

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



OZMO-DEHİDRE ARMUT DİLİMLERİNİN
KONVEKSİYONEL VE MİKRODALGA KURUTULMASINDA
OPTİMUM KOŞULLARIN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

MUHAMMED YILMAZ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Hande Selen Erge

BOLU, TEMMUZ - 2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Muhammed YILMAZ tarafından hazırlanan “**OZMO-DEHİDRE ARMUT DİLİMLERİNİN KONVEKSİYONEL VE MİKRODALGA KURUTULMASINDA OPTİMUM KOŞULLARIN BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir. 25/07/2022

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Hande Selen ERGE
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Hayri COŞKUN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Erkan YALÇIN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Oktay YEMİŞ
Sakarya Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin 28/06/2022 tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %8 olarak tespit edilmiştir.

.....

MUHAMMED YILMAZ

ÖZET

**OZMO-DEHİDRE ARMUT DİLİMLERİNİN
KONVEKSİYONEL VE MİKRODALGA KURUTULMASINDA
OPTİMUM KOŞULLARIN BELİRLENMESİ
DOKTORA TEZİ
MUHAMMED YILMAZ
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HANDE SELEN ERGE)**

**BOLU, TEMMUZ - 2022
(XVII + 142)**

Bu çalışmanın amacı, ön işlem olarak ozmotik dehidrasyonun, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan Deveci armutlarının fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerine etkisinin araştırılmasıdır. Ozmotik dehidrasyon için bağımsız değişkenler çözelti sıcaklığı (40-70°C), çözelti konsantrasyonu (40-70°Bx) ve dehidrasyon süresidir (3-9 saat). Analiz sonuçları, optimum dehidrasyon koşullarını yanıt yüzey metodu ile belirlemek için değerlendirilmiştir. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde optimal dehidrasyon koşulları sırasıyla, çözelti sıcaklığı 57°C ve 70°C; konsantrasyonu 70°Bx ve dehidrasyon süresi 9 ve 5.4 saat olarak bulunmuştur. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan kurutulan armut dilimleri ise kontrol örneği olarak belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon süresince armut dilimlerinin kuru madde, su ve ağırlık kaybı ile katı madde kazanım oranları dehidrasyon koşullarına bağlı olarak artmıştır. Ayrıca, ozmotik dehidrasyon uygulanmış örneklerin renk değişimleri (5.71-25.87) ve esmerleşme indeksi değerleri (0.022-0.058), kontrol örneklerinin renk değişimleri ve esmerleşme indeksi değerlerine (renk değişimi: 15.48-25.21; esmerleşme indeksi: 0.058-0.080) kıyasla daha düşük bulunmuştur. Ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel kurutma sırasında efektif difüzyon katsayısı, dehidrasyon koşullarına bağlı olarak azalmıştır. Ozmo-dehidre armut dilimlerinin rehidrasyon oranları (%232-383), kontrol örneklerine kıyasla (%374-376) daha düşüktür. Ozmotik dehidrasyon sırasında su aktivitesi; çözelti sıcaklığı, konsantrasyonu ve dehidrasyon süresindeki artışla azalmıştır. Bu çalışmada; konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulaması, toplam fenolikleri içeren biyoaktif bileşikleri ve antioksidan aktiviteyi korumuştur. Diğer taraftan, ozmotik dehidrasyon mikrobiyal gelişimi önlemek için yeterli bulunmamıştır. Optimum koşullarda dehidre edilen armut dilimleri, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulduktan sonra 6 ay süreyle 21°C’de depolama stabiliteleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, ozmotik dehidrasyon uygulaması her iki kurutma yönteminde armut dilimlerinin kalite özelliklerine olumlu etkiler sağlamıştır. Ayrıca, optimum koşullarda dehidre edilen armut dilimlerinin mikrodalga ile kurutulmasının konveksiyonel kurutmaya kıyasla daha etkili ve avantajlı olacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Deveci Armudu, Ozmotik Dehidrasyon, Konveksiyonel Kurutma, Mikrodalga Kurutma

ABSTRACT

DETERMINATION OF OPTIMUM CONDITIONS FOR CONVECTIONAL AND MICROWAVE DRYING OF OSMO-DEHYDRATED PEAR SLICES

PHD THESIS

MUHAMMED YILMAZ

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. HANDE SELEN ERGE)

BOLU, JULY 2022

(XVII + 142)

The objective of the present study was to investigate the effect of osmotic dehydration as a pretreatment on physical and chemical quality characteristics of “Deveci” pears dried by convectional and microwave drying methods. The independent variables for osmotic dehydration were solution temperature (40-70°C), solution concentration (40-70°Bx) and dehydration time (3-9 hours). The analysis results were evaluated to determine the optimum osmotic dehydration conditions by Response Surface Methodology (RSM). Solution temperature of 57°C and 70°C; solution concentration of 70°Bx and dehydration time of 9 and 5.4 hours were found out as optimal dehydration conditions prior to convectional and microwave dryings, respectively. Pear slices dried without applying osmotic dehydration were determined as the control sample. Dry matter, water loss, weight reduction and solid gain rates of pear slices increased depending on dehydration conditions during osmotic dehydration. Moreover, color changes (5.71-25.87) and browning index (0.022-0.058) of osmotically dehydrated samples were found lower than those of control samples (color changes: 15.48-25.21; browning index: 0.058-0.080). Effective diffusion coefficient decreased depending on dehydration conditions during convectional drying of osmo-dehydrated pear slices. Rehydration rates of osmo-dehydrated samples (%232-383) was lower as compared to non-treated pear slices (%374-376). Water activity decreased with the increase of solution temperature, solution concentration and dehydration time of pear slices during osmotic dehydration. In this study; osmotic dehydration as a pretreatment process prior to convectional and microwave drying maintained bioactive substances including total phenolics and antioxidant activity. Otherwise, only osmotic dehydration did not found as a sufficient process to prevent microbial growth. The storage stability of pear slices which were dehydrated under optimum conditions was investigated by storing them at 21°C for 6 months after drying with convectional and microwave. In conclusion, osmotic dehydration application had positive effects on the quality properties of pear slices for both drying methods. In addition, microwave drying of pear slices under optimum osmotic dehydration conditions is considered more effective and favorable compared to convectional drying.

KEYWORDS: Deveci Pears, Osmotic Dehydration, Convectional Drying, Microwave Drying

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ	xiii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xv
TEŞEKKÜR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Armut İle İlgili Genel Bilgiler	3
2.1.1 Armutun Kültürel Tarihçesi.....	3
2.1.2 Armut Meyvesinin Sistematikteki Yeri, Türleri, Geneolojisi ve Pomolojik Olarak Sınıflandırılması.....	4
2.1.3 Armutun Dünyada ve Türkiye’deki Yeri ile Üretimi	4
2.1.4 Armutun Kimyasal Bileşimi	8
2.2 Ozmotik Dehidrasyon	9
2.2.1 Başlıca Kavramlar	9
2.2.2 Ozmotik Dehidrasyonun Mekanizması	12
2.2.3 Ozmotik Dehidrasyon İşlemini Etkileyen Faktörler.....	15
2.2.4 Ozmotik Dehidrasyon Hızını Etkileyen Ön Uygulamalar.....	16
2.2.5 Ozmotik Dehidrasyonda Ürüne Bağlı Değişkenler	16
2.2.6 Ozmotik Dehidrasyonda Ozmotik Çözeltiye Bağlı Değişkenler.....	17
2.2.7 Ozmotik Dehidrasyonun Faydaları.....	21
2.2.8 Gıda Endüstrisinde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamalarında Yaşanan Sorunlar	24
2.3 Konveksiyonel Kurutma	25
2.3.1 Ozmo-Konveksiyonel Kurutma.....	26
2.3.2 Ozmo-konveksiyonel Olarak Kurutulmuş Meyvelerin Kalite Gelişimi.....	27
2.4 Mikrodalga Kurutma	29
2.4.1 Mikrodalga ısıtmanın mekanizması.....	29
2.4.2 Ozmotik Dehidrasyon ve Mikrodalga Kurutma Uygulamaları	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1 Materyal	34
3.2 Yöntem	34
3.2.1 Çalışmanın Kapsamı.....	34
3.2.2 Ozmotik Dehidrasyon.....	34

3.2.3 Konveksiyonel ve Mikrodalga Kurutma	36
3.2.4 Yanıt Yüzey Metodu	37
3.2.5 Konveksiyonel ve Mikrodalga Kurutma Koşullarının Optimizasyonu	39
3.2.6 Kuru Madde Analizi	40
3.2.7 Katı Madde Kazanımı, Su Kaybı, Ağırlık Azalışı ve Suyun Efektif Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi	40
3.2.8 Rehidrasyon Oranının Belirlenmesi	41
3.2.9 Renk Değerlerinin Belirlenmesi	42
3.2.10 Su Aktivitesi Tayini	43
3.2.11 Ekstraksiyon İşlemi	43
3.2.12 Esmerleşme İndeksinin Belirlenmesi	43
3.2.13 Toplam Fenolik Bileşik Miktarının Belirlenmesi	43
3.2.14 Antioksidan Aktivitenin Belirlenmesi	44
3.2.15 Tekstür Analizi	45
3.2.16 İstatistiksel Analizler	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	46
4.1 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Kuru Madde Değişimine Etkisi	46
4.2 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Su Kaybı Değişimine Etkisi	51
4.3 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Ağırlık Kaybı Değişimine Etkisi	61
4.4 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Katı Madde Kazanımına Etkisi	66
4.5 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Suyun Efektif Difüzyon Katsayısına Etkisi	71
4.6 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Rehidrasyon Oranına Etkisi	77
4.7 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Su Aktivitesine Etkisi	83
4.8 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Renk Değişimi Üzerine Etkisi	87
4.9 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Esmerleşme İndeksine Etkisi	92
4.10 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Antioksidan Aktivite Değişimine Etkisi	96
4.11 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Toplam Fenolik Bileşik Miktarına Etkisi	102
4.12 Optimizasyon Koşullarının Belirlenmesi	107
4.13 Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Ozmo-Dehidre Armut Dilimlerinin Depolama Stabilitelerinin Belirlenmesi	110
4.13.1 Ozmo-Dehidre Armut Dilimlerinin Depolama Stabilitelerinin Kurutma Metoduna Göre Değişimi	110
4.13.2 Ozmo-Dehidre Armut Dilimlerinin Depolama Stabilitelerinin Aylara Göre Değişimi	112
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	117
6. KAYNAKLAR	122
7. EKLER	128

EK 1 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinin kuru madde oranları	128
EK 2 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinin su kaybı oranları	129
EK 3 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinin ağırlık kaybı oranları	130
EK 4 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde uygulanan ozmotik dehidrasyon sırasında armut dilimlerinde katı madde kazanımı oranları....	131
EK 5 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayıları	132
EK 6 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin rehidrasyon oranları	133
EK 7 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin su aktivitesi	134
EK 8 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin renk değişimi değerleri (ΔE)	135
EK 9 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerleri.....	136
EK 10 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerleri	137
EK 11 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değerleri.....	138
EK 12 Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama süresince kalite özelliklerindeki değişimler.....	139
EK 13 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimleri	140
EK 14 Doğrudan konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimleri	141
8. ÖZGEÇMİŞ	142

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Ükelere göre dünyada armut ihracatı (Gülaç, 2021)	5
Şekil 2.2. Ükelere göre dünyada armut ithalatı (Gülaç, 2021)	6
Şekil 2.3. Bitki hücresi (Li, 2007'den uyarlanmıştır.)	10
Şekil 2.4. Suyun Apoplazmik ve simplazmik transferi (Li, 2007'den uyarlanmıştır.	11
Şekil 2.5. Ozmotik dehidrasyon sırasında dokularda meydana gelen kütle transferi (Rastogi ve ark., 2000'den uyarlanmıştır.).....	13
Şekil 2.6. Ozmotik dehidrasyon sırasında meydana gelen kütle transferi (Ahmed ve ark., 2016'dan uyarlanmıştır).....	14
Şekil 2.7. Elektromagnetik alan etkileşimi (Li 2007'den uyarlanmıştır.).....	30
Şekil 3.1. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinin konveksiyonel yöntem ve mikrodalga ile kurutulmasına ilişkin akış şeması.....	39
Şekil 3.2. Renk Diyagramı.....	42
Şekil 3.3. Gallik asit standard kurvesi	44
Şekil 3.4. Trolox Standart Eğrisi	45
Şekil 4.1. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarındaki değişime etkisi	48
Şekil 4.2. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarındaki değişime etkisi.....	49
Şekil 4.3. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarındaki değişime etkisi.....	51
Şekil 4.4. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi	55
Şekil 4.5. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi.....	55
Şekil 4.6. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su kaybı oranlarındaki değişime etkisi.....	58
Şekil 4.7. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi	58
Şekil 4.8. Ozmotik dehidrasyon koşullarından briks derecesi ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi	59
Şekil 4.9. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin ağırlık kaybı oranlarındaki değişime etkisi	64

Şekil 4.10.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı oranlarındaki değişime etkisi.....	66
Şekil 4.11.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime etkisi	68
Şekil 4.12.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime etkisi	70
Şekil 4.13.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime etkisi	71
Şekil 4.14.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi	74
Şekil 4.15.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi	75
Şekil 4.16.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi	77
Şekil 4.17.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi	77
Şekil 4.18.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarındaki değişime etkisi.....	80
Şekil 4.19.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarındaki değişime etkisi.....	82
Şekil 4.20.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin su aktivitesine etkisi.....	86
Şekil 4.21.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin su aktivitesi oranlarındaki değişime etkisi.....	87
Şekil 4.22.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin renk değişimine etkisi.....	89
Şekil 4.23.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin renk değişimine etkisi.....	92
Şekil 4.24.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime etkisi.....	94
Şekil 4.25.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime etkisi.....	95
Şekil 4.26.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık ve briks derecesinin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime etkisi.....	96

Şekil 4.27.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değişimine etkisi	99
Şekil 4.28.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değişimine etkisi.....	102
Şekil 4.29.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değişimine etkisi.....	104
Şekil 4.30.	Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değişimine etkisi.....	107
Şekil 4.31.	Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde kuru madde oranları.....	113
Şekil 4.32.	Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde su aktivitesi değerleri.....	113
Şekil 4.33.	Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde antioksidan aktivite değerleri ..	114
Şekil 4.34.	Konveksiyonel ve mikrodalga olarak kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde toplam fenolik bileşen miktarı değerleri.....	115

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Dünya genelinde armut üretimi/ihracatı ve ithalatı (Gülaç, 2021) ...	5
Tablo 2.2. Türkiye Armut Verileri (Gülaç, 2021)	7
Tablo 3.1. Şeker şurubu tablosu (20°C).....	35
Tablo 3.2. Ozmotik dehidrasyon koşulları	35
Tablo 3.3. Konveksiyonel yöntemle kurutma öncesinde armut dilimlerine uygulanan ozmotik dehidrasyon koşulları	38
Tablo 3.4. Mikrodalga ile kurutma öncesinde armut dilimlerine uygulanan ozmotik dehidrasyon koşulları	38
Tablo 4.1. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	47
Tablo 4.2. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	50
Tablo 4.3. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde su kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	54
Tablo 4.4. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	57
Tablo 4.5. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	63
Tablo 4.6. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	65
Tablo 4.7. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, armut dilimlerinde konveksiyonel kurutma öncesi katı madde kazanımı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	67
Tablo 4.8. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, armut dilimlerinde mikrodalga kurutma öncesinde katı madde kazanımı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	69
Tablo 4.9. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayısına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	72
Tablo 4.10. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayısına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	76
Tablo 4.11. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	78
Tablo 4.12. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde rehidrasyon oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	81

Tablo 4.13. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde su aktivitesine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	85
Tablo 4.14. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su aktivitesine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	86
Tablo 4.15. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde renk değişimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	88
Tablo 4.16. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde renk değişimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	90
Tablo 4.17. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde esmerleşme indeksi etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	93
Tablo 4.18. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde esmerleşme indeksine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	95
Tablo 4.19. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktiviteye etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	97
Tablo 4.20. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktiviteye etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	101
Tablo 4.21. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşik miktarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	103
Tablo 4.22. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşik miktarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	105
Tablo 4.23. Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutulmasında ozmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonunda kullanılan değişkenlere ilişkin hedefler.....	108
Tablo 4.24. Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutulmasında en yüksek istenirlik değerlerine sahip optimum ozmotik dehidrasyon koşulları.....	109
Tablo 4.25. Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutulmasında belirlenen optimum ozmotik dehidrasyon koşulları ve yanıtlar için getirilen yaklaşımlar	109
Tablo 4.26. Armut dilimlerinin depolama sürecinde kalite özelliklerinin kurutma yöntemine göre değişimine ait varyans analiz tablosu.....	111

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde
°C	: Santigrad
°Bx	: Briks
2FI	: İki Faktörlü İnteraksiyon
a_w	: Su Aktivitesi
a*	: Kırmızılık-Yeşillik
abs.	: Absorbans
b*	: Sarılık-Mavilik
C	: Renk Yoğunluğu
cm	: Santimetre
CIE	: International Commission on Illumination
D_{es}	: Katı Maddenin Efektif Difüzyon Katsayısı
D_{ew}	: Suyun Efektif Difüzyon Katsayısı
GHz	: Gigahertz
g	: Gram
H	: Renk Tonu
ha	: Hektar
k.k.	: Konveksiyonel Kurutma
k.m.	: Kuru Madde
mg	: Miligram
m.k.	: Mikrodalga Kurutma
mL	: Mililitre
L	: Litre
L*	: Parlaklık/Koyuluk
M	: Molar
m	: metre
mm	: milimetre
MHz	: Megahertz
nm	: nanometre
µg	: mikrogram
µM	: Mikromolar
sn	: Saniye

R²	: Determinasyon Katsayısı
Rpm	: Dakikada Devir Sayısı
SD	: Serbestlik Derecesi
T	: Sıcaklık
ΔE	: Renk Değişimi



TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamın her aşamasında ve eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerini özveriyle ve sabırla aktararak yol gösteren değerli Danışmanım Sayın Prof. Dr. Hande Selen ERGE'ye,

Tez izleme komitesinde yer alan, tavsiye ve bilgileriyle tez çalışmama yön veren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Erkan YALÇIN ve Sayın Doç. Dr. Oktay YEMİŞ'e,

Sakarya Üniversitesinde tez kapsamında analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Güliz HASKARACA'ya,

Tez çalışması kapsamında laboratuvar çalışmalarında bilgi ve deneyimleri ile manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Dr Derya ATALAY'a,

Tez çalışmasında kullanılan hammadde temininde yardımlarını esirgemeyen Bursa Gürsu ilçesi Kumlukalan Tarımsal Kalkınma Kooperatifi Başkanı Ali SADIÇ'a,

Tez çalışması döneminde desteklerini esirgemeyen iş arkadaşlarıma,

Tez çalışmasının yoğun ve stresli dönemlerinde motive eden dostlarıma, manevi desteğini esirgemeyen Eşime ve Aileme,

Teşekkürlerimi Sunarım.

1. GİRİŞ

Meyve ve sebzeler, insanların günlük diyetlerinde önemli nutrasötik bileşenleri içeren kaynaklardır. Antioksidanlar, karotenoidler, mineral ve vitaminler gibi gıdaların yapısında doğal olarak bulunan ve insan sağlığı için önemli yeri olan bu nutrasötik bileşenlerin hastalıkları önleyici veya hastalık riskini azaltıcı, günlük fizyolojik performansı artırma gibi etkileri bulunmaktadır (Ramya ve Jain, 2017).

Dünya genelinde meyve ve sebze üretiminin sırasıyla yaklaşık 434.7 milyon ton ve 90.0 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Mirza ve Singh, 2020). Meyve ve sebzelerin yoğun olarak hasat edildiği dönemlerde depolama tesisleri yetersiz kalarak stok fazlası oluşmakta ve bu durum gıdaların tüketiciye ulaşmadan çürümmesine yol açmaktadır (Ramya ve Jain, 2017). Gelişmekte olan ülkelerde meyve ve sebzelerde hasat sonrası kayıpların %30'dan fazla olduğu bildirilmektedir (Mirza ve Singh 2020). Hasat sonrası kayıplarının engellenmesi, depolama ve paketlemede tasarruf edilebilmesi amacıyla meyve ve sebzeler, kurutulmakta veya dehidre edilebilmektedir (Ramya ve Jain, 2017).

Eski çağlardan bu yana kurutmanın başlıca amacı, gıdalardaki su miktarını azaltarak nakliye ve paketlemeyi kolaylaştırmak ve uzun süre depolanabilen ürünleri tüm yıl boyunca tüketicilere güvenli bir şekilde sunabilmek olmuştur. Bununla birlikte gıdaların muhafazasında en çok tercih edilen konveksiyonel kurutmada yaşanan sorunlarla ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Kuruma süresinin uzun olması, duysal ve besinsel özelliklerinin zarar görmesi ile kuruma sırasında gıdanın yapısında meydana gelen tekstürel değişimlere bağlı olarak kurumanın zorlaşması konveksiyonel kurutmada meydana gelen başlıca sorunlardır. Renk kaybı, büzüşme gibi tekstürel değişimler, kimyasal değişimlere bağlı olarak lezzet ve besinsel kayıplar da gıdalarda konveksiyonel kurutmaya bağlı meydana gelen önemli değişimlerdir (Shete ve ark., 2018).

Gıdaların kaliteli ve sağlıklı bir şekilde raf ömrünü uzatarak muhafazasını sağlamak gıda endüstrisini ilgilendiren önemli bir konu olmuştur. Gıdaların muhafazası, genel olarak mikroorganizmaların neden olduğu veya hızlandırdığı bozulmayı durdurmak veya önemli ölçüde yavaşlatmak için gıdalara uygulanan işlemler olarak tanımlanabilir. Gıdaların muhafazası, bozulmaya neden olan bakteri, küf vb. mikroorganizmaların gelişimini, acılaşmaya neden olan

oksidasyonu, enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonları durdurmak, renk kaybını engellemek gibi süreçleri de içine alan bir konudur (Yadav ve Singh, 2014).

Gıdaların uzun ömürlü muhafazası için dehidrasyon uygulamaları, kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Son yıllarda tüketicilerin ozmotik dehidrasyon yöntemi ile üretilen orta nemli gıdalara olan talebi ürünlerin minimum işlem görmüş olmasından dolayı artmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulamaları genellikle, bir gıda maddesinin hipertonic çözeltiye daldırılarak gıdada bulunan suyun çözeltiye difüzyonu olarak tanımlanmaktadır. Konveksiyonel kurutma, dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma gibi farklı kurutma işlemlerinden önce ozmotik dehidrasyon uygulaması son ürün kalitesine olumlu etkilemektedir (Ahmed ve ark., 2016).

Ozmotik dehidrasyon uygulaması, gıdaların besinsel bileşenlerinin ısıl işlem kaynaklı zararı azaltması, rengin korunması, enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının engellenmesi ve enerji tasarrufları açısından değerlendirildiğinde gıdaların muhafazasında en önemli tamamlayıcı tekniklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ozmotik dehidrasyon ön işleminin uygulanması, ürünün raf ömrünü uzatmakta, kurutulmuş veya orta nemli gıdalardaki aroma kayıplarını azaltmakta ve tekstür değişimlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır (Khan, 2012).

Tez kapsamında, gıda endüstrisinde çeşitli yöntemlerle kurutulan Deveci türü armutların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Besin değerlerinin optimum düzeyde korunduğu bir kurutma modeli oluşturulması açısından, armut dilimlerine konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde uygulanan ozmotik dehidrasyon için optimum koşullar yanıt yüzey metodu ile saptanmıştır. Bu koşullarda ozmo-dehidre edilmiş armut dilimleri, depolama stabilitesinin belirlenmesi için altı ay süreyle oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Armut İle İlgili Genel Bilgiler

2.1.1 Armudun Kültürel Tarihçesi

Türkçedeki 'murt' bitki adı göz önüne alındığında armut sözcüğünün "almur(u)t > almurt > armut" şeklinde değişmiş olabileceği, Özbek ve Kırgız türkçelerindeki biçimlerin bu görüşü desteklediği aktarılmaktadır. Diğer taraftan yaygın bir görüşe göre emrud ve amrüd kelime kökenlerinden Farsçadan türemiş olabileceği belirtilmektedir (Koşan, 2019). Ayrıca Kaşgarlı Mahmud'un 1074 yılında yazmış olduğu Divanu Lügati't Türk adlı eserinde "yığaç armutlandı" ifadesi geçmektedir (Karaarslan, 2010). Sultan II. Bayezid tarafından 1502 yılında yürürlüğe konulan Kanunname-i İhtisabı Bursa isimli kanunda meyveler başlığı altında, gökbaşı armut, inesi armudu, çerhallu armut, urunkuş armut, zerdmuri armut, merendi armut, bey armudu, sultani armut, şekeri armudu, türki armut, sabuni armut, yerbasmaz armut, karamuri armut ve bozdoğan armudunun satış fiyatları ile ilgili standartlar getirilmiştir (TSE, 2013).

Malatya'da yetişen önemli armut, kayısı ve türlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin tespiti için çalışmalar yapılmıştır (Ülkümen, 1938). Ülkemizde yetişen yerli ve yabancı armut türlerinin pomolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada armutlar olgunluk periyotlarına göre yazlık, güzlük ve kışlık armutlar olarak sınıflandırılmıştır. Meyvecilikte düzenli ve bol ürün hasat edilebilmesi için kültürel işlemlerin yanısıra, tozlama ve döllenmenin gerçekleştirilebilmesi yani tozlayıcı çeşitlere gereksinim vardır. Armut çeşitlerinin çiçeklenme periyotları ve döllenme biyolojileri üzerinde değişik çalışmalar yapılmıştır (Ercan, 1996).

Sıcak-ılıman iklim kuşağında bulunan birçok ülkede, yaygın bir şekilde armut yetiştiriciliği yapılmakta olup günümüze ulaşan verilere göre armut üretiminin uzun bir geçmişi bulunmaktadır. Milattan önce 9. yüzyılda yaşamış olan Yunanlı yazar Homeros "Odessa" adlı eserinde ve milattan sonra 3. yüzyılda yaşamış Theophrastus yazılarında armut yetiştiriciliğinden ve türlerinden bahsetmektedir. Daha sonraki yıllarda ise armut üretimi Belçika, İngiltere ve Fransa gibi Avrupa ülkelerine yayılmış ve ıslah çalışmaları yapılarak çeşitli armut türleri elde edilmiştir. Amerika kıtasına İngiliz ve Fransız kolonistler tarafından taşınan armut,

çok hızlı gelişim göstermiştir. Anadolu, eski Yunanistan ve eski Roma armut üretiminin yapıldığı en eski yerleşim yerlerindendir. Avrupa ve Amerika kıtasının yanı sıra armut üretiminin Çin'de de uzun bir geçmişe sahip olduğu belirtilmektedir (Akçay ve Yücer, 2008).

2.1.2 Armut Meyvesinin Sistematikteki Yeri, Türleri, Geneolojisi ve Pomolojik Olarak Sınıflandırılması

Armut, Rosales takımının *Roseaceae* familyası *Pomoideae* alt familyası *Pyrus* cinsine ait bir meyvedir. *Pyrus* cinsine hemen hemen 20 tür girmekte olup bunların yarısına yakını köken olarak Avrupa, Kuzey Afrika ve Anadolu'da bulunmaktadır. Batı kökenli armut türleri *Pyrus communis* L., *Pyrus elaeagnifolia* Pallas, *Pyrus amygdaliformia* Villars ve doğu kökenli armutlar ise *Pyrus serotina* Rehder, *Pyrus ussuriensis* Maximovicz, *Pyrus calleryana* Decne, *Pyrus betulaefolia* Bunge olarak belirtilmektedir. Bu armut türlerinin dışında anavatanı Çin olan *Pyrus serrulate* Rehder ve *Pyrus oviidea* Rehder türleri de bulunmaktadır. Kültür armutlarının oluşumunda da, fidanlardan yapılan seleksiyonlar, tür içi ve türler arası doğal ve suni melezlemeler ve mutasyonlar önemli rol oynamıştır (Soylu, 2003).

