneği (ORAC) Ena vd (2012) tarafından belirtilen yönteme göre modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 2750 µL fluorescein çözeltisine (0,6136 µM) 37 µM fosfat tamponu (75 mM, pH 7,4) ve 75 µL örnek ekstraktı ilave edilerek 37°C'de 30 dk bekletilmiştir. Daha sonra 0,32 µM fosfat tamponu içerisinde hazırlanmış 75 µL 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride ilave edilerek reaksiyon durdurulmuştur. Elde edilen çözeltinin flüoresans şiddeti flüoresans spektrofotometresi (Cary Eclipse, Agilent Technologies, Kaliforniya, ABD) kullanılarak 490 nm eksitasyon ve 512 nm emisyon dalga boylarında ölçülmüştür. Serbest Radikalleri Emme Yeteneği µM Troloks Eşdeğeri/g kurumadde cinsinden aynı koşullarda örnek yerine kör (fosfat tamponu) ve Troloks standardı (100 µM) ile hazırlanan çözeltilerin flüoresans şiddeti belirlenerek eşitlik 3.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{ORAC } (\mu\text{M TE}) = 39 \times \frac{S_{\text{örnek}} - S_{\text{kör}}}{S_{\text{Trolox}} - S_{\text{kör}}} \quad (3.7)$$

$S_{\text{örnek}}$ ,  $S_{\text{kör}}$  ve  $S_{\text{Trolox}}$  sırasıyla örnek, kör ve troloks'un flüoresans şiddetini ifade etmektedir.

### 3.2.5.11. Peroksidaz aktivitesi

Örneklerin peroksidaz aktivitesi tayini Žilić vd (2012)'e göre bazı modifikasyonlar yapılarak spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirilmiştir. Küçük parçalara bölünmüş 5 g biber, 10 mL 67 mM sodyum fosfat tamponu (pH 6) içerisinde 1 dk süreyle Ultraturax (T25IKA Labortechnik) kullanılarak homojenize edilmiştir. Daha sonra homojenizat, berrak çözelti eldesi için 12000×g hızda 10 dk boyunca santrifüj edilerek Whatman no.1 filtre kağıdından süzülmüştür. Elde edilen bu enzim ekstraktından sonra 30 mM guayakol (%99) ve 3 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (%50) çözeltileri substrat olarak hazırlanmıştır. Kuvars spektrofotometre küvetine 0,450 mL tampon üzerine 1,25'er mL guayakol ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 0,050 mL enzim ekstraktı eklenerek 420 nm'de 10 dakika boyunca 30 saniye aralıklarla absorbans değerleri kaydedilmiştir. Absorbans değerleri y eksenine, zaman ise x eksenine yerleştirilerek absorbans-süre grafiği elde edilmiştir. Grafikte oluşan eğrinin doğrusal kısmının eğimi hesaplanmış ve buradan örnekteki peroksidaz enzim aktivitesi ( $\Delta\text{Abs} \times \text{dk}^{-1}$ ) $\times \text{mL}^{-1}$  enzim ekstraktı olarak ifade edilmiştir.

### 3.2.5.12. Lipoksigenaz aktivitesi

Örneklerin lipoksigenaz aktivitesi Jarén-Galán ve Mínguez-Mosquera (1999) tarafından tanımlanan spektrofotometrik yöntem bazı modifikasyonlar gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Küçük parçalara bölünmüş 5 g biber, 15 mL 50 mM sodyum fosfat tamponu (pH 7) içerisinde 1 dk süreyle Ultraturax (T25IKA Labortechnik) kullanılarak homojenize edilmiştir. Daha sonra homojenizat berrak çözelti eldesi için 12000×g hızda 10 dk boyunca santrifüj edilerek Whatman no.1 filtre kağıdından süzülmüştür. 0,5 g Tween 20 ve 0,5 g linoleik asit (%99), 25 mL'lik balon jöjeye aktararak üzerine berraklaştırmak amacı ile 1 mL 2 N NaOH çözeltisi ilave edilmiş ve 25 mL'ye saf su (gazı giderilmiş) ile tamamlanarak linoleik asit çözeltisi hazırlanmıştır. 3 mL 200 mM sodyum fosfat tampon (pH 6,5) çözeltisi ile 0,025 mL linoleik asit çözeltisi spektrofotometrenin kuvars küvetinde karıştırılarak üzerine 0,025 mL enzim ekstraktı ilave edilmiş ve 234 nm'de 2 dk boyunca 6 saniye aralıklarla absorbans değerleri kaydedilmiştir. Linoleik asit çok hızlı oksidasyona uğradığından dolayı aynı işlemler enzim ekstraktı ilave edilmeden de gerçekleştirilmiş ve absorbans değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen her iki absorbans değişiminin zamana bağlı grafikleri oluşturulmuş ve doğrusal kısmın eğimleri hesaplanarak birbirinden çıkarılmıştır. Böylece linoleik asitin oksidasyonundan gelen absorbans artışı örnekteki enzim miktarının hesaplanmasında hata oluşturmamıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda örnekteki lipoksigenaz enzim aktivitesi ( $\Delta\text{Abs} \times \text{dk}^{-1}$ ) $\times \text{mL}^{-1}$  enzim ekstraktı olarak ifade edilmiştir.

### 3.2.5.13. Toplam karotenoid miktarı

Taze biber örnekleri ile doğrudan hava akımda dondurulan, sıcak hava ve ozmotik kurutma sonrası dondurulan biber dilimlerinin toplam karotenoid içeriği Chuah vd (2008) tarafından uygulanan spektrofotometrik yöntemle göre belirlenmiştir. Bu amaçla 0.5 g örnek 5 mL aseton-su (9:1, h/h) karışımı ile ekstrakte edildikten sonra 3000 d/dk hızda ve 4°C sıcaklıkta 10 dk santrifüj edilmiştir. Elde edilen berrak kısım başka bir santrifüj tüpüne alınarak ekstrakt renksizleşinceye kadar ekstraksiyon işlemine devam edilmiştir. Ardından berrak kısımlar toplanarak asetona karşı 472 nm dalga

boyunda spektrofotometrede absorbands değerleri okunmuştur. Toplam karotenoid içeriği eşitlik 3.8'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam karotenoid içeriği (mg/100g taze biber)} = \frac{\text{Abs}_{\text{max}} \times 50 \text{ mL aseton} \times 100}{\text{Örnek ağırlığı}} \quad (3.8)$$

### 3.2.5.14. Enerji verimliliği

1. Dilimlenmiş kırmızıbiberlerin sıcak hava ile kurutulması sırasında harcanan enerji aşağıdaki eşitlik (3.9) kullanılarak hesaplanmıştır;

$$E = A \times v \times \rho \times c_p \times \Delta T \times t \quad (3.9)$$

*E: toplam enerji (kJ/kg), A: kurutma haznesi kesit alanı (m<sup>2</sup>), v: hava hızı (m/sn), ρ: havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>), t: kurutma zamanı (sn), ΔT: sıcaklık farkı (°C), c<sub>p</sub>: havanın özgül ısı (kJ/kg×°C) ifade etmektedir.*

Bu eşitlikle hesaplanan enerji değerleri hammadde miktarına oranlanarak birim hammadde başına harcanan enerji kJ/kg olarak hesaplanmıştır.

2. Dilimlenmiş kırmızıbiberlerin ozmotik kurutulması sırasında harcanan enerji Kuljanin vd (2011) tarafından uygulanan eşitliklere (3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14) göre hesaplanmıştır;

$$Q = Q_{OD} + Q_i + E_p \quad (3.10)$$

$$Q_{OD} = m_{mo} \times c_{pm} \times (t_r - t_0) + m_v \times c_{pv} \times (t_r - t_0) \quad (3.11)$$

$$Q_i = W \times r \quad (3.12)$$

$$W = m_{m(OD)} \times (1 - (g_{m(OD)} / g_{mk})) \quad (3.13)$$

$$m_{m(OD)} = m_{mo} + m_w - m_{sm} \text{ (kg)} \quad (3.14)$$

*Q: ozmotik kurutma sırasında harcanan toplam enerji (kJ), Q<sub>OD</sub>: ozmotik kurutma işlemi sırasında ısıtma için harcanan enerji (kJ), m<sub>mo</sub>: ozmotik çözelti miktarı (kg), c<sub>pm</sub>: ozmotik çözeltinin özgül ısı (kJ/kg×K), t<sub>r</sub>: ozmotik çözelti sıcaklığı (°C), t<sub>0</sub>: ortam sıcaklığı (°C), m<sub>v</sub>: ozmotik kurutmada kullanılan biber miktarı (kg), c<sub>pv</sub>: biberin özgül ısı (kJ/kg×K), Q<sub>i</sub>: evaporasyon işleminde harcanan enerji (kJ), W: evaporasyonla ozmotik çözeltilen uzaklaştırılan su miktarı (kg), r: su-buhar faz değişim ısı (kJ/kg), m<sub>m(OD)</sub>: ozmotik kurutmadan sonra kalan ozmotik çözelti miktarı (kg), g<sub>m(OD)</sub>: ozmotik kurutmadan sonra deneysel olarak çözeltideki toplam katı miktarı, m<sub>w</sub>: ozmotik kurutma sonrası biberdeki su kaybı (kg), m<sub>sm</sub>: ozmotik kurutma sonrasında biberdeki katı kazanımı (kg), E<sub>p</sub>: pompa için gerekli mekanik enerji (kJ) ifade etmektedir.*

3. Dilimlenmiş kırmızıbiberlerin dondurulması sırasında harcanan enerji aşağıdaki eşitlikler (3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20) kullanılarak hesaplanmıştır;

$$Q_1 = m \times c_{p1} \times \Delta T_1 \quad (3.15)$$

$$Q_2 = m \times L_g \quad (3.16)$$

$$L_g = 334 \times w \quad (3.17)$$

$$Q_3 = m \times c_{p2} \times \Delta T_2 \quad (3.18)$$

$$c_{p1} = 3.35w + 0.84 \quad (3.19)$$

$$c_{p2} = 1.26w + 0.84 \quad (3.20)$$

*Q<sub>1</sub>: biberin sıcaklığının donma noktasına düşmesi için gerekli enerji (kJ/kg), Q<sub>2</sub>: donma noktasındaki enerji (kJ/kg), m: dondurulan biber miktarı (kg), c<sub>p1</sub>: biberin donma noktası üzerindeki sıcaklıkta özgül ısı (kJ/kg×K), c<sub>p2</sub>: biberin donma noktası altındaki sıcaklıkta özgül ısı (kJ/kg×K) ΔT<sub>1</sub>: biberin donma başlangıç sıcaklığı ile donma noktası arasındaki sıcaklık farkı (°C), ΔT<sub>2</sub>: biberin donma noktası ile son sıcaklığı (-25°C) arasındaki fark (°C), L<sub>g</sub>: biberin donma gizli ısı (kJ/kg), w: biberin su içeriği (g/100g) ifade etmektedir.*

### 3.2.5.15. İstatiksel analiz

Ozmotik kurutma için optimum koşullar Design Expert 7.0 (Stat-Ease Co., Mineapolis, ABD) paket programı ile yanıt yüzey metodu kullanılarak Box-Behnken deneme desenine göre belirlenmiştir. Optimum verilerle elde edilen ürünlerde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları SAS 9.0 (Statistical Analysis System) paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve önemli bulunan farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya koyulmuştur.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Ozmotik Kurutma Optimizasyonu

Çalışma kapsamında yapılan ozmotik kurutma işlemlerinde bağımlı değişkenler olan işlem sıcaklığı, kullanılan çözelti/hammadde ve sorbitol/NaCl oranı yapılan ön çalışmalara göre belirlenen sınır değerler göz önüne alınarak seçilmiş ve bu değişkenleri optimize etmek yanıt yüzey metodundan yararlanılmıştır.

Ozmotik kurutma uygulanacak en uygun sıcaklık, çözelti/hammadde ve çözeltideki sorbitol/NaCl oranlarını belirlemek için Box-Behnken deneme deseni kullanılmıştır. Bu desene göre yürütülen denemelerden elde edilen veriler yanıt yüzey metoduna göre en yüksek su kaybı ve en düşük katı kazanımı sağlayacak şekilde optimize edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Ozmotik kurutma optimizasyon deneme deseni ve analiz verileri

Desen	Sıcaklık (°C)	Çözelti/Hammadde oranı	Sorbitol/NaCl oranı	Su Kaybı (%)	Katı Kazanımı (%)
1	40	10:1	2:1	27,96	7,82
2	25	10:1	1:1	22,85	4,53
3	40	15:1	1:1	26,86	2,97
4	55	10:1	1:1	27,55	3,27
5	55	5:1	2:1	32,84	6,71
6	25	10:1	3:1	39,31	9,79
7	40	15:1	3:1	42,03	9,14
8	40	5:1	1:1	24,67	2,71
9	25	5:1	2:1	33,99	5,54
10	55	15:1	2:1	34,42	7,92
11	55	10:1	3:1	34,26	14,18
12	40	10:1	2:1	32,40	7,77
13	40	10:1	2:1	34,31	7,25
14	40	5:1	3:1	39,00	9,32
15	25	15:1	2:1	39,37	5,95

Hesaplanan su kaybı ve katı kazanımı verileri kullanılarak bu parametrelerin istatistiki olarak önemli bulunanlarına göre belirlenen en uygun modelin regresyon eşitliği (4.1, 4.2) yanıt yüzey metodu ile oluşturulmuştur.

Optimizasyonda quadratik model kullanılmış, her iki yanıt fonksiyonu için regresyon eşitliğinin (eşitlik 4.1 ve 4.2) katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Yanıt yüzey metodunda kullanılan modele ait eşitlik katsayıları

Semboller	Su Kaybı		Katı kazanımı	
	Kuadratik model		Kuadratik model	
	Katsayı	P	Katsayı	P
$\beta_0$ Sabit	31,56	0,0174	7,61	0,0005
$\beta_1$ Çözelti sıcaklığı	-0,81	0,4005	0,79	0,0159*
$\beta_2$ Çözelti/Hammadde	1,52	0,1435	0,21	0,3800
$\beta_3$ Sorbitol/NaCl	6,58	0,0007*	3,62	<0,0001*
$\beta_{11}$ Çözelti sıcaklığı*Çözelti sıcaklığı	0,72	0,5995	0,41	0,2595
$\beta_{22}$ Çözelti/Hammadde*Çözelti/Hammadde	2,87	0,0768	-1,49	0,0057*
$\beta_{33}$ Sorbitol/NaCl*Sorbitol/NaCl	-1,29	0,3640	-0,083	0,8071
$\beta_{12}$ Çözelti sıcaklığı*Çözelti/Hammadde	-0,95	0,4786	0,2	0,5484
$\beta_{13}$ Çözelti sıcaklığı*Sorbitol/NaCl	-2,44	0,1066	1,41	0,0061*
$\beta_{23}$ Çözelti/Hammadde*Sorbitol/NaCl	0,21	0,8747	-0,11	0,7364
$R^2$ $R^2$ ve Düzeltilmiş $R^2$	0,9343	0,8162	0,9851	0,9584

\* $P < 0.05$  olan değerler istatistiksel açıdan önemlidir.