Dünyadaki armut çeşitlerinin sayısının 5000'den fazla ve Türkiye'de yetiştirilenlerin ise 640 dolaylarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu armut çeşitleri Diel-Lucas adlı araştırmacılar tarafından 15 grup altında toplanmıştır. Armutlar eskiden günümüze kadar yağ armutları, yarım yağ armutları, bergamotlar, yarı bergamotlar, yeşil uzun armutlar, sürahi armutları, iri armutlar, paslı armutlar, misket armutları, erimez armutlar, tarçın armutları, uzun hoşaf armutları, yuvarlak hoşaf armutları, uzun şıra armutları ve yuvarlak şıra armutları olarak sınıflandırılmıştır. Deveci armudu, akça armut, Mustafabey armudu, Coscia, Dr. Jules Guyot, Starkrimson, Williams, Triumph de Vienne, Packham's Triumph, Beurre Hardy, Beurre Bosc, Abbe Fetel ve Ankara armudu ülkemizde üretimi yapılan başlıca armut türleridir (Soylu, 2003).

2.1.3 Armudun Dünyada ve Türkiye'deki Yeri ile Üretimi

Dünya genelinde 2019 yılı itibarıyla 1.38 milyon hektar alanda 24 milyon ton armut üretimi yapılmıştır (Tablo 2.1.). Toplam üretim alanının %70.4'ünü oluşturan Çin 17 milyon hektar alan ile ilk sırada yer alırken, Hindistan 42 bin hektar alan ile

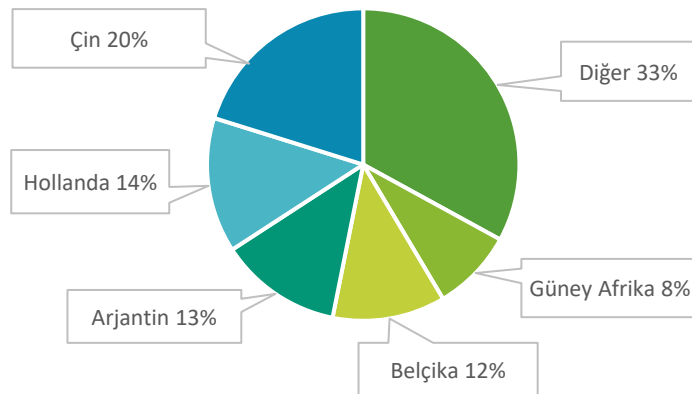
ikinci sırada, 28.7 bin hektar alan ile İtalya üçüncü ve 26.3 bin hektar alan ile Türkiye dördüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 2.1. Dünya genelinde armut üretimi/ihracatı ve ithalatı (Gülaç, 2021)

	2015	2016	2017	2018	2019	Değişim
Alan (milyon ha)	1.588	1.414	1.358	1.388	1.385	-0.2
Verim (milyon ton/ha)	14.9	14.7	14.5	17.4	14.5	-16.7
Üretim (milyon ton)	24.494	23.329	23.948	23.842	24.010	0.7
İthalat (milyon ton)	2.570	2.634	2.630	2.517	2.523	0.2
İhracat (milyon ton)	2.688	2.819	2.735	3.564	2.674	-25.0

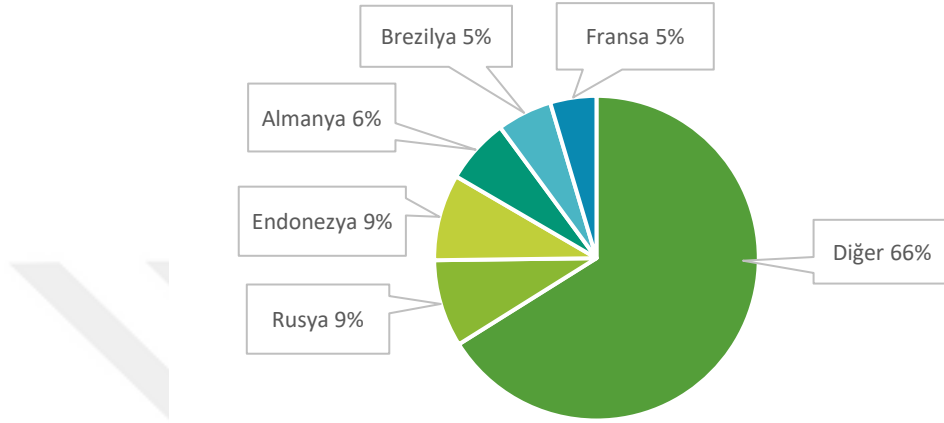
Üretimde 17 milyon ton ile Çin birinci sırada yer alırken, 661 bin ton ile ABD ikinci, 595 bin ton ile Arjantin üçüncü, 531 bin ton ile Türkiye dördüncü sıradadır. Hindistan ve İtalya üretim alanlarında ilk sırada yer almasına karşın ABD’de verimin yüksek olması üretim miktarını arttırmıştır (Gülaç, 2021).

2020 yılı dünya armut ihracatı bir önceki yıla göre %24.9 oranında azalarak 2.674 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Çin 2020 yılında da 539 bin ton ihracat gerçekleştirerek dünyada ilk sırada yer almıştır. Çin’i 373 bin ton ihracat ile Hollanda ve 340 bin ton ile Arjantin takip etmektedir. 2020 yılında gerçekleşen ihracatta ilk üç ülke toplam ihracatın %46.9’unu gerçekleştirmiştir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Ülkelere göre dünyada armut ihracatı (Gülaç, 2021)

2020 yılında gerçekleşen ithalat %0.23 oranında artmıştır ve 2.523 bin ton'dur. Rusya Federasyonu 2020 yılında 220 bin ton ile ithalatta ilk sırada yer alırken, Endonezya 217 bin ton ile ikinci sırada, 164 bin ton ile Almanya üçüncü sırada yer almaktadır. 2020 yılında gerçekleşen ithalatta ilk üç ülke toplam ithalatın %23.8'ini gerçekleştirmiştir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Ülkelere göre dünyada armut ithalatı (Gülaç, 2021)

Türkiye 2020 üretim yılı armut üretim alanları 260 bin hektar olup, bir önceki yıla göre %0.87 oranında azalmıştır. Armut üretiminde 90.5 bin dekar alanla Bursa ili ilk sırada yer alırken, 43.9 bin dekarla Antalya ikinci, 6.4 bin dekarla Elazığ üçüncü sırada yer almaktadır. Bu ilk üç il Üretim alanının %54.0'ını sahiptir (Tablo 2.2.).

Türkiye 2020 yılı armut üretimi toplam 545.6 bin ton olup, bir önceki yıla göre %2.2 oranında artmıştır. Armut üretiminde alan ve yüksek verime sahip Bursa 223 bin ton ile ilk sırada yer almaktadır. Antalya 66.2 bin ton ile ikinci, Çanakkale 13.6 bin ton ile üçüncü sıradadır. Bu ilk üç il üretimin %54.6'sını karşılamaktadır. TÜİK bitkisel üretim 1. tahminine göre 2021 yılı üretim miktarı 550 bin ton olarak açıklanmıştır.

Armut yurt içi kullanımı 2019/20 üretim döneminde 447 bin ton olup, toplam arzın %88.6'sını oluşturmakta olup bir önceki yıla göre %1.5 oranında azalmıştır. 2019/2020 üretim sezonunda kendine yeterlilik derecesi %112.5 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 2.2. Türkiye Armut Verileri (Gülaç, 2021)

	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	Değişim %
Alan (1000 ha)	250	254	260	264	263	-0.3
Verim (kg/Ağaç)	43	42	45	45	46	2.2
Üretim (Bin ton)	464	472	503	519	531	2,2
Yurtiçi Kullanım (Bin ton)	409	425	430	454	447	-1.5
İthalat (Bin ton)	0.6	0.9	2,8	16,7	1,4	-91.8
İhracat (Bin ton)	31.7	23.8	50.3	55.4	57.5	3.7

Armut ihracatı, 2020 yılında 64.83 bin ton olarak gerçekleşmiş olup bir önceki yıla göre %33.2 oranında artmıştır. İthalat ise 247 ton olarak gerçekleşmiştir ve bir önceki yıla göre %53.6 oranında artmıştır. 2021 yılı ilk dört ay armut ihracatı yaş meyve olarak 21.3 bin ton gerçekleşmiş ve en fazla ihracat 8.7 bin ton ile Rusya Federasyonu'na yapılmıştır. İthalat ise 14 ton düzeyinde KKTC'den yapılmıştır. 2021 yılı kuru meyve ihracatı 86 tondur ve en fazla ihracat yapılan ülke 59 ton ile Almanya olmuştur. İthalat ise 10.5 tondur ve ithalatın yapıldığı tek ülke Kırgızistan'dır.

Dünyada elma kültürünün yayıldığı hemen her yerde armut yetiştirilmekte olup elmalara göre, sıcağa ve kuraklığa karşı daha az hassasiyet göstermesi nedeniyle Akdeniz' in sıcak iklimli bölgelerinde de ekonomik olarak yetiştirilebilmektedir.

Dünya armut ekiminde 2019 yılı için; Çin (%70.4) en önemli ülke olurken, Hindistan (%3.1), İtalya (%2.1), Türkiye (%1.9) ve Arjantin (%1.9) ekim alanında paya sahip ülkelerdir. Üretimde de lider ülke Çin (%71.2) ilk sırada yer alırken verimin en yüksek olduğu ABD (%2.8) ikinci sırada yer almaktadır. Alan ve üretimde lider olan Çin 2020 yılı ihracatında en fazla ihracat yapan ülkedir. Hollanda, armut üretiminde ilk sıralarda yer almadığı halde farklı ülkelere ithal ettiği armudu ambalajlayarak katma değer kazandırmakta ve ihracatta ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye ise ihracatta 12. sırada bulunmaktadır. Türkiye'de genel olarak yaş armut ihracatı yapılmakta olup son yıllarda kuru armut ihracatı da

başlamıştır. Dünyada en fazla ithalatın yapıldığı ülkeler Rusya Federasyonu, Endonezya, Almaya ve Fransa'dır (Gülaç, 2021).

2.1.4 Armudun Kimyasal Bileşimi

Armut, tazesinin yanında püre, reçel ve kurutulmuş olarak en çok tüketilen yumuşak çekirdekli meyvelerden biridir. Dünya çapında 50'den fazla ülkede ticari olarak yetiştirilmesi nedeniyle armut çeşitliliği oldukça fazladır. Armut meyvesinin kimyasal bileşimini, %85 su, %14 karbonhidrat, %2 besinsel lif, %0.3 protein, %0.1 yağ oluşturmaktadır. 100 g tüketilebilir porsiyonu 54 kalori enerji vermekte olup, 3 mg askorbik asit ve eser miktarda diğer vitaminleri içermektedir. Lif oranı yüksek, kalorisi düşük, vitamin ve minerallerce zengin olması yönüyle besin değeri yüksek bir meyvedir (Kolniak-Ostek, 2016).

Hartmut (2001), armudun 100 gramında 116 g K, 12 mg P, 10 mg Ca, 7.1 mg Mg, 2.1 mg Na ve 3.27 g besinsel lif bulunduğunu belirtmektedir (Özaydın ve Özçelik, 2014).

Chen ve ark. (2007), tarafından 8 farklı armut çeşidinin kimyasal içeriği ile ilgili yapılan bir araştırmada ise, baskın şeker türü olarak fruktozun, daha düşük miktarlarda ise glukoz ve sakarozun bulunduğu; en baskın organik asidin malik asit olduğu, mineraller arasında en fazla potasyumun, eser miktarlarda magnezyum ve kalsiyumun bulunduğu belirtilmektedir.

Fitokimyasallar açısından zengin bir meyve olan armut, özellikle sağlığa faydalı biyokaktif bileşikler olarak bilinen fenolik bileşikleri içermektedir. Polifenollerin sağlık açısından faydaları içerdiği triterpenoidlerin antioksidan ve antienflamatuar özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Fitokimyasal bileşikler meyvede eşit düzeyde dağılmamaktadır. Kabuk kısmı antosiyaninler, flavan-3-oller, polimerik prosiyonidinler ve flovonellerce zengin iken, mumsu kutikula bölümünde triterpenoidler bulunmaktadır. Klorojenik asit, çekirdek kısmında kısmen daha fazla iken pulp ve kabuk kısmında az miktarlarda bulunmaktadır. Meyvenin yaprağında ise arbutin ve hidroksisinamik asit bileşikleri hakimdir (Kolniak-Ostek, 2016).

Bursa ve Ankara illerinde yetiştirilen armut türlerindeki fenolik bileşiklerin HPLC ile incelenmesi sonucunda arbutin, klorojenik asit ve α -kuarsetin tespit edilmiş, en yüksek konsantrasyonda klorojenik asit ve daha sonra ise epikateşinin bulunduğu görülmüştür (Li ve ark., 2012).

Yapılan bir çok araştırmada, meyve ve sebze tüketiminin kanser, kardiyovasküler, serebrovasküler ve nörolojik hastalıklar da dahil olmak üzere bir çok hastalığa karşı kouyucu etki sağladığı ortaya konulmuştur. Meyve ve sebzelerde bulunan doğal antioksidan bileşikler olan fenolik bileşikler, serbest radikalleri nötralize ederek hücre, doku ve organların zarar görmesini engellediğı ifade edilmiştir (Li ve ark., 2012).

2.2 Ozmotik Dehidrasyon

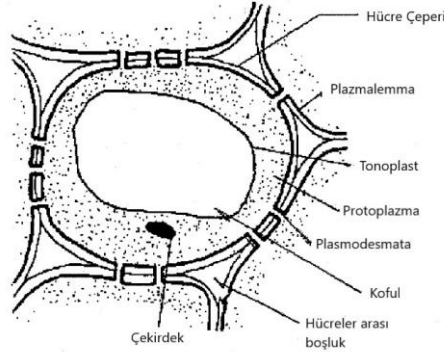
Ozmotik dehidrasyon ile ilgili ilk alışmalar, Pointing ve ark., (1966) tarafından gıdalarda ozmotik dehidrasyon konulu bir araştırması ile başlamıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulanan yaş meyvelerin ağırlığı %50 azaltılmış ve daha sonra dondurularak vakumla kurutulmuştur. Farkas ve Lazar tarafından 1969 yılında yapılan bir araştırmada ise ozmotik dehidrasyon uygulanan elmanın kuruma hızı hesaplanmıştır. Vial ve ark. (1991) ve Heng (1990), papaya ve kivi'nin sakaroz ve glukoz özeltlerinde ozmotik dehidrasyonda kuruma kinetikleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Torregiani ve ark. tarafından 1987 yılında yapılan bir araştırmada ozmotik dehidrasyon uygulanan kirazda şeker miktarı, renk değişimi, askorbik asit içeriği, pH ve asitlik değişimi gibi meyvenin kimyasal ve duysal özelliklerine ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Beristain ve ark. (1990) ise ozmotik dehidrasyon sırasında kütle transferi konulu bir çalışma yapmışlardır. Meyvelerde ozmotik dehidrasyon sırasında katı madde kazanımı ve su kaybı gibi konularda bir çok araştırma makalesi yayınlanmıştır (Khan, 2012).

2.2.1 Başlıca Kavramlar

Bitkisel Hücrelerin Yapısı

Hücre, canlının karakteristik özelliklerini taşıyan, üreme, büyüme ve yenilenme gibi metabolik faaliyetlerin gerçekleştiğı en küçük yapı birimidir. Bitki hücreleri, hücre çeperi ve protoplazmadan oluşan iki ana yapıdan oluşmaktadır. Selüloz, hücre çeperini oluşturan başlıca bileşen olup bitkisel yapının olgunluk dönemine bağlı olarak oransal olarak değişmekle birlikte içeriği %62-90 arasındadır. Diğer bileşenler pektin, hemiselüloz, polimerik bileşikler ve minerallerdir. Hücre eperi gözenekli yapıda olup burada bulunan kanallarda, komşu hücrelerin protoplastları ile bağlantıyı sağlayan protoplazma iplikileri bulunmaktadır. Bunu sağlayan protoplazma iplikilerine plasmodesmata

denilmektedir. Protoplast, plazmalemma zarı tarafından çevrenilmiş olup hücre çekirdeği, plastidler ve hücre boşluğundan oluşmaktadır. Plazmalemma, protoplastın diğer hücreler arasındaki teması sağlayan protein-lipid tabakasıdır (Şekil 2.3.) (Li, 2007; Lenart ve Lewicki, 2006).



Şekil 2.3. Bitki hücresi (Li, 2007'den uyarlanmıştır.)

Plazmalemma, 7.5-10 nm kalınlığında olup suyu geçirgen iken diğer bileşenler için seçici geçirgendir. Hücre boşluğu protoplazma içinde yer alırken tonoplast olarak adlandırılan bir zar ile çevrilidir. Şeker, organik asitler ve mineraller bu boşlukta yer alır. Birçok hücrenin çapı genellikle 10-100 µm aralığında olup, bir doku içerisindeki paketlenmeleri fonksiyonlarına göre daha gevşek veya sıkı olmaktadır. Genellikle parankima hücreleri, dokuda gevşek olarak konumlanmakta ve hücrel boşlukları oluşturmaktadır (Li, 2007; Lenart ve Lewicki, 2006).

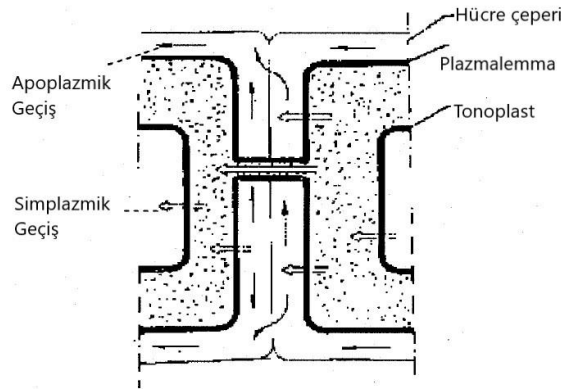
Ozmotik Potansiyel ve Su Aktivitesi

Bitki hücrelerinin içine veya dışına yüksüz moleküllerin kendiliğinden difüzyonunu sağlayan itici güç plazmalemma içindeki konsantrasyon farklılığından kaynaklanmaktadır. Termodinamik bakış açısına göre, bitki dokularındaki suyun bir noktadan başka noktaya taşınmasını sağlayan güç, suyun kimyasal potansiyel farklılığından kaynaklanmaktadır. Sulu bir çözeltide çözünenlerin varlığı su aktivitesini düşürürken kimyasal potansiyeli artırarak sulu çözeltideki ozmotik basıncı artırmaktadır (Lenart ve Lewicki, 2006).

Suyun Bitkisel Dokulardaki Transferi

Su ve minerallerin taşınmasında rol oynayan bitki dokularının iki ana bölümü vardır - apoplast ve simplast. Apoplast, canlı hücrelerin plazma zarının dışındaki her şeyi içerir ve hücre duvarları, hücre dışı boşluklar, ksilem, floem ve trakeitlerden oluşur. Bunun aksine, simplast, canlı bitki hücrelerinin tüm sitozolünden ve hücreleri birbirine bağlayan sitoplazmik kanallar olan plazmodezmatadan oluşur (Lenart ve Lewicki 2006).

Moleküllerin bitki dokularında hareket etmeleri için birkaç potansiyel yol vardır: Apoplastik, simplastik veya transmembran yollar (Şekil 2.4). Apoplastik yol, suyun ve çözünmüş minerallerin hücre duvarları ve hücre dışı boşluklar boyunca hareketini içerir. Simplastik yolda, su ve çözünmüş maddeler sitozol boyunca hareket eder. Bu yola girdikten sonra, materyallerin hücreden komşu hücreye geçerken plazma zarını geçmesi gerekir ve bunu plazmodezmata aracılığıyla yaparlar. Alternatif olarak, transmembran yolda, çözünmüş mineraller ve su, hücre duvarını geçerek bir hücreden çıkıp diğerine girerek hücreden hücreye hareket eder. Bu üç yol birbirinden bağımsız değildir ve bazı çözünmüş maddeler, birden fazla yol kullanabilir (Lenart ve Lewicki, 2006).



Şekil 2.4. Suyun Apoplazmik ve simplazmik transferi (Li, 2007'den uyarlanmıştır).

Bir başka potansiyel yol da koful yoludur, ancak bu yol çoğunlukla su moleküllü hareketiyle sınırlıdır. Burada su, bitki hücrelerinin kofulundan ozmoz yoluyla hareket eder. Mekanizma simplastik yola benzer, ancak taşıma sitozol ile sınırlı olmak yerine, su kofullardan geçer (Martinoia ve ark., 2000).

Plazmoliz

Bitkisel hücrelerde hücre boşluğundaki sıvı protoplazma ve hücre zarını hücre duvarına doğru iten bir ozmotik basınca sahiptir. Protoplast hücre duvarına baskı yapar ve hücre turgor durumundadır. Hücre içi ozmotik basıncı ve onu çevreleyen sıvının ozmotik basıncı arasındaki farklılığa turgor basıncı denilmektedir. Ozmotik basınç seviyeleri aynı olması durumunda sistem termodinamik olarak denge durumunda olup turgor basıncı sıfırdır. Hücre içi ozmotik basınç onu çevreleyen sıvının ozmotik basıncından yüksek olması durumunda hücre çeperinin mukavemet gösterebildiği noktaya kadar şişer. Hücre içi ozmotik basınç onu çevreleyen sıvının ozmotik basıncından daha düşük olduğunda ise hücre su kaybetmeye başlar. Protoplastın dehidrasyonu sonucu hücre duvarından ayrılması durumuna plazmoliz denilmektedir. Hücrelerin bu şekilde plazmoliz olması durumu ozmotik çözeltilerin konsantrasyonu ile orantılıdır (Li, 2007).

2.2.2 Ozmotik Dehidrasyonun Mekanizması

Ozmoz, genel olarak suyun yüksek potansiyle sahip bir çözeltiliden düşük potansiyle sahip bir çözeltiliye yarı geçirgen zar üzerinden hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu işlem bir bitki hücresi veya dokusunun sakaroz, gliserol veya tuz gibi hipertonic çözeltiliye daldırıldığında meydana gelmektedir. Bitki hücresinden çözeltiliye suyun, çözeltiliden de bitki materyaline çözünür maddenin geçtiği durum karşıt-akım difüzyonu olarak adlandırılmaktadır.

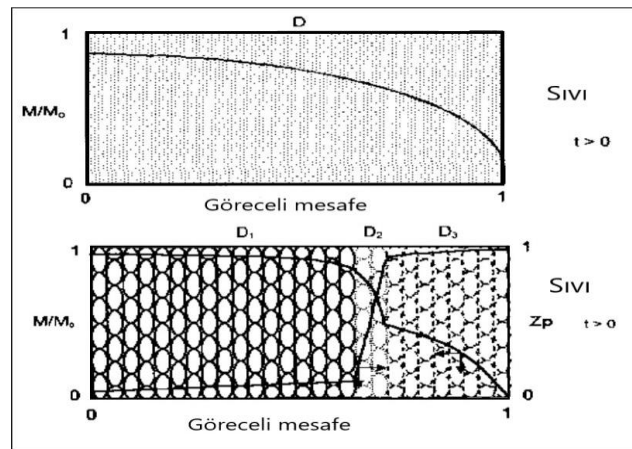
Ozmotik dehidrasyon, meyve ve sebzelerin hipertonic şeker veya tuz çözeltisine daldırılmasıyla ürünün su konsantrasyonu düşerken suda çözünür katı madde oranında artış sağlaması nedeniyle “suyu uzaklaştırarak doymun hale getirme” işlemidir. Yaş ürün, ozmotik basıncı yüksek ve su aktivitesi düşük bir çözeltiliye daldırıldığında 3 farklı kütle transferi meydana gelmektedir (Li, 2007).

- 1- Yaş üründen hipertonic çözeltiliye önce hızlı daha sonra yavaş bir şekilde suyun difüzyonu,
- 2- Hipertonic çözeltiliden yaş ürüne suda çözünür katı madde geçişi sağlanarak üründe istenilen duyusal lezzet ve gıdanın muhafazasında koruyucu etkinin oluşması,

- 3- Taze ürün bileşiminde bulunan şeker, organik asit, mineral ve vitamin vb. bileşenlerin suyun difüzyonu sırasında, taze üründen çözeltiye geçmesi nedeniyle son ürünün besinsel içeriğinin değişmesi.

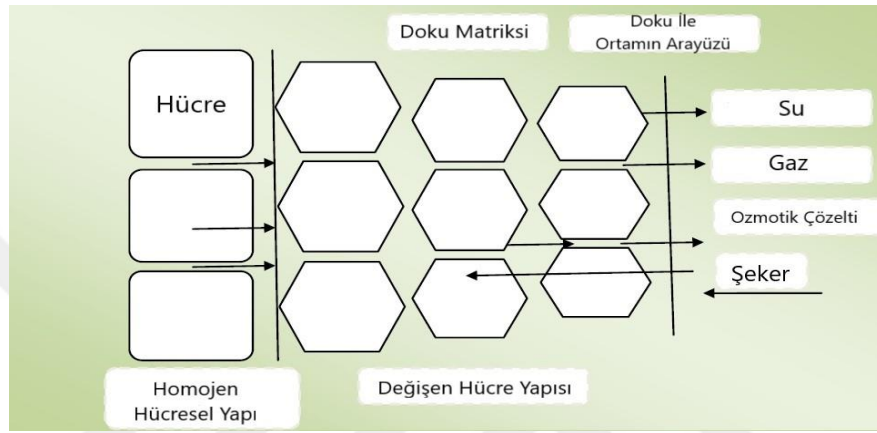
Hücresel yapıdaki katı bir materyal hipertonic bir çözeltiye daldırıldığında materyalin ilk tabakasında çözelti ile temas eden hücreler, konsantrasyon gradyentinden dolayı su kaybederek büzüşüp küçülmektedir. Katı materyalin ilk tabakasındaki hücrelerde meydana gelen büzüşmelerden sonra ilk tabaka ve ikinci tabaka arasında suyun kimyasal potansiyel farklılığından dolayı ikinci tabakadan ilk tabakaya su aktarımı olmaktadır. Kütle transferi ve hücre büzüşmesi/parçalanması katı materyalin yüzeyinden merkeze doğru yayılarak çözelti ile materyal arasında bir ozmotik denge oluşuncaya kadar devam etmektedir (Rastogi ve ark., 2000).

Ozmotik dehidrasyon sırasında materyal ve çözelti arasındaki su aktarımı mekanizması Şekil 2.5.'te gösterilmektedir. Buna göre, D_1 , D_2 , ve D_3 biyolojik materyallerin farklı tabakalarında suyun efektif difüzyon katsayısını ifade etmektedir. Hücresel büzüşmenin başladığı D_2 noktasında suyun efektif difüzyonu D_3 noktasına göre daha yüksek olup, D_1 noktasında en düşük olduğu belirtilmektedir. M/M_0 materyalin nem kaybını, Z_p ifadesi ise hücre büzüşmesi/parçalanmasını ifade etmektedir. Suyun efektif difüzyon katsayısının en yüksek olduğu D_2 noktasında hücresel büzüşme ve parçalanmada önemli bir artış olurken nem oranının da en yüksek düzeyde düştüğü, D_3 noktasından itibaren ise azalan oranda devam ettiği görülmektedir (Rastogi ve ark., 2000).



Şekil 2.5. Ozmotik dehidrasyon sırasında dokularda meydana gelen kütle transferi (Rastogi ve ark., 2000'den uyarlanmıştır.)