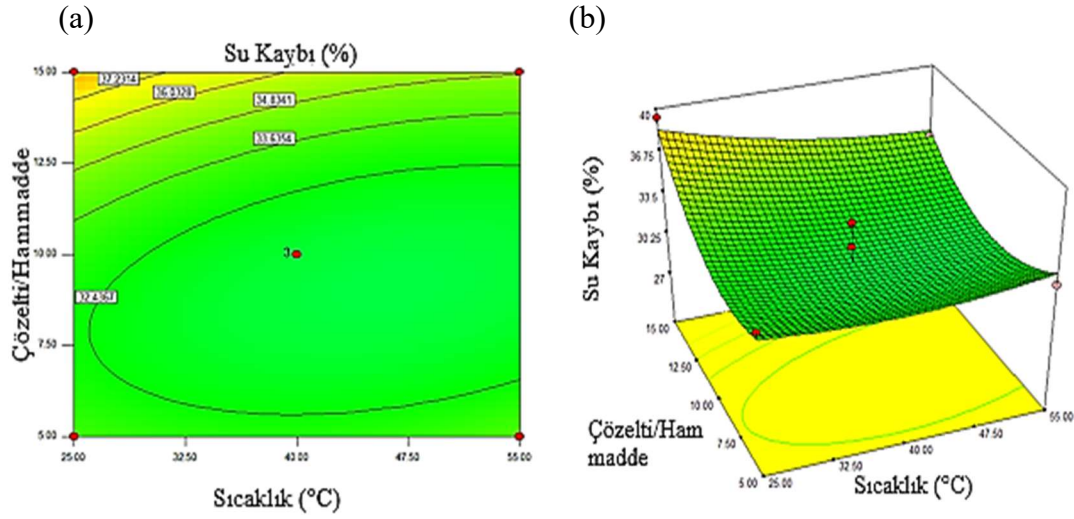
$$\text{Su Kaybı (\%)} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \text{Ç} + \beta_3 N + \beta_{11} S^2 + \beta_{22} \text{Ç}^2 + \beta_{33} N^2 + \beta_{12} S\text{Ç} + \beta_{13} SN + \beta_{23} \text{Ç}N + \alpha \quad (4.1)$$

$$\text{Katı Kazanımı (\%)} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \text{Ç} + \beta_3 N + \beta_{11} S^2 + \beta_{22} \text{Ç}^2 + \beta_{33} N^2 + \beta_{12} S\text{Ç} + \beta_{13} SN + \beta_{23} \text{Ç}N + \alpha \quad (4.2)$$

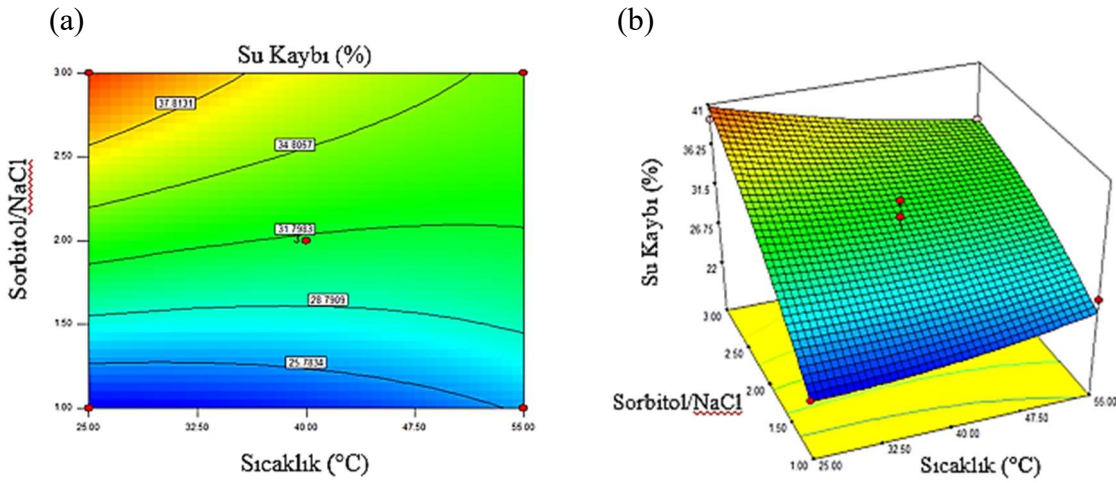
Bu eşitliklerde;

- S : Çözelti sıcaklığı (°C)
- Ç : Çözelti/Hammadde oranı
- N : Sorbitol/NaCl oranı
- $\beta_{0-23}$  : Regresyon katsayılarını
- $\alpha$  : Hata'yı ifade etmektedir.

Design Expert 7 paket programı ile gerçekleştirilen optimizasyonda değişkenlere ait regresyon katsayıları ( $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{12}, \beta_{13}$  ve  $\beta_{23}$ ) ve modelin deneysel verilerle uyumluluğunu gösteren ( $R^2$  değerleri) Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna ilaveten Box-Behnken deneme desenindeki değişkenlerden bir tanesi orta noktada sabit tutulduğu ve diğer değişkenlere bağlı olan su kaybı ve katı kazanımına ait izdüşüm gösterimi ve yüzey fonksiyonu grafikleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.

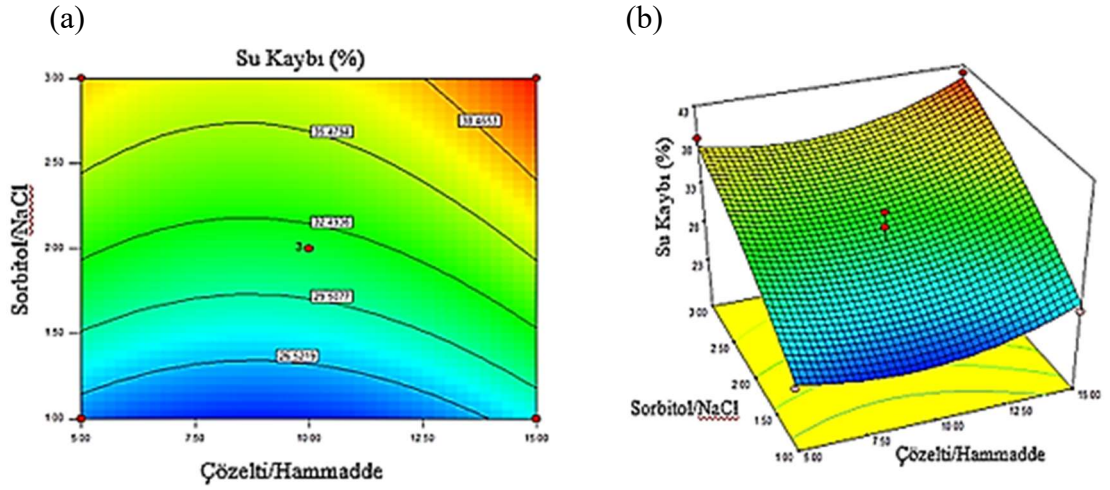


Şekil 4.1. Sabit sorbitol/NaCl oranında (2) çözelti/hammadde oranı ve çözelti sıcaklığının su kaybı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)

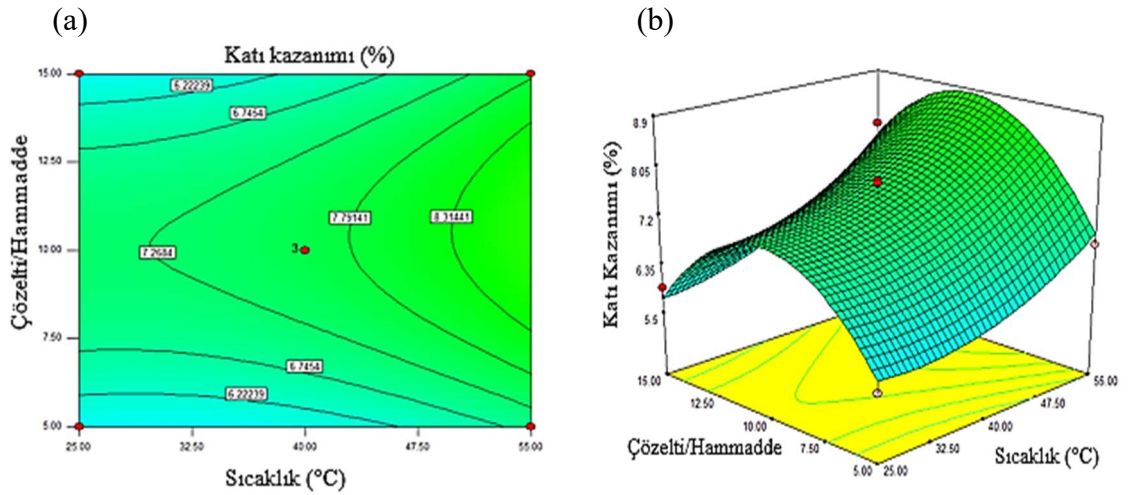


Şekil 4.2. Sabit çözelti/hammadde oranında (10) sorbitol/NaCl oranı ve sıcaklığın su kaybı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)

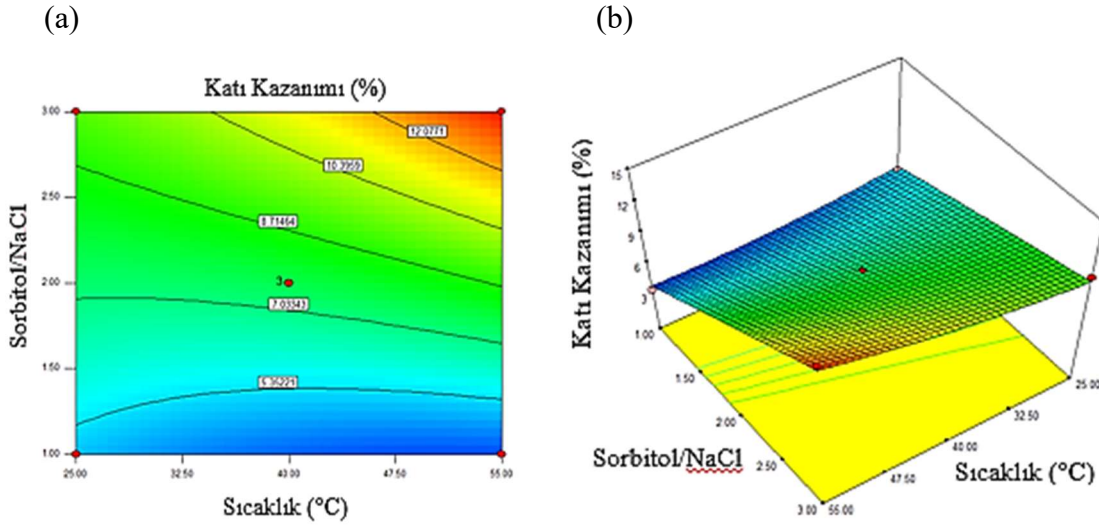




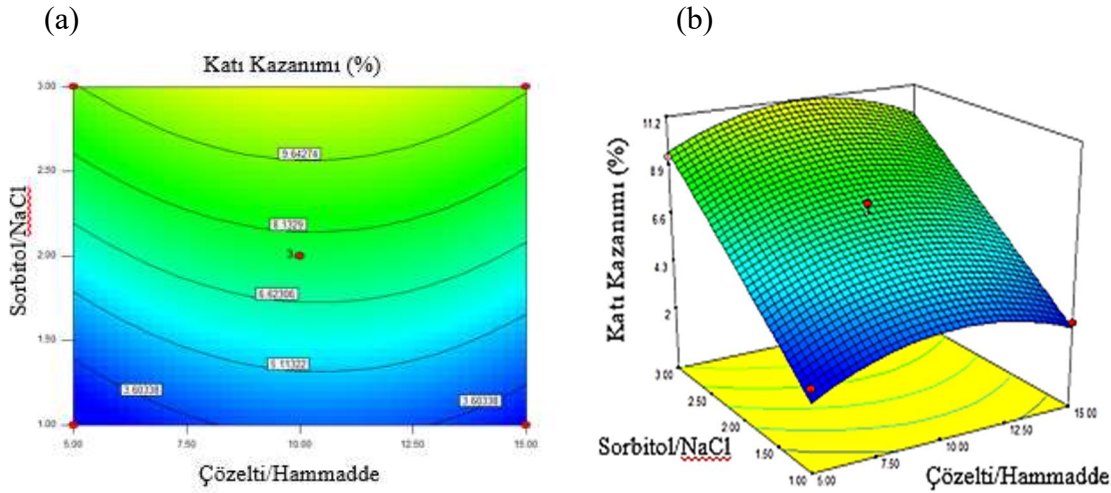
Şekil 4.3. Sabit sıcaklıkta ( $40^{\circ}\text{C}$ ) sorbitol/NaCl ve çözelti/hammadde oranının su kaybı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)



Şekil 4.4. Sabit sorbitol/NaCl oranında (2) çözelti/hammadde oranı ve sıcaklığın katı kazanımı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)



Şekil 4.5. Sabit çözelti/hammadde oranında (10) sorbitol/NaCl oranı ve sıcaklığın katı kazanımı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)



Şekil 4.6. Sabit sıcaklıkta (40°C) sorbitol/NaCl ve çözelti/hammadde oranının katı kazanımı üzerine etkisi (a: izdüşüm gösterimi, b: yüzey fonksiyonu)

#### 4.1.1. Çözelti sıcaklığın ozmotik kurutma üzerine etkisi

Ozmotik kurutma optimizasyonu için yapılan denemeler sonucunda çözelti sıcaklığının sadece katı kazanımı üzerinde istatistiki açıdan önemli ( $P < 0,05$ ) etkisinin olduğu (Çizelge 4.2) ve sıcaklık artışının katı kazanımını arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 4.4). Chenlo vd (2006) de yaptıkları çalışma sonucunda ozmotik kurutma sıcaklığı arttıkça katı kazanımının da arttığını belirlemişler ve ürüne bir bileşen emdirilmesi gerektiği durumlarda ozmotik kurutma yönteminden yararlanılabileceği ve bu işlemin daha yüksek sıcaklıklarda yapılması gerektiğini önermişlerdir. Le Maguer (1988) hücre zarının tahrip olup ürünün doku özellikleri değiştiğinden ve katı kazanımı arttığından ozmotik kurutma işlem sıcaklığının en üst limitini 60°C olarak belirlemiştir. Ancak

49°C'nin üzerinde enzimatik esmerleşme ve aroma kaybının gerçekleştiği bildirilmiştir (Ponting vd 1966).