Yarı geçirgen hücre membranının her yüzeyinde meydana gelen ozmotik basınç farklılığı ozmotik dehidrasyonun gerçekleşmesi için itici gücü oluşturur. Ozmotik dehidrasyon sırasında işlem parametreleri ile gıdaya bağlı faktörler kütle transferinin kinetiğini etkilemektedir. Ozmotik dehidrasyon uygulaması sırasında yaş meyve ağırlığının %50 sini kaybetmesinden sonra ozmotik dehidrasyon hızı zamanla azalacağından ozmotik dehidrasyon işleminin daha fazla uzatılmaması tavsiye edilmektedir (Şekil 2.6.; Ramya ve Jain, 2017).



Şekil 2.6. Ozmotik dehidrasyon sırasında meydana gelen kütle transferi (Ahmed ve ark., 2016'dan uyarlanmıştır).

Ozmotik dehidrasyonun başlıca iki mekanizması makroskobik ve mikroskobik kütle transfer mekanizmaları olup, bu mekanizmalar difüzyon ve kapilarite kavramları ile tanımlanmaktadır. Difüzyon mekanizmasının konsantrasyon, kapilaritenin de basınç gradientine bağlı olduğu belirtilmektedir (Çınar, 2009).

Makroskobik yaklaşıma göre, hücresel yapıda ve yarı geçirgen özellikte hücre duvarına sahip tarımsal ürünler hipertonik çözeltilerin içine daldırıldıkları zaman, ürünle çözelti arasındaki ozmotik basınç farkı sebebiyle, ürünlerdeki su difüzyonla ozmotik çözeltiye geçer. Difüzyonun itici gücü konsantrasyon ve basınç farkıdır, bu fark ne kadar büyükse geçiş, belli bir seviyeye kadar, o oranda hızlı gerçekleşir. Suyun çözeltiye difüzyonu sırasında eş zamanlı olarak çözeltiden de ürüne ozmotik ajan geçer. Hücre duvarının yarı geçirgen özelliği sayesinde su ve ozmotik ajanın yanında, organik asitler, tuzlar, mineraller gibi diğer çözünen maddeler de ozmotik çözeltiye geçer. Hücre yapısı korunduğu sürece su ve çözünen maddelerin

geçişlerini sağlayan mekanizma ozmozdur ve geçiş direnci hücre duvarıdır (Çınar, 2009).

Rastogi ve ark. (2000), ozmotik dehidrasyon mekanizmasını açıklarken ürünün içinde üniform olmayan bir konsantrasyon gradientinin olduğunu varsayarak ozmotik dehidrasyonun ürün yüzeyinden merkezine doğru ilerleyen bir dehidrasyon yüzü ile gerçekleştiğini ve efektif difüzyon katsayısının yüzeyde orta kısımdan daha yüksek iken, merkeze yakın noktalarda ozmotik çözeltiyle temas olmadığı için daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Mikroskopik yaklaşımda ise gıdanın hücre seviyesindeki kütle transfer mekanizmaları apoplazmatik (hücreler arası boşluktaki transfer), simplazmatik (yakın iki hücre arasındaki kanallarla gerçekleşen transfer) ve transmembran (hücre içi ve dışı arasında hücre duvarından olan transfer) akışlar şeklinde gerçekleşir. Mikroskopik yaklaşımda gıdanın ozmotik çözelti ile temasında, ozmotik ajanın hücre içi ve hücrelerarası transferi, gıdanın ve çözeltinin özelliklerine, su ve ajan arasındaki kimyasal potansiyel farkına ve dehidrasyon parametrelerine göre gerçekleşir. Dehidrasyon sırasında gıdada görülen kimyasal kompozisyon değişimleri büzüşme, porozite düşüşü, hücre parçalanması gibi yapısal değişikliklere de yol açar. Literatürde bahsi geçen diğer bir mikroskopik yaklaşım mekanizması ise hidrodinamik mekanizma (HDM)'dir. Bu mekanizmada aynı ozmotik dehidrasyon koşulları altında farklı gıdaların farklı su efektif difüzyon katsayıları vermeleri, gıdanın bünyesindeki porlar içinde oluşan kapilar basıncın farklı olması ile açıklanır ve bu basınç ozmotik dehidrasyonun itici gücünü oluşturur (Çınar, 2009).

2.2.3 Ozmotik Dehidrasyon İşlemini Etkileyen Faktörler

Bir kütle transferi işlemi olan ozmotik dehidrasyon işlemi bir çok faktörden etkilenmektedir. Ozmotik dehidrasyon sırasında meydana gelen bu kütle transferi katı madde kazanımı, su kaybı, ağırlık azalışı gibi terimler kullanılarak tanımlanabilmektedir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan önce yapılan ön işlemler, ozmotik dehidrasyon uygulanacak ürüne bağlı değişkenler ve ozmotik çözeltiye bağlı değişkenler ozmotik dehidrasyon işleminde etkili en önemli faktörlerdir (Ramya ve Jain, 2017).

2.2.4 Ozmotik Dehidrasyon Hızını Etkileyen Ön Uygulamalar

Ozmotik dehidrasyon öncesinde yapılan ön işlemler gıdanın doğal bütünlüğünde değişime yol açarak kütle transferinde önemli bir etki sağlamaktadır. Toupin ve Le Maguer (1989)'e göre hücre zarı geçirgenliği dehidrasyon oranını önemli ölçüde etkilemekte olup hücre zarı geçirgenliği yüksek gıdalarda hızlı bir dehidrasyon gerçekleşeceği belirtilmektedir. Bununla birlikte bitkisel gıdalarda ozmotik dehidrasyon esnasındaki kütle transferi, hücre zarının kütle transferine direnç göstermesi nedeniyle genellikle yavaş gerçekleşmektedir. Bu nedenle gıdalarda kalite kaybına neden olmadan ozmotik dehidrasyon sırasındaki kütle transferini hızlandırmak adına hücre zarının kısmen parçalanması gibi bazı ön uygulamaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Haşlama, soyma, kaplama, dondurma/çözündürme, yüksek hidrostatik basınç uygulamaları, atımlı elektrik alan uygulamaları, ultrasonikasyon uygulamaları ve ohmik ısıtma ozmotik dehidrasyon hızını artırmak için yapılan bazı ön uygulamalardır (Ramya ve Jain, 2017).

Ozmotik kurutma yönteminde bir ön işlem olarak, “vakum emdirme” işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem, gıdanın içindeki gözeneklerde bulunan havanın çıkarılması ve yerine bir dış çözeltinin yerleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde, doğranmış ve ozmotik kurutmaya hazırlanmış meyveler, ozmotik çözeltiye daldırıldıktan sonra ortama vakum uygulanmakta ve gözeneklerdeki havanın uzaklaşmasına yetecek kadar bir süre beklenmekte ve daha sonra atmosferik basınca dönülmektedir. İşte bu sırada ozmotik çözelti gıdadaki gözenekleri doldurmakta ve burada kalmış gazları basınç dengesi oluşana kadar sıkıştırmaktadır. Bu ön işlemden sonra ozmotik kurutma işlemi kütle transferi ile devam etmektedir (Cemeroğlu, 2011).

2.2.5 Ozmotik Dehidrasyonda Ürüne Bağlı Değişkenler

Gıdaların şekil, hacim ve yüzey alanları gıdadan çözeltiye suyun ve çözünen (mineral, vitamin, organik asitler vb.) difüzyonunu ve çözeltiden gıdaya da çözelti geçişini etkileyen değişkenlerdir. Ozmotik dehidrasyon uygulanacak gıdanın yüzey alanı ve hacmi arttıkça, difüzyon yolu uzayacağından difüzyon hızı ve katı madde geçişi de azalmaktadır. Ozmotik dehidrasyon sırasında yarı geçirgen hücre zarının geçirgenlik seviyesi değişerek gıdanın dokusunda değişiklikler meydana gelebilmektedir. Ozmotik dehidrasyon sırasında meydana gelen su kaybı, hücre zarı

ve hücre duvarı arasındaki boşluğun azalmasına yol açarak hücrenin büzüşerek hücresel yapının değişmesine yol açmaktadır. Özellikle gıdanın porozitesi (gözenekliliği), ozmotik dehidrasyon sırasında kütle transferi oranı ile hücresel büzüşme olgusu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gibi rehidrasyon oranını da etkileyen önemli bir faktördür.

Bekele ve Ramaswamy (2010), doku yapısının sadece toplam gözenek sayısı açısından değil, gözeneklerin şekli, boyutu, dağılımı ve hipertonic çözelti ile etkileşimleri açısından da ozmotik dehidrasyon üzerinde etkili olduğunu aktarmaktadır.

Barat ve ark. (2001), tarafından yapılan bir araştırmada ozmotik dehidrasyon uygulanan elma dilimlerinde, hipertonic çözeltinin hücreler arası boşluğa geçişi ile hücreler arası boşluğu çevreleyen hücrelerin büzüştüğü, katı matriksin deforme olduğu ve hücreler arası boşluk hacminin arttığı belirtilmektedir.

Falade ve Igbeka (2007), tarafından yapılan bir araştırmada, gıdanın yapısında bulunan suyun ozmotik ajana geçiş hızının gıdanın şekline ve büyüklüğüne bağlı olduğu belirtilmektedir. Yan ve ark. (2008), ananas, mango ve muzun kuruma sırasında nem oranları düştükçe özgül hacimlerinin, porozite ve hücresel büzüşme seviyelerinin de azaldığını bildirmektedir (Ramya ve Jain, 2017).

2.2.6 Ozmotik Dehidrasyonda Ozmotik Çözeltiye Bağlı Değişkenler

Ozmotik dehidrasyonun verimliliğindeki en önemli etkenlerden birisi de ozmotik çözeltinin fizikokimyasal özellikleridir. Ozmotik ajanda çözünen katı maddenin molekül ağırlığı, iyonik durumu ve suda çözünebilirliği ozmotik dehidrasyon sırasında ozmotik çözeltiden gıdaya kütle transferini etkileyen önemli unsurlardır. Ozmotik çözeltide çözünen maddenin seçiminde, ozmotik çözeltinin sıcaklığı, konsantrasyonu, karıştırma ve ozmotik çözelti/gıda oranı gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır (Ramya ve Jain, 2017).

Ozmotik Çözeltinin Sıcaklığı

Difüzyon, sıcaklığa bağlı değişen bir kavram olup, ozmotik dehidrasyon sırasında kütle transfer kinetiğini etkileyen en önemli değişkenlerden biridir. Bu nedenle ozmotik çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonundaki artış, ozmotik dehidrasyon sırasındaki ağırlık ve nem kaybı ile katı madde kazanımında artış sağlamaktadır. Ozmotik dehidrasyonun başladığı ilk aşamalardaki dehidrasyon

sırasındaki hızlı su kaybı ve katı madde kazanımındaki artış, sıcaklığa bağlı difüzyon hızındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Ayrıca sıcaklığa bağlı olarak meyvelerin dokusunda sıkışan gazın yapıdan uzaklaşmasını ve yapıda bulunan suyun ozmotik basınçla daha hızlı çıkmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte sıcaklık artışı, ozmotik çözeltinin vizkozitesini düşürerek meyvenin dış yüzeyindeki kütle transfer direncini azaltır ve suyun meyveden uzaklaşması ile meyveye katı madde geçişini hızlandırır (Ramya ve Jain, 2017).

Ozmotik Çözeltinin Konsantrasyonu

Ozmotik çözelti seçiminde, çözünen maddenin çözünebilirliği, hücre zarı geçirgenliği, stabil olabilmesi ve maliyeti gibi birçok etken göz önünde bulundurulmalıdır. Ozmotik dehidrasyon uygulamalarında en yaygın olarak şekerler ve tuzlar kullanılmaktadır. Ozmotik çözelti konsantrasyonu ile su transferi ve katı madde kazanımı kinetiği arasında doğru orantı bulunmaktadır. Bekele ve Ramaswamy (2010) tarafından yapılan bir araştırmada, şeker/tuz karışımı ile ozmotik dehidrasyon uygulanan gıdaların su aktivitelerindeki düşüşün, sadece şeker ile hazırlanarak ozmotik dehidrasyon uygulanan gıdalara kıyasla daha fazla olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte hazırlanan ozmotik çözeltinin pH derecesinin, ozmotik dehidrasyon uygulanan meyve ve sebzelerin dokusunu asitliğe bağlı olarak etkileyeceğinden suyun yapıdan uzaklaştırılmasını hızlandırdığı bildirilmektedir (Ramya ve Jain, 2017).

Contreras ve Smyrl (1981), tarafından yapılan bir araştırmada, mısır şurubu kullanılarak ozmotik dehidrasyon uygulanan elma dilimlerinde maksimum su kaybının pH 3'te olduğu tespit edilmiştir. pH derecesi düştükçe pektinin hidrolize ve depolimerize olduğu, elma dilimlerinin daha yumuşak bir tekstüre dönüştüğü ve suyun daha kolay uzaklaştığı belirtilmektedir (Ahmed ve ark., 2016).

Çözelti konsantrasyonu arttıkça meyvenin dış yüzeyindeki kütle transfer direnci de artmakta ve ozmotik dengeye ulaşılması için gereken süre uzamaktadır. Ozmotik çözeltinin konsantrasyonu arttıkça vizkosite artmakta ve çözeltide çözülmüş maddelerin penetrasyonunu zorlaştırmaktadır. Çözeltinin vizkozitesindeki artış sınırlayıcı bir faktör oluşturmaktadır. Rahman ve ark. (2001), tarafından yapılan bir araştırmada, ozmotik çözelti konsantrasyonundaki artışın ozmotik dehidrasyon esnasında ortamdaki su transferi denge katsayısını artırdığı, katı madde transferinin denge katsayısında ise azalışa neden olduğu belirtilmektedir. Su

kaybının sağlanmasında, ozmotik çözelti konsantrasyonundaki artışın ozmotik çözelti sıcaklığına bağlı olarak daha etkili olduğu ancak gıdanın ozmotik çözeltide kalma süresinin de göz önünde bulundurulması gerektiği bildirilmektedir. Giraldo ve ark. (2003), tarafından yapılan bir araştırmada, mango dilimlerine sakaroz çözeltisinde ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Ozmotik çözelti konsantrasyonu azalırken, meyvenin yapısındaki sıvı fazda efektif difüzyon katsayısının dengeye ulaşana kadar yükseldiği belirtilmektedir (Ramya ve Jain, 2017).

Ozmotik dehidrasyon ilerledikçe, kütle transferini kontrol eden itici güç giderek azalacağından başlangıçtaki itici gücü yeniden yakalamak için başlıca iki yöntem söz konusudur. Bunlardan ilki ozmotik çözeltiye yeniden şeker eklemek, diğeri ise ozmotik çözeltinin kazandığı suyu atmosferik veya vakum altında yeniden buharlaştırarak uzaklaştırmaktır.

Elma dilimlerinin ozmotik kurutma işleminde kullanılan sakaroz şurubunu vakum altında konsantre ederek, ürün kalitesinde olumsuz etki oluşturmada en az beş defa daha kullanma olanağının bulunduğu belirtilmektedir. Buna karşın elma dilimlerinin ozmotik kurutulmasında aralıklarla kristal şeker eklenmesi ile sakaroz şurubunun 20 defa daha kullanılabileceği ortaya konulmuştur (Cemeroğlu, 2011).

Ozmotik Çözeltinin Türü

Ozmotik çözeltinin türü de ozmotik dehidrasyon sırasında difüzyon hızını etkileyen önemli değişkenlerden biridir. Meyve ve sebzelerin ozmotik dehidrasyonunda yaygın olarak sakaroz, glukoz, fruktoz, mısır şurubu, nişasta şurubu, sorbitol, gliserol, bal ve sodyum klorür kullanılmaktadır. Düşük molekül ağırlıklı ozmotik ajanlar yüksek molekül ağırlık olanlara kıyasla meyve ve sebzelerin hücre yapısına daha kolay diffüze olmaktadır. Giraldo ve ark. (2003), ozmotik ajanın gıdaya penetrasyon oranının çözelti konsantrasyonu ile doğrudan, molekül büyüklüğü ile ters orantılı olduğunu göstermiştir. Ozmotik çözeltide çözünen bileşenlerin moleküler büyüklükleri arttıkça farklı meyve ve sebze dokularındaki dehidrasyon oranlarındaki sapmaların arttığı gözlenmiştir. Ozmotik çözeltide çözünen bileşenlerin moleküler büyüklükleri arttıkça su kaybında artış olurken katı madde kazanımında azalış olduğu belirtilmektedir (Ramya ve Jain, 2017).

Torreggiani ve Bertolo (2004), tarafından yapılan bir araştırmada, yüksek yoğunluklu ve büyük molekül ağırlıklı ozmotik ajanların seçilmesinin hücre zarında

bariyer oluşturarak gıdanın yapısındaki önemli biyoaktif bileşiklerin ozmotik ajana geçişinin engellendiği bildirilmektedir. Meyve ve sebzelerde hücresel yapı korunduğu sürece suyun difüzyon hızı, ozmotik çözelti içindeki çözünenin penetrasyonundan daha hızlı olacağı için ozmotik dehidrasyon uygulanacak gıdanın yapısal özellikleri dikkate alınarak ozmotik ajan seçimi yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Marani ve ark. (2007), tarafından yapılan bir araştırmada, farklı meyvelere aynı çözelti konsantrasyonlarında ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra dondurarak kurutulma işlemi uygulanmıştır. Düşük molekül ağırlıklı çözeltilerde katı madde geçişinin daha yüksek olduğu fakat suyun difüzyon hızının daha yavaş olduğu görülmüştür. Aynı şekilde Kowalska ve ark. (2008), tarafından kabak üzerinde yapılan bir araştırmada, glukoz çözeltisi kullanılarak yapılan ozmotik dehidrasyonda katı madde kazanımı ve efektif difüzyon katsayısının sakaroz ve mısır şurubu çözeltilerine kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmektedir.

Ozmotik dehidrasyon uygulamalarında ozmotik ajanın gıdaya nüfuz etmesi istenildiğinde molekül ağırlığı düşük ajanlar tercih edilmelidir. Bununla birlikte ozmotik çözeltiden gıdaya yoğun şeker geçişi olmaması, gıdanın yapısından uzaklaştırılması istenilen su miktarı da göz önünde bulundurulduğunda gıdanın yapısal özellikleri, ozmotik çözelti türü ve ozmotik dehidrasyon parametreleri dikkate alınarak optimum koşullar oluşturulmalıdır (Ramya ve Jain, 2017).

Ozmotik Dehidrasyonun Süresi

Ozmotik dehidrasyon uygulamalarında süreye bağlı olarak su kaybı artmaktadır. Ozmotik dehidrasyon sırasında su kaybı, katı madde kazanımı ve toplam ağırlık kaybı oranları ilk saatte çok hızlı olup, süreye bağlı olarak azalan bir oranda artmakta ve daha sonra dengeye ulaşmaktadır. Ozmotik dehidrasyon uygulamalarında süre belirlenirken katı madde kazanımı çok artmadan maksimum seviyede su kaybı olacak şekilde optimize edilmelidir (Shete ve ark. 2018; Sutar ve Sutar, 2013).

Ozmotik Dehidrasyon Sırasında Çalkalama ve Karıştırma

Ozmotik dehidrasyon sırasında karıştırma işlemi, çözelti ile gıda arasındaki kütle transfer direncinin azalmasını sağlayarak dehidrasyon kinetiğine olumlu yönde itici güç sağlamaktadır. Yüksek yoğunluklu şurupların kullanımı sırasında,

gıdanın çözelti içinde yüzmesi ve çözelti ile gıda arasındaki temasın kesilmesi gibi sorunlar yaşanabilmektedir. Ozmotik dehidrasyon sırasında karıştırma/çalkalama işlemi gıdaların etrafında seyreltik çözelti filmi oluşumunu da engellemektedir. (Ramya ve Jain, 2017).

Ozmotik Çözelti ve Örnek Oranı

Ozmotik dehidrasyonun süresine bağlı olarak gıdanın yapısından ozmotik çözeltiye su geçişi oldukça ozmotik basınç gradyeni azalmakta olup bunun engellenmesi için gıda ve ozmotik çözelti oranının yüksek tutulması gerektiği belirtilmektedir. Bununla birlikte bazı araştırmacılar ozmotik çözelti konsantrasyonlarındaki değişimi takip edebilmek için çözelti/örnek oranlarını 1:1, 3:1, 4:1 ve 5:1 gibi düşük oranlarda tutmuşlardır (Ramya ve Jain, 2017).

2.2.7 Ozmotik Dehidrasyonun Faydaları

Gıdaların Kalite Özelliklerine Etkisi

Gıda endüstrisinde ozmotik dehidrasyon uygulamalarının bazı önemli avantajları bulunmaktadır. Renk, tekstür, aroma gibi duyuşal özelliklerin diğer kurutma yöntemlerine kıyasla ürünün taze haline yakın olması ve gelişmesi, depolama sırasında besinsel bileşenlerin daha iyi tutulması ve depolama stabilitelerinin yüksek olması, enerji verimliliğinin yüksek olması, paketlenme ve nakliye masraflarının azalması gıda endüstrisindeki ozmotik dehidrasyon uygulamalarının başlıca avantajları olarak sayılabilir. Ozmoz, suyun uzaklaştırılması ilkesiyle uzun yıllardır bilinen bir kavram olmasına rağmen meyve ve sebzelerin kalitesini önemli ölçüde etkileyen ve enerji tasarrufu sağlaması açısından da yaygın bir şekilde kullanımı yeni gelişen bir teknoloji olarak değerlendirilebilir. Ozmotik dehidrasyon koşulları doğru optimize edildiğinde kurutma sırasında yeterli suyun uzaklaşması ve dengeli katı madde geçişi ile gıdaya özgü lezzet, renk, tekstür gibi özellikler korunabilmekte, kurutma sırasında çeşitli antioksidan katkıların kullanıma ihtiyaç duyulmamaktadır (Akbarian ve ark., 2014).

Konveksiyonel kurutma öncesinde meyvelerin bir ozmotik çözeltiye daldırılarak ozmotik dehidrasyon işlemi uygulaması, oksidatif esmerleşmenin engellenmesi, uçucu aroma bileşenlerin kaybının engellenmesi, meyvede asitliğin

azaltılması gibi olumlu etkilerinden dolayı nihai ürünün kalitesine önemli katkıda bulunmaktadır (Yetenayet ve Hosahalli, 2010).

Ozmotik ön dehidre işlemi taze ürünün kalitesine en az zarar vererek kurutma sağlaması nedeniyle etkili bir kurutma yöntemidir. Ozmotik dehidrasyon sırasında meyve ve sebzelerin hava ile teması kesildiğinden, gıdaların oksidatif ve enzimatik bozulmalara karşı korunması için kükürdioksit vb. katkılara olan ihtiyacı da ortadan kaldırmaktadır. Ozmotik dehidrasyon uygulanan meyve ve sebzelerin kurutulmasında yüksek sıcaklığa maruz kalma süresi azalacağından, renk ve lezzetin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Meyveyi çevreleyen yüksek şeker konsantrasyonu gıdalarda bulunan renk bileşenlerinin enzimatik ve oksidatif olarak parçalanmasını engelleyerek rengin korunmasını sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerle kurutulmuş meyvelere kıyasla daha şekerli olup, meyve ve sebzelerin kimyasal içeriği ve fizikokimyasal içeriği nedeniyle albenisi yüksek kurutulmuş ürünlerdir. Diğer taraftan kısmi dehidrasyon ve katı madde kazanımı nedeniyle sonraki kurutma işlemlerinde yapısal çökmelerin önüne geçilmektedir.

Dondurma işleminden önce ozmotik uygulamalarının da çözündürüldükten sonra doku, renk ve lezzetin daha iyi korunmasını sağladığı görülmüştür. Ozmo-konvektif kurutma ile konveksiyonel kurutmaya kıyasla lezzet ve tadın daha iyi korunduğu birçok çalışmada belirtilmektedir. Su miktarının azalması ve çözünmüş katı madde kazanımı, meyvelerin renk ve tekstürü üzerinde kristalize koruyucu etki sağladığı belirtilmektedir. Sonuç olarak kurutulmuş ürün ile doğal/taze ürün arasındaki duyu benzerliklerin çok fazla olması nedeniyle minimum düzeyde işlenmiş kuru meyveler elde etmek için çok iyi bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Akbarian ve ark., 2014).

Enerji Tasarrufu

Gıdaların kurutulması sırasında ihtiyaç duyulan enerji miktarı veya enerji tasarrufu kavramları, kurutulacak üründen uzaklaştırılması gereken su, kurutma süresi ve hızı ile doğrudan ilişkili olgulardır. Kurutma gıda ve gıda dışı endüstrilerde en çok enerjinin harcandığı proseslerdendir. Ozmotik dehidrasyon, düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebildiğinden hava ve vakumla kurutmaya kıyasla daha az enerji ihtiyacı duyulmaktadır. Bununla birlikte sadece ozmotik dehidrasyon uygulaması uzun raf ömürlü stabil bir ürün üretilmesi için tek başına yeterli bir kurutma yöntemi değildir. Bu nedenle daha stabil ve raf ömrü uzun ürünler

üretilebilmesi için konveksiyonel, mikrodalga, vakum kurutma, dondurarak kurutma gibi farklı kurutma yöntemleri ile uygulanmalıdır. Ozmotik dehidrasyonun bu gibi enerji gerektiren kurutma yöntemleri ile uyumlu hale getirilmesi maliyetleri düşürerek enerji verimliliğini artırması açısından ozmotik dehidrasyonu değerli kılmaktadır (Tortoe, 2010).

Kimyasal Uygulamaların Azalması

Kalsiyumklorür, birçok meyve ve sebzede tekstürün geliştirilmesi, olgunlaşmanın geciktirilmesi ve besinsel içeriğin geliştirilmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Taze elmaların ticari konserve uygulamalarında, elmaların dokusunda sıkışmış halde bulunan ve kutuda bulunan gazın kapaklamadan önce çıkarılmasında ve yumuşak tekstür gibi nedenlerle sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle elma konservesi üretiminde ozmotik dehidrasyon uygulanmış elma dilimlerinin kullanılması tekstürel olarak daha iyi bir yapıya sahip ve daha kaliteli olmasını sağlamaktadır. Bu işlem ozmo-konserve olarak bilinmektedir. Enzimatik esmerleşmelerin azaltılması için ise kimyasal işlemlerin uygulanması ihtiyacı ozmotik dehidrasyon uygulamaları ile azaltılabilmektedir. Bu noktada kaliteli ürünlerin ortaya çıkmasında şekerin iki önemli katkısı bulunmaktadır. İlk olarak, dilimlenen veya dokusu zarar gören meyvelerde oksidatif esmerleşmeyi katalize eden polifenoloksidaz enzim aktivitesini engellemekte veya yavaşlatmaktadır. İkincisi ise vakum veya konveksiyonel kurutma sırasında meyve ve sebzelerin yapısındaki lezzet ve aromayı önemli ölçüde etkileyen uçucu aromatik bileşenlerin korunmasını sağlamaktadır (Sharma ve ark., 1991)

Depolama Stabilitesi

Katı madde kazanımı ve su kaybına bağlı olarak su aktivitesinin düşmesi sonucu gıdalarda meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ve toksin üreten mikroorganizmaların gelişimi azalmaktadır. Ozmotik dehidrasyon uygulanmış gıdaların depolama stabilitelerinin işlem görmemiş meyve ve sebzelere göre daha iyi olduğu bildirilmektedir. Yüksek nem içeriğine sahip meyve ve sebze konservelerinde üründen salamura su geçişi olduğundan bu sırada lezzet ve aroma kaybı meydana gelmekte olup, ozmotik dehidrasyon uygulanmış meyve ve sebzelerden konserve ürümiyle bu durumun önüne geçilebilmektedir. Benzer şekilde dondurularak ozmo-dehidre edilmiş kayısı ve şeftali küplerinin yoğurda

katılmasıyla, yoğurt kıvamının geliştiği yoğurt suyu ayrılmasının da azaldığı belirtilmektedir (Giangiacomo ve ark., 1994).

2.2.8 Gıda Endüstrisinde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamalarında Yaşanan Sorunlar

Kalite Özellikleri

Ozmotik dehidrasyon sırasında yaşanan en önemli sorunlardan birisi ozmotik çözeltiden gıdaya olması gerekenden daha fazla çözünen madde geçiştir. Katı madde kazanımı nihai ürünün tadını şekerlilik ve asitlik açısından belirleyen önemli bir faktördür. Katı madde geçişi, meyve ve sebzelerin yüzey katmanlarını bloke ederek kütle transfer direnci yaratır ve istenilen dehidrasyon oranı sağlanamayabilir. Ozmotik dehidrasyon sırasında yoğun katı madde alımı meyve ve sebzelerin doku ve hücrelerinde hasara yol açabilmektedir. Katı madde geçişi oranında, ozmotik çözeltinin sıcaklığı ve türü önemli olup katı madde alımının sınırlandırılması için kaplama yöntemi önerilmektedir (Matuska ve ark., 2006).

Ozmotik Çözeltinin Kullanımı

Ozmotik dehidrasyon sırasında meyve ve sebzelerin tatlılık ve tuzluluk oranı istenilenden fazla artabileceğinden koşulların optimize edilmesi gerekmektedir. Ozmotik dehidrasyon uygulamalarında, kullanılan ozmotik şurubun geri kazanımı ve mikrobiyal validasyonlar gıda endüstrisinde önemli faktörlerdir. Ozmotik çözeltinin geri kazanımı sağlanarak kullanımı arttıkça mikrobiyal kontaminasyon riski de yükselmektedir. Aynı zamanda ozmotik çözelti maliyetleri de işlemin uygulanabilirliği açısından önemli bir faktör olup, ozmotik çözeltinin bileşimi, konsantrasyonu, çözünen ilaveleri, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü, atık bertarafı gibi konuların hepsi endüstriyi ilgilendiren konulardır. Tek çözünenin olduğu çözeltilerin geri kazanımı karışık çözeltilere kıyasla daha kolay olup, geri dönüşüm için evaporasyon veya ters ozmoz uygulamaları kullanılmaktadır (Akbarian ve ark., 2014).

Proses Kontrol ve Dizaynı

Ozmotik dehidrasyon sırasındaki kütle denge değişimlerinin, sürece ilişkin değişkenlerin ve denge hız sabitlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için daha ileri

alışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ozmotik dehidrasyon çalışmalarında değişkenler tahmini olarak belirlenmekte olup endüstriyel anlamda sürecin tasarımı ve kontrolü için evrimii ölçüm metotlarının geliştirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Ozmotik özeltilerin viskozitesi yüksek olması nedeniyle çözeltinin karıştırılmasında zorluklar yaşanmakta ve çözelti gıdanın yüzeyine yapışmaktadır. Sürekli akış sistemlerinde ozmotik dehidrasyon uygulanan meyve ve sebzelerde, tekstürel değişimlerden kaynaklı parçalanma veya zedelenmeler oluşabilmektedir (Tortoe, 2010).

2.3 Konveksiyonel Kurutma

Kurutma en bilinen tanımıyla, sıcak havanın temas etmesi sonucu gıdadaki nemin uzaklaştırılmasını sağlayan termal bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Konveksiyonel kurutma uygulamalarında kabin kurutucu, tünel kurutucu, akışkan yatak kurutucu, sandık kurutucu ve spre y kurutucular gibi farklı türde ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu kurutucu türlerinin ortak özelliği, ısı kaynağından sıcak havayı bir fan aracılığıyla ortama taşıyarak sirküle etmek ve kurutulacak materyalden nemin uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Konveksiyonel kurutma, yüksek ve orta nemli meyvelerin nem oranlarını %5 düzeyine ve su aktivitesini de mikrobiyal aktivitenin bulunmadığı 0.61'in altına düşürerek kurutulmuş meyve üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte konveksiyonel kurutma uygulamalarında yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresinden kaynaklı renk, lezzet ve besin kaybı sonucunda düşük kalitede kurutulmuş ürünler elde edilmektedir. Konveksiyonel kurutmanın 80°C ve üzerindeki sıcaklıklarda uygulanmasıyla nem içeriği düşük gıdalarda Maillard ve karamelizasyon reaksiyonları meydana gelmektedir. Konveksiyonel kurutmada, sıcak havaya maruz kalan serbest su molekülleri gıdanın yüzeyinden ve içerisinden buharlaşarak uzaklaşmaktadır. Bununla birlikte konveksiyonel kurutma, higroskopik ve büzüşen katı materyalden kütle ve enerji transferini oluşturan karmaşık bir sistemdir. Gıdanın yapısındaki bağlı veya serbest formlarda ve farklı katmanlarda bulunan su, karmaşık gözenekli yapıdan ısı ve kütle transferi yoluyla buharlaşarak ayrılır. Konveksiyonel kurutmada nem, gıdanın açıkta kalan yüzeyinden başlayarak buharlaşır. Kurutulan gıdanın yüzeyi ve derinlikleri arasında bir konsantrasyon farkı oluşmasıyla, derinliklerden yüzeye doğru bir difüzyon başlayarak nemin uzaklaşması devam eder. Meyveler birbiriyle bağlantılı gözenek ve kanallara sahip hücresel dokulara

sahiptir. Meyvelerin yapısında bulunun serbest su, ilk aşamada katının derinliklerden yüzeyine doğru kılcal damarlardan gözeneklere difüzyon yoluyla değil kapilerite etkisi ile ilerleyerek uzaklaşır. Yapıdaki su uzaklaştıkça kapileritenin oluşması için yeterli su bulunmayacağından nem hareketi difüzyon yoluyla gerçekleşir (Akharume ve ark., 2019).

Kurutma sıcaklığı, süresi, kurutucu hava hızı, bağıl nemi, meyvenin türü ve şekli, kimyasal içeriği konveksiyonel kurutma sırasında kütle transferini etkileyen başlıca unsurlardır. Ozmotik dehidrasyon koşullarında olduğu gibi sıcaklık ve sürenin artması kuruma hızını önemli ölçüde etkilemektedir. Bununla birlikte meyvenin başlangıç nem içeriği, meyvenin boyutu, havanın bağıl nemi ile kuruma süresi ve kütle transferi arasında ters orantı bulunmaktadır (Akharume ve ark., 2019).

2.3.1 Ozmo-Konveksiyonel Kurutma

Ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutmanın birlikte kullanımı kurutulan meyve için ayrı ayrı faydaları bulunmakta olup, ozmotik dehidrasyon konveksiyonel kurutmadan önce bir ön dehidrasyon işlemi olarak uygulanmaktadır (Akharume ve ark., 2019).

Meyve ve sebzelerin konveksiyonel olarak kurutulmasından önce ozmotik dehidrasyon uygulamasının son ürün kalitesine olumlu yönde etki ettiğine ilişkin bir çok çalışma bulunmaktadır (Ramya ve ark., 2017).

Meyvelerin türüne göre ozmotik dehidrasyon uygulamalarından önce yıkama, soyma, çekirdek çıkarma ve şekil verme gibi işlemler uygulanmaktadır. Bununla birlikte yoğun katı madde geçişi olması durumunda ozmotik dehidrasyon sonrasında hafif durulama işlemi yapılmaktadır (Akharume ve ark., 2019).

Kurutulmuş meyveler düşük su aktiviteleri nedeniyle mikrobiyal açıdan güvenli gıdalardır. Su aktivitesi değerleri 0.1-0.55 aralığında değişmekte olup su aktivitesi 0.61 altında bakteriyel gelişim durmaktadır. Yine de kurutulmuş ürünler, satış sırasında meydana gelebilecek kontaminasyonlar ile rehidre olabilmekte ve mikrobiyal gelişmeler olabilmektedir. Konveksiyonel kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulaması gıdaların nem oranını çok düşürmeden de su aktivitesinin düşürülmesine olanak tanımaktadır. Taze kesilmiş elma dilimlerinin raf ömrünün 3-4 günden 6 güne yükseldiği, benzer şekilde taze çileklerin raf ömrünü 7 güne

çıkardığı, buhar uygulaması ve mikrodalga işlemleriyle raf ömrünün 15 ile 30 güne kadar uzatılabildiği bildirilmektedir (Beuchat, 1981).

2.3.2 Ozmo-konveksiyonel Olarak Kurutulmuş Meyvelerin Kalite Gelişimi

Kurutulmuş meyvelerin rengi, sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlardan dolayı değişmekte olup, renk değişimi kurutulmuş meyveler için önemli bir kalite kriteridir. Meyvelerde meydana gelen bu renk ve tekstürel değişimler duyusal analiz teknikleri ile değerlendirilmekte olup aynı zamanda tekstür analiz cihazı ve renk tayin cihazı ile de ölçülebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, sakaroz ve trehaloz çözeltilerinde ozmotik dehidrasyon uygulanan ve ozmotik dehidrasyon uygulanmamış kuru elmalarda depolama sonrası renk değişimleri duyusal olarak incelenmiştir. Elma dilimleri 60°C’de kurutulduktan sonra depolama sürecinde meydana gelen renk değişimleri incelendiğinde, en yüksek renk değişimi skoru sırasıyla, ozmotik dehidrasyon uygulanmayan elma dilimlerinde 24.03, sakaroz çözeltisinde ozmotik dehidrasyon yapıldığında 14.24, trehaloz çözeltisinde uygulandığında ise 17.14 olmuştur. Su aktivitesinin 6 aylık depolama sonunda artmasına bağlı olarak L* ve h değerlerinin arttığı, 12. ayın sonunda ise tüm ürünlerde esmerleşme indeksinin yükseldiği bununla birlikte ozmotik dehidrasyon uygulanmayan elma dilimlerinde bozulmalar başladığı görülmüştür. Çözelti konsantrasyonun 50°Bx olduğu solüsyonda dehidrasyon uygulanan elma dilimleri renginin 20°Bx olan çözeltiye göre daha iyi korunduğu bildirilmektedir. Ayrıca trehaloz çözeltisinin hem 50°Bx hem de 20°Bx ozmotik solüsyonlarında ozmotik dehidrasyon uygulamasının renk açısından diğer çözeltilere göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmektedir (Aktaş ve ark., 2013).

Ozmotik dehidrasyon sırasında meyvelerin yapısında bulunan polifenoller ve C vitamini gibi besinsel bileşenlerde kayıplar yaşansa da, ozmotik çözeltilerin doğru seçimi ve kullanımı ile bu kayıpların önüne geçilebilmektedir. Ozmotik dehidrasyon sırasında askorbik asit kaybının belirlenebilmesi için yapılan bir çalışmada, elma dilimleri 20°Bx ve 50°Bx konsantrasyonlarındaki çözeltilerde 30 dakika dehidre edilmiş ve 50, 60, 70°C’ de konveksiyonel olarak kurutulmuşlardır. En yüksek askorbik asit kaybının ozmotik dehidrasyon

uygulanmayan elma dilimlerinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte çözelti türüne göre trehaloz çözeltisinde, konsantrasyona göre ise 50°Bx çözelti konsantrasyonunda ozmotik dehidrasyon uygulanan elma dilimlerinde askorbik asit seviyesinin en yüksek olduğu belirtilmektedir (Aktaş ve ark. 2013).

Ozmotik dehidrasyon uygulaması aynı zamanda fenolik bileşiklerin tutulmasını sağlamaktadır. Ozmo-konveksiyonel kurutmanın yapıldığı bir çalışmada, ozmotik dehidrasyon uygulanan örneklerde polifenol içeriğinin (137.1 mg/100g), uygulanmayan örneklere göre daha yüksek olduğu, 12 aylık depolama sonunda da sonuçların aynı yönde olduğu belirtilmektedir (Akharume ve ark., 2019).

Ozmotik çözelti konsantrasyonlarının 70 °Bx gibi yüksek olduğu dehidrasyon uygulamalarının kuruma süreleri ve maliyetleri düşürdüğü bildirilmektedir (Ramya ve Jain, 2017).

Garcia ve ark. (2007), tarafından yapılan bir araştırmada, kabak dilimlerinde ozmotik dehidrasyon kinetiğı ve sakaroz emiliminin konveksiyonel kurutmaya etkisi araştırılmıştır. Ozmotik çözelti sıcaklığı 27°C ve konsantrasyon dereceleri 40, 50 ve 60°Bx olarak belirlenmiştir. Konveksiyonel kurutma sıcaklıkları 50 ve 70°C, kurutucu hava hızı 2 m/sn olarak seçilmiştir. Suyun difüzyonunun sıcaklığa bağılı olarak yükseldiğı, ozmotik ön işlemin kuruma sırasında suyun difüzyonuna olumlu etki sağladığı, ozmotik ön işlem uygulanmayan örneklerde nem difüzyonunun daha düşük olduğu belirtilmektedir. Bu durumun, ozmotik ön işlem uygulanmayan taze kabak dilimlerinin hızlı kurumaya bağılı yüzeyinin sertleştiğı ve tekstürel değişime bağılı olarak kurumunun daha yavaş olmasından kaynaklı olduğu bildirilmektedir (Ramya ve Jain, 2017).

Nar taneleri 40, 50 ve 60°C sıcaklık ve 2 m/sn kurutucu hava hızı koşullarında konveksiyonel olarak kurutulmadan önce 50°C 55°Bx sakaroz çözeltisinde 20 dakika bekletilmiştir. Konveksiyonel kurutma işleminden sonra nar tanelerindeki polifenoloksidaz enzim aktivitesi ile hidroksimetilfurfural içerikleri belirlenmiş ve enzimatik-enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının renk üzerine etki etmediğı saptanmıştır. Bu durum, kurutma öncesi ozmotik dehidrasyon uygulamasının etkinliğini açıklamaktadır (Bchir ve ark., 2012).

2.4 Mikrodalga Kurutma

Konveksiyonel kurutma, vakum kurutma ve dondurarak kurutma gibi bir çok kurutma yönteminde azalan bir kurutma hızı olması ile birlikte kuruma süreleri uzamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda uzun süren kurutmalar, termal degradasyonlara yol açmakta ve gıdaların besinsel içeriğini olumsuz yönde etkilenmektedir. Mikrodalga kurutmada kuruma sürelerinin daha kısa olması ile ürün kalitesi daha yüksek olmakta ve bu yöntem alternatif metot olarak değerlendirilmektedir.

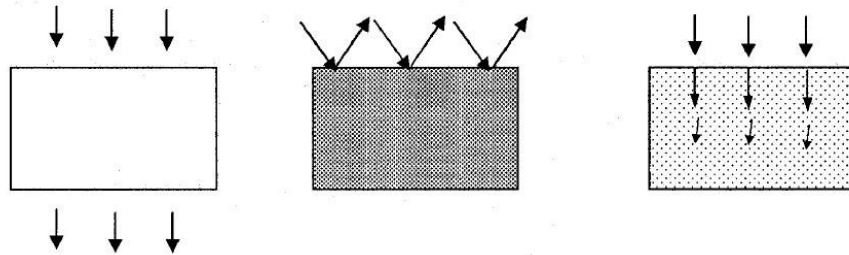
Mikrodalga kurutmada üç periyot dikkat çekmektedir. İlk olarak mikrodalga enerjisi ısıya dönüşerek kurutulacak materyalin sıcaklığını artırmakta ve gıdada bulunan suyun buhar basıncı ortamın su buhar basıncından yüksek olduğu için nispeten az miktarda buharlaşma olmaktadır. İkinci aşama, mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşmesi sonucu sabit bir sıcaklığa ulaşarak hızlı bir nem kaybının başladığı periyottur. Gıdaların farklı büyüklükteki gözenekli yapılarından dolayı, ısının suyu buharlaştırarak yapıdan uzaklaştırma oranları da gıdaların farklı bölgelerinde değişen oranlarda olmaktadır. Üçüncü aşama ise kuruma hızının azalan bir oranda olduğu ve yapıda bulunan suyun buharlaşması için gerekli enerjinin, mikrodalga enerjisinin ısıya dönüştüğü enerjiden daha düşük olduğu evredir. Sıcaklık, suyun kaynama noktası üzerine çıkabilmektedir. Kurutma sırasında azalan nem oranları sonucunda ürünün sıcaklığında artış ve buna bağlı olarak da yanmalar meydana gelebilmektedir. Mikrodalga kurutma sırasında meydana gelen sıcaklık değişimleri için farklı geometride gıdalar üzerinde çalışmalar yapılmakta olup meyve ve sebzelerin mikrodalga kurutulmaları sırasındaki dielektrik özellikleri kurutmanın etkinliği açısından oldukça önemlidir (Zhang ve ark., 2006).

2.4.1 Mikrodalga ısıtmanın mekanizması

Mikrodalga ısıtma, mikrodalga ışınlarının herhangi bir materyalde bulunan polar moleküllere etki ederek elektromanyetik alan enerjisinin termal enerjiye dönüşmesi prensibine dayanmaktadır (Khodifad ve Dhamsaniya, 2020).

Mikrodalgalar kendileri ısı üretmeyip, mikrodalga enerjisi materyal tarafından absorbe edildiğinde ısıya dönüşmektedir. Mikrodalga alanındaki gıdaların ısınma mekanizmasında bir çok faktör etkilidir. Mikrodalga ortamında bir gıdanın ısıtılması veya kurutulmasında, ısıtmanın temel mekanizmaları ve gıda ile etkileşiminin iyi anlaşılması gerekmektedir. Gıdaların yapısında bulunan su ve lipid

gibi bir çok molekül kutuplarında + ve - yükleri olan dipol bileşiklerdir. Gıdaların mikrodalga ile ısıtılması, hem gıdanın yapısında bulunan dipolar su moleküllerinin hem de iyonik bileşiklerin enerji absorbe ederek bu enerjinin ısıya dönüşmesi ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle hem su içeriği hem de çözünmüş iyonlar gıdaların mikrodalga ısıtılmasında etkili faktörlerdir. Dipolar su molekülleri mikrodalgaya maruz kaldığında zamanın (frekansa) ve sıcaklığın fonksiyonu olarak sürekli yön değiştirirler (dipol rotasyon) ve elektrik alanla aynı düzleme girmeye çalışırlar. Bu sırada mikrodalga enerji, dipolar su molekülleri tarafından absorbe edilerek ısı enerjisine dönüşür ve sıcaklık artışı meydana gelir. Gıdaların yapısında bulunan iyonize bileşikler mikrodalga uygulandığında elektrik alandaki iyonize olmayan gruplarla rastgele çarpışırlar. Bu çarpışmalar ve moleküller arasındaki sürtünmeler sırasında oluşan kinetik enerji ısıya çevrilir (iyonik kondüktans). Mikrodalga ısıtmanın en belirgin etkisi sıcaklık artışının, gıdanın nem profilindeki değişime göre artmasıdır. Mikrodalga ışınlar, dipolar moleküller ve iyonik bileşikler tarafından absorbe edilirken, metaller tarafından yansıtılır, cam ve plastik malzemeler ise geçirgendir. Mikrodalga ışınlar, materyallerle etkileşime girdiğinde absorbe edilir, yansıtılır ve geçirilir. Mikrodalga ışınların materyalde ne kadar derine nüfuz ettiği ve ısıya dönüşebildiği o materyalin dielektrik özellikleri ilgilidir (Li, 2007).



Şekil 2.7. Elektromagnetik alan etkileşimi (Li 2007'den uyarlanmıştır.)

Mikrodalga enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü ile ilgili bir çok mekanizma olsa da bunlarda en önemlileri iyonik kondüktans ve dipolar rotasyondur (Li, 2007).

Mikrodalga ısıtma en çok su molekülleri üzerinde etkiliyken dipol momenti düşük yağlar ve şekerler üzerinde daha az etkilidir (Khodifad ve Dhamsaniya, 2020).

Mikrodalga enerjinin ısıya dönüşümü (enerjinin absorbe edilebilme miktarı) aşağıdaki formüle göre hesaplanmakta olup, mikrodalga'nın üretildiği kaynağın frekansı, materyalin dielektrik kayıp faktörü, elektrik alan ve materyalin hacmi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Khodifad ve Dhamsaniya, 2020).

$$P = 2\pi E^2 f \epsilon'' \epsilon_0 V$$
 P: Güç (w)

E: Elektrik alan (V/m)

f: frekans (Hz)

ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti (8.854188×10^{-12} F/m)

ϵ'' : Dielektrik kayıp faktörü V: Materyalin hacmi (m³)

Gıdaların dielektrik özellikleri mikrodalga enerjisinin ne kadar depolanabileceği, dielektrik kayıp faktörü ise depolanan bu elektromagnetik enerjinin ne kadarının ısıya çevrildiği ve kaybolduğu ile ilgili bir kavramdır. Gıdaların dielektrik özellikleri kimyasal bileşim ve yoğunluğuna, sıcaklığa ve kaynağın frekansına göre farklılık göstermektedir (Khodifad ve Dhamsaniya, 2020).

Mikrodalga kurutma sırasında magnetronun oluşturduğu elektromagnetik dalgaların meydana getirdiği ısı sonucu, gıdaların iç ve dış yüzeyi arasında oluşan su buhar basıncı farklılığı nemin taşınması için itici gücü oluşturur. Bu sayede kurutulan materyalin merkezinden yüzeyine doğru bir nem transferi olacağından kurutma işlemi kısa sürede gerçekleşir (Khodifad ve Dhamsaniya, 2020).

Mikrodalga ısıtmada 300 MHz ile 300 GHz frekans aralığında elektrik enerjisi kullanılmakta olup, gıda endüstrisinde 915 Mhz en yaygın kullanılan frekanstır. Mikrodalga fırın içerisinde bulunan magnetronlar elektrik enerjisini mikrodalgaya çevirerek foton adı verilen ışınlar halinde ortama yayılır. Ev tipi mikrodalga fırınlarda magnetronlar aracılığıyla elektrik akımından gelen 50 Hz alternatif akımı 2.450 Mhz frekansa çıkarılarak mikrodalga ışın üretilir. Gıdaların yapısındaki polar moleküller, 2.450 MHz frekansta mikrodalga ışınlarına maruz kalmasıyla saniyede 2.45×10^9 kere rotasyona uğrarlar. Hızla dönen moleküller arasındaki sürtünmeler gıdanın yapısında ısı açığa çıkmasını sağlar (Khodifad ve Dhamsaniya, 2020).

Mikrodalga kurutmada, mikrodalga ışınların penetrasyon derinliği, kurutulacak materyalin dielektrik özellikleri ve nem oranı ile kurutma sırasındaki sıcaklık artışı göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerdir. Nem oranı yüksek gıdalarda konveksiyonel kurutmayı tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılması kurutma sürelerinin kısalması ve ekonomik açıdan avantaj sağladığı bildirilmiştir (Li, 2007).

2.4.2 Ozmotik Dehidrasyon ve Mikrodalga Kurutma Uygulamaları

Ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma uygulamaları, mikrodalga destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon uygulanan materyallerde mikrodalga kurutma uygulaması olarak iki başlıkta kategorize edilmektedir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmış elma, çilek, yaban mersini, mantar ve domates vakum mikrodalga ile kurutulmuş ve her iki kurutma yönteminin son ürünün kalite özelliklerine önemli katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Her iki yöntemin de renk, duyu özellikler, tekstür ve C vitamini içeriği gibi gıdanın kalite özelliklerini önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir. Mikrodalga ve ozmotik kurutmanın birlikte kullanımıyla mantarların kuruma sürelerinin kısaldığı, büzüşme oranlarının azaldığı, gözenekli yapısı bozulmayarak rehidrasyon kapasitesinin de yükseldiği belirtilmiştir.

Raghavan ve Silveira (2001), tarafından yapılan bir araştırmada, ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutmanın birlikte kullanımı ile kurutulmuş çileklerin büzüşme karakteristikleri incelenmiştir. Ozmotik dehidrasyon koşulları sakaroz çözeltisinde 1:4 oranında 24 saat olarak belirlenerek, 0.1-0.2 W/g (45°C) vakum kurutma uygulanmış olup, kurutma sonrasındaki çileklerin büzüşme oranları ile taze çileklerin nem oranları arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Sutar ve Sutar, 2013).

Ozmotik dehidrasyon uygulanan muzda, mikrodalga gücü, sıcaklık ve hava hızının kuruma kinetiği ve kalite özelliklerine etkisi incelenmiştir. Mikrodalga gücündeki artışın kuruma hızını artırarak kurutma süresini kısalttığı ve hava hızının meyvenin yüzeyindeki sıcaklığı azaltarak yanmayı engellediği bildirilmiştir (Pereira ve ark., 2007).

Torrington ve ark. (2001), tarafından yapılan bir araştırmada, konveksiyonel-mikrodalga kurutma öncesinde mantar dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulanan mantarların mikrodalga ve

konveksiyonel kurutma sırasında daha kısa sürede ve homojen kuruduğu, rehidrasyon özelliklerinin gelişerek büzüşme oranlarının da azaldığı belirtilmiştir.

Heredia ve ark. (2007), tarafından yapılan bir araştırmada, mikrodalga enerjisinin kuruma kinetiği ve dielektrik özelliklere etkisi incelenmiştir. Domatesler tuz, şeker ve kalsiyumlaktat karışımı bir ozmotik çözeltide ozmotik dehidrasyon işlemine tabi tutulduktan sonra mikrodalga destekli sıcak hava kurutma uygulanmıştır. Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma uygulamasıyla geleneksel kurutmaya kıyasla raf ömrü daha uzun ve kaliteli kurutulmuş domatesler elde edildiği belirtilmiştir (Sutar ve Sutar, 2013).

Prothon ve ark. (2001), tarafından yapılan bir araştırmada, mikrodalga destekli sıcak hava kurutmanın (50, 60, 70°C) ozmotik dehidrasyon uygulanmış ve uygulanmamış elma dilimlerine etkisi incelenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmış elma dilimlerinde genel olarak ürünün nihai kalitesinin daha iyi olduğu, ozmotik dehidrasyon sırasında sakaroz geçişine bağlı olarak mikrodalga kurutmanın son aşamasında efektif difüzyon katsayısının daha düşük olduğu, ozmotik dehidrasyon uygulanmamış örneklerde rehidrasyon kapasitesinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Bu tezin amacı, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının Deveci türü armut dilimlerinin fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerine etkisini belirlemek olmuştur. Bu amaçla, Deveci armutları temin edilerek ozmotik dehidrasyon ön işlemi sonrasında konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanmıştır.

Deveci armutlarının konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulması öncesinde uygulanan ozmotik dehidrasyon koşulları yanıt yüzey metodu ile oluşturularak optimum koşulların belirlenmesi ve optimum koşullarda üretilen armut dilimlerinin depolama stabilitelerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Literatür çalışmalarında, Deveci armutlarının farklı metotlarla kurutulmalarına dair çalışmalar olmasına rağmen ozmotik dehidrasyon uygulaması sonrasında konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulmalarına ilişkin çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının, Deveci armutlarının fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri olumlu etkileri nedeniyle bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışma kapsamında, Deveci tescil isimli armut (*Pyrus comminus* L.), ozmotik dehidrasyon ön işleminden sonra konveksiyonel ve mikrodalga yöntemle kurutulmuştur.

Deveci armudu iri, alt kısımları geniş, basıktır. Çiçek çukuru derin olup meyve yüzeyi hafif girintili çıkıntılı, kabuğu ince, zemin rengi sarı-yeşil, passız, bazen güneş gören yüzü pembe-kırmızıdır. Deveci armudunun meyve eti beyaz, gevrek, sulu, tatlı ve kalitesi yüksektir. Soğuk hava tesislerinde uzun süre muhafaza edilebildiğinden kış ayları için ticari değeri açısından iyi bir seçenektir. Tüketim olgunluğuna eriştiğinde fazla yumuşamamaktadır. Ortalama; 100 mm genişlikte, meyvenin sapı hariç 98 mm uzunluğunda ve yaklaşık 620 gram ağırlığındadır (Mete, 2019).