#### 4.1.2. Sorbitol/NaCl oranının ozmotik kurutma üzerine etkisi

Sebzelerin ozmotik kurutulmasında ya doğrudan NaCl çözeltisi ya da bunun kombinasyonları kullanılabilir. Nitekim literatürde ozmotik olarak kurutulmuş bazı sebzelerin yüksek katı kazanımı nedeniyle oluşan tuzlu tadının azaltılması için ozmotik çözeltide NaCl ile birlikte sorbitol de kullanılmaktadır. Bu çalışma için gerçekleştirilen ön denemelerde de benzer şekilde yüksek düzeyde tuzlu tat oluşmuş ve bu tuzluluğun azaltılması için NaCl ile birlikte sorbitol kullanılmıştır. Çalışmada dilimlenmiş kırmızıbiber için bu maddelerin ideal oranı belirlenmiştir. Çizelge 4.2 incelendiğinde ozmotik kurutmada kullanılan sorbitol/NaCl oranının dilimlenmiş biberlerin hem su kaybı hem de katı kazanımı üzerinde istatistiki açıdan önemli etkisinin ( $P<0,05$ ) olduğu görülmektedir. Sorbitol/NaCl oranının artırılmasının su kaybı (Şekil 4.3) ile katı kazanımını (Şekil 4.6) arttırdığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Padron biberinin ozmotik kurutulması üzerine yapılan bir çalışmada çözelti konsantrasyonunun artışıyla su kaybının da arttığı belirlenmiştir (Chenlo vd 2006). Lenart ve Flink (1984) ozmotik çözelti konsantrasyonu arttıkça yürütücü kuvvetin arttığını ve böylece su kaybının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

#### 4.1.3. Çözelti/hammadde oranının ozmotik kurutma üzerine etkisi

Hipertonik çözelti/hammadde oranının dilimlenmiş kırmızıbiberlerin su kaybı ve katı kazanımı üzerine etkisinin istatistiki açıdan önemsiz olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.2). Ozen vd (2002) tarafından yapılan bir çalışmada dilimlenmiş yeşil biberin ozmotik dehidrasyonunu etkileyen karıştırma, hammadde/çözelti oranı, sıcaklık, tuz ve sorbitol konsantrasyonu gibi işlem faktörleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda çözelti/hammadde oranının etkisinin daha az önemli olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada su kaybının ozmotik çözelti/hammadde oranından daha az etkilendiği katı kazanımının ise hemen hemen hiç etkilendiği belirtilmiştir (Flink 1980).

#### 4.1.4. Yanıt yüzey metodu ile belirlenen optimum ozmotik kurutma şartları

Araştırmada su kaybının maksimum ve katı kazanımının minimum olmasında istatistiksel açıdan önemli bulunan faktörler birlikte değerlendirilerek istenebilirlik fonksiyonunun en yüksek değerinde olduğu optimum kurutma parametreleri belirlenmiştir. Buna göre belirlenen optimum kurutma koşulları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Optimum ozmotik kurutma koşulları

	Sıcaklık (°C)	Çözelti/hammadde oranı	Sorbitol/NaCl oranı	Su Kaybı (%)	Katı kazanımı (%)	İstenebilirlik (%)
Minimum	25	5	1	22,85	2,71	-
<b>Optimum</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>2,41</b>	<b>42,03</b>	<b>6,61</b>	<b>81,2</b>
Maksimum	55	15	3	42,03	14,18	-

Kırmızıbiber dilimleri belirlenen bu optimum koşullarda belirli nem düzeyine kadar ozmotik kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra dondurulmuştur. Ozmotik kurutulup dondurulacak biber dilimlerinde belirtilen optimum şartlarda ozmotik kurutma ve sıcak hava (60°C) ile kurutma işlemleri gerçekleştirilerek ürünler dondurulmuştur. Ayrıca dondurma işlemi üzerinde ozmotik ve sıcak hava ile kurutma işleminin etkisinin belirlenmesi amacıyla bir kısım örnek doğrudan dondurulmuş ve tüm örneklerde depolama boyunca aşağıdaki fiziksel ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.

## 4.2. Dondurulmuş Kırmızıbiber Dilimlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

### 4.2.1. Nem miktarı değişimi

Doğrudan dondurulan kırmızıbiber dilimleri ile kısmi olarak kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiber dilimlerine ait nem değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde doğrudan dondurulan örneklerin depolama boyunca nem değerlerinin %87,05-88,12, ozmotik ve sıcak hava ile kritik nem içeriğine kadar ( $\approx$  %70) kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiber örneklerinin nem değerlerinin ise %66,27-73,41 arasında değiştiği görülmektedir. Dondurulduktan sonra polietilen torbalar içerisinde  $-18\pm 2^\circ\text{C}$ ’de depolanan örneklerin nem değerlerinin hemen hiç değişmediği görülmüştür.

Çizelge 4.4. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin nem miktarı değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	87,18 $\pm$ 0,50*	87,05 $\pm$ 0,27	88,12 $\pm$ 0,19	87,95 $\pm$ 0,20
Ozmotik kurutma + dondurma	70,25 $\pm$ 0,15	70,18 $\pm$ 0,15	70,54 $\pm$ 0,09	69,65 $\pm$ 0,42
Sıcak hava kurutma + dondurma	70,81 $\pm$ 0,89	66,27 $\pm$ 0,32	73,41 $\pm$ 0,95	66,92 $\pm$ 2,28

\* Değerler ortalama $\pm$ standart hata olarak verilmiştir.

### 4.2.2. Su aktivitesi değişimi

Doğrudan dondurulan kırmızıbiber dilimleri ile kısmi olarak kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiber dilimlerinin depolama süresine bağlı su aktivitesi değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir. Bu değerlere göre en düşük (0.92) su aktivitesi değeri

ozmotik kurutma sonrası dondurulan kırmızıbiberlerde, en yüksek (0.99) su aktivitesi değeri ise doğrudan dondurulan kırmızıbiberlerde belirlenmiştir. Genel olarak donuk depolanan örneklerin depolama süresine bağlı su aktivitesi değerlerinde önemli bir değişim tespit edilmemiştir. Uygulamalar arasında en düşük su aktivitesi değerinin ozmotik kurutma sonrası dondurulan kırmızıbiberlerde olduğu ve bu durumun kırmızıbiber dilimleri olan sorbitol ve NaCl difüzyonu ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim Evgin (2012) ozmotik kurutma sırasında çözüldüğü gıdaya geçen bazı çözünen maddelerin gıdaların su aktivitesinin düşmesine neden olduğunu rapor etmiştir.

Çizelge 4.5. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin su aktivitesi değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	0,98±0,00*	0,98±0,00	0,98±0,00	0,99±0,00
Ozmotik kurutma + dondurma	0,92±0,00	0,92±0,00	0,92±0,00	0,92±0,00
Sıcak hava kurutma + dondurma	0,96±0,00	0,96±0,00	0,97±0,01	0,96±0,00

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

### 4.2.3. Renk değişimi

#### 4.2.3.1. *L* değeri değişimi

Dondurulmuş kırmızıbiber dilimlerinin donuk depolanması süresince *L* değerlerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6 incelendiğinde *L* değerlerinin 31,09 ile 33,73 arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.6. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin *L* değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	31,31±0,53*	31,44±0,40	31,09±0,43	30,63±0,23
Ozmotik kurutma + dondurma	31,26±0,30	31,31±0,34	33,73±0,59	31,17±0,22
Sıcak hava kurutma + dondurma	32,95±1,27	32,88±1,19	31,91±0,21	32,79±0,76

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Doğrudan ve kısmi kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberlere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Örneklerin *L* değerleri sadece uygulamaya göre önemli ( $P<0,01$ ) düzeyde değişmiştir ve depolamaya bağlı değişimler önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin *L* değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	8,52	7,25**
Depolama Süresi (D)	3	0,48	0,42
U x D	6	0,30	0,26
Hata	24	1,18	

\*\* P<0.01 seviyesinde önemli farklılığı ifade eder.

Çizelge 4.8’de verilen *L* değerlerinin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları incelendiğinde en düşük *L* değerleri doğrudan dondurulan kırmızı biber dilimleriyle ozmotik kurutma sonrası dondurulan kırmızı biber dilimlerinde ölçülmüştür. Sıcak hava ile kısmi kurutma sonrası dondurulan örneklerin *L* değeri diğerlerine göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin *L* değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Uygulama	Dondurma	Ozmotik kurutma+dondurma	Sıcak hava kurutma+dondurma
	31,12 <sup>b</sup> ±0,20	31,24 <sup>b</sup> ±0,13	32,63 <sup>a</sup> ±0,43

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların P<0,05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

#### 4.2.3.2. *a* değeri değişimi

Dondurulmuş kırmızıbiber dilimlerinin donmuş olarak depolanması boyunca *a* değerlerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu değerlerin 29,18-34,02 arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.9. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin *a* değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	34,00±0,61*	34,02±0,57	32,69±0,51	32,23±0,22
Ozmotik kurutma + dondurma	30,24±0,63	30,59±0,72	32,52±0,68	29,18±0,63
Sıcak hava kurutma + dondurma	32,31±1,71	33,48±0,61	33,56±0,42	31,80±0,52

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

*a* değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.10’da, bu değerlerin ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge 4.10 incelendiğinde örneklerin *a* değerlerinin uygulamalara (P<0,01) ve depolama süresine (P<0,05) bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.10. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin *a* değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	23,24	14,26**
Depolama Süresi (D)	3	6,15	3,77*
U x D	6	2,23	1,37
Hata	24	1,63	

\*\* P<0.01 ve \*, P<0.05 seviyesinde farklılığı ifade eder.

Uygulamalar arasında en düşük *a* değeri ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan örneklerde ölçülmüştür. Doğrudan dondurulan örnekler ile sıcak hava ile kısmi kurutma sonrası dondurulan örneklerin *a* değeri diğerine göre önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde yüksek bulunmuştur. Depolamaya bağlı değişimler ise istatistiksel olarak önemli düzeyde farklı bulunmasına karşın değişimler belirgin değildir.

Çizelge 4.11. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin *a* değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Uygulama	Dondurma	Ozmotik kurutma+dondurma	Sıcak hava kurutma+dondurma
		33,24 <sup>a</sup> ±0,42	30,94 <sup>b</sup> ±0,38
Depolama Süresi	0	15	30
		32,18 <sup>a</sup> ±0,78	32,70 <sup>a</sup> ±0,62
			60
			32,08 <sup>b</sup> ±0,50

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların  $P<0.05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

#### 4.2.3.3. *b* değeri değişimi

Dondurulmuş kırmızıbiber dilimlerinin donmuş olarak depolanması süresince *b* değerlerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.12’de verilmiştir. Buna göre örneklerin *b* değeri 15,58-19,31 arasında değişmiştir.

Çizelge 4.12. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin *b* değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	19,31±0,73*	18,78±0,71	17,83±0,57	17,65±0,41
Ozmotik kurutma + dondurma	15,68±0,32	16,06±0,71	18,22±0,57	15,58±0,16
Sıcak hava kurutma + dondurma	18,55±2,00	18,11±0,59	18,35±0,44	17,22±0,40

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

*b* değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde örneklerin *b* değerleri sadece uygulamaya göre önemli ( $P<0,05$ ) düzeyde değişmiş; ancak depolamaya bağlı değişimler önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin *b* değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	9,47	5,13*
Depolama Süresi (D)	3	1,22	0,66
U x D	6	2,73	1,48
Hata	24	1,85	

\*,  $P < 0,05$  seviyesinde farklılığı ifade eder.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları en düşük *b* değerinin (Çizelge 4.14) ozmotik kurutma sonrası dondurulan kırmızıbiber dilimlerinde olduğunu göstermektedir. Doğrudan dondurulan ve sıcak hava ile kısmi kurutma sonrası dondurulan örneklerin *b* değeri ise diğerine göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur

Çizelge 4.14. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin *b* değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Uygulama	Dondurma	Ozmotik kurutma+dondurma	Sıcak hava kurutma+dondurma
	18,39 <sup>a</sup> ±0,33	16,71 <sup>b</sup> ±0,37	18,07 <sup>a</sup> ±0,49

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların  $P < 0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

#### 4.2.4. Tekstür değişimi

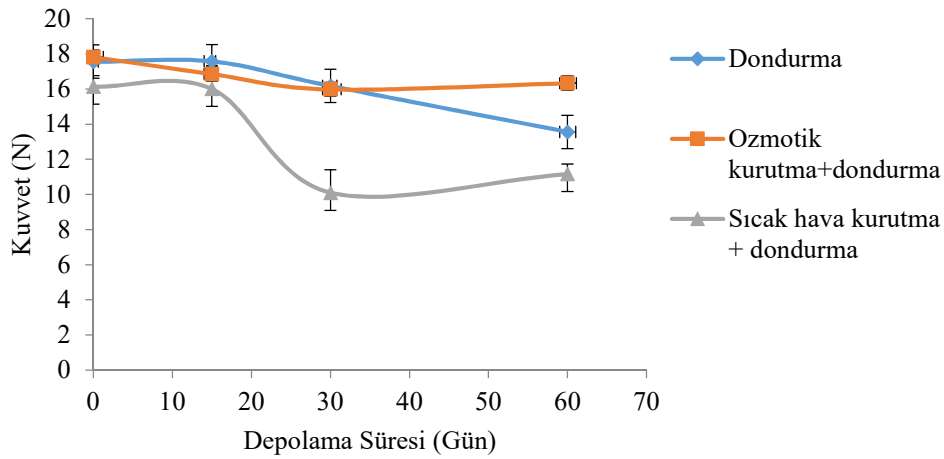
Biber dilimlerinin dokusal sertliğinin bir ölçüsü olarak kabuk delme kuvveti ölçülmüş, elde edilen değerler Çizelge 4.15’de verilmiş ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar kırmızıbiber dilimlerinin kabuk delme kuvvetinin 10,10-17,83 N arasında değiştiğini göstermiştir.

Çizelge 4.15. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin kabuk delme kuvveti değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	17,56±0,59*	17,58±0,49	16,18±0,81	13,56±1,06
Ozmotik kurutma + dondurma	17,83±1,24	16,86±0,66	15,99±1,34	16,34±0,27
Sıcak hava kurutma + dondurma	16,15±0,61	16,01±1,32	10,10±1,31	11,17±0,56

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.





Şekil 4.7. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin depolama süresine bağlı kabuk delme kuvveti değişimi

Ölçülen kabuk delme kuvveti değerlerinin ortalamalarına ait varyans analiz sonuçları (Çizelge 4.16) hem uygulamalara hem de depolama süresine bağlı olarak önemli ( $P<0,01$ ) düzeyde farklılık göstermiştir.

Çizelge 4.16. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin kabuk delme kuvveti değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	20,61	8,45**
Depolama Süresi (D)	3	22,87	9,38**
U x D	6	4,47	1,83
Hata	22	2,44	

\*\*  $P<0,01$  seviyesinde farklılığı ifade eder.

Önemli bulunan bu farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine tabi tutulmuş, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.17'de verilmiştir. Doğrudan dondurulan örnekler ile ozmotik kurutma sonrası dondurulan örneklere ait kabuk delme kuvvetlerinin birbirlerinden farklı olmaksızın sıcak hava ile kısmi kurutma sonrası dondurulan örneklere nazaran yüksek olduğu tespit edilmiştir. Xin vd (2014) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da ozmotik kurutma sonrası dondurulan örneklerin kabuk delme değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar bu farklılığı hücrelerdeki turgor basıncı artışı ile açıklamışlardır.

Dilimlenerek dondurulmuş kırmızıbiberlerin depolama süresince kabuk delme değeri azalış göstermiş ve 60. günün sonunda bu değer 14,00 N'a düşmüştür. Bu durumun donmuş biberlerin çözündürülmesi sırasında hücrelerin zarar görmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.17. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin kabuk delme kuvveti değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Uygulama	Dondurma	Ozmotik kurutma+dondurma	Sıcak hava kurutma+dondurma
		16,22 <sup>a</sup> ±0,59	16,76 <sup>a</sup> ±0,47
Depolama Süresi	0	15	30
	17,18 <sup>a</sup> ±0,51	16,82 <sup>a</sup> ±0,50	14,87 <sup>b</sup> ±0,98
			60
			14,00 <sup>b</sup> ±0,85

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

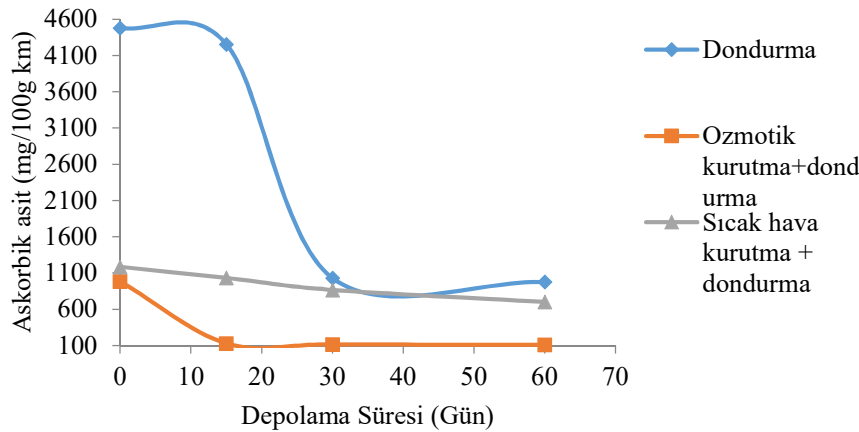
#### 4.2.5. Askorbik asit değişimi

Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberlerin depolama süresine bağlı askorbik asit miktarı değişimi Çizelge 4.18’de verilmiş, Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar örneklerin 0. günde belirlenen askorbik asit miktarınının 986,45 mg/100g km ile 4482,08 mg/100g km arasında değiştiğini göstermiştir.

Çizelge 4.18. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	4482,08±92,48*	4255,13±142,57	1031,11±78,75	978,83±74,02
Ozmotik kurutma + dondurma	986,45±43,54	131,27±11,00	118,36±19,68	110,62±17,20
Sıcak hava kurutma + dondurma	1186,59±84,16	1033,66±21,42	868,90±10,35	702,54±83,95

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.



Şekil 4.8. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerleri

Belirlenen askorbik asit verilerine ait varyans analiz sonuçları hem uygulama hem de depolamaya bağlı olarak önemli ( $P<0,01$ ) düzeyde farklılık göstermiştir (Çizelge 4.19). Ayrıca uygulama ve depolama arası etkileşimler de önemli

bulunmuştur. Deneysel faktörlere bağlı önemli bulunan bu farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine tabi tutulmuş, belirlenen sonuçlar Çizelge 4.20’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar ön kurutma uygulamalarının yüksek düzeyde askorbik asit kaybına neden olduğunu göstermektedir. Ön kurutma uygulamaları birbiriyle karşılaştırıldığında ozmotik kurutmadaki askorbik asit kaybının sıcak havada kurutmadan daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Daha önce gerçekleştirilen benzer çalışmalarda da ozmotik kurutma sırasında yüksek düzeyde askorbik asit kaybı meydana gelmiş ve bu askorbik asit kaybının kimyasal parçalanmasının yanısıra ozmotik çözeltiye difüzyonu sonucu meydana gelmiş olabileceği öne sürülmüştür (Ade-Omowaye vd 2002, Vial vd 1991). Ozmotik kurutma sırasındaki bu kaybın sıcaklıkla ilişkili olduğu da belirtilerek sıcaklık artışına bağlı olarak askorbik asit kaybının da arttığı belirtilmiştir. Sıcak hava ile ön kurutmada meydana gelen kaybın ise daha çok oksidasyona bağlı degradasyondan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nitekim sıcak hava ile kurutma sırasında meydana gelen askorbik asit kaybını oksidasyonla ilişkili olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (Inyang ve Ike 1998, Lemus-Mondaca vd 2009, Piga vd 2004, Vega-Gálvez vd 2008)

Biberlerin depolama süresi boyunca askorbik asit değişimi incelendiğinde ise doğrudan hava akımında ve sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan örneklerin askorbik asit miktarlarının 15. güne kadar çok fazla değişmediği bu süreden sonra ise bu miktarın önemli ölçüde azaldığı, ozmotik kurutma sonrası dondurulan örneklerin askorbik asit miktarının ise depolama başlangıcından sonra hızlı bir şekilde azaldığı görülmüştür (Şekil 4.8). Depolama süresi sonunda en düşük askorbik asit miktarı ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan örneklerde belirlenirken, en yüksek askorbik asit miktarı ise doğrudan dondurulan örneklerde belirlenmiştir. Literatürde kırmızıbiberin dondurularak depolanması sırasında askorbik asit kaybı ile ilgili farklı sonuçlar içeren çalışmalar bulunmaktadır. Nitekim Martínez vd (2005)  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ ’de dondurularak depolanan biberlerde askorbik asit kaybının 30 gün sonunda %40 olarak belirlenirken, Oruna-Concha vd (1998) ise  $-22^{\circ}\text{C}$ ’de dondurularak depolanan biberlerde Askorbik asit kaybının %97 oranında olduğunu rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.19. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	14468733,37	1061,42**
Depolama Süresi (D)	3	5107540,22	374,69**
U x D	6	2877764,07	211,11**
Hata	23	13631,54	

\*\* $P < 0,01$  seviyesinde farklılığı ifade eder.

Çizelge 4.20. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Dondurma		Ozmotik kurutma+dondurma		Sıcak hava kurutma+dondurma	
	0	15	30	60	0	60
Depolama Süresi	1935,41 <sup>a</sup> ±557,83	1806,69 <sup>b</sup> ±627,20	672,79 <sup>c</sup> ±142,54	579,33 <sup>c</sup> ±132,15		

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların  $P < 0.05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

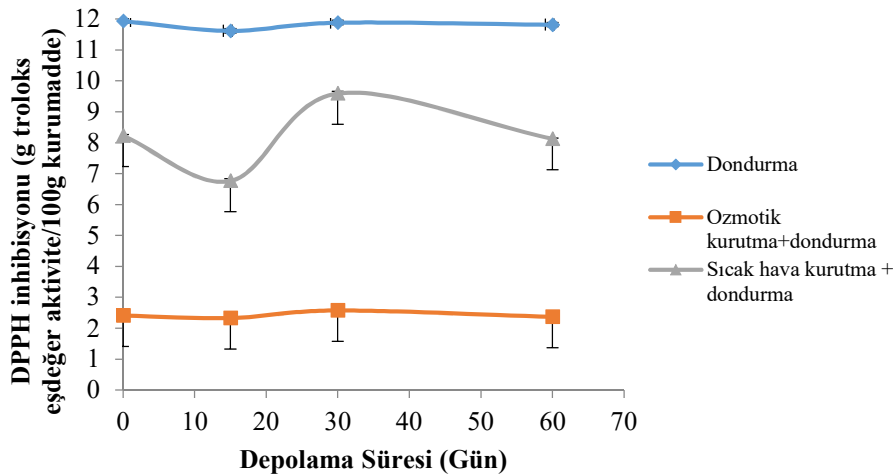
#### 4.2.6. Antioksidan aktivite değişimi

Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmen kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin antiradikal aktivitesi DPPH inhibisyon yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiş, Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kırmızıbiberin antiradikal aktivitesinin 2,33-11,94 g troloks eşdeğeri/100g km arasında değiştiği görülmektedir. Akça (2012) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada da biberlerin antioksidan aktivitesinin 6,15-9,55 g troloks/100g km arasında değiştiği bildirilmiştir.

Çizelge 4.21. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	11,94±1,07*	11,62±0,27	11,89±0,05	11,82±0,21
Ozmotik kurutma + dondurma	2,41±0,04	2,33±0,13	2,58±0,02	2,37±0,05
Sıcak hava kurutma + dondurma	8,23±0,30	6,77±0,07	9,60±0,06	8,13±0,02

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.



Şekil 4.9. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerleri

Elde edilen deneysel veriler uygulama ve depolama süresi faktörlerinin etkisini belirlemek için varyans analizine tabi tutulmuş ve bu analiz sonucunda her iki faktörün antiradikal aktivitesi üzerine önemli ( $P<0,01$ ) düzeyde etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu faktörlerin interaksiyonlarına bağlı farklılıklar da önemli ( $P<0,01$ ) bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	225,87	1331,85**
Depolama Süresi (D)	3	1,51	8,90**
U x D	6	0,91	5,34**
Hata	19	0,17	

\*\*  $P<0.01$  seviyesinde farklılığı ifade eder.

Kırmızıbiberlerin uygulanan işlemlere ve depolamaya bağlı olarak değişen antioksidan aktivite değerleri ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.23’de verilmiştir. Uygulamalarda antiradikal aktivitesi en yüksek ve en düşük olan örneklerin sırasıyla doğrudan dondurulan ve ozmotik kurutma sonrası dondurulanlar olduğu belirlenmiştir. Örneklerin antiradikal aktivitesi arasındaki bu farklılığın biberdeki antiradikal aktiviteye sahip fenolik bileşiklerin ozmotik çözeltiye difüzyonu sonucu kayba uğramasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Ayrıca bu bileşiklerin özellikle sıcak havada kurutma sırasında oksidasyon sonucu yapısal değişimlere uğramış olması da düşünülmüştür (Li vd 2006).

Çizelge 4.23. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin DPPH inhibisyon yöntemiyle elde edilen antiradikal aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Dondurma	Ozmotik kurutma+dondurma	Sıcak hava kurutma+dondurma
		11,82 <sup>a</sup> ±0,22	2,42 <sup>c</sup> ±0,04
Depolama Süresi	0	15	30
	6,97 <sup>a</sup> ±1,46	6,32 <sup>b</sup> ±1,37	7,24 <sup>a</sup> ±1,69

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların  $P<0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Dondurulan tüm örneklerin depolama süresine bağlı antiradikal aktivite değişimleri de belirgin olmasa da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Çizelge 4.23 incelendiğinde farklılığın depolamanın 15. gün analizinden kaynaklandığı görülmektedir. Örneklerin bu aşamada antiradikal özellikli bazı bileşiklerinin depolama başlangıcında değişime uğradığı ancak devam eden depolama sürecinde antiradikal aktivite gösteren başka bileşiklerin de oluşmuş olabileceği tahmin edilmektedir.

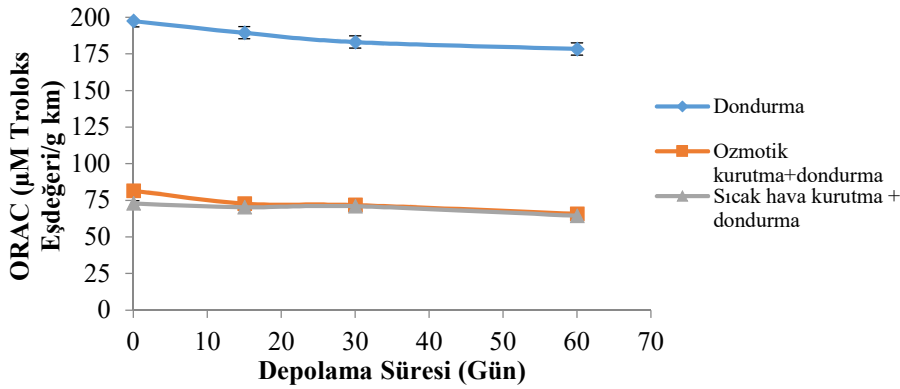
Doğrudan dondurulan kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivitesinin depolamaya bağlı değişimleri Çizelge 4.24’de verilmiş, Şekil 4.10’da verilmiştir. Bu değerlerin 64,49-197,50  $\mu\text{M}$  Troloks Eşdeğeri/g km arasında

değiştği görülmektedir. DPPH inhibisyon yöntemiyle yapılan antiradikal aktivite testi sonucunda olduğu gibi ORAC yöntemi ile yapılan antioksidan aktivite testi sonucunda da doğrudan dondurulan kırmızıbiberlerin antioksidan aktivite değerleri en yüksek olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.24. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	197,50±12,00*	189,43±2,16	183,09±1,50	178,38±1,34
Ozmotik kurutma + dondurma	81,55±1,77	72,80±2,13	71,79±0,43	65,85±0,79
Sıcak hava kurutma + dondurma	72,93±1,76	70,39±0,34	71,09±0,96	64,49±2,35

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.