Bursa İli Gürsu ilçesinde yetiştirilen Deveci armudunun hasat dönemi her yıl Ekim ayının başlarında olup, çalışma kapsamında kullanılan yaş armutlar aynı bahçeden temin edilerek +4°C derecede muhafaza edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Çalışmanın Kapsamı

Tez çalışması kapsamında; Deveci türü armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulmasında ozmotik dehidrasyon ön işleminin, ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulan armut dilimlerinde ozmotik dehidrasyon ön işlemi ile ürünün besin değerleri kalitesinin optimum düzeyde sağlandığı bir model belirlenmeye çalışılmıştır.

3.2.2 Ozmotik Dehidrasyon

Ozmotik dehidrasyon uygulamasında sakaroz çözeltisi kullanılmış olup, örnek/çözelti oranı 1:4 olarak belirlenmiştir. 40, 55 ve 70°Bx derecesinde 1 L sakaroz çözeltisi Tablo 3.1.'e göre hazırlanmış olup, çözelti homojen oluncaya kadar manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltilerin briks dereceleri el tipi refraktometre ile ölçülmüştür.

Meyve ve sebzelerin ozmotik dehidrasyonunda yaygın olarak sakaroz, glukoz, fruktoz ve mısır şurubu kullanılmaktadır. Sakarozun molekül ağırlığı glukoz, fruktoz ve mısır şurubuna göre daha yüksektir. Yüksek yoğunluklu ve büyük molekül ağırlıklı ozmotik ajanların seçilmesi hücre zarında bariyer oluşturarak gıdaların yapısındaki önemli biyoaktif bileşiklerin ozmotik ajana geçişini engellemektedir. Yüksek molekül ağırlıklı şurupların kullanımında meyve ve sebzelerde hücresel yapı korunduğu sürece suyun difüzyon hızının daha yüksek olması ve aynı zamanda düşük molekül ağırlıklı şurupların kullanımında katı madde geçişinin daha fazla olmasının üründe arzu edilmeyen tatlılık oluşturabileceği nedenleriyle bu çalışmada sakaroz şurubu kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Şeker şurubu tablosu (20°C)

	Briks Derecesi	Kuru Madde Sakaroz g/L	1 L Şurup için Gerekli Su Miktarı (mL)
1	40	470.6	705.9
2	55	691.6	565.9
3	70	943.0	404.2

Ozmotik çözeltinin alt briks değeri 40, üst briks değeri 70; örneklerin çözeltide kalma süresi için alt değer 3, üst değer 9 saat; konveksiyonel olarak kurutulan örneklerde ozmotik dehidrasyon sıcaklığı için alt değer 30°C, üst değer 60°C, mikrodalga ile kurutulan örneklerde ise alt değer 45°C, üst değer 70°C olarak belirlenmiş olup Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Ozmotik dehidrasyon koşulları

		Konveksiyonel Kurutma			Mikrodalga Kurutma		
		Faktör Seviyeleri			Faktör Seviyeleri		
Bağımsız Değişkenler		-1	0	+1	-1	0	+1
Sıcaklık (°C)	A	30	45	60	40	55	70
Briks Derecesi (°Bx)	B	40	55	70	40	55	70
Süre (saat)	C	3	6	9	3	6	9

Deveci armutları yıkanıp kabuk soyma işleminden sonra 5 mm dilimlenerek yanıt yüzey metoduna göre belirlenen koşullarda ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulaması sırasında sakaroz çözeltisi belirli aralıklarla karıştırılarak üç saatlik periyotlarda çözeltisi yenilenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimleri konveksiyonel ve mikrodalga kurutmadan önce sudan geçirilerek yüzey suları akıtılmıştır.

3.2.3 Konveksiyonel ve Mikrodalga Kurutma

Gıda endüstrisinde meyve ve sebzelerin kurutulmalarında konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel kurutma yöntemlerine göre mikrodalga uygulamalarında kurutma süreleri daha kısa olup ürünün bulunduğu ortamın ısıtılmasına ihtiyaç duyulmadığından enerji gereksiniminin daha az olduğu bilinmektedir. Literatür çalışmalarında konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleri öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulaması konularının kısıtlı olması ve aynı zamanda gıda endüstrisinde uygulanabilirliği nedenleriyle bu çalışmada konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleri tercih edilmiştir.

Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinin konveksiyonel olarak kurutulmasında laboratuvar tipi konveksiyonel kurutucu (Eksis Endüstriyel Kurutma Sistemleri, Isparta) kullanılmıştır. Konveksiyonel kurutma koşulları, 70°C, 3 saat ve 0.5 m/s hava hızı olarak belirlenmiş olup, kuruma sonrası nem oranları yaklaşık % 8-10 olacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 3.1.).

Ozmo-dehidre armut dilimlerinin mikrodalga kurutulmasında ise 2.450 MHz 900 W özelliğinde (Bosch-HMT84G421, P.R.C.) mikrodalga fırın kullanılmış olup, mikrodalga gücü 180 W olarak belirlenmiştir. Kuruma sonrası nem oranları yaklaşık %10-18 arasında belirlenmiştir (Şekil 3.1.).

Ozmotik dehidrasyon uygulanmaksızın doğrudan konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armutlar; ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armutlara karşı kontrol örneği olarak belirlenmiştir.

3.2.4 Yanıt Yüzey Metodu

Yanıt yüzey yöntemi, matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir arada kullanıldığı bir optimizasyon problemidir. Temel hedef, çeşitli süreç parametrelerinden etkilenen yanıt yüzeyini optimum yapmaktır. Bu yöntem başta gıda olmak üzere, sağlık, farmakoloji, kimya vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Yanıt yüzey yönteminde işlem parametreleri bağımsız değişkenler iken, analiz sonuçları ise bağımlı değişkenlerdir. Bağımsız değişkenlerin birbirleri ve yanıtlar üzerindeki etkileşim değerlendirilerek optimum noktanın bulunmasını sağlanmaktadır (Özonur ve ark., 2019).

Yanıt yüzey yönteminin Merkezi Karma Tasarım yöntemleri; püskürtmeli kurutma, çeşitli ürünlerin osmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonu, akışkan yatak kurutma, çeşitli enzimlerin üretim koşullarının optimizasyonu, pastörizasyon, ekstrüzyon, fırında pişirme, kavurma, yeni ürün formülasyonu gibi işlemlerde 2000 yılından itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Maksimum ürün kalitesi ve/veya verimin veya minimum bozulmanın hedeflendiği bu çalışmaların genelinde, optimizasyon ikinci dereceden polinomiyal modeller kullanılarak belirlenmiş ve grafiksel yöntem, desirability (İstenilen Hedefe Ulaşma) fonksiyonu yaklaşımı ve durağan noktanın hesaplanması yöntemleri kullanılarak optimum nokta hesaplanmıştır (Koç ve Kaymak Ertekin, 2009).

Osmotik dehidrasyon koşullarındaki bağımsız değişkenler, osmotik çözelti sıcaklığı (°C), çözeltide kalma süresi (saat) ve osmotik çözelti konsantrasyonu (°Bx) olarak belirlenmiştir. Osmotik dehidrasyon koşullarının oluşturulmasında ve optimizasyonunda yanıt yüzey metodu kullanılmış olup, Merkezi Karma Tasarım (Central Composite Design) yöntemine göre oluşturulan deney tasarımı -1, 0, +1 olarak 3 düzeyde ve merkez noktasında 4 tekrar olacak şekilde yapılmıştır. Merkezi Karma Tasarımının oluşturulmasında Design Expert 12 (Statease In., Minneapolis, ABD) programı kullanılmış ve tasarımdaki deney sayısı aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\text{Deney sayısı} = 2^k + 2k + 4$$

4: Merkezdeki tekrar sayısı k: Değişken sayısı

Konveksiyonel ve mikrodalga yöntemle kurutulan armut dilimlerinin osmotik dehidrasyon koşulları Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Konveksiyonel yöntemle kurutma öncesinde armut dilimlerine uygulanan ozmotik dehidrasyon koşulları

	Briks Derecesi	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
1	40	30	3
2	70	30	3
3	40	30	9
4	70	30	9
5	55	30	6
6	40	45	6
7	55	45	6
8	55	45	6
9	55	45	6
10	55	45	6
11	55	45	3
12	55	45	9
13	70	45	6
14	40	60	3
15	70	60	3
16	40	60	9
17	70	60	9
18	55	60	6

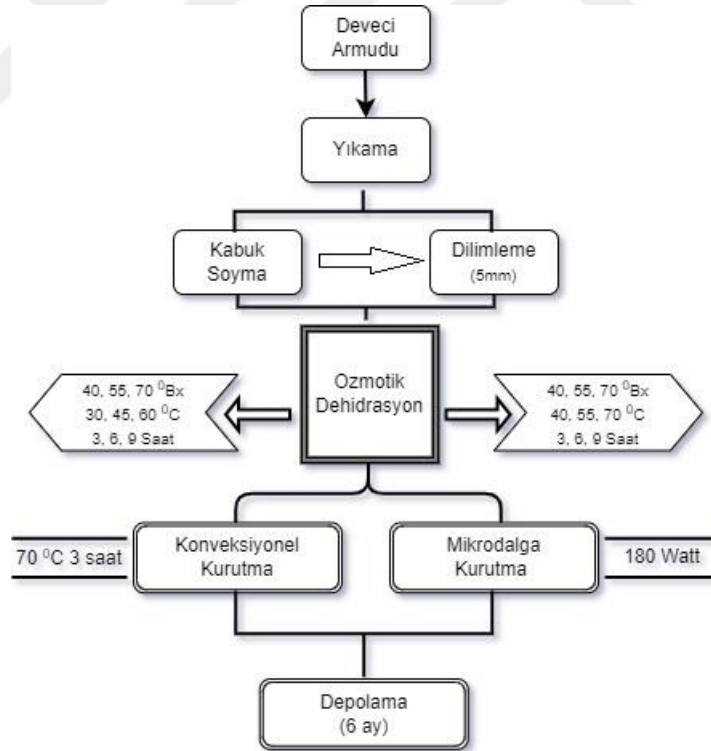
Tablo 3.4. Mikrodalga ile kurutma öncesinde armut dilimlerine uygulanan ozmotik dehidrasyon koşulları

	Briks Derecesi	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
1	40	40	3
2	70	40	3
3	40	40	9
4	70	40	9
5	55	40	6
6	40	55	6
7	55	55	6
8	55	55	6
9	55	55	6
10	55	55	6
11	55	55	3
12	55	55	9
13	70	55	6
14	40	70	3
15	70	70	3
16	40	70	9
17	70	70	9
18	55	70	6

3.2.5 Konveksiyonel ve Mikrodalga Kurutma Koşullarının Optimizasyonu

Konveksiyonel olarak kurutulacak armut dilimlerinde, ozmotik dehidrasyon için optimum koşullar, **çözelti sıcaklığı 57°C, çözeltide kalma süresi 9 saat ve çözelti konsantrasyonu 70°Bx** olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra armut dilimleri konveksiyonel kurutulmuş ve kilitli polipropilen ambalajlarda 21°C’de 6 ay süresince depolanmıştır. Üretim 2 tekerrürlü yapılmıştır.

Mikrodalga kurutulacak armut dilimlerinde, ozmotik dehidrasyon için optimum koşullar, **çözelti sıcaklığı 70°C, çözeltide kalma süresi 5.4 saat ve çözelti konsantrasyonu 70°Bx** olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra armut dilimleri mikrodalga ile kurutulmuş ve kilitli polipropilen ambalajlarda 21°C’de 6 ay süresince depolanmıştır. Üretim 2 tekerrürlü yapılmıştır.



Şekil 3.1. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinin konveksiyonel yöntem ve mikrodalga ile kurutulmasına ilişkin akış şeması

Optimum ozmotik dehidrasyon koşullarının belirlenmesi için gerçekleştirilen analizler, iki tekerrürlü yapılan ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma aşamalarından sonra paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.6 Kuru Madde Analizi

Taze, ozmotik dehidrasyon uygulanan, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimleri hassas terazide 3-5 g tartılıp 102°C etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve kuru madde oranları % olarak aşağıdaki denkleğe göre hesaplanmıştır (Leahu ve ark., 2020).

$$\% Kuru Madde = \frac{m_1 - m}{m_2 - m} \times 100$$

m= Örnek kabı ağırlığı (g)

m₁=Örnek kabı ve kurutulmuş örnek ağırlığı (g)

m₂= Örnek ve kurutma kabı ağırlığı (g)

3.2.7 Katı Madde Kazanımı, Su Kaybı, Ağırlık Azalışı ve Suyun Efektif Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi

Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde katı madde kazanımı, su kaybı, ağırlık azalışı ve efektif difüzyon katsayıları aşağıdaki denklilere göre hesaplanmıştır.

Katı Madde Kazanımı:

$$\% Katı Madde Kazanımı = \frac{(m_f s_f) - (m_i s_i)}{m_i} \times 100$$

Su Kaybı:

$$\% Su Kaybı = \frac{(m_i z_i) - (m_f z_f)}{m_i} \times 100$$

Ağırlık Azalışı:

$$\% Ağırlık Azalışı = Su Kaybı - Katı Madde Kazanımı$$

m_i = Meyvenin başlangıç ağırlığı (g) m_f = Meyvenin son ağırlığı (g)

z_i = Meyvenin başlangıç nem içeriği (g H₂O /g Örnek)

z_f = Meyvenin son nem içeriği (g H₂O /g Örnek)

s_i = Meyvenin başlangıç kuru madde içeriği (g)

s_f = Meyvenin son kuru madde içeriği (g)

Suyun Efektif Difüzyon Katsayısı:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\alpha(1 + \alpha)}{1 + \alpha + \alpha^2 q_n^2} \exp\left(\frac{-D_{ew} q_n^2 t}{L^2}\right)$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{\pi^2 D_{ew} t}{4L^2}\right)$$

MR: Boyutsuz nem oranı,

M_0 : Kurutmaya başlamadan önceki ürünün nem içeriği (kg su/kg kuru madde),

M_e : Kurutma koşullarındaki denge nem içeriği (kg su/kg kuru madde),

M_t : t anındaki denge nem içeriği (kg su/kg kuru madde),

D_{ew} : Efektif difüzyon katsayısı (m²/s),

L: Dilim yarı kalınlığı (m),

t: Kurutma süresi (saat) olarak ifade edilmektedir.

3.2.8 Rehidrasyon Oranının Belirlenmesi

Ozmo dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulmasından sonra rehidrasyon oranları, 5.00 ± 0.05 g kurutulmuş örneğin 1/30 (w:v) oranında distile suda 24 saat bekletilip kazanılan su miktarı belirlenerek tespit edilmiştir. Rehidrasyon oranları % olarak aşağıdaki denklige göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Rehidrasyon Oranı} = \frac{m_r}{m_0} \times 100$$

m_r = Rehidrasyon sonrası ürünün ağırlığı (g)

m_0 = Rehidrasyon öncesi ürünün ağırlığı (g)

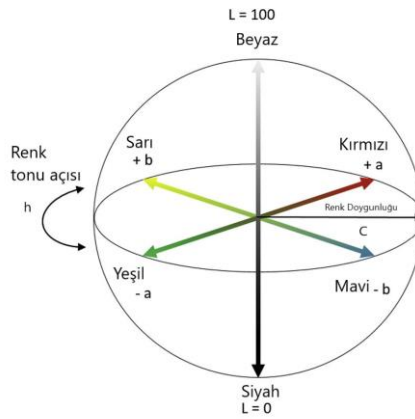
3.2.9 Renk Değerlerinin Belirlenmesi

ΔE , gıdalarda uygulanan işlemler sonrasında oluşan iki renk arasındaki farkı ölçen standart bir ölçümdür. ΔE seviyeleri, görüntülenen renk ile giriş içeriğinin orijinal renk standardı arasındaki farklılığı ifade etmektedir. Düşük ΔE değerleri daha yüksek doğruluğu gösterirken, yüksek ΔE değerleri önemli bir uyumsuzluğu ifade etmektedir.

Kurutulmuş armut dilimlerinin renk değerleri (L^* , a^* , b^*), CIE (International Commission on Illumination) renk ölçüm sistemine göre Minolta CR-400 (Osaka, Japan) renk ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ozmo dehidre armut dilimlerinin mikrodalga ve konveksiyonel olarak kurutulmasından sonra taze ile kurutulmuş armut dilimleri arasındaki görsel renk değerlendirmesi, sayısal olarak renk farklılığını ifade eden ΔE şeklinde aşağıdaki denklige göre hesaplanmıştır. ΔE , sıfırdan yüze kadar bir ölçekte ölçülmekte olup, sıfıra yaklaştıkça renk farklılığı azalırken yüze doğru renk bozulmasının arttığı görülmektedir.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

L^* : parlaklık/koyuluk, a^* : + ise kırmızı, - ise yeşil, b^* : + ise sarı, - ise mavi koordinatları göstermektedir (Bakker ve ark. 1986).



Şekil 3.2. Renk Diyagramı

3.2.10 Su Aktivitesi Tayini

Kurutulmuş armut dilimlerinin su aktivitelerinin belirlenmesinde su aktivitesi tayin cihazı (Novasina Labmaster) kullanılmıştır. Örnekler su aktivitesi ölçüm cihazının kaplarına kabın $\frac{3}{4}$ 'ünü dolduracak miktarda konularak oda sıcaklığında ($25 \pm 0.2^\circ\text{C}$) denge nem değerine ulaşana kadar bekletilmiştir. Su aktivitesi analizi, ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasından sonra yapılmıştır.

3.2.11 Ekstraksiyon İşlemi

Ozmo-dehidre armut dilimlerinin mikrodalga ve konveksiyonel olarak kurutulmasından sonra örnekler öğütülmüş ve toz forma dönüştürülmüştür. Toplam fenolik bileşik miktarı ve antioksidan aktivitenin belirlenmesi için Colaric ve ark. (2006), tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulmuş armut dilimleri blenderde öğütülerek 1 g örnek %1 BHT içeren 10 mL metanol ile 45 dakika ultrasonik banyoda bekletildikten sonra santrifüj (8900 rpm, 7 dakika) yapılmıştır. Ekstraksiyon işlemi iki kez tekrarlanmış ve elde edilen ekstraktlar -18.00°C 'de depolanmıştır.

3.2.12 Esmerleşme İndeksinin Belirlenmesi

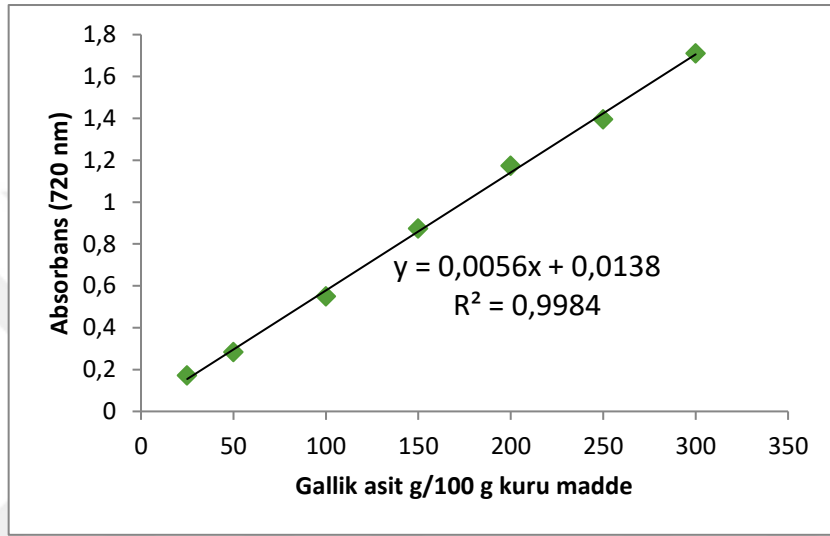
Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan örneklerde esmerleşme indeksi analizi, Sarpong ve ark. (2018), tarafından önerilen yöntemine göre yapılmıştır. Kurutulmuş örnekler blender ile öğütüldükten sonra 4 g örnek üzerine 50 mL %60 etanol eklenerek 12 saat bekletilmiştir. 0.45 μm filtre kağıdından geçirilen ekstraktların 440 nm'de %60 etanole karşı absorbans ölçümleri yapılmıştır.

3.2.13 Toplam Fenolik Bileşik Miktarının Belirlenmesi

Mikrodalga ve konveksiyonel olarak kurutulan örneklerde toplam fenolik madde miktarı, Singleton ve Rossi (1965) tarafından önerilen Folin-Ciocalteu yöntemine göre yapılmış olup yöntemin prensibi; fenolik bileşiklerin bazik ortamda Folin-ciocalteu çözeltisini indirgemesine dayanmaktadır.

Ultrasonik banyoda ekstrakte edilen örnekler toplam fenolik bileşen miktarının belirlenmesi analizinden önce 1/40 oranında seyreltilmiştir. Seyreltme işleminden sonra 500 μL armut ekstraktı, 7 mL saf su ve 500 μL Folin-ciocalteu çözeltisi ile karıştırılıp 3 dakika bekletilerek süre sonunda 2 mL doymuş Na_2CO_3

(%20) ilave edildikten sonra 25°C’de 1 saat inkübatörde bekletilmiştir. Reaksiyon sonunda indirgenen Folin-ciocalteu çözeltisinin oluşturduğu mavi renk, spektrofotometre cihazında (UV 1800, Shimadzu, Japan) 720 nm dalga boyunda havaya karşı okunmuştur. Örneklerin toplam fenolik madde miktarı, g gallik asit eşdeğeri/100g.km olarak hesaplanmıştır. Gallik asit kurvesi Şekil 3.3.’te görülmektedir.

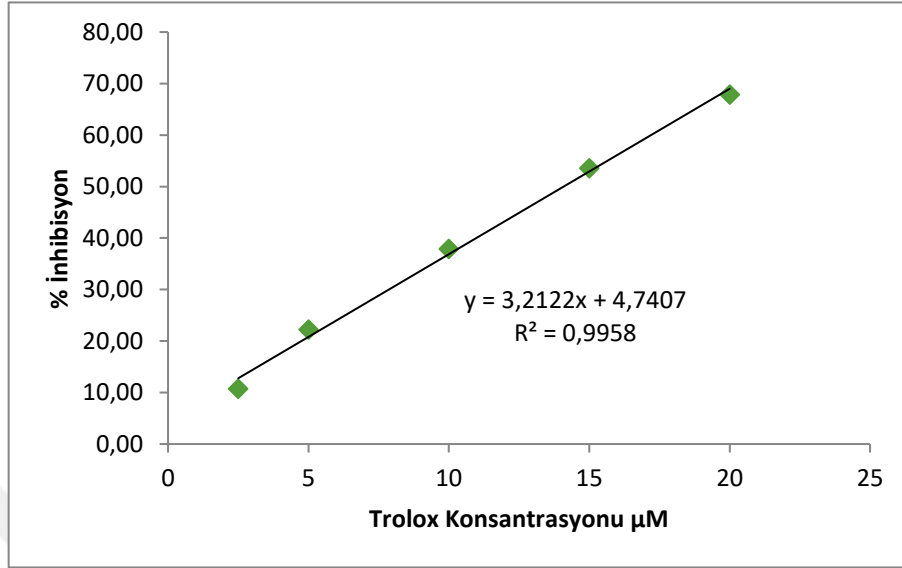


Şekil 3.3. Gallik asit standard kurvesi

3.2.14 Antioksidan Aktivitenin Belirlenmesi

Kurutulmuş armut dilimlerindeki antioksidan aktivitenin belirlenmesinde, ABTS•+ (2,2’-azonobis (3-etilbenzothiazoline-6-sulfonat) radikallerin indirgenme prensibine dayalı TEAC (Troloks eşdeğeri antioksidan aktivite) yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, radikal çözeltisinin absorbans değerindeki değişim Shimadzu UV-1800 spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda ölçülmüştür. 1 mL ABTS•+ radikali ile 10 µL örnek ekstraktı karıştırıldıktan sonra 6 dakika boyunca radikalın absorbans değişimi ölçülmüştür. Antioksidan aktivite, troloksun ((6-hidroksi2,5,7,8,-tetrametilkroman-2-karboksilik asit) ABTS•+ (2,2’-azonobis (3-etilbenzothiazoline-6-sulfonat) radikallerin indirgeme miktarına göre yüzde inhibisyon hesaplanmıştır. Troloks inhibisyon grafiği Şekil 3.4.’te görülmekte olup % inhibisyon aşağıdaki denklige göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ İnhibisyon} = \frac{\text{Başlangıç Absorbans Değeri} - \text{İlk Absorbans Değeri}}{\text{Başlangıç Absorbans Değeri}} \times 100$$



Şekil 3.4. Trolox Standart Eğrisi

3.2.15 Tekstür Analizi

Ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga olarak kurutulmasından sonra optimum koşullarda üretilen örnekler, 6 ay süreyle depolanarak aylık periyotlarda Tekstür Profil Analiz Cihazı (Stable Micro Systems Tact Plus C) kullanılarak sertlik (N) ve yapışkanlık (g) ölçümleri yapılmıştır. Tekstür profil analizinde p/2 prob kullanılmış olup, analiz koşulları test öncesi hız 1 mm/sn, test hızı 1mm/sn, test sonrası hız 10 mm/sn, baskı %60, trigger force 10 g olarak belirlenmiştir.

3.2.16 İstatistiksel Analizler

Optimum koşullarda konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin 6 aylık depolama stabilitesi sonuçları SPSS istatistiksel bilgisayar programı (IBM SPSS Inc. Version 25) kullanılarak belirlenmiştir. Deneylerde bulunan değerler %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Kuru Madde Değişimine Etkisi

Konveksiyonel Kurutma

Armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutma sonrası kuru madde oranları ve kuru madde değişim değerleri EK 1’de görülmektedir. Buna göre; örneklerdeki kuru madde düzeyleri ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutma sonrasında sırasıyla %22.5-57.8; %89.9-92.9 aralıklarında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan konveksiyonel olarak kurutulan kontrol örneklerindeki kuru madde oranının %92.7 olduğu saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sonrasında armut dilimlerinin kuru maddelerinin çözelti sıcaklığına bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Bu durum, çözelti sıcaklığı yükseldikçe dehidrasyon sırasında suyun kütle transfer katsayısının yükselmesine bağlı olarak meyve dokusundaki gazların uzaklaşarak meyve yapısındaki serbest suyun daha hızlı ayrılması, sıcaklığın hücre zarı geçirgenliğini artırması, çözelti viskozitesinin düşmesi ve çözünür katı maddenin ürüne daha hızlı diffüze olması ile açıklanabilmektedir. Örneğin, çözelti sıcaklığı 30°C ve konsantrasyonu 40°Bx iken 3 saat ozmotik dehidrasyon uygulanması sonucunda kuru madde oranı %22.55 olurken, çözelti sıcaklığı 60°C olduğunda kuru madde oranının %31.53’e yükseldiği gözlenmiştir.

Pavkov ve ark. (2009), tarafından yapılan bir araştırmada, ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutma koşullarının, ‘Williams’ türü armut dilimlerinin nem oranları ile kuru madde oranlarındaki değişime etkisi incelenmiştir. Ozmotik çözelti konsantrasyonu 50°Bx, dehidrasyon süresi 3 saat, örnek/çözelti oranı 1:8, ozmotik çözelti sıcaklığı ise 40 ve 60°C olarak belirlenmiştir. Ozmotik çözelti sıcaklığındaki artışa bağlı olarak armut dilimlerinin nem oranlarındaki önemli azalışın ilk 100 dakikada olduğu, maksimum kuru madde artışının 60°C ozmotik çözelti sıcaklığında 0.036 kg kuru madde/kg örnek ve 40°C ozmotik çözelti sıcaklığında ise 0.028 kg kuru madde/kg örnek olduğu belirtilmektedir.