Şekil 4.10. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerleri

Dilimlenmiş kırmızıbiberlerin ORAC yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analiz sonuçları (Çizelge 4.25) incelendiğinde örneklerin antioksidan aktiviteleri üzerine uygulama ( $P<0,01$ ) ve depolamaya ( $P<0,05$ ) bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.25. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	49536,74	997,73**
Depolama Süresi (D)	3	294,01	6,41*
U x D	6	21,20	0,42
Hata	20	50,41	

\*  $P<0,05$  ve \*\*  $P<0,01$  seviyesinde farklılığı ifade eder.

Kırmızıbiberlerin uygulanan işlemlere ve depolamaya bağlı olarak değişen antioksidan aktivite değerleri ortalamalarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir. Ozmotik kurutma ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan örnekler için antioksidan aktivite değerlerinin birbirlerinden farklı olmaksızın doğrudan dondurulan örnekler ile nazaran düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.26). Depolama boyunca örneklerin antioksidan aktivitelerindeki değişim incelendiğinde ise örneklerin antioksidan aktivite değerlerinin 30. güne kadar istatistik açıdan değişmediği, 60. günde ise azaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.26. Doğrudan ve kısmi kurutulmuş dondurulan kırmızıbiberlerin ORAC yöntemi ile elde edilen antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Uygulama	Dondurma	Ozmotik kurutma+dondurma		Sıcak hava kurutma+dondurma
		187,10 <sup>a</sup> ±3,41	69,14 <sup>b</sup> ±1,42	
Depolama Süresi	0	15	30	60
	122,88 <sup>a</sup> ±22,24	115,93 <sup>a</sup> ±21,54	119,29 <sup>a</sup> ±22,57	102,904 <sup>b</sup> ±18,887

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların  $P < 0,05$  seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Biberde bulunan bileşenlerden askorbik asit ve karotenoidlerin antioksidan aktivite gösterdikleri bilinmektedir (Howard vd 1994). Nitekim bu çalışmada antioksidan aktivitesi diğerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenen doğrudan dondurulan kırmızıbiberlerin askorbik asit ve toplam karotenoid içeriklerinin de diğer uygulamalara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu hipotezi destekler nitelikte, askorbik asit değerleri diğer uygulamalara göre belirgin bir şekilde daha düşük bulunan ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan örneklerin antioksidan aktivite değerleri de diğer uygulamalara göre oldukça düşük bulunmuştur.

#### 4.2.7. Peroksidaz aktivitesi değişimi

Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin, uygulanan haşlama işlemine bağlı olarak peroksidaz enziminin tamamen inaktive olduğu belirlenmiştir. Ayrıca örneklerde depolama başlangıcında ve depolama süresince peroksidaz enzim aktivitesi görülmediği de tespit edilmiştir. Nitekim Ozan (2009) tarafından yapılan çalışma sonucunda haşlama işlemi ile brokolilerin peroksidaz aktivitesinin yaklaşık 0 değerine düşürüldüğü bildirilmiştir.

#### 4.2.8. Lipoksigenaz aktivitesi değişimi

Lipoksigenaz enzimi doymamış yağ asitlerini oksitlenmesine neden olan bir enzimdir. Karotenoidler yapılarında izopren halkası içermelerinden ötürü, lipoksigenaz enziminin bir substratı olarak değerlendirilmektedir (Kanner vd 1977). Bu nedenle, çalışmada uygulamalar ve depolama süresince lipoksigenaz enzimi aktivitesi izlenmiştir.

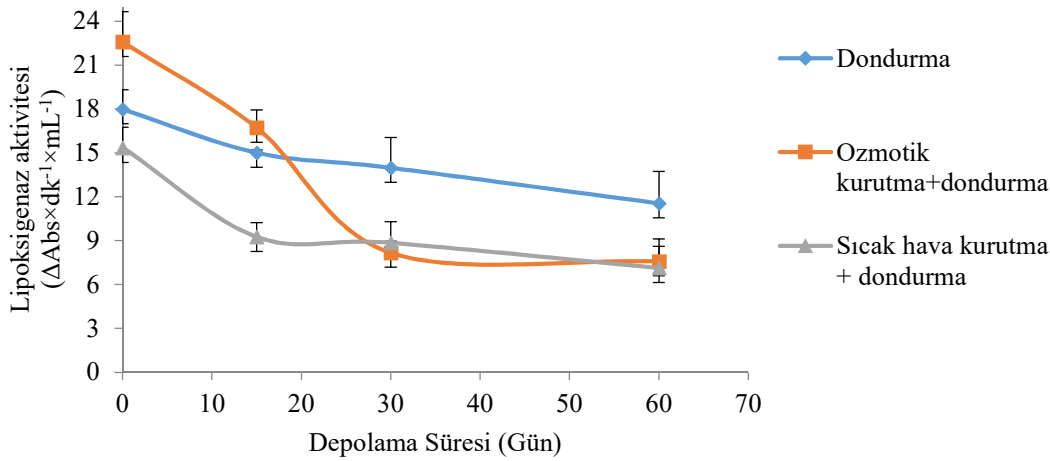
Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin depolama süresi boyunca

lipoksigenaz enzim aktivitesi değerleri Çizelge 4.27’de verilmiş, Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Bu değerlerin 7,14-22,59 ( $\Delta\text{Abs}\times\text{dk}^{-1}\times\text{mL}^{-1}$ ) arasında değiştiği görülmektedir. Depolama başlangıcında en düşük lipoksigenaz aktivitesi sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan örneklerde belirlenirken, en yüksek aktivite ise ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan örneklerde belirlenmiştir. Bütün uygulamalara ait biberlerde depolama ile birlikte lipoksigenaz aktivitesinde azalış görülmüştür. Ancak bu azalış özellikle kısmi kurutulduktan sonra dondurarak depolanan örneklerden daha belirgin olarak gözlenmiştir. Bu nedenle örneklerin kısmi kurutulduktan sonra dondurulmasının özellikle lipoksigenaz enzimi tarafından katalizlenen karotenoid kaybını azaltacağı değerlendirilmiştir. Bahçeci vd (2005) tarafından yapılan çalışmada da haşlanmış yeşil fasulye örneklerinin  $-18^{\circ}\text{C}$ ’de depolanması sırasında örneklerin lipoksigenaz aktivite değerlerinin depolamaya bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir.

Çizelge 4.27. Doğrudan ve kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin lipoksigenaz aktivitesi değerleri

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	17,98±1,33*	15,01±0,19	13,98±2,08	11,55±2,17
Ozmotik kurutma + dondurma	22,59±2,05	16,72±1,21	8,18±0,77	7,59±1,52
Sıcak hava kurutma + dondurma	15,35±1,41	9,27±0,97	8,86±1,44	7,14±1,46

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.



Şekil 4.11. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin depolamaya bağlı lipoksigenaz aktivitesi değerleri değişimi

Belirlenen lipoksigenaz enzim aktivitesi değerlerine ait varyans analiz sonuçları (Çizelge 4.28) incelendiğinde örneklerin lipoksigenaz enzim aktivitesi değerlerinin uygulamalara ( $P<0,01$ ) ve depolama süresine ( $P<0,05$ ) bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği görülmektedir.



Çizelge 4.28. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin lipoksigenaz aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	66,55	9,93**
Depolama Süresi (D)	3	161,13	24,04**
U x D	6	19,05	2,84*
Hata	22	6,70	

\*\* , P<0,01 ve \* , P<0,05 seviyesinde farklılığı ifade eder.

Deneysel faktörlere bağlı önemli bulunan farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine tabi tutulmuş, belirlenen sonuçlar Çizelge 4.29’da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrudan dondurulan kırmızıbiberler ile ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiberlerin lipoksigenaz aktivite değerleri arasında önemli bir fark olmadığı, sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan örneklerin lipoksigenaz aktivite değerlerinin ise diğer iki uygulamaya göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın sıcak hava ile kurutma sırasında uygulanan ısı işlem nedeniyle enzim inaktivasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.29. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin lipoksigenaz aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi Sonuçları

Uygulama	Dondurma	Ozmotik kurutma+dondurma		Sıcak hava kurutma+dondurma
	14,63 <sup>a</sup> ±0,99	14,95 <sup>a</sup> ±2,17		10,16 <sup>b</sup> ±1,10
Depolama Süresi	0	15	30	60
	18,64 <sup>a</sup> ±1,33	13,67 <sup>b</sup> ±1,21	10,61 <sup>c</sup> ±1,30	8,91 <sup>c</sup> ±1,19

Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

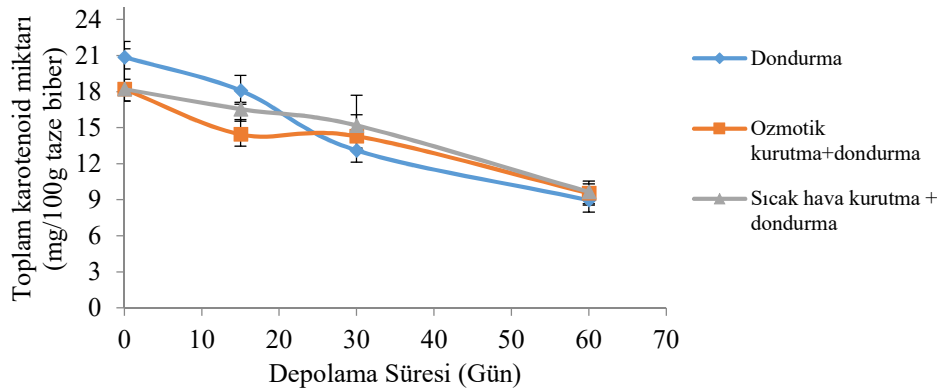
#### 4.2.9. Toplam karotenoid değişimi

Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberlerin depolama süresine bağlı toplam karotenoid miktarları Çizelge 4.30’da verilmiş, Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre kırmızıbiber dilimlerinin dondurma işlemleri sonrasındaki toplam karotenoid miktarı 18,22 ile 20,87 mg/100g taze biber arasında değişmiştir. Doğrudan dondurulan örneklerin toplam karotenoid miktarı depolama başlangıcında kurutularak dondurulan örneklerle göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum ozmotik kurutma işlemi sırasında çözeltiye pigment geçişi, sıcak hava kurutma sırasında ise uygulanan sıcaklık sebebiyle karotenoidlerin degrade olması ile açıklanabilir.

Çizelge 4.30. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarları

Uygulama	Depolama zamanı			
	0. Gün	15. Gün	30. Gün	60. Gün
Dondurma	20,87±1,30*	18,10±1,24	13,12±2,94	8,98±0,48
Ozmotik kurutma + dondurma	18,22±0,81	14,46±1,22	14,31±0,49	9,57±1,00
Sıcak hava kurutma + dondurma	18,22±3,35	16,55±0,40	15,20±2,49	9,67±0,66

\* Değerler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.



Şekil 4.12. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarı

Örneklerin toplam karotenoid miktarları uygulamalara bağlı olarak istatistiki açıdan benzer bulunmuştur. Ancak depolama süresine bağlı karotenoid miktarı değişimi istatistiksel olarak önemli ( $P<0,01$ ) bulunmuş, 60 günlük depolama süresinde doğrudan dondurulan örnekler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan örneklerde sırasıyla %57,97, %47,48 ve %46,93 karotenoid kaybı meydana gelmiştir (Şekil 4.12). En fazla karotenoid kaybının doğrudan dondurulan örneklerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Karotenoidlerin lipoksigenaz aktivitesi sonucu değişime uğradığı (Kanner vd 1977) bilinmekte olup, örneklerin karotenoid kaybındaki farklılığın lipoksigenaz aktivitesi ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim doğrudan dondurulan örneklerin depolama süresince lipoksigenaz aktivitesinin diğer örneklerinkine nazaran yüksek seyrettiği dikkati çekmektedir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.31. Doğrudan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarlarına ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon kaynakları	SD	KO	F
Uygulama (U)	2	2,65	0,48
Depolama Süresi (D)	3	100,85	18,08**
U x D	6	3,72	0,67
Hata	12	5,58	

\*\* $P<0,01$  seviyesinde farklılığı ifade eder.

Kırmızıbiberlerin uygulanan işlemlere ve depolamaya bağlı olarak değişen toplam karotenoid miktarının ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Doğrudan dondurulan ve kısmi kurutularak dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

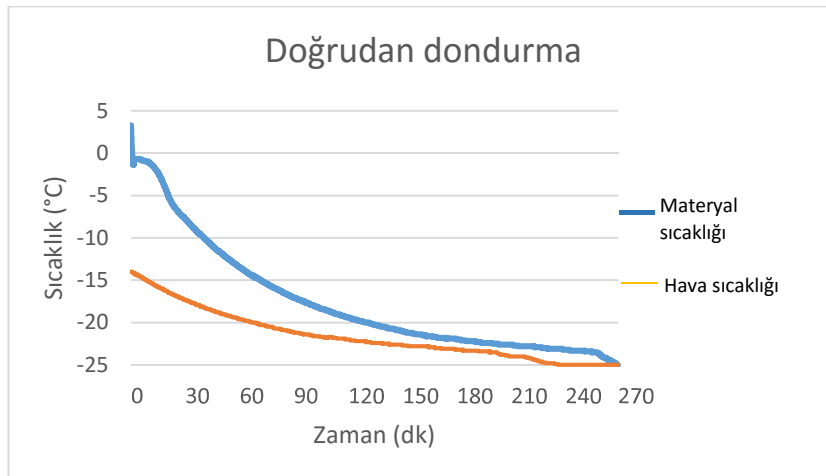
Depolama Süresi	0	15	30	60
	19,10 <sup>a</sup> ±1,10	16,37 <sup>ab</sup> ±0,81	14,21 <sup>b</sup> ±1,07	9,40 <sup>c</sup> ±0,36

Veriler mg/100 g olarak hesaplanmıştır.

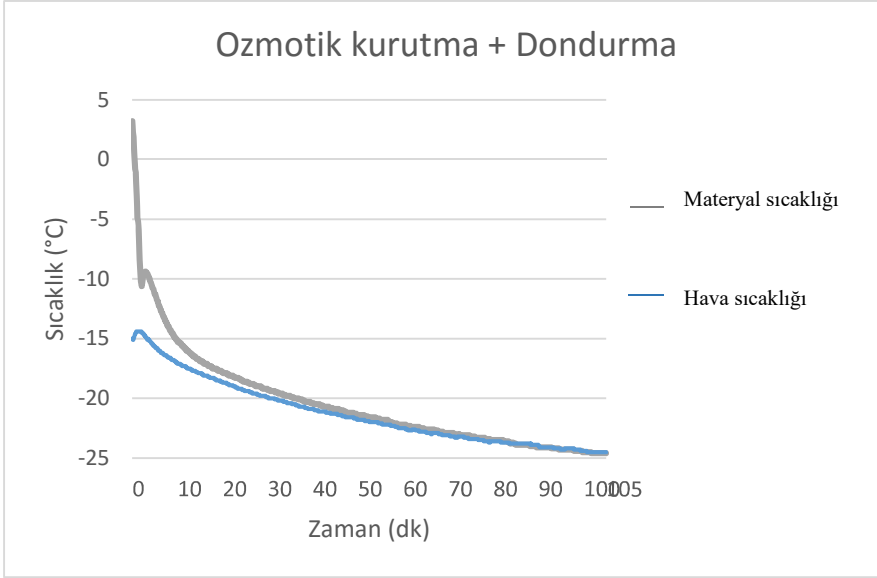
Aynı satırdaki farklı harfler ortalamaların P<0,05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

#### 4.2.10. Doğrudan dondurulan ile ön kurutma sonrası dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberlerin donma hızları

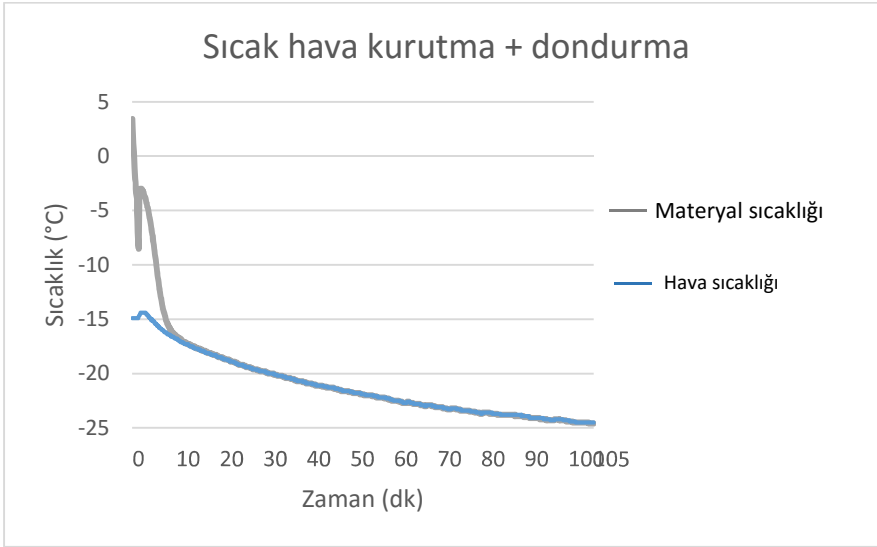
Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberlerin dondurma işlemi süresince sıcaklık değişimleri sırası ile Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 gösterilmiştir. Elde edilen donma grafiklerine göre doğrudan dondurulan biberlerin -25°C’ye ulaşma süresi yaklaşık 270 dk sürerken, kısmi ön kurutulduktan sonra dondurulan biberlerin -25°C’ye ulaşma süresi yaklaşık 105 dk sürmüştür. Bu farklılığın örneklerin nem içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Nitekim örneklerdeki nem içeriği arttıkça materyalden uzaklaştırılması gereken enerji artmakta dolayısıyla donma süresi uzamaktadır.



Şekil 4.13. Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberin dondurma işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.14. Ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberin dondurma işlemi süresince sıcaklık değişimi



Şekil 4.15. Sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberin dondurma işlemi süresince sıcaklık değişimi

#### 4.2.11. Enerji verimliliği

Biberlerin ozmotik kurutma ve sıcak hava ile kurutma sırasında harcanan enerji değerlerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar sırasıyla Çizelge 4.33 ve Çizelge 4.34'te verilmiştir. Çalışmada ozmotik kurutma işlemi oda sıcaklığında (25°C) gerçekleştirildiği için bu işlemin enerji tüketimi hesaplanmasında eşitlik içerisindeki  $Q_{OD}$  değeri sıfır kabul edilmiştir.

Çizelge 4.33. Sıcak hava ile kurutma sırasında harcanan enerjinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar

Eşitlik sabiti/değişkenleri	Değeri
A	1 (m <sup>2</sup> )
v	2 (m/sn)
ρ	1,059 (kg/m <sup>3</sup> )
c <sub>p</sub>	1,007 (kJ/kg.°C)
ΔT	15 (°C)
t	3600 (sn)
E	23034,52 (kJ/kg)

Bu veriler kullanılarak kırmızıbiber dilimlerinin kısmi kurutulması ( $\approx$  %70 nem içeriğine kadar) için birim hammadde başına harcanan enerji değerleri hesaplanmış, sıcak hava ile kurutmada harcanan enerji miktarı Çizelge 4.33'te, ozmotik kurutma için harcanan enerji miktarı ise Çizelge 4.35'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Ozmotik kurutma sırasında enerji tüketimim hesaplaması için kullanılan sabitler

Eşitlik değişkenleri	Değeri (kg)
m <sub>mo</sub>	0,45
m <sub>w</sub>	0,0108
m <sub>sm</sub>	0,0033
g <sub>m(OD)</sub>	0,12
g <sub>mk</sub>	0,27

Çizelge 4.35. Ozmotik kurutma işlem aşamalarında harcanan enerji miktarı

Aşamalar	Enerji (kJ/kg)
Qi	587,2
Ep	360,0
Q	947,2

Kısmi ön kurutma işlemlerinde harcanan enerji miktarları birbiriyle karşılaştırıldığında ozmotik kurutma için herhangi bir ısıtma gerekmediğinden, bu işlem için harcanan enerji miktarı (947,2 kJ/kg) diğerine (23.034,5 kJ/kg) nazaran oldukça düşük bulunmuştur.

Doğrudan dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberler ile ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurulan dilimlenmiş kırmızıbiberlerin dondurulması sırasında harcanan enerji Çizelge 4.36'da verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere sadece dondurma sırasında uzaklaştırılan enerjiler karşılaştırıldığında, doğrudan dondurma işleminde ürünün tamamen donması için uzaklaştırılması gereken enerji miktarının kısmi kurutma işlemini takiben uygulanan dondurma işleminde uzaklaştırılan enerjiye göre yaklaşık 3 kat fazla olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.36. Doğrudan dondurulan, ozmotik ve sıcak hava ile kısmi kurutulduktan sonra dondurma işlemleri sırasında harcanan enerji

Uygulama	Enerji (kJ/kg)
Sıcak hava kurutma sonrası dondurma	371,91
Ozmotik kurutma sonrası dondurma	368,90
Doğrudan dondurma	1164,49

Kurutma ve dondurma işlemleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde her ne kadar, ön kurutma işlemi dondurma sırasında enerji sarfiyatı açısından bir avantaj sağlasa da ürünlerin kısmi ön kurutulması için harcanan enerji dondurma sırasında tasarruf edilen enerjiden daha yüksek bulunmuştur.

## 5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada hazır yemek, restoran, otel ve fastfood zincirinde çeşitli et ve sebze yemeklerinin, sosların, pizzaların, salataların hazırlanmasında pratik olması nedeniyle kullanılan dilimlenmiş dondurulmuş kırmızıbiberlerin dondurma işlemi aşamasındaki enerji maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda dondurma işlemi öncesi kırmızıbiberler ozmotik ve sıcak hava ile kurutma yöntemleri kullanılarak kısmen kurutulmuş ve ardından dondurulmuştur. Elde edilen bu örnekler ile birlikte doğrudan dondurulan örnekler  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 60 gün süre ile depolanmış ve depolamanın farklı aşamalarında bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Tüm bu hedefler doğrultusunda yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

1. Çalışma kapsamında öncelikli olarak ozmotik kurutma koşulları optimize edilmiştir. Optimum ozmotik kurutma şartları  $25^{\circ}\text{C}$  sıcaklık, 15:1 çözelti/hammadde oranı ve 2,41 sorbitol/NaCl oranı olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda gerçekleştirilen ozmotik kurutma işlemi sonrasında %42 su kaybı ve %6,6 katı kazanımı gerçekleşmiştir.

2. Depolamanın başlangıcında ozmotik ve sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan örneklerin su aktivitesi değerlerinin doğrudan dondurulan örneklere kıyasla su kaybına bağlı olarak daha düşük olduğu görülmüştür. Ozmotik ve sıcak hava ile kurutma işlemlerinin her ikisinde de yaklaşık %70 nem içeriğine kadar kısmi kurutma işlemi gerçekleştirilmiş olmasına rağmen son üründe su aktiviteyi istatistiki olarak farklılık göstermiştir. Bu durumun ozmotik kurutma sırasında çözüldüğü üründen geçen katı maddeden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

3. Depolamanın başlangıcında sıcak hava ile kurutulduktan sonra dondurulan örneklerin hem doğrudan dondurulan hem de ozmotik kurutulduktan sonra dondurulan örneklere kıyasla kabuk delme kuvveti değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm örneklerde depolama süresince kabuk delme kuvveti değerleri azalmıştır.

4. Çalışma kapsamında uygulanan ön kurutma ve dondurma işlemlerinin örneklerin antiradikal (DPPH yöntemiyle) ve antioksidan (ORAC yöntemiyle)

aktiviteleri üzerine etkileri araştırılmış, doğrudan dondurulan örneklerin antiradikal ve antioksidan aktivitelerinin kısmi olarak kurutulduktan sonra dondurulan örneklere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5. Kısmi olarak kurutulan örneklerin askorbik asit miktarının doğrudan dondurulan örneklere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Biberlerin askorbik asit miktarının depolama süresine bağlı olarak ise özellikle 15. günden sonra önemli miktarda azaldığını tespit edilmiştir.

6. Dondurma ve kurutma işlemleri öncesi dilimlenmiş kırmızıbiberlere uygulanan haşlama işleminin etkinliği ve işlem sonrası enzim rejenerasyon durumu peroksidaz ve lipoksigenaz aktiviteleri belirlenerek test edilmiş, peroksidaz enzim inaktivasyonunun tamamen, lipoksigenaz enzim inaktivasyonunun ise kısmen sağlandığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar uygulanan haşlama süresinin peroksidaz enzim inaktivasyonu için yeterli olduğunu göstermektedir. Ayrıca kısmi kurutulduktan sonra dondurulan örneklerin depolama süresince lipoksigenaz enzim aktivitesinde doğrudan dondurulan örneklere göre daha belirgin bir azalma olduğu belirlenmiştir.

7. Doğrudan dondurulan kırmızıbiberlerin toplam karotenoid miktarı kurutulmuş dondurulan örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Depolama süresince örneklerin toplam karotenoid miktarı düzenli olarak azalmıştır. Depolamanın 60. gününde örneklerin ortalama karotenoid içeriği başlangıçtaki miktarına göre yaklaşık olarak %50 daha az belirlenmiştir.

8. Ozmotik kurutmada harcanan enerji miktarının sıcak hava kurutmada harcanan enerji miktarına göre çok daha az olduğu belirlenmiştir. Ön kurutma işlemi dondurma sırasında enerji sarfıyatı açısından 1/3 oranında avantaj sağlamıştır. Ürünlerin kısmi ön kurutulması için harcanan enerji hesaba katıldığında, dondurma sırasında tasarruf edilen enerjiden daha yüksek enerji sarf edildiği belirlenmiştir.

9. Uygulanan ön kurutma işlemleri karşılaştırıldığında enerji sarfıyatı açısından ozmotik kurutmanın, dilimlenmiş kırmızıbiberlerin fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri bakımından ise sıcak havada ön kurutmanın avantajlı olduğu görülmüştür. Araştırma sonuçları her ne kadar kırmızıbiber kalitesi bakımından ozmotik kurutmayı tercih edilebilir göstermese de enerji sarfıyatındaki üstünlüğü nedeniyle ozmotik kurutmada ürün kalitesine katkı sağlayacak seçici kütle transfer odaklı farklı yaklaşımları içeren yeni çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- ADE-OMOWAYE, B., RASTOGI, N., ANGERSBACH, A. and KNORR, D. 2003. Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper. *Journal of Food Engineering*, 60 (1): 89-98.
- ADE-OMOWAYE, B., RASTOGI, N., ANGERSBACH, A. and KNORR, D. 2002. Osmotic dehydration behavior of red paprika (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science*, 67 (5): 1790-1796.
- ADE-OMOWAYE, B., RASTOGI, N., ANGERSBACH, A. and KNORR, D. 2002. Osmotic dehydration behavior of red paprika (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science*, 67 (5): 1790-1796.
- ALIZADEH, E., CHAPLEAU, N., DE-LAMBALLERIE, M. and LE-BAIL, A. 2009. Impact of freezing process on salt diffusivity of seafood: application to salmon (*salmo salar*) using conventional and pressure shift freezing. *Food and Bioprocess Technology*, 2 (3): 257-262.
- ALVAREZ, M.D., FERNÁNDEZ, C. and CANET, W. 2010. Oscillatory rheological properties of fresh and frozen/thawed mashed potatoes as modified by different cryoprotectants. *Food and Bioprocess Technology*, 3 (1): 55-70.
- AMMAR, J.B., LANOISELLÉ, J.-L., LÉBOVKA, N.I., VAN HECKE, E. and VOROBIEV, E. 2010. Effect of a pulsed electric field and osmotic treatment on freezing of potato tissue. *Food Biophysics*, 5 (3): 247-254.
- ANDO, H., KAJIWARA, K., OSHITA, S. and SUZUKI, T. 2012. The effect of osmotic dehydrofreezing on the role of the cell membrane in carrot texture softening after freeze-thawing. *Journal of Food Engineering*, 108 (3): 473-479.
- ANONIM 2009. Dondurulmuş Meyve ve Sebze Üretimi.
- ANONIM 2012. <http://faostat.fao.org>. (Son erişim tarihi: 2016)
- ANONIM 2015. <http://plants.usda.gov>. (Son erişim tarihi: 2015)
- ANONIM 2016a. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3438?manu=&fgcd>. (Son erişim tarihi: 2016)
- ANONIM 2016b. <http://www.tamtaze.com.tr/dondurulmus-urun-tarihcesi.html>. (Son erişim tarihi: 2016)
- ARSLAN, D. and ÖZCAN, M. 2011. Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioprocess Technology*, 89 (4): 504-513.