Ayrıca, armut dilimleri ile sakaroz çözeltisi arasında ozmotik denge oluşana kadar ozmotik dehidrasyonun devam ettiği; dehidrasyon süresi uzadıkça ve çözelti konsantrasyonu arttıkça da dehidrasyon sonrası kazanılan kuru maddenin arttığı

görülmüştür. Çözelti sıcaklığı 60°C ve konsantrasyonu 70°Bx olduğunda çözeltide kalma süresi 3 saatten 9 saate yükseldiğinde kuru madde oranları %45.87 ve %57.86 saptanmıştır.

Konveksiyonel kurutma sonrası 89.9-92.9 arasında belirlenen kuru madde oranları dikkate alındığında; kuru maddedeki % değişim değerlerinin ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyondaki 3 parametrenin kuru madde değişimi üzerine lineer etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ayrıca; çözelti sıcaklığı-çözelti konsantrasyonu ($p<0.01$) ve uygulama süresi-çözelti konsantrasyonu ($p<0.05$) interaksiyonlarının lineer etkilerinin önemli olduğu saptanmıştır. Buna karşılık; süre-sıcaklık etkileşiminin kuru madde değişimi üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Ozmotik dehidrasyon parametrelerinin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin kuru madde değişim oranları üzerine etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 4.1.'de görülmektedir. Kuru madde oranlarındaki değişim, karesel modele uygunluk göstermiştir ve buna ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sonrasında Kuru Madde Oranı Değişimi} = 53.09 - 5.69A - 4.4B - 7.47C - 1.82AC - 1.40BC - 1.82A^2 + 2.30C^2$$

Tablo 4.1. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	1152.01	9	128.00	83.38**	< 0.0001	0.9895
A-Sıcaklık	323.19	1	323.19	210.53**	< 0.0001	
B-Süre	195.81	1	195.81	127.55**	< 0.0001	
C-Briks Derecesi	558.61	1	558.61	363.89**	< 0.0001	
AB	0.34	1	0.34	0.22	0.6523	
AC	26.43	1	26.43	17.21**	0.0032	
BC	15.79	1	15.79	10.29*	0.0125	
A ²	9.02	1	9.02	5.88*	0.0416	
B ²	6.39	1	6.39	4.16	0.0757	
C ²	14.34	1	14.34	9.34*	0.0157	
Uyum Eksikliği	10.35	5	2.07	3.21	0.1830	
Hata	1.93	3	0.64			
Genel	1164.29	17				

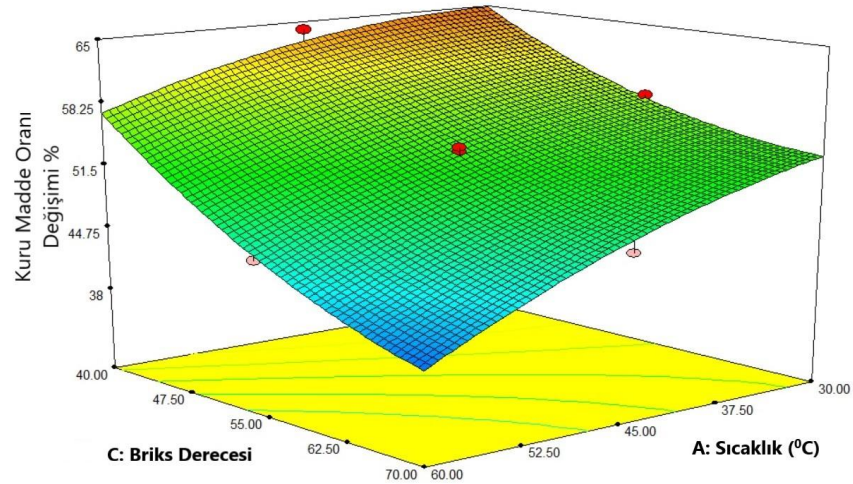
**p<0.01, *p<0.05

Konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranlarının ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de görülmektedir.

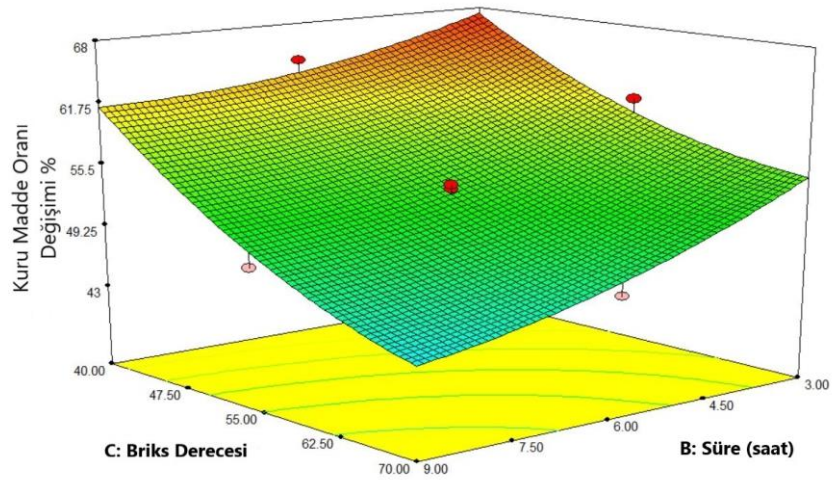
Çözelti konsantrasyonu 70 briks ve uygulama süresinin 3 saat olduğu koşullarda, çözelti sıcaklığı 30°C'den 60°C'ye yükseltildiğinde, konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranlarının sırasıyla %60.82 ve %46.04 olduğu gözlenmiştir.

Çözelti konsantrasyonu 55 briks ve sıcaklığı 45°C olduğunda, uygulama sürelerinin 3, 6. ve 9. saatlerinde konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranları %60.49, %52.29 ve %48.72 saptanmıştır.

Çözelti sıcaklığı 60°C ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 briksden 70 briks'e yükseltildiğinde konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranlarının %56.26 ve %35.07 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Osmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarındaki değişime etkisi



Şekil 4.2. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarındaki değişime etkisi

Mikrodalga Kurutma

Armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma sonrası kuru madde oranları ve kuru madde değişim değerleri EK 1’de görülmektedir. Buna göre; örneklerdeki kuru madde düzeyleri ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma sonrasında sırasıyla %24.76-59.78; %82.35-89.59 aralıklarında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan mikrodalga ile kurutulan kontrol örneklerindeki kuru madde oranının %86.51 olduğu saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sonrası armut dilimlerinde kuru madde oranlarının çözelti sıcaklığına, çözelti konsantrasyonuna ve uygulama süresine bağlı olarak arttığı EK 1’de görülmektedir.

Mikrodalga kurutma sonrası 82.35-89.59 arasında belirlenen kuru madde oranları dikkate alındığında; kuru maddedeki % değişim değerlerinin ise ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyondaki 3 parametrenin kuru madde değişimi üzerine lineer etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). Ayrıca; çözelti sıcaklığı-uygulama süresi interaksiyonlarının lineer etkisinin önemli olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). Buna karşılık; çözelti sıcaklığı-çözelti konsantrasyonu ve uygulama süresi-çözelti konsantrasyonu etkileşiminin kuru madde değişimi üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Ozmotik dehidrasyon parametrelerinin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin kuru madde değişim oranları üzerine etkisini gösteren

varyans analizi sonuçları Tablo 4.2.'de görülmektedir. Kuru madde oranlarındaki değişim, karesel modele uygunluk göstermiştir ve buna ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Mikrodalga Kurutma Sonrasında Kuru Madde Oranı Değişimi} = 40.79 - 3.45A - 4.49 - 8.03C + 1.46AB + 2.36A^2 + 2.98B^2$$

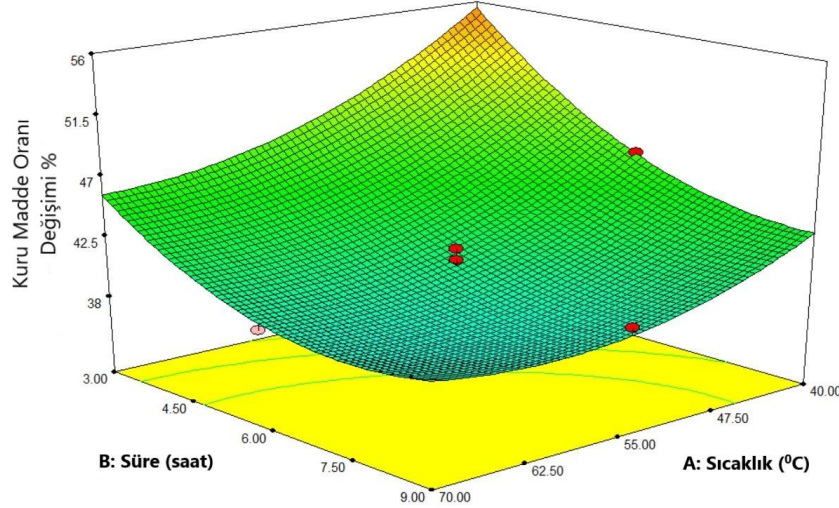
Tablo 4.2. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	1074.81	9	119.42	71.12**	< 0.0001	0.9877
A-Sıcaklık	118.96	1	118.96	70.84**	< 0.0001	
B-Süre	201.87	1	201.87	120.22**	< 0.0001	
C-Briks Derecesi	644.33	1	644.33	383.72**	< 0.0001	
AB	17.02	1	17.02	10.14*	0.0129	
AC	5.83	1	5.83	3.47	0.0994	
BC	7.74	1	7.74	4.61	0.0640	
A ²	15.12	1	15.12	9.00*	0.0171	
B ²	24.10	1	24.10	14.35**	0.0053	
C ²	2.14	1	2.14	1.27	0.2920	
Uyum Eksikliği	10.78	5	2.16	2.44	0.2464	
Hata	2.65	3	0.88			
Genel	1088.24	17				

**p<0.01, *p<0.05

Mikrodalga kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranlarının ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te görülmektedir. Çözelti konsantrasyonu 40 briks ve uygulama süresi 3 saat iken, çözelti sıcaklığı 30°C ve 70°C olduğunda, mikrodalga kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranları sırasıyla %60.01 ve %53.29 gözlenmiştir. Çözelti konsantrasyonu 55 briks ve sıcaklığı 55°C olduğunda, uygulama sürelerinin 3, 6. ve 9. saatlerinde mikrodalga kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranları %47.29, %41.22 ve %39.85 saptanmıştır. Çözelti sıcaklığı 70°C ve uygulama süresi 3 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 briksten 70 brikse yükseltildiğinde konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki kuru madde değişim oranlarının %53.29 ve %37.00 olduğu tespit edilmiştir.

Leahu ve ark. (2020), tarafından yapılan bir araştırmada, 1 cm³ elma ve 2 cm³ armut dilimlerinde, 20°C ozmotik dehidrasyon sıcaklığında, 40, 60 ve 80°Bx fruktoz çözeltisinde, 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika boyunca ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Ozmotik çözelti ve meyve oranı 2:1 olarak belirlenmiştir. 80°Bx fruktoz çözeltisinde ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde kuru madde oranlarının 180 dakika sonunda %21.43'ten %47.91'e yükseldiği; elma dilimlerinde ise 20.10'dan 53.74'e yükseldiği belirtilmektedir. Elma ve armut dilimlerinin nem oranlarındaki değişikliğin istatistiksel açıdan önemli olduğu, 80°Bx fruktoz çözeltisinde ozmotik dehidrasyon uygulanan meyve dilimlerindeki kuru madde oranlarının en yüksek olduğu ve briks derecesi yükseldikçe kuru madde oranlarının da yükseldiği bildirilmektedir.



Şekil 4.3. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin kuru madde oranlarındaki değişime etkisi

4.2 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Su Kaybı Değişimine Etkisi

Konveksiyonel Kurutma

Armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutma sonrası su kaybı oranları ve su kaybı değişim değerleri EK 2'de görülmektedir. Buna göre; örneklerdeki su kaybı düzeyleri ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutma sonrasında sırasıyla %17.40-65.23; %37.74-75.64 aralıklarında değişmiştir.

Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan konveksiyonel kurutulan kontrol örneklerindeki su kaybı oranı %82.47 olarak saptanmıştır.

Konveksiyonel kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerindeki su kaybı oranlarının çözelti sıcaklığı, çözelti konsantrasyonu ve uygulama süresine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Örneğin, çözelti konsantrasyonu 40 briks ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti sıcaklığı 30°C ve 60°C olduğunda ozmotik dehidrasyon sırasında su kaybı %17.40 ve %33.32 saptanmıştır.

Gaspartero ve ark. (2003) ile Mauro ve ark. (2004), tarafından yapılan bir araştırmada, muz ve elma dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulamasından sonra 60°C ve 2 m/s kurutucu hava hızında konveksiyonel kurutma uygulanmıştır. Muz ve elma dilimleri 50°C'lik ozmotik çözelti sıcaklığında ve 50 ile 70 briks'lik çözelti konsantrasyonlarında bekletilmiş, 3 saatlik ozmotik dehidrasyon süresinde optimum su kaybının olduğu belirlenmiştir. Bu durum; ozmotik çözelti sıcaklığındaki artışın bitki dokularında hücre duvarını parçalamasından dolayı ozmotik dehidrasyon sonrasında su kaybını artırması şeklinde açıklanmaktadır. Pokharkar ve Prasad (1998) tarafından muz dilimlerinde yapılan bir araştırmada, ozmotik çözelti sıcaklığının su kaybını etkilediğine ilişkin kinetik model geliştirmişlerdir (Chavan ve Amarowicz, 2012).

Jalali ve ark. (2008), tarafından yapılan bir araştırmada, muz dilimlerinde farklı çözelti konsantrasyonları (50, 60, 67 briks), sıcaklık (28, 49°C) ve sürelerde (2, 4, 6, 10, 14, 16, 18 saat) ozmotik dehidrasyon uygulanmış, dehidrasyon kinetiği matematiksel olarak modellenmiştir. Ozmotik dehidrasyon sırasındaki su kaybının, çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı, dehidrasyonun önemli bir kısmının ilk saatlerde gerçekleştiği aktarılmaktadır. Ozmotik çözelti sıcaklığının 48°C, konsantrasyonun 67 briks ve dehidrasyon süresinin ise 60 dakika olduğu koşullarda optimum nem kaybı sağlandığı belirtilmektedir (Ranemaye ve ark., 2008).

Çözelti konsantrasyonu 70 briks ve çözelti sıcaklığı 60°C iken, uygulama süresinin 3. ve 9. saatlerinde su kaybının %52.57 ve %65.23 olduğu görülmüştür.

Yanıt yüzey metodu kullanılarak çileğin ozmotik dehidrasyon koşulları modellenerek optimize edilen bir araştırmada, ozmotik çözelti sıcaklığı 47, 50, 55, 60 ve 63°C, dehidrasyon süresi 116, 150, 200, 250 ve 284 dakika, sorbitol çözelti konsantrasyonu ise 33, 40, 50, 60 ve 67 briks olarak belirlenmiştir. Ozmotik çözelti

sıcaklığı, konsantrasyonu ve dehidrasyon süresinin, ozmotik dehidrasyon oranlarına etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($p<0.01$). Ozmotik çözelti sıcaklığı, konsantrasyonu ve dehidrasyon süresindeki artışa bağlı olarak su kaybı oranlarındaki artışın istatistiksel açıdan önemli olduğu ve lineer modele uygunluk gösterdiği belirtilmektedir. Ozmotik çözelti sıcaklığındaki artışın su kaybı oranlarına etkisi, hücre zarı geçirgenliğini artırarak çilekteki serbest suyun ozmotik çözeltiye geçişini hızlandırması ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte meyvedeki serbest suyun azalmasına bağlı olarak su kaybı oranların da azaldığı, çözelti konsantrasyonundaki artış ile birlikte, ozmotik çözelti ve meyve hücreleri arasındaki ozmotik basınç farkı artacağından dehidrasyon sırasında su kaybı oranlarının da artacağı bildirilmektedir. Yanıt yüzey metodu kullanılarak dehidrasyon koşulları optimize edilen çilekte, ozmotik dehidrasyon sıcaklığı 59.5°C, dehidrasyon süresi 245.6 dakika ve sorbitol konsantrasyonu % 66.8 olarak belirlenmiştir (Liu ve Peng, 2017).

Çözelti sıcaklığı 60°C ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 briksten 70 brikse yükseltildiğinde su kaybının %38.60 ve %65.23 olduğu saptanmıştır.

Rahman ve Lamb (1990), tarafından yapılan bir araştırmada, ozmotik çözelti konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak su kaybı ve katı madde kazanımının arttığı belirtilmektedir. Çözelti konsantrasyonunun kütle transferine etkisi konusunda yapılan birçok araştırmada, ozmotik çözeltideki şeker miktarının dehidrasyonun etkinliği açısından başlıca faktör olduğu aktarılmaktadır. Chaudhary ve ark. (1993) tarafından yapılan bir araştırmada, 60 ve 70 briks çözelti konsantrasyonu aralığında ozmotik çözelti kullanıldığı ve optimum sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bununla birlikte Torreggiani (1993), tarafından yapılan araştırmada, ozmotik dehidrasyon oranı zamanla azalacağından, yaş üründeki ağırlık kaybının yüzde elliden fazlası için çok yüksek konsantrasyonlarda ozmotik çözelti kullanımının gereksiz olduğu aktarılmaktadır (Chavan ve Amarowicz, 2012).

Ayrıca ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel kurutulması sonrasında toplam su kayıplarının %81-82 aralığında değiştiği EK 2’de görülmektedir.

Konveksiyonel kurutma sonrası su kaybı oranları dikkate alındığında; su kaybındaki % değişim değerlerinin ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyondaki 3 parametrenin su kaybı

değişimi üzerine lineer etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ayrıca; çözelti sıcaklığı-çözelti konsantrasyonu ($p<0.01$) ve uygulama süresi-çözelti konsantrasyonu ($p<0.05$) interaksiyonlarının lineer etkilerinin önemli olduğu saptanmıştır. Buna karşılık; süre-sıcaklık etkileşiminin su kaybı değişimi üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Ozmotik dehidrasyon parametrelerinin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde su kaybı değişim oranları üzerine etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 4.3.'te görülmektedir. Su kaybı oranlarındaki değişim, karesel modele uygunluk göstermiştir ve buna ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sonrasında Su Kaybı} = 59.03 - 6.77A - 5.09B - 7.76C - 2.21AC - 1.78BC - 2.49A^2 + 2.36C^2$$

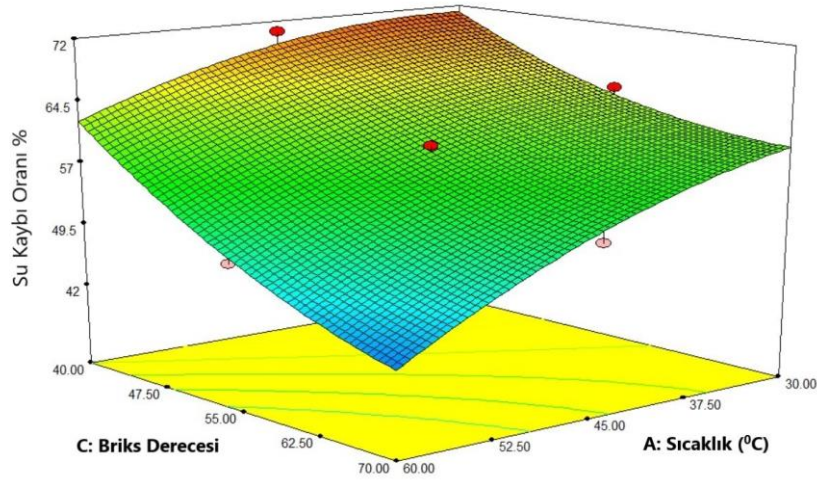
Tablo 4.3. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde su kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	1417.55	9	157.51	64.09**	< 0.0001	0.9863
A-Sıcaklık	458.60	1	458.60	186.60**	< 0.0001	
B-Süre	258.88	1	258.88	105.33**	< 0.0001	
C-Briks Derecesi	602.33	1	602.33	245.08**	< 0.0001	
AB	0.01	1	0.01	0.00	0.9547	
AC	39.07	1	39.07	15.90**	0.0040	
BC	25.49	1	25.49	10.37*	0.0122	
A ²	16.83	1	16.83	6.85*	0.0308	
B ²	6.41	1	6.41	2.61	0.1450	
C ²	15.13	1	15.13	6.16*	0.0381	
Uyum Eksikliği	18.18	5	3.64	7.34	0.0658	
Hata	1.49	3	0.50			
Genel	1437.21	17				

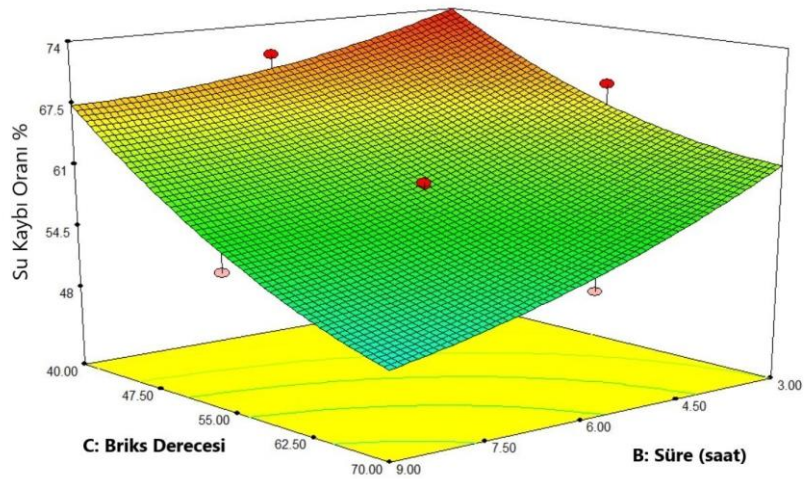
**p<0.01, *p<0.05

Konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki su kaybı değişim oranlarının ozmotik dehidrasyon sıcaklığına, çözelti konsantrasyonuna ve dehidrasyon süresine bağlı olarak azaldığı Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te görülmektedir. Örneğin, çözelti konsantrasyonu 70 briks ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti sıcaklığı 30°C ve 60°C olduğunda, konveksiyonel kurutma sonrasında su kaybı oranları %55.62 ve %37.74 saptanmıştır. Çözelti sıcaklığı 45°C ve uygulama süresi 6 saat iken, çözelti

konsantrasyonu 40 briksten 55 brikse yükseltildiğinde su kaybı oranlarının konveksiyonel kurutma sonrasında %70.72 ve %59.31 olduğu görülmüştür. Çözelti konsantrasyonu 55 briks ve sıcaklığı 45°C olduğunda, uygulama sürelerinin 3, 6. ve 9. saatlerinde konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki su kaybı oranları %67.88, %59.73 ve %53.46 saptanmıştır.



Şekil 4.4. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi



Şekil 4.5. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi

Mikrodalga Kurutma

Armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma sonrası su kaybı oranları ve su kaybı değişim değerleri EK 2’de görülmektedir. Buna göre; örneklerdeki su kaybı düzeyleri ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma sonrasında sırasıyla %22.90-66.80; %33.66-71.76 aralıklarında değişmiştir.

Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan mikrodalga ile kurutulan kontrol örneklerindeki su kaybı oranı %81.24 saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sonrasında armut dilimlerinde su kaybı oranlarının çözelti sıcaklığına, çözelti konsantrasyonuna ve uygulama süresine bağlı olarak arttığı EK 2’de görülmektedir.

Mikrodalga kurutma sonrası su kaybı oranları dikkate alındığında; su kaybındaki % değişim değerlerinin ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyondaki 3 parametrenin su kaybı değişimi üzerine lineer etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.01$).

Ayrıca; çözelti sıcaklığı-uygulama süresi ($p<0.05$), çözelti sıcaklığı-çözelti konsantrasyonu ($p<0.05$) ve uygulama süresi-çözelti konsantrasyonu ($p<0.01$) etkileşimlerinin lineer etkilerinin önemli olduğu saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon parametrelerinin mikrodalga kurutulan armut dilimlerinde su kaybı değişim oranları üzerine etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 4.4.’te görülmektedir.

Su kaybı oranlarındaki değişim, karesel modele uygunluk göstermiştir ve buna ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Mikrodalga Kurutma Sonrasında Su Kaybı} = 48.40 - 5.24A - 5.55B - 9.61C + 1.40AB - 1.17AC - 1.61BC + 2.72A^2 + 3.04B^2$$

Tablo 4.4. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	1666.37	9	185.15	117.14**	< 0.0001	0.9925
A-Sıcaklık	275.10	1	275.10	174.04**	< 0.0001	
B-Süre	308.03	1	308.03	194.87**	< 0.0001	
C-Brix Derecesi	923.71	1	923.71	584.39**	< 0.0001	
AB	15.60	1	15.60	9.87*	0.0138	
AC	10.97	1	10.97	6.94*	0.0299	
BC	20.70	1	20.70	13.10**	0.0068	
A ²	20.03	1	20.03	12.67**	0.0074	
B ²	25.11	1	25.11	15.88**	0.0040	
C ²	0.02	1	0.02	0.01	0.9182	
Uyum Eksikliği	11.66	5	2.33	7.11	0.0686	
Hata	0.98	3	0.33			
Genel	1679.01	17				

**p<0.01, *p<0.05

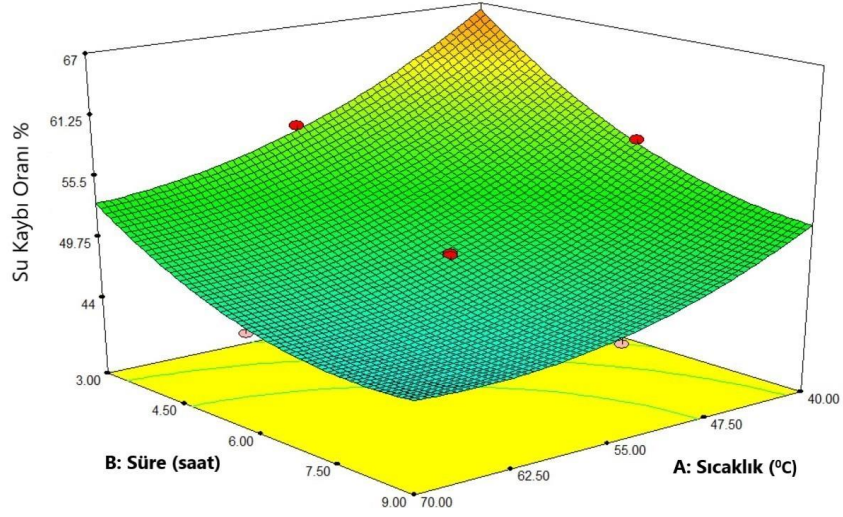
Mikrodalga kurutma sonrası ürünlerdeki su kaybı oranlarının ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de görülmektedir.

Örneğin, çözelti konsantrasyonu 70 briks ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti sıcaklığı 40°C ve 70°C olduğunda, mikrodalga kurutma sonrasında su kaybı oranları %42.03 ve %33.66 saptanmıştır.