- AYBAK, H. 2007. Biber yetiştiriciliği. Hasad Yayıncılık. ISSN, 978-975.
- BAHÇECİ, K.S., SERPEN, A., GÖKMEN, V. and ACAR, J. 2005. Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66 (2): 187-192.
- BAKKER, J. and VAN UFFELEN, J. 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of glasshouse sweet pepper. *Netherlands Journal of Agricultural Science*.
- BARBER, M., JACKMAN, L., WARREN, C. and WEEDON, B., 1960. The structures of the paprika ketones. Royal Soc Chemistry Thomas Graham House, Science Park, Milton Rd, Cambridge Cb4 0wf, Cambs, England, 19-20.
- BISWAL, R. and BOZORGMEHR, K. 1989. Intermediate moisture frozen vegetables through osmotic dehydration. Proc. Int. Conf. Technological Innovations in Freezing and Refrigeration of Fruit and Vegetables, 9-12 ss,
- BISWAL, R., BOZORGMEHR, K., TOMPKINS, F. and LIU, X. 1991. Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science*, 56 (4): 1008-1012.
- BOLIN, H. and HUXSOLL, C. 1993. Partial drying of cut pears to improve freeze/thaw texture. *Journal of Food Science*, 58 (2): 357-360.
- BOLIN, H., HUXSOLL, C., JACKSON, R. and NG, K. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48 (1): 202-205.
- BOSLAND, P.W. 1992. Chiles: a diverse crop. HortTechnology, 2 (1): 6-10.
- BOTELLA-PAVÍA, P. and RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, M. 2006. Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. *Physiologia Plantarum*, 126 (3): 369-381.
- BRACONNOT, H. 1817. Examen chimique du Piment, de son principe âcre, et de celui des plantes de la famille des renonculacées (Chemical investigation of the chili pepper, of its pungent principle [constituent, component], and of that of plants of the family Ranunculus). *Annales de Chimie et de Physique*, 122-131 ss,
- BRILEY, G.C. 2002. Moisture loss during freezing. ASHRAE journal, 44 (11): 68.
- BUNGER, A., MOYANO, P., VEGA, R., GUERRERO, P. and OSORIO, F. 2004. Osmotic dehydration and freezing as combined processes on apple preservation. *Food Science and Technology International*, 10 (3): 163-170.
- CEMEROĞLU, B. 2013. Gıda analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 682 s.

- CEMEROĞLU, B.S. 2009. Meyve ve sebze işleme teknolojisi 2. Cilt. Nobel Akademik Yayıncılık, 636 s.
- CHANDRA, S. and KUMARI, D. 2015. Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55 (4): 552-561.
- CHAUDHARI, A., KUMBHAR, B., SINGH, B. and NARAIN, M. 1993. Osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Indian Food Industry*, 12 20-20.
- CHAVAN, U. and AMAROWICZ, R. 2012. Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *Journal of Food Research*, 1 (2): p202.
- CHENLO, F., CHAGURI, L., SANTOS, F. and MOREIRA, R. 2006. Osmotic dehydration/impregnation kinetics of padrón pepper (*Capsicum annuum* L. Longum) with sodium chloride solutions: process modelling and colour analysis. *Food Science and Technology International*, 12 (3): 221-227.
- CHIRALT, A., MARTINEZ-NAVARRETE, N., MARTINEZ-MONZÓ, J., TALENS, P., MORAGA, G., AYALA, A. and FITO, P. 2001. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: Cryoprotectant effect. *Journal of food Engineering*, 49 (2): 129-135.
- CHOLNOKY, L.V., GYÖRGYFY, K., NAGY, E. and PÁNCZÉL, M. 1955. Investigations of carotenoid pigments. I. Pigments of red paprika. *Acta Chimica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 6 143-147.
- CHOTTANOM, P. and SRISA-ARD, M. 2011. Osmotic dehydration as a factor in freezing of tomato. *Am. Journal of Food Technology*, 6 483-491.
- CHUAH, A.M., LEE, Y.-C., YAMAGUCHI, T., TAKAMURA, H., YIN, L.-J. and MATOBA, T. 2008. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, 111 (1): 20-28.
- CONTRERAS, J. and SMYRL, T. 1981. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14 (4): 310-314.
- CONWAY, J., CASTAIGNE, F., PICARD, G. and VOVAN, X. 1983. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16 (1): 25-29.
- CRIVELLI, G., TORREGIANI, D., BERTOLO, G., FORNI, E. and MAESTRELLI, A. 1987. Research on dehydrofreezing of fruit. Part 1: Utilization for the preparation of fruit salad. *Annales Istituto Sperimentale Valorizzazione Tecnologica dei Prodotti Agricoli*, 18 63-67.

- CURL, A.L. 1962. Reticulataxanthin and tangeraxanthin, two carbonyl carotenoids from tangerine peel. *Journal of Food Science*, 27 (6): 537-543.
- ÇINAR, İ. 2009. Ozmotik Dehidrasyon, Mekanizması ve Uygulamaları. *Gıda Dergisi*, 34 (5): 325-329.
- DE ANCOS, B., SÁNCHEZ-MORENO, C., DE PASCUAL-TERESA, S. and CANO, M. 2006. Fruit freezing principles. Handbook of fruits and fruit processing, 59.
- DEL VALLE, J., CUADROS, T. and AGUILERA, J. 1998. Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. *Food Research International*, 31 (3): 191-204.
- DELGADO-VARGAS, F. and PAREDES-LÓPEZ, O. 2002. Natural colorants for food and nutraceutical uses. CRC Press, 344 s.
- DELGADO, A. and SUN, D.-W. 2001. Heat and mass transfer models for predicting freezing processes—a review. *Journal of Food Engineering*, 47 (3): 157-174.
- DERMESONLOUOGLU, E., GIANNAKOUROU, M. and TAOUKIS, P. 2007a. Kinetic modelling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. *Food Chemistry*, 103 (3): 985-993.
- DERMESONLOUOGLU, E., GIANNAKOUROU, M. and TAOUKIS, P. 2007b. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *Journal of Food Engineering*, 78 (1): 272-280.
- DERMESONLOUOGLU, E.K., POURGOURI, S. and TAOUKIS, P.S. 2008. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9 (4): 542-549.
- DEROSSI, A., DE PILLI, T., SEVERINI, C. and MCCARTHY, M. 2008. Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86 (4): 519-528.
- DEWITT, D. and GERLACH, N. 1990. Whole chile pepper book. 373 s.
- DIXON, G. and JEN, J. 1977. Changes of sugars and acids of osmovac-dried apple slices. *Journal of Food Science*, 42 (4): 1126-1127.
- DOĞAR, N. 1999. Kahramanmaraş yöresinde yetiştirilen kurutmalık kırmızıbiber tiplerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 76 s.
- DURANCE, T., 2013. EnWave signs commercial royalty-bearing license with Bonduelle. EnWave Corporation.

- ENA, A., PINTUCCI, C. and CARLOZZI, P. 2012. The recovery of polyphenols from olive mill waste using two adsorbing vegetable matrices. *Journal of Biotechnology*, 157 (4): 573-577.
- EROĞLU, E. and YILDIZ, H. 2011. Gıdaların ozmotik kurutulmasında uygulanan yeni tekniklerin enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi. *Electronic Journal of Food Technologies*, 6 (2): 41-48.
- EVGIN, T. 2012. Ozmotik işleme kısmi kurutulmuş kavun dilimlerinin dondurdurulmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi, enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Ege Üniversitesi, İzmir 270 s.
- FENNEMA, O.R., POWRIE, W.D. and MARTH, E.H. 1973. Low temperature preservation of foods and living matter. Marcel Dekker, Inc. s.
- FERNÁNDEZ-LEÓN, M., FERNÁNDEZ-LEÓN, A., LOZANO, M., AYUSO, M. and GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. 2013. Altered commercial controlled atmosphere storage conditions for 'Parhenon'broccoli plants (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Influence on the outer quality parameters and on the health-promoting compounds. *LWT-Food Science and Technology*, 50 (2): 665-672.
- FITO, P., CHIRALT, A., BETORET, N., GRAS, M., CHÁFER, M., MARTINEZ-MONZÓ, J., ANDRÉS, A. and VIDAL, D. 2001. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49 (2): 175-183.
- FLINK, J. 1980. Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behavior and product quality. *Food Process Engineering*, 1, 412-418.
- FORNI, E., SORMANI, A., SCALISE, S. and TORREGGIANI, D. 1997. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International*, 30 (2): 87-94.
- FORNI, E., TORREGGIANI, D., CRIVELLI, G., MAESTRELLI, A., BERTOLO, G. and SANTELLI, F. 1987. Influence of osmosis time on the quality of dehydrofrozen kiwi fruit. I International Symposium on Kiwifruit 282, 425-434 ss,
- GARCIA-MARTINEZ, E., MARTÍNEZ-MONZÓ, J., CAMACHO, M. and MARTINEZ-NAVARRETE, N. 2002. Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. *Food research international*, 35 (2): 307-313.
- GIANGIACOMO, R., TORREGGIANI, D. and ABBO, E. 1987. Osmotic dehydration of fruit: part 1. sugars exchange between fruit and extracting syrups. *Journal of Food Processing and Preservation*, 11 (3): 183-195.

- GIANNAKOUROU, M. and TAOUKIS, P. 2003. Stability of dehydrofrozen green peas pretreated with nonconventional osmotic agents. *Journal of Food Science*, 68 (6): 2002-2010.
- HAWKES, J. and FLINK, J.M. 1978. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2 (4): 265-284.
- HAYASHI, H. 1989. Drying technologies of foods-their history and future. *Drying Technology*, 7 (2): 315-369.
- HOWARD, L., SMITH, R., WAGNER, A., VILLALON, B. and BURNS, E. 1994. Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum*) and processed jalapenos. *Journal of Food Science*, 59 (2): 362-365.
- HOWARD, L.B., RAMAGE, W. D., RASMUSSEN, C. L., 1949. Process for preserving foods. Google Patents, US2477605 A.
- HUSSAIN, I., IQBAL, M., SHAKIR, I., AYUB, N. and RAWALAKOT, A.J. 2004. Effect of sucrose and glucose mixture on the quality characteristics of osmotically dehydrated banana slices. *Pakistan Journal of Nutrition*, 3 (5): 282-284.
- HUXSOLL, C. 1982. Reducing the refrigeration load by partial concentration of foods prior to freezing. *Food Technology*.
- IKAN, R. 2013. Natural products: a laboratory guide. Elsevier s.
- ISLAM, M. and FLINK, J. 1982. Dehydration of potato. *International Journal of Food Science and Technology*, 17 (3): 387-403.
- JACKSON, T. and MOHAMED, B. 1971. The shambat process: new development arising from the osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Sudan Journal of Food Science and Technology*, 3 18-22.
- JAMES, C., PURNELL, G. and JAMES, S.J. 2014. A critical review of dehydrofreezing of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 7 (5): 1219-1234.
- JARÉN-GALÁN, M. and MÍNGUEZ-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.
- JUL, M., 1984. The quality of frozen foods. Academic Press, New York, 292 p.
- KAYMAK-ERTEKIN, F. 2002. Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science*, 67 (1): 168-175.

- KIANI, H. and SUN, D.-W. 2011. Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 22 (8): 407-426.
- LE MAGUER, M. 1988. Osmotic dehydration: review and future directions. Proc. Int. Symp. Progress Food Preser. Process, 126 ss.
- LE MAGUER, M. and YAO, Z. 1995. Mass transfer during osmotic dehydration at the cellular level. Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications, 325-350.
- LEMUS-MONDACA, R., MİRANDA, M., GRAU, A.A., BRIONES, V., VILLALOBOS, R. and VEGA-GÁLVEZ, A. 2009. Effect of osmotic pretreatment on hot air drying kinetics and quality of Chilean papaya (*Carica pubescens*). *Drying Technology*, 27 (10): 1105-1115.
- LENART, A. and FLINK, J. 1984. Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal of Food Technology*, 19 (1): 65-89.
- LENART, A. and LEWICKI, P. 1987. Kinetics of osmotic dehydration of the plant tissue. In Drying '87, ed. A. S. Mujumdar. Hemisphere Publ. Corp., New York, USA, 239-48 pp.
- LERICI, C., PINNAVAIA, G., ROSA, M.D. and BARTOLUCCI, L. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, 50 (5): 1217-1219.
- LI, B. and SUN, D. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods—a review. *Journal Of Food Engineering*, 54 (3): 175-182.
- LI, B., SMITH, B. and HOSSAIN, M.M. 2006. Extraction of phenolics from citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and Purification Technology*, 48 (2): 189-196
- LI, L. and VAN ECK, J. 2007. Metabolic engineering of carotenoid accumulation by creating a metabolic sink. *Transgenic Research*, 16 (5): 581-585.
- LIM, M., WU, H., BRECKELL, M. and BIRCH, J. 2006. Influence of the glass transition and storage temperature of frozen peas on the loss of quality attributes. *International Journal of Food Science and Technology*, 41 (5): 507-512.
- LOWITHUN, N. and CHAROENREIN, S. 2009. Influence of osmodehydrofreezing with different sugars on the quality of frozen rambutan. *International Journal of Food Science and Technology*, 44 (11): 2183-2188.
- MAESTRELLI, A., SCALZO, R.L., LUPI, D., BERTOLO, G. and TORREGGIANI, D. 2001. Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as

- quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv *reticulatus* Naud.). *Journal of Food Engineering*, 49 (2): 255-260.
- MAFTOONAZAD, N. 2010. Use of osmotic dehydration to improve fruits and vegetables quality during processing. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, 2 (3): 233-242.
- MAOKA, T., MOCHIDA, K., KOZUKA, M., ITO, Y., FUJIWARA, Y., HASHIMOTO, K., ENJO, F., OGATA, M., NOBUKUNI, Y. and TOKUDA, H. 2001. Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annuum* L. *Cancer letters*, 172 (2): 103-109.
- MARANI, C., AGNELLI, M. and MASCHERONI, R. 2007. Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 79 (4): 1122-1130.
- MARÍN, A., FERRERES, F., TOMÁS-BARBERÁN, F.A. and GIL, M.I. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (12): 3861-3869.
- MARTÍNEZ, S., LÓPEZ, M., GONZÁLEZ-RAURICH, M. and BERNARDO ALVAREZ, A. 2005. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Sciences And Nutrition*, 56 (1): 45-51.
- MARTINO, M.N., OTERO, L., SANZ, P. and ZARITZKY, N. 1998. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. *Meat Science*, 50 (3): 303-313.
- MAVROUDIS, N.E., GEKAS, V. and SJÖHOLM, I. 1998. Osmotic dehydration of apples—effects of agitation and raw material characteristics. *Journal of Food Engineering*, 35 (2): 191-209.
- MCGRATH, E.J. and KERR, H.W. 1963. Dehydrofrozen apple slices: their potential in selected markets. Washington, 20 p.
- MCLEOD, M.J., GUTTMAN, S.I., ESHBAUGH, W.H. and RAYLE, R.E. 1983. An electrophoretic study of evolution in *Capsicum* (*Solanaceae*). *Evolution*, 562-574.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M.I. and HORNERO-MENDEZ, D. 1993. Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annuum* L.), paprika, and oleoresin by reversed-phase HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41 (10): 1616-1620.
- MORAGA, G., MARTINEZ-NAVARRETE, N. and CHIRALT, A. 2006. Compositional changes of strawberry due to dehydration, cold storage and