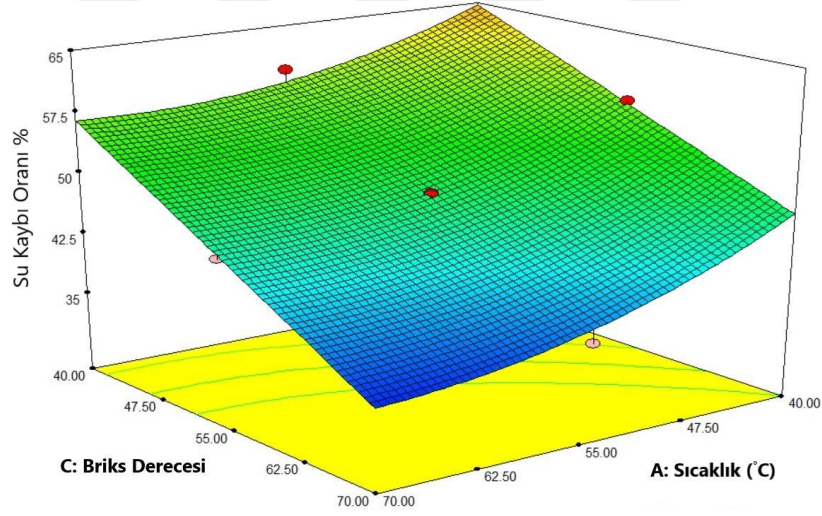
Çözelti sıcaklığı 55°C ve uygulama süresi 6 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 briksten 55 brikse yükseltildiğinde su kaybı oranlarının mikrodalga kurutma sonrasında %59.44 ve %47.71 olduğu görülmüştür.

Çözelti konsantrasyonu 55 briks ve sıcaklığı 55°C olduğunda, uygulama sürelerinin 3,6 ve 9. saatlerinde mikrodalga kurutma sonrası ürünlerdeki su kaybı oranları %57.43, %49.03 ve %45.32 saptanmıştır.

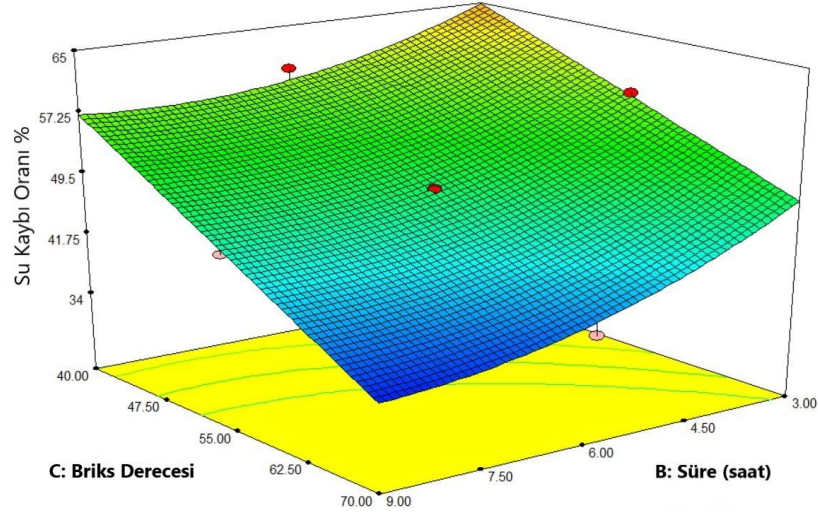
Ayrıca ozmodehidre armut dilimlerinin mikrodalga ile kurutulmasından sonra toplam su kaybı oranlarının %80-83 aralığında değiştiği EK 2'de görülmektedir.



Şekil 4.6. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su kaybı oranlarındaki değişime etkisi



Şekil 4.7. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi



Şekil 4.8. Ozmotik dehidrasyon koşullarından briks derecesi ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin su kaybı oranlarındaki değişime etkisi

Ozmotik çözelti konsantrasyonunun stabil tutulduğu koşullarda, dehidrasyon süresinin artırılmasıyla birlikte su kaybı oranlarının arttığı bununla birlikte su kaybı oranlarındaki artışın azalan bir oranda olduğu belirtilmektedir. Ozmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonu ile ilgili yapılan bir araştırmada, ozmotik dehidrasyon sırasındaki kütle transferinin ilk iki saatte maksimum seviyede olduğu aktarılmaktadır (Chavan ve Amarowicz, 2012).

Vakum ozmotik dehidrasyon uygulanan sarımsakta mikrodalga kurutma uygulanarak kurutma koşullarının su kaybı, katı madde kazanımı ve ağırlık azalışına etkisi yanıt yüzey metodu kullanılarak incelenmiştir. Ozmotik çözelti konsantrasyonu %8-20, çözelti sıcaklığı 25-65°C ve dehidrasyon süresi 20-300 dakika olarak belirlenmiş olup, mikrodalga gücü ise 100-600 W aralığında uygulanmıştır. NaCl çözelti konsantrasyonu, sıcaklığı ve dehidrasyon süresine bağlı olarak su kaybı ve ağırlık azalışının arttığı belirtilmektedir. Ozmotik dehidrasyon süresi ve çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak katı madde kazanımının arttığı, çözelti sıcaklığına bağlı olarak ise katı madde kazanımın dehidrasyonun başında arttığı daha sonra azaldığı bildirilmektedir. Ozmotik çözelti konsantrasyonu, dehidrasyon süresi ve mikrodalga gücünün de mikrodalga kurutma sırasında kuruma sürelerini azalttığı belirtilmektedir (Hamledari ve ark., 2012).

Gani ve Kumar (2013), tarafından yapılan bir araştırmada, havuç dilimlerinde farklı çözelti konsantrasyonları, sıcaklıkları ve dehidrasyon sürelerinde ozmotik

dehidrasyon sonrasında mikrodalgada ve sıcak havada kurutma uygulanmıştır. Osmotik dehidrasyon uygulamasının, başlangıç nem oranlarını önemli derecede düşürdüğünü ve sıcak hava kurutma ile mikrodalga kurutma sırasında kuruma sürelerini düşürerek enerji tüketimini azalttığını bildirilmişlerdir. Osmotik çözelti konsantrasyonunun 50 briks, sıcaklığının 40°C ve sıcak hava kurutma sıcaklığının ise 60°C olarak belirlendiği koşullarda mikrodalga kurutmaya kıyasla havuç dilimlerinin kalite özelliklerinin en iyi oranda korunduğu belirtilmektedir.

Kowalski ve Łechtańska (2015), tarafından yapılan bir araştırmada, kırmızı pancar farklı çözelti konsantrasyonları ve dehidrasyon sürelerinde osmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra 65°C'de konveksiyonel olarak kurutulmuştur. Kurutulan kırmızı pancarda su kaybı, ağırlık azalışı, katı madde kazanımı, su aktivitesi, renk değerleri ve rehidrasyon değişimleri ile kuruma süreleri incelenmiştir. Konveksiyonel kurutma öncesi osmotik dehidrasyon uygulamasının doğrudan konveksiyonel kurutmaya kıyasla kurutma kinetiğini artırdığı, renk değişimi, su aktivitesi ve rehidrasyon yeteneği gibi kalite özelliklerini olumlu yönde etkilediği bildirilmektedir. Konveksiyonel kurutma öncesinde %5 ve %15 NaCl osmotik çözelti konsantrasyonunda dehidrasyon uygulanmasıyla kuruma sürelerinin doğrudan konveksiyonel kurutmaya kıyasla %35 oranında kısaldığı aktarılmaktadır. %15 NaCl osmotik çözelti konsantrasyonunda ve 90 dakikalık dehidrasyon süresinde renk değişimi en az olurken, doğrudan konveksiyonel olarak kurutulan kırmızı pancarlarda en yüksek seviyede olduğu belirtilmiştir.

Zhao ve ark. (2013), tarafından yapılan bir araştırmada, kırmızı biberde osmotik dehidrasyon uygulamasının konveksiyonel ve mikrodalga kurutma sonrasında kuruma süreleri ve kalite değişimlerine etkisi incelenmiştir. Osmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra 50, 60, 70 ve 80°C'de konveksiyonel olarak kurutulan kırmızı biberlerde kuruma sürelerinin doğrudan konveksiyonel olarak kurutulanlara kıyasla sırasıyla 25.5, 16.5, 8.66 ve 6.67 saat kısaldığı bildirilmektedir. Osmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra 60, 100, 140 ve 180 watt mikrodalga gücünde kurutulan kırmızı biberlerde kuruma sürelerinin ise doğrudan mikrodalga kurutmaya kıyasla 3.25, 1.08, 0.83 ve 0.83 saat kısaldığı belirtilmektedir. Aynı zamanda osmotik dehidrasyon uygulamasından sonra 60 ve 70°C'de konveksiyonel olarak kurutma ile 60 watt mikrodalga gücünde kurutma uygulanan kırmızı biberlerde renk değişimlerinin en az olduğu aktarılmaktadır. Osmotik dehidrasyon uygulaması ile kuruma sürelerinin azalması sonucunda

enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının da azalması ve doku içinde bulunan boşluklara ozmotik çözeltiden katı madde geçişi olması nedeniyle rengin daha iyi korunduğu belirtilmektedir.

Ozmotik dehidrasyon uygulamasının mikrodalga-vakum kurutma ile kurutulan çileklerin kuruma süreleri ile kalite özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan ve uygulanmayan çileklerin kuruma süreleri ve enerji tasarruflarında önemli bir değişim olmazken, ozmotik dehidrasyon uygulanmış çileklerin renk, su aktivitesi, rehidrasyon kapasitesi ve tekstür gibi kalite özelliklerini önemli ölçüde etkilediği bildirilmektedir (Changrue ve ark., 2008).

4.3 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Ağırlık Kaybı Değişimine Etkisi

Konveksiyonel Kurutma

Armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutma sonrası ağırlık kaybı oranları ve ağırlık kaybı değişim değerleri EK 3'te görülmektedir. Buna göre; örneklerdeki ağırlık kaybı düzeyleri ozmotik dehidrasyon ve konveksiyonel kurutma sonrasında sırasıyla %14.39-56.17; %28.70-74.87 aralıklarında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan konveksiyonel kurutulan kontrol örneklerindeki ağırlık kaybı oranının %82.47 olduğu saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sonrasında armut dilimlerindeki ağırlık kaybı oranlarının çözelti sıcaklığı, çözelti konsantrasyonu ve uygulama süresine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir.

Örneğin, çözelti konsantrasyonu 70 briks ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti sıcaklığı 30°C'den ve 60°C'ye yükseldiğinde ağırlık kaybı %38.12 ve %56.17 saptanmıştır.

Çözelti konsantrasyonu 70 briks ve sıcaklığı 60°C iken, 3 ve 9 saatlik uygulama sürelerinde ağırlık kaybı oranlarının %42.48 ve %56.17 olduğu görülmüştür.

Çözelti sıcaklığı 45°C ve uygulama süresi 6 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 ve 55 briks olduğunda ağırlık kaybı oranlarının %22.35 ve %38.77 olduğu belirlenmiştir.

Khatir ve ark. (2013), tarafından yapılan bir araştırmada, portakal dilimlerinin ozmotik dehidrasyon koşulları yanıt yüzey metodu kullanılarak optimize edilmiştir. Ozmotik çözeltili sıcaklığı 40, 50 ve 60°C, konsantrasyonu 45, 55 ve 65 briks ve dehidrasyon süresi ise 60, 120 ve 240 dakika olarak belirlenmiştir. Ozmotik çözeltili sıcaklığı, konsantrasyonu ve dehidrasyon süresindeki artışa bağlı olarak ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kazanımı oranlarının da arttığı belirlenmiştir. Ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kazanımının maksimum olarak belirlendiği optimizasyon koşullarında ozmotik çözeltili sıcaklığı 50°C, konsantrasyonu 65 briks ve dehidrasyon süresi ise 240 dakika olarak belirlenmiş olup, katı madde kazanımının minimum olarak belirlenmesi durumunda ozmotik çözeltili sıcaklığının 40°C'ye düşürölmesi gerektiği aktarılmaktadır.

Mango ve ananasta ozmotik dehidrasyon uygulanması sırasında ozmotik dehidrasyon süresindeki artışın, ağırlık kaybını artırdığı belirtilmektedir (Chavan ve Amarowicz, 2012).

Konveksiyonel kurutma sonrası ağırlık kaybı oranları dikkate alındığında; ağırlık kaybındaki % değişim değerlerinin ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir.

Ozmotik dehidrasyondaki 3 parametrenin ağırlık kaybı değişimi üzerine lineer etkisi önemli bulunmuştur.

Ayrıca; çözeltili sıcaklığı-çözeltili konsantrasyonu ($p < 0.05$) interaksyonu lineer etkisinin önemli olduğu saptanmıştır. Buna karşılık; çözeltili sıcaklığı-uygulama süresi (AB) ve uygulama süresi-çözeltili konsantrasyonu (BC) etkileşiminin ağırlık kaybı değişimi üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$).

Ozmotik dehidrasyon parametrelerinin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı değişim oranları üzerine etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 4.5.'te görölmektedir.

Ağırlık kaybı oranlarındaki değişim, karesel modele uygunluk göstermiştir ve buna ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

Konveksiyonel Kurutma Sırasında Kurutma Sırasında Ağırlık Kaybı Değişimi = $54.90 - 9.42A - 6.42B - 9.02C - 2.02AC - 4.53A^2 + 2.90C^2$

Tablo 4.5. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	2230.39	9	247.82	64.52**	< 0.0001	0.9864
A-Sıcaklık	887.18	1	887.18	230.98**	< 0.0001	
B-Süre	412.04	1	412.04	107.27**	< 0.0001	
C-Briks Derecesi	813.96	1	813.96	211.92**	< 0.0001	
AB	0.53	1	0.53	0.14	0.7198	
AC	32.56	1	32.56	8.48*	0.0195	
BC	15.74	1	15.74	4.10	0.0776	
A ²	55.65	1	55.65	14.49**	0.0052	
B ²	13.09	1	13.09	3.41	0.1020	
C ²	22.84	1	22.84	5.95*	0.0407	
Uyum Eksikliği	27.51	5	5.50	5.13	0.1043	
Hata	3.22	3	1.07			
Genel	2261.12	17				

**p<0.01, *p<0.05

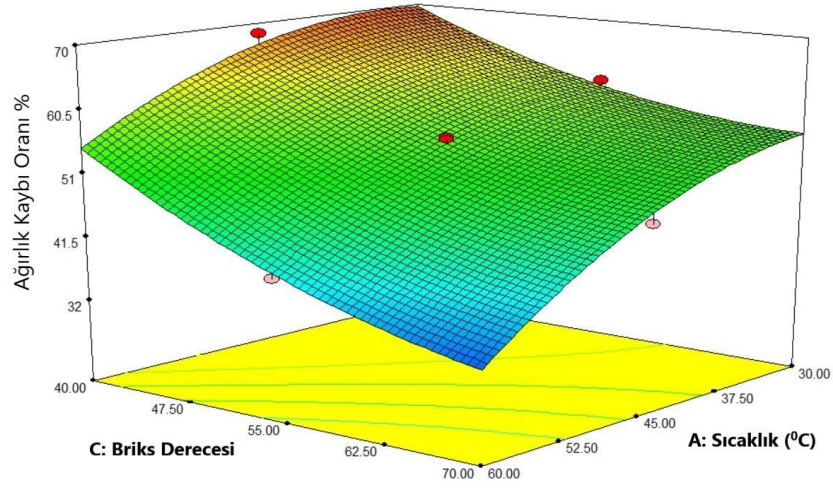
Konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki ağırlık kaybı değişim oranlarının ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı Şekil 4.9.'da görülmektedir.

Örneğin, çözelti konsantrasyonu 70 briks ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti sıcaklığı 30°C ve 60°C olduğunda, konveksiyonel kurutma sonrasında ağırlık kaybı oranları %50.66 ve %28.70 saptanmıştır.

Çözelti sıcaklığı 45°C ve uygulama süresi 6 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 briksden 55 briks'e yükseltildiğinde ağırlık kaybı oranlarının konveksiyonel kurutma sonrasında %68.45 ve %55.90 olduğu görülmüştür.

Çözelti konsantrasyonu 55 briks ve sıcaklığı 45°C olduğunda, uygulama sürelerinin 3,6 ve 9. saatlerinde konveksiyonel kurutma sonrası ürünlerdeki ağırlık kaybı oranları %66.19, %55.50 ve %48.06 saptanmıştır.

Ayrıca ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel kurutulmasından sonra toplam ağırlık kayıplarının %72-81 aralığında değiştiği EK 3'te görülmektedir.



Şekil 4.9. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığının konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin ağırlık kaybı oranlarındaki değişime etkisi

Mikrodalga Kurutma

Armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma sonrası ağırlık kaybı oranları ve ağırlık kaybı değişim değerleri EK 3'te görülmektedir. Buna göre; örneklerdeki ağırlık kaybı düzeyleri ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma sonrasında sırasıyla %15.16-52.36; %20.80-69.56 aralıklarında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan mikrodalga ile kurutulan kontrol örneklerindeki ağırlık kaybı oranının %81.24 olduğu saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sonrasında armut dilimlerinde ağırlık kaybı oranlarının çözelti sıcaklığına, çözelti konsantrasyonuna ve uygulama süresine bağlı olarak arttığı EK 3'te görülmektedir.

Amiripour ve ark. (2015), tarafından yapılan araştırmada, armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon koşulları yanıt yüzey metodu kullanılarak optimize edilmiştir. Sakaroz çözelti konsantrasyonu 50, 60 ve 70 briks, sıcaklığı 25, 40 ve 55°C, dehidrasyon süresi ise 60, 90 ve 120 dakika olarak belirlenmiştir. Sakaroz çözelti konsantrasyonu, sıcaklığı ve dehidrasyon sürelerindeki artışın, ozmotik dehidrasyon sırasında su kaybı, ağırlık kaybı ve katı madde kazanımını artırdığı ve bu etkisinin de istatistiksel açıdan önemli olduğu bildirilmektedir.

Mikrodalga kurutma sonrası ağırlık kaybı oranları dikkate alındığında; ağırlık kaybındaki % değişim değerlerinin ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı

olarak azaldığı belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyondaki 3 parametrenin ağırlık kaybı değişimi üzerine lineer etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ayrıca; uygulama süresi-çözelti konsantrasyonu interaksyonu lineer etkisinin önemli olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Buna karşılık; çözelti sıcaklığı-uygulama süresi ve çözelti sıcaklığı-çözelti konsantrasyonu etkileşiminin ağırlık kaybı değişimi üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Ozmotik dehidrasyon parametrelerinin mikrodalga kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı değişim oranları üzerine etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 4.6.'da görülmektedir. Ağırlık kaybı oranlarındaki değişim, karesel modele uygunluk göstermiştir ve buna ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Mikrodalga Kurutma Sırasında Kurutma Sırasında Ağırlık Kaybı Değişimi} \\ = 39.45 - 8.05A - 7.66B - 10.99C - 1.31BC + 3.23A^2 + 3.66B^2$$

Tablo 4.6. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	2667.40	9	296.38	147.09**	< 0.0001	0.9940
A-Sıcaklık	648.19	1	648.19	321.68**	< 0.0001	
B-Süre	585.99	1	585.99	290.82**	< 0.0001	
C-Briks Derecesi	1207.58	1	1207.58	599.30**	< 0.0001	
AB	7.96	1	7.96	3.95	0.0821	
AC	7.37	1	7.37	3.66	0.0921	
BC	13.83	1	13.83	6.87*	0.0306	
A ²	28.18	1	28.18	13.99**	0.0057	
B ²	36.20	1	36.20	17.96**	0.0028	
C ²	2.12	1	2.12	1.05	0.3348	
Uyum Eksikliği	14.93	5	2.99	7.55	0.0634	
Hata	1.19	3	0.40			
Genel	2683.52	17				

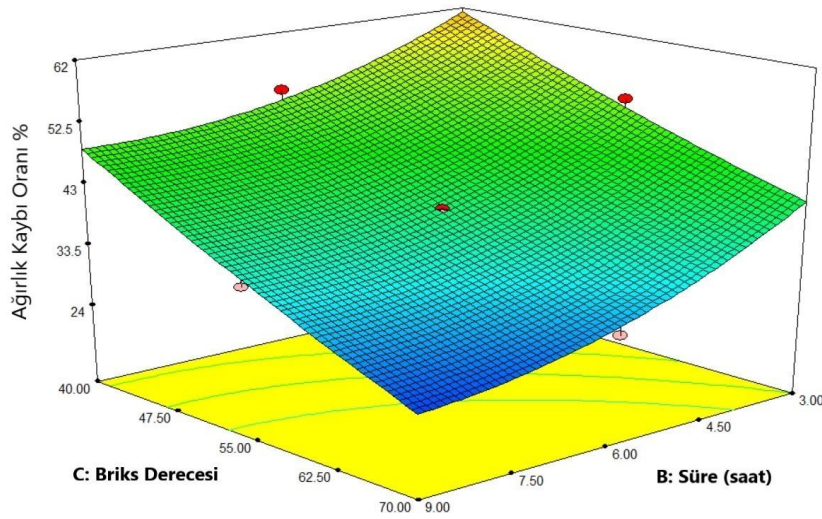
**p<0.01, *p<0.05

Mikrodalga kurutma sonrası ürünlerdeki ağırlık kaybı değişim oranlarının ozmotik dehidrasyon parametrelerine bağlı olarak azaldığı Şekil 4.10.'da görülmektedir. Örneğin, çözelti konsantrasyonu 70 briks ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti sıcaklığı 40 °C ve 70°C olduğunda, mikrodalga kurutma sonrasında ağırlık kaybı oranları %34.96 ve %20.80 saptanmıştır.

Çözelti sıcaklığı 55°C ve uygulama süresi 6 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 brikten 55 briğe yükseltildiğinde ağırlık kaybı oranlarının mikrodalga kurutma sonrasında %52.92 ve %38.50 olduğu görülmüştür.

Çözelti konsantrasyonu 55 briks ve sıcaklığı 55°C olduğunda, uygulama sürelerinin 3, 6 ve 9. saatlerinde mikrodalga kurutma sonrası ürünlerdeki ağırlık kaybı oranları %52.11, %40.03 ve %34.40 saptanmıştır.

Ayrıca ozmodehidre armut dilimlerinin mikrodalga ile kurutulmasından sonra toplam ağırlık kaybı oranlarının %69-80 aralığında değiştiği EK 3'te görülmektedir.



Şekil 4.10. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde ağırlık kaybı oranlarındaki değişime etkisi

4.4 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Katı Madde Kazanımına Etkisi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranları EK-4'te verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarının %3-14.44 aralığında değiştiği gözlenmiştir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Konveksiyonel kurutma öncesinde uygulanan dehidrasyon koşullarının armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime karesel etki ettiği belirlenmiştir ($p<0.05$, Tablo 4.7.). Modelin eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Öncesinde Katı Madde Kazanımı} = 7.37 + 1.46A + 0.68B + 1.57C - 0.74AC + 1.21A^2$$

Tablo 4.7. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, armut dilimlerinde konveksiyonel kurutma öncesi katı madde kazanımı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	61.01	9	6.78	9.43**	0.0022	0.9139
A-Sıcaklık	21.40	1	21.40	29.78**	0.0006	
B-Süre	4.57	1	4.57	6.36*	0.0357	
C-Briks Derecesi	24.71	1	24.71	34.39**	0.0004	
AB	0.41	1	0.41	0.58	0.4696	
AC	4.38	1	4.38	6.10*	0.0388	
BC	1.11	1	1.11	1.54	0.2491	
A ²	3.98	1	3.98	5.53*	0.0465	
B ²	1.30	1	1.30	1.81	0.2150	
C ²	0.71	1	0.71	0.99	0.3478	
Uyum Eksikliği	3.96	5	0.79	1.32	0.4351	
Hata	1.79	3	0.60			
Genel	66.76	17				

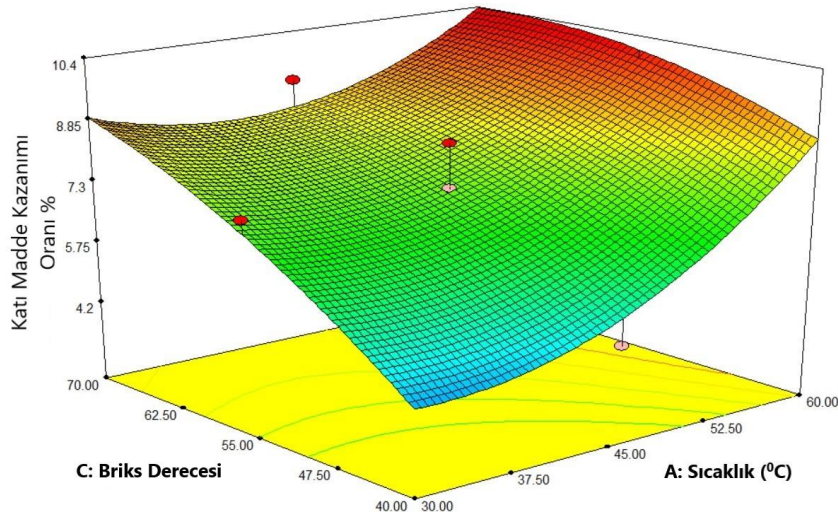
**p<0.01, *p<0.05

Çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonuna bağlı olarak katı madde kazanımının arttığı Şekil 4.11.'de görülmektedir. Örneğin, çözelti konsantrasyonunun 40°Bx ve uygulama süresinin 9 saat olduğu koşullarda, çözelti sıcaklığı 30°C olduğunda katı madde kazanımının %4.37, çözelti sıcaklığı 60°C'ye yükseltildiğinde ise katı madde kazanımı %9.59 saptanmıştır. Uygulama süresinin de katı madde kazanımını artırdığı saptanmıştır ($p<0.01$). Çözelti sıcaklığının 45°C ve konsantrasyonunun 55°Bx iken, uygulama süresi 3 ve 9 saat olduğunda katı madde kazanımının sırasıyla %5.86 ve %7.52 olduğu görülmüştür.

Ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel kurutulmasında ozmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonu konulu bir araştırmada, ozmotik çözelti

konsantrasyonu 40-60 briks, CaCl_2 uygulaması 0-2 g/100 mL, örnek/çözelti oranı 1:3 ve 1:15 (g:g) ve dehidrasyon süresi 1-3 saat olarak seçilmiş, armut dilimlerinde su kaybı ve katı madde kazanımı oranları değerlendirilmiştir. 5 mm dilimlenen armut dilimlerinde optimum koşullarda ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra 60°C 'de 3 saat konveksiyonel kurutma uygulanmıştır. Katı madde kazanımının minimum ve su kaybının maksimum olduğu dehidrasyon sonuçları değerlendirildiğinde, 45 briks sakaroz konsantrasyonu, 1:4 örnek/çözelti oranı, 1.0 g/100 mL CaCl_2 ve 3 saat dehidrasyon süresi optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda ozmotik dehidrasyon uygulaması sonrası 20g/100g katı madde kazanımı ve 30 g/100 g su kaybı olduğu belirtilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulaması sırasında çözelti konsantrasyonu ve uygulama süresine bağlı olarak su kaybı ve katı madde kazanımının da arttığı bildirilmiştir. Ayrıca; Ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel olarak kurutulan armut dilimlerinde kuruma sürelerinin, ozmotik dehidrasyon uygulanmayanlara kıyasla %42 oranında azaldığı belirtilmektedir (Costa Ribeiro ve ark., 2016).

Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve çözelti konsantrasyonunun (AC), ozmotik dehidrasyon sırasında katı madde kazanımına birlikte lineer etkisi önemli iken ($p<0.05$), sıcaklık-süre (AB) ve süre-konsantrasyon (BC) interaksiyonlarının lineer etkilerinin önemli olmadığı ($p>0.05$) Tablo 4.7.'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime etkisi

Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutma öncesinde uygulanan dehidrasyon koşullarına göre armut dilimlerinin katı madde kazanımlarının 2FI modele göre değiştiği saptanmıştır. Bu modele ilişkin parametreler Tablo 4.8.'de, model eşitliği ise aşağıda verilmiştir.

$$\text{Mikrodalga Kurutma Öncesinde Katı Madde Kazanımı} = 11.45 + 1.93A + 0.93B + 1.23C$$

Tablo 4.8. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, armut dilimlerinde mikrodalga kurutma öncesinde katı madde kazanımı oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	61.19	3	20.40	21.33**	< 0.0001	0.8205
A-Sıcaklık	37.44	1	37.44	39.15**	< 0.0001	
B-Süre	8.67	1	8.67	9.06**	0.0094	
C-Briks Derecesi	15.08	1	15.08	15.77**	0.0014	
Uyum Eksikliği	11.96	11	1.09	2.28	0.2703	
Hata	1.43	3	0.48			
Genel	74.58	17				

**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık, süre ve briks derecesinin mikrodalga kurutma ile kurutulan armut dilimlerinde katı madde kazanımındaki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.8.'de görülmektedir (p<0.01).