- freezing–thawing processes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30 (4): 458-474.
- MORAIS, H., RODRIGUES, P., RAMOS, C., ALMEIDA, V., FORGÁCS, E., CSERHÁTI, T. and OLIVEIRA, J. 2002. Note. Effect of Blanching and Frozen Storage on the Stability of  $\beta$ -Carotene and Capsanthin in Red Pepper (*Capsicum annuum*) Fruit. *Food Science and Technology International*, 8 (1): 55-59.
- MOYANO, P., VEGA, R., BUNGER, A., GARRETÓN, J. and OSORIO, F. 2002. Effect of combined processes of osmotic dehydration and freezing on papaya preservation. *Food Science and Technology International*, 8 (5): 295-301.
- NISHINO, H. 1998. Cancer prevention by carotenoids. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 402 (1): 159-163.
- OHNISHI, S. and MIYAWAKI, O. 2005. Osmotic dehydrofreezing for protection of rheological properties of agricultural products from freezing-injury. *Food Science and Technology Research*, 11 (1): 52-58.
- ORUNA-CONCHA, M., GONZALEZ-CASTRO, M., LOPEZ-HERNANDEZ, J. and SIMAL-LOZANO, J. 1998. Monitoring of the vitamin C content of frozen green beans and Padrón peppers by HPLC. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76 (3): 477-480.
- OSUNA-GARCIA, J.A., WALL, M.M. and WADDELL, C.A. 1997. Natural antioxidants for preventing color loss in stored paprika. *Journal of Food Science*, 62 (5): 1017-1021.
- OZAN, S. 2009. Bazı sebzelerin dondurularak muhafazasından önce uygulanan haşlama işleminin kalite özellikleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale. 63 s.
- OZDEMIR, M., OZEN, B.F., DOCK, L.L. and FLOROS, J.D. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 41 (10): 2044-2050.
- OZEN, B.F., DOCK, L.L., OZDEMIR, M. and FLOROS, J.D. 2002. Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *International Journal of Food Science & Technology*, 37 (5): 497-502.
- PANADES, G., CASTRO, D., CHIRALT, A., FITO, P., NUÑEZ, M. and JIMENEZ, R. 2008. Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava. *Journal of Food Engineering*, 87 (3): 386-390.
- PARTMANN, W. 1975. effects of freezing and thawing on food quality. Proceedings of an International Symposium on Water Relations of Foods, ss,



- PÉREZ-GÁLVEZ, A., JARÉN-GALÁN, M. and MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. 2000. Effect of high-temperature degradative processes on ketocarotenoids present in paprika oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (7): 2966-2971.
- PHAM, Q.T. 2008. Advances in food freezing/thawing/freeze concentration modelling and techniques. *Japan Journal of Food Engineering*, 9 (1): 21-32.
- PICKERSGILL, B. 1984. Migrations of chili peppers, *Capsicum* spp., in the Americas. Pre-Columbian Plant Migration. *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology*, 76: 105-123.
- PIGA, A., PINNA, I., ÖZER, K.B., AGABBIO, M. and AKSOY, U. 2004. Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): drying kinetics and quality loss. *International journal of food science & technology*, 39 (7): 793-799.
- POKHARKAR, S. and PRASAD, S. 1998. Mass transfer during osmotic dehydration of banana slices. *Journal of Food Science and Technology*, 35 (4): 336-338.
- PONTING, J. 1973. Osmotic dehydration of fruits: Recent modifications and applications. *Process Biochemistry*, 8 (12): 18-20.
- PONTING, J., WATTERS, G., FORREY, R., JACKSON, R. and STANLEY, W. 1966. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20 (10): 125-128.
- RAHMAN, S. and LAMB, J. 1991. Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14 (3): 163-171.
- RAJI ABDUL GANIY, O., FALADE KOLAWOLE, O. and ABIMBOLU FADEKE, W. 2010. Effect of sucrose and binary solution on osmotic dehydration of bell pepper (chilli)(*Capsicum* spp.) varieties. *Journal of Food Science and Technology*, 47 (3): 305-309.
- RAMALLO, L. and MASCHERONI, R. 2010. Dehydrofreezing of pineapple. *Journal of food Engineering*, 99 (3): 269-275.
- RAMASWAMY, H. 2007. Osmotic drying: Principles, techniques and modeling. Proc 5th Asia-Pasific Drying Conference, 49-51 ss,
- RAOULT, A., LAFONT, F., RIOS, G. and GUILBERT, S. 1989. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties. *Drying*, 89: 487-495.
- RASTOGI, N., ANGERSBACH, A. and KNORR, D. 2000. Synergistic effect of high hydrostatic pressure pretreatment and osmotic stress on mass transfer during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 45 (1): 25-31.

- RINCON, A. and KERR, W.L. 2010. Influence of osmotic dehydration, ripeness and frozen storage on physicochemical properties of mango. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34 (5): 887-903.
- RIVA, M. and MASI, P. 1990. Osmo-dehydration of grapes. *In Engineering and Food Preservation Processes and Related Techniques*, 2: 711 – 722.
- RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, M., FORÉS, O., MARTÍNEZ-GARCÍA, J.F., GONZÁLEZ, V., PHILLIPS, M.A., FERRER, A. and BORONAT, A. 2004. Distinct light-mediated pathways regulate the biosynthesis and exchange of isoprenoid precursors during Arabidopsis seedling development. *The Plant Cell*, 16 (1): 144-156.
- SALISBURY, F. and ROSS, C. 1985. Stress physiology. *Plant Physiology*. 3d ed, Wadsworth Publishing Company, Belmont.
- SAUREL, R., RAOULT-WACK, A.L., RIOS, G. and GUILBERT, S. 1994. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*, 29 (5): 531-542.
- SHI, J. and LE MAGUER, M. 2003. Mass transfer in cellular material at solid–liquid contacting interface. *LWT-Food Science and Technology*, 36 (1): 3-11.
- SHI, J.X., LE MAGUER, M., WANG, S.L. and LIPTAY, A. 1997. Application of osmotic treatment in tomato processing-Effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. *Food Research International*, 30 (9): 669-674.
- SHIZUKA, J., OGAWA, Y. and TAGAWA, A. 2008. Effects of freezing and thawing on the physical and electrical properties of dehydrated radish. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology* (Japan).
- SNODDERLY, D.M. 1995. Evidence for protection against age-related macular degeneration by carotenoids and antioxidant vitamins. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 62 (6): 1448S-1461S.
- SORMANI, A., MAFFI, D., BERTOLO, G. and TORREGGIANI, D. 1999. Textural and structural changes of dehydrofreeze-thawed strawberry slices: effects of different dehydration pretreatments/Cambios texturales y estructurales de rodajas de fresa deshidratadas y descongeladas: efectos de diferentes pretratamientos de deshidratación. *Food Science and Technology International*, 5 (6): 479-485.
- SOUZA, J.S., MEDEIROS, M.F., MAGALHÃES, M.M., RODRIGUES, S. and FERNANDES, F.A. 2007. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*, 83 (4): 501-509.

- SPIAZZI, E., RAGGIO, Z., BIGNONE, K. and MASCHERONI, R. 2000. Experiments in dehydrofreezing of fruits and vegetables: mass transfer and quality factors. *Advances in the refrigeration systems, food technologies and cold chain*, Sofia, Bulgaria, 23-26 September, 401-408 ss.
- SPORN, M.B. and LIBY, K.T. 2013. Is lycopene an effective agent for preventing prostate cancer? *Cancer Prevention Research*, 6 (5): 384-386.
- SUNJKA, P. and RAGHAVAN, G. 2004. Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries. *Canadian Biosystems Engineering*, 46 (1): 45-48.
- ŞENİZ, V. 1992. Domates, biber ve patlıcan yetiştiriciliği. Tarımsal Araştırmaları Destekleme ve Geliştirme Vakfı (TAV) Yayınları, (26).
- TALENS, P., ESCRICHE, I., MARTINEZ-NAVARRETE, N. and CHIRALT, A. 2002a. Study of the influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of strawberries. *Journal of Food Science*, 67 (5): 1648-1653.
- TALENS, P., MARTINEZ-NAVARRETE, N., FITO, P. and CHIRALT, A. 2002b. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3 (2): 191-199.
- TOCCI, A.M. and MASCHERONI, R.H. 2008. Some thermal properties of fresh and osmotically dehydrated Kiwifruit above and below the initial freezing temperature. *Journal of Food Engineering*, 88 (1): 20-27.
- TOMAS, M. and ANON, M. 1990. Study on the influence of freezing rate on lipid oxidation in fish (salmon) and chicken breast muscles. *International Journal of Food Science & Technology*, 25 (6): 718-721.
- TOMASICCHIO, M., ANDREOTTI, R. and GIORGI, A. 1986. Osmotic dehydration of fruits. II. Pineapples, strawberries and plums. *Industria Conserve*, 61 (2): 108-114.
- TOPUZ, A. 2002. Farklı gamma ışınlama dozlarının ve depolamanın kırmızı pul biberin (*Capsicum annuum* L.) bazı kimyasal, mikrobiyolojik ve duyusal kalitesi üzerine etkileri. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 149 s.
- TOPUZ, A. 2008. A novel approach for color degradation kinetics of paprika as a function of water activity. *LWT-Food Science and Technology*, 41 (9): 1672-1677.
- TORREGGIANI, D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26 (1): 59-68.
- TORREGGIANI, D. and BERTOLO, G. 2004. Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration: From unit operation to innovative

- combined process: An overview. *Advances in Food and Nutrition Research*, 48 173-238.
- TORREGGIANI, D., FORNI, E., ERBA, M.L. and LONGONI, F. 1995. Functional properties of pepper osmodehydrated in hydrolyzed cheese whey permeate with or without sorbitol. *Food Research International*, 28 (2): 161-166.
- TORREGGIANI, D., FORNI, E., GUERCILENA, I., MAESTRELLI, A., BERTOLO, G., ARCHER, G., KENNEDY, C., BONE, S., BLOND, G. and CONTRERAS-LOPEZ, E. 1999. Modification of glass transition temperature through carbohydrates additions: effect upon colour and anthocyanin pigment stability in frozen strawberry juices. *Food Research International*, 32 (6): 441-446.
- TREGUNNO, N. and GOFF, H. 1996. Osmodehydrofreezing of apples: structural and textural effects. *Food Research International*, 29 (5): 471-479.
- TRESSLER, D.K. and EVERS, C.F. 1957. The freezing preservation of foods. Vol. I. Freezing of fresh foods. The freezing preservation of foods. Vol. I. Freezing of fresh foods.
- US, F. 2006. Ozmotik Kurutma. Türkiye 9. Gıda Kongresi, Hacettepe Üniversitesi, 24-26 Mayıs, Ankara.
- UYLAŞER, V. 2000. Karotenoidler ve bazı özellikleri. *Dünya Gıda*, 5 (12): 79-84.
- VEGA-GÁLVEZ, A., DI SCALA, K., RODRÍGUEZ, K., LEMUS-MONDACA, R., MIRANDA, M., LÓPEZ, J. and PEREZ-WON, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117 (4): 647-653.
- VEGA-GÁLVEZ, A., LEMUS-MONDACA, R., BILBAO-SÁINZ, C., FITO, P. and ANDRÉS, A. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, 85 (1): 42-50.
- VEPRIK, A., KHANIN, M., LINNEWIEL-HERMONI, K., DANILENKO, M., LEVY, J. and SHARONI, Y. 2012. Polyphenols, isothiocyanates, and carotenoid derivatives enhance estrogenic activity in bone cells but inhibit it in breast cancer cells. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 303 (7): E815-E824.
- VIAL, C., GUÏLBERT, S. and CUQ, J. 1991. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. *Sciences des aliments*, 11 (1): 63-84.
- WACK, A.R. and COLLIGNAN, A. 1994. Dewatering through Immersion in Sugar/Salt Concentrated Solutions ("Osmotic Dehydration") an Interesting

Alternative for Seafood Stabilisation. *Developments in Food Engineering*. Springer, 400-402 s.

- WELTI, J., PALOU, E., LOPEZ-MALO, A. and BALSEIRA, A. 1995. Osmotic concentration–drying of mango slices. *Drying Technology*, 13 (1-2): 405-416.
- WU, L., ORIKASA, T., TOKUYASU, K., SHIINA, T. and TAGAWA, A. 2009. Applicability of vacuum-dehydrofreezing technique for the long-term preservation of fresh-cut eggplant: effects of process conditions on the quality attributes of the samples. *Journal of Food Engineering*, 91 (4): 560-565.
- XIE, J. and ZHAO, Y. 2004. Use of vacuum impregnation to develop high quality and nutritionally fortified frozen strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28 (2): 117-132.
- XIN, Y., ZHANG, M. and ADHIKARI, B. 2014. Freezing characteristics and storage stability of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. botrytis L.) under osmodehydrofreezing and ultrasound-assisted osmodehydrofreezing treatments. *Food and Bioprocess Technology*, 7 (6): 1736-1744.
- ZHANG, D. and HAMAUZU, Y. 2003. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. *Journal of Food Agriculture Environment*, 1 (2): 22-27.
- ŽILIC, S., SERPEN, A., AKILLIOĞLU, G., JANKOVIĆ, M. and GÖKMEN, V. 2012. Distributions of phenolic compounds, yellow pigments and oxidative enzymes in wheat grains and their relation to antioxidant capacity of bran and debranned flour. *Journal of Cereal Science*, 56 (3): 652-658.

## ÖZGEÇMİŞ



Handan BAŞÜNAL 1990 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Vefa Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlayan Handan BAŞÜNAL halen aynı kurumda eğitimini sürdürmektedir.