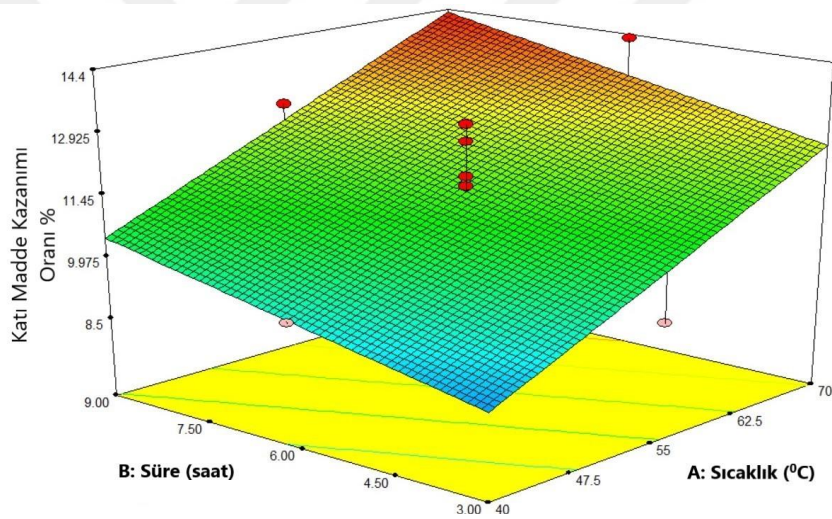
Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı, süresi ve briks derecesi arttıkça katı madde kazanımının da arttığı Şekil 4.12. ve 4.13.'te görülmektedir. Örneğin, çözelti konsantrasyonunun 70 briks ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti sıcaklığının 40°C'den 70°C'ye yükseltilmesiyle katı madde kazanımı oranının %11.19'dan %14.44'e yükseldiği görülmüştür.

Çözelti konsantrasyonunun 55 briks ve sıcaklığın 55°C olduğu koşullarda ise uygulama süresi 3 saatten 9 saate yükseltildiğinde katı madde kazanımının %9.33'ten %12.77'ye arttığı gözlenmiştir.

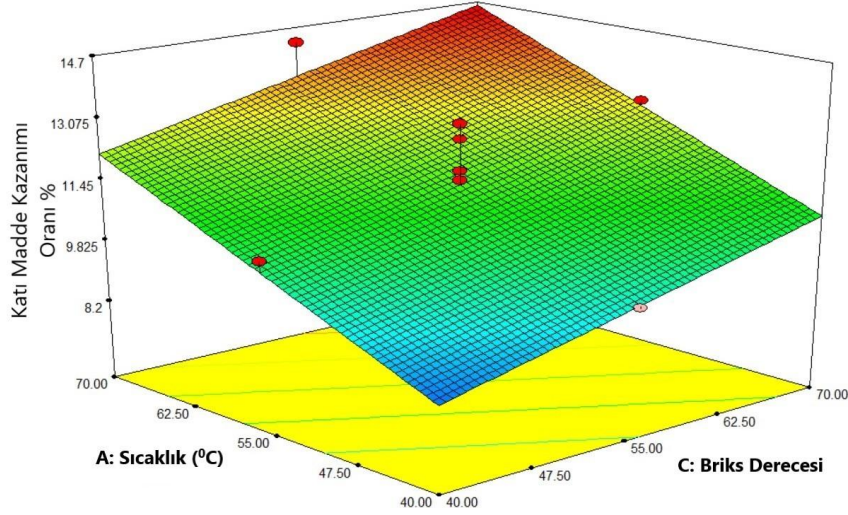
Bununla birlikte ozmotik çözelti sıcaklığının 40°C ve uygulama süresinin 9 saat olduğu koşullarda, çözelti konsantrasyonu 40 briks ve 70 briks olarak belirlendiğinde katı madde kazanımı sırasıyla %7.56 ve %11.19 saptanmıştır.

Nadia ve ark. (2013), tarafından yapılan bir araştırmada, ozmotik dehidrasyon koşullarının armut dilimlerinin kalite özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Ozmotik çözeltili sıcaklığının 20, 30, 40, 50 ve 60°C, konsantrasyonunun 25, 35, 45, 55 ve 65 briks ve dehidrasyon süresinin ise 30, 120, 210, 300 ve 390 dakika olduğu koşullar yanıt yüzey metodu ile optimize edilmiştir. Ozmotik dehidrasyon süresi, çözeltili konsantrasyonu ve sıcaklığı arttıkça armut dilimlerinde su kaybı ve katı madde kazanımının da arttığı ve istatistiksel açıdan önemli olduğu belirtilmiştir.

Sharma ve ark. (2003), tarafından yapılan bir araştırmada, armut dilimlerine 35, 40 ve 45 briks çözeltili konsantrasyonlarında, 1:2 ve 1:3 örnek/çözeltili oranlarında 60 dakika ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Ozmotik çözeltili konsantrasyonu ve örnek/çözeltili oranı arttıkça, armut dilimlerindeki katı madde kazanımı, su kaybı ve ağırlık kaybının da arttığı bildirilmektedir.



şekil 4.12. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözeltili sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime etkisi



Şekil 4.13. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin katı madde kazanımı oranlarındaki değişime etkisi

4.5 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Suyun Efektif Difüzyon Katsayısına Etkisi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayıları EK 5’te verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayılarının konveksiyonel kurutma sonrasında 1.63×10^{-9} - 2.53×10^{-9} m²/s aralığında, mikrodalga kurutma sonrasında ise 1.34×10^{-8} - 9.68×10^{-9} m²/s aralığında değiştiği gözlenmiştir.

Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonu arttıkça ozmotik dehidrasyon sırasındaki suyun efektif difüzyon katsayılarının yükseldiği, uygulama süresine bağlı olarak ise azaldığı görülmektedir. Örneğin, çözelti konsantrasyonunun 40 °Bx ve uygulama süresinin 3 saat olduğu koşullarda, suyun efektif difüzyon katsayısının çözelti sıcaklığı 30°C olduğunda 1.18×10^{-10} m²/s, çözelti sıcaklığı 60°C’ye yükseldiğinde ise 4.01×10^{-10} m²/s olduğu görülmüştür. Çözelti sıcaklığı 60°C ve uygulama süresi 9 saat iken, 40 ve 70°Bx çözelti konsantrasyonlarında suyun efektif difüzyon katsayılarının 1.71×10^{-10} m²/s ve 4.77×10^{-10} m²/s olduğu görülmüştür. 70 °Bx’lik çözelti konsantrasyonu ve 60°C’lik çözelti sıcaklığında suyun efektif difüzyon katsayısı uygulama süresi 3 saat iken

$8.96 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, uygulama süresi 9 saate yükseldiğinde ise $4.77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sırasında armut dilimlerindeki serbest suyun ozmotik çözeltiye difüzyonu önemli ölçüde dehidrasyonun ilk saatlerinde meydana geldiğinden, dehidrasyonun ilerleyen sürelerinde kütle transfer katsayısının azaldığı düşünülmektedir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Kurutulan armut dilimlerindeki suyun efektif difüzyon katsayılarının karesel modele uygunluk gösterdiği ve modelin istatistiksel olarak önemli bulunduğu belirlenmiştir ($p < 0.01$). Modele ilişkin parametreler Tablo 4.9.'da verilmiştir. Model eşitliği ise aşağıda belirtilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sırasında Suyun Efektif Difüzyon Katsayısı} = 2.044E - 009 - 1.088E - 010A - 1.664E - 010B - 1.785E - 010C - 4.255E - 011BC + 7.065E - 011B^2 + 7.699E - 011C^2$$

Tablo 4.9. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayısına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	7.91E-19	9	8.79E-20	66.89**	< 0.0001	0.9869
A-Sıcaklık	1.18E-19	1	1.18E-19	90.05**	< 0.0001	
B-Süre	2.77E-19	1	2.77E-19	210.62**	< 0.0001	
C-Briks Derecesi	3.19E-19	1	3.19E-19	242.50**	< 0.0001	
AB	3.48E-21	1	3.48E-21	2.65	0.1423	
AC	2.39E-21	1	2.39E-21	1.81	0.2148	
BC	1.45E-20	1	1.45E-20	11.02*	0.0105	
A ²	2.63E-21	1	2.63E-21	2.00	0.1946	
B ²	1.35E-20	1	1.35E-20	10.29*	0.0125	
C ²	1.61E-20	1	1.61E-20	12.22**	0.0081	
Uyum Eksikliği	7.86E-21	5	1.57E-21	1.78	0.3371	
Hata	2.65E-21	3	8.84E-22			
Genel	8.02E-19	17				

**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık, süre ve briks derecesinin konveksiyonel olarak kurutulan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayılarındaki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.9.'da verilmiştir ($p < 0.01$).

Ozmotik dehidrasyon uygulanmış armut dilimlerinin konveksiyonel kurutma sırasında suyun efektif difüzyon katsayılarının, ozmotik çözeltinin sıcaklığı, konsantrasyonu ve dehidrasyon süresine bağlı olarak azaldığı Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te görülmektedir.

Pavkov ve ark. (2021) tarafından yapılan araştırmada, farklı derecelerde sıcak hava kurutma uygulanan kayısı dilimlerinde farklı sıcaklık ve konsantrasyonlarda ozmotik dehidrasyon uygulamasının suyun kütle transferine ve kuruma kinetiklerine etkisi değerlendirilmiştir. Sıcak hava kurutma sırasında suyun efektif difüzyon katsayısının ozmotik dehidrasyon sırasında çözelti sıcaklığına ve konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığı bildirilmektedir.

Park ve ark., (2002), tarafından yapılan bir araştırmada, D'Anjou türü armut dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra farklı sıcaklıklarda konveksiyonel kurutma uygulanarak suyun efektif difüzyon katsayılarındaki değişim değerlendirilmiştir. Konveksiyonel kurutma sıcaklığının 60°C olduğu koşullarda, ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayısı $2.72 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, doğrudan konveksiyonel olarak kurutulan armut dilimlerinde ise $4.01 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ belirlenmiştir. Konveksiyonel kurutma sıcaklığı 80°C'ye yükseltildiğinde ise ozmotik dehidrasyon uygulanan ve uygulanmayan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayılarının sırasıyla $5.58 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $7.64 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu belirtilmektedir. Değerler arasındaki bu farklılık ozmotik dehidrasyon sırasında çözeltilen meyveye sakaroz geçişinin konveksiyonel kurutma sırasında suyun difüzyonuna direnç gösterdiği şeklinde açıklanabilmektedir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarından süre ve briks derecesinin (BC) birlikte etkisinin de önemli olduğu Tablo 4.9.'da görülmektedir.

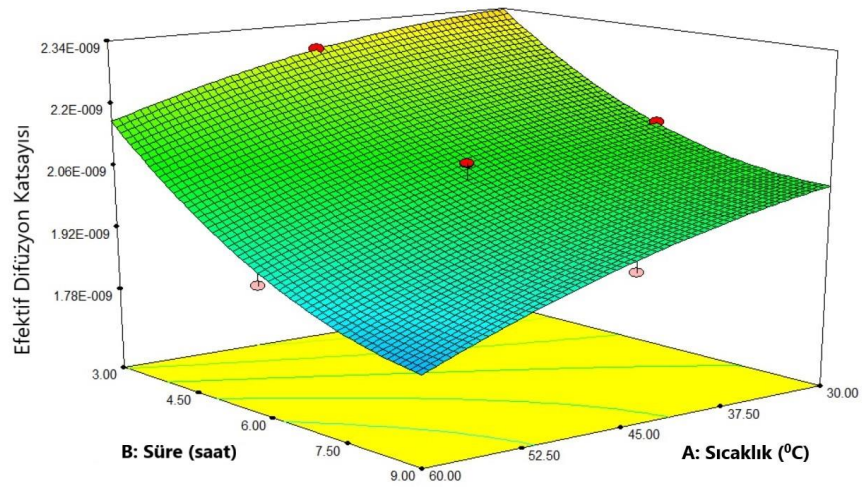
Çözelti konsantrasyonunun 40°Bx ve uygulama süresinin 3 saat olduğu koşullarda, suyun efektif difüzyon katsayısı çözelti sıcaklığı 30 °C olduğunda $2.53 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, çözelti sıcaklığı 60°C'ye yükseldiğinde ise $2.37 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu görülmüştür.

Çözelti sıcaklığı 60°C ve uygulama süresi 9 saat iken, 40 ve 70°Bx çözelti konsantrasyonlarında suyun efektif difüzyon katsayılarının $2.11 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $1.63 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu görülmüştür.

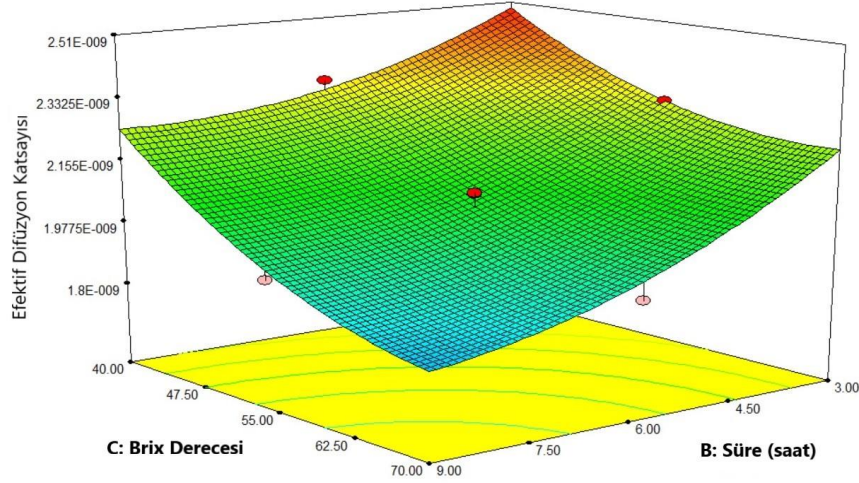
Çözelti konsantrasyonu 55°Bx ve sıcaklığı 45°C iken, suyun efektif difüzyon katsayısı uygulama süresinin 3, 6. ve 9. saatlerinde $2.28 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, $2.08 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $1.92 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ saptanmıştır.

Diğer taraftan; ozmotik dehidrasyon uygulanmadan konveksiyonel kurutulan kontrol örneklerinde suyun efektif difüzyon katsayısı ise $1.605 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ saptanmıştır.

Ozmotik çözelti konsantrasyonun, sıcaklığın ve dehidrasyon süresinin yüksek olduğu koşullarda armut dilimlerinde bulunan serbest suyun ozmotik çözeltiye daha fazla difüze olması ve aynı zamanda çözeltiden de armut dilimlerine önemli ölçüde sakaroz geçişi konveksiyonel kurutma sırasında suyun uzaklaşmasına direnç gösterdiğinden efektif difüzyon katsayılarının azaldığı ileri sürülebilir.



Şekil 4.14. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi



Şekil 4.15. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi

González-Martínez ve ark. (2006), tarafından yapılan bir araştırmada, çözelti sıcaklığının 30°C ve sakaroz çözelti konsantrasyonunun 50 briks olduğu koşullarda armut dilimlerine 0.5, 3 ve 48 saat ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. 45, 55 ve 65°C’de 2.2 m/s kurutucu hava hızında konveksiyonel kurutma uygulanarak kurutulan armut dilimlerinde suyun difüzyon katsayısına ozmotik ön işlemin etkisi değerlendirilmiştir. Ozmotik dehidrasyon süresi arttıkça armut dilimlerine ozmotik çözüldüden katı madde geçişinin arttığı buna bağlı olarak da konveksiyonel kurutma sırasında suyun difüzyon katsayısının azaldığı belirtilmektedir. Bu nedenle; ozmotik dehidrasyon süresinin uzatıldığı koşullarda konveksiyonel kurutma sıcaklığının artırılarak kuruma sürelerinin azaltılabileceği bildirilmektedir.

Mikrodalga Kurutma

Kurutulan armut dilimlerindeki efektif difüzyon katsayısı değişiminin mikrodalga kurutmada 2FI modele uyduğu saptanmıştır ($p < 0.01$). Modele ilişkin parametreler Tablo 4.10.’da görülmektedir. Model eşitliği ise aşağıda verilmiştir.

Mikrodalga Kurutma Sırasında Kurutma Sırasında Efektif Difüzyon Katsayısı = $1.143E-008 + 6.198E-010A + 5.234E-010B + 6.333E-010C$

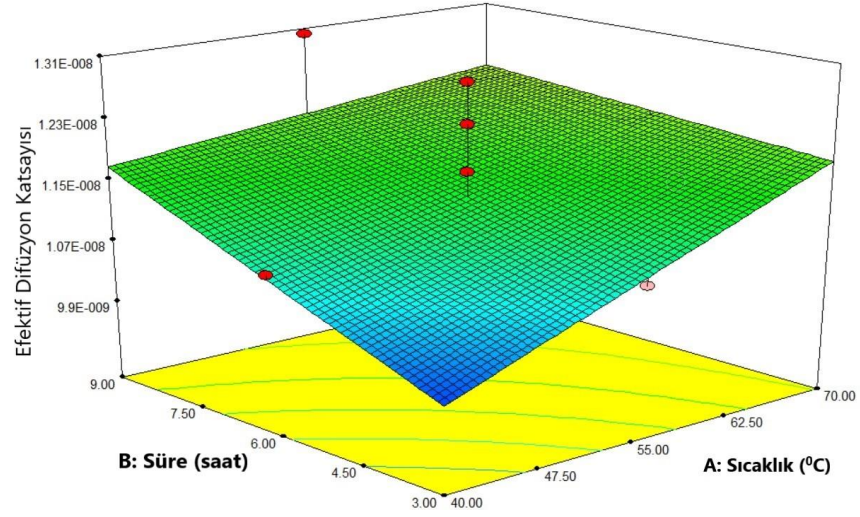
Tablo 4.10. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayısına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	1.40E-17	6	2.33E-18	4.76*	0.0125	0.7218
A-Sıcaklık	3.84E-18	1	3.84E-18	7.86*	0.0172	
B-Süre	2.74E-18	1	2.74E-18	5.61*	0.0373	
C-Briks Derecesi	4.01E-18	1	4.01E-18	8.20*	0.0154	
AB	9.51E-19	1	9.51E-19	1.95	0.1905	
AC	2.02E-18	1	2.02E-18	4.13	0.0671	
BC	3.91E-19	1	3.91E-19	0.80	0.3901	
Uyum Eksikliği	3.81E-18	8	4.76E-19	0.91	0.5968	
Hata	1.57E-18	3	5.24E-19			
Genel	1.93E-17	17				

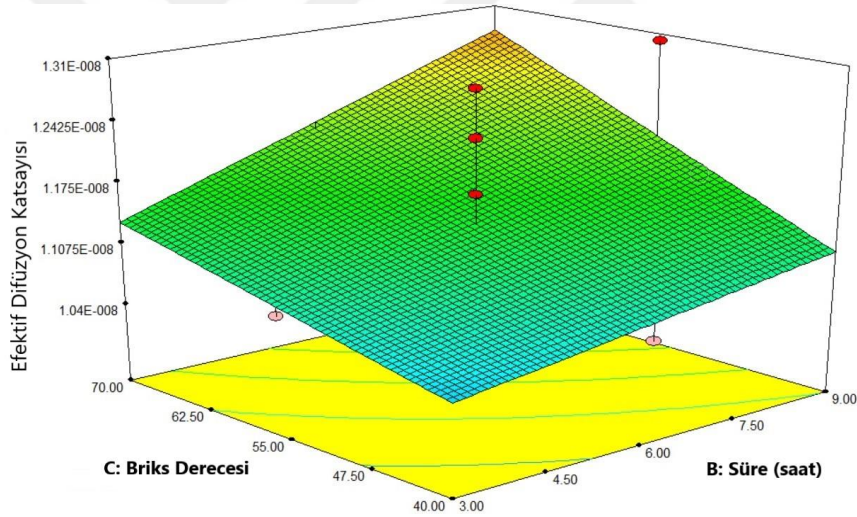
**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık, süre ve briks derecesinin mikrodalga kurutma ile kurutulan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayılarındaki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.10.'da görülmektedir ($p<0.05$). Efektif difüzyon katsayılarının, ozmotik çözeltinin sıcaklığı, konsantrasyonu ve uygulama süresine bağlı olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.16. ve 4.17.). Örneğin, çözelti konsantrasyonu 40 briks ve uygulama süresi 3 saat iken, çözelti sıcaklığı 40°C'den 70°C'ye yükseltildiğinde suyun efektif difüzyon katsayısı sırasıyla $9.67 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $1.09 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ saptanmıştır. Çözelti sıcaklığı 70°C ve uygulama süresi 9 saat iken, çözelti konsantrasyonu 40 briks ve 70 briks olduğunda suyun efektif difüzyon katsayısı $1.02 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $1.33 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak saptanmıştır. Diğer taraftan; ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan mikrodalga ile kurutulan kontrol örneklerinde suyun efektif difüzyon katsayısının $3.61 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sonrası konveksiyonel kurutmada çözelti sıcaklığı ve konsantrasyondaki artışa bağlı olarak efektif difüzyon katsayıları azalmaktadır. Diğer taraftan; mikrodalga kurutma sırasında efektif difüzyon katsayılarının artması mikrodalga kurutmanın belirli kuru madde oranlarına ulaşılan kadar farklı sürelerde uygulanmasından kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmaktadır.



Şekil 4.16. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi



Şekil 4.17. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayılarındaki değişime etkisi

4.6 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Rehidrasyon Oranına Etkisi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde rehidrasyon oranları EK 6'da verilmiştir. Osmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde rehidrasyon oranlarının konveksiyonel kurutma sonrasında %286-383,

mikrodalga kurutma sonrasında ise rehidrasyon oranları %232-326 aralıklarında değiştiği gözlenmiştir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde rehidrasyon oranlarındaki değişime etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Konveksiyonel yöntemle kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarındaki değişimin karesel modele uyduğu ve bu modelin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (R^2 : 0.9415, $p<0.01$). Karesel modele ilişkin parametreler Tablo 4.11.'de gösterilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sırasında Rehidrasyon Oranı} = 309.42 - 19.20A - 19.80B - 25.60C + 12.25AC - 16.08A^2$$

Tablo 4.11. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R^2
Model	16421.43	9	1824.60	14.32**	0.0005	0.9415
A-Sıcaklık	3686.40	1	3686.40	28.93**	0.0007	
B-Süre	3920.40	1	3920.40	30.76**	0.0005	
C-Briks Derecesi	6553.60	1	6553.60	51.43**	< 0.0001	
AB	12.50	1	12.50	0.10	0.7621	
AC	1200.50	1	1200.50	9.42*	0.0154	
BC	40.50	1	40.50	0.32	0.5884	
A^2	700.92	1	700.92	5.50*	0.0470	
B^2	322.92	1	322.92	2.53	0.1501	
C^2	266.47	1	266.47	2.09	0.1862	
Uyum Eksikliği	886.77	5	177.35	4.01	0.1413	
Hata	132.75	3	44.25			
Genel	17440.94	17				

** $p<0.01$, * $p<0.05$

Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık, süre ve briks derecesinin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde rehidrasyon oranındaki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.11.'de görülmektedir ($p<0.01$). Çözelti

sıcaklığı, uygulama süresi ve çözelti konsantrasyonu arttıkça konveksiyonel kurutma sonrası rehidrasyon oranlarının azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.18.).

Rigi ve ark. (2020), 70°C’de sıcak hava kurutma uygulanan turp dilimleri için uygulanan ozmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonunu çalışmışlardır. Bu çalışmada ozmotik çözelti konsantrasyonu 30, 45 ve 60 briks, dehidrasyon süresi 4, 5 ve 6 saat ve çözelti sıcaklığı ise 30, 40 ve 50°C uygulanmıştır. Turp dilimlerinde rehidrasyon oranlarının, ozmotik çözeltinin konsantrasyonu ve sıcaklığa bağlı olarak önce arttığı sonra azaldığı bildirilmiştir. Bu durumun dehidre edilen meyve ve sebzelerin yüzeyinde biriken çözünen katı maddeden kaynaklı olabileceği ileri sürülmektedir.

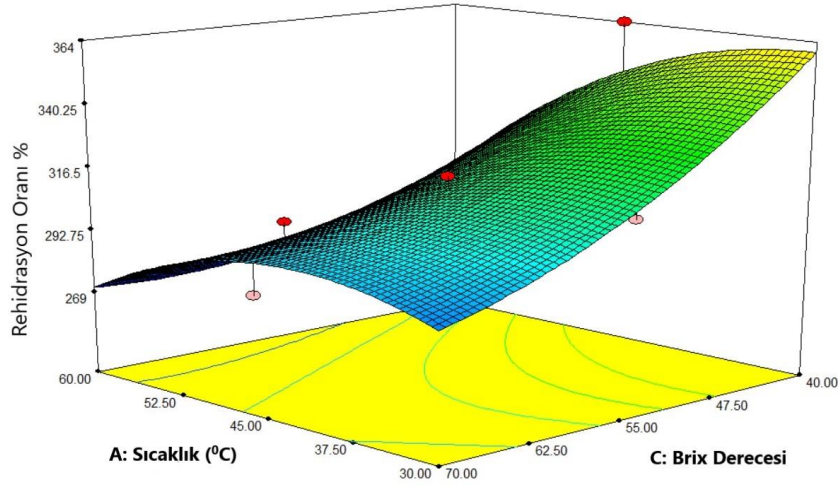
Örneğin, çözelti konsantrasyonunun 40°Bx ve uygulama süresi 9 saat olduğunda, çözelti sıcaklığı 30°C iken rehidrasyon oranı %354 bulunmuştur. Çözelti sıcaklığı 60°C’ye yükseltildiğinde ise rehidrasyon oranının %294’e düştüğü görülmüştür.

Ozmotik dehidrasyon sıcaklığının 30°C ve uygulama süresinin 9 saat olduğu koşullarda, çözelti konsantrasyonu 40 ve 70°Bx olduğunda ise rehidrasyon oranları sırasıyla %354 ve %286 saptanmıştır.

Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı 60°C ve çözelti konsantrasyonu 70°Bx iken dehidrasyon süresi 3 saat ve 9 saat olduğunda rehidrasyon oranları sırasıyla %301 ve %269 belirlenmiştir.

Diğer taraftan; ozmotik dehidrasyon uygulanmadan konveksiyonel kurutulan kontrol örneklerinde rehidrasyon oranı ise %374 olarak saptanmıştır.

Obajemihi ve Asipa (2020), tarafından yapılan bir araştırmada, farklı süre, sıcaklık ve çözelti konsantrasyonlarda ozmotik dehidrasyon uygulanan domates dilimleri 65°C’de 10 saat konveksiyonel olarak kurutulmuştur. Ozmotik çözelti konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak rehidrasyon oranlarının azaldığı bildirilmektedir.



Şekil 4.18. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarındaki değişime etkisi

Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde rehidrasyon oranı değişiminin karesel modele (R^2 : 0.9583, $p < 0.01$) uyduğu saptanmıştır (Tablo 4.12.). Modele ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Mikrodalga Kurutma Sırasında Rehidrasyon Oranı} = 262.54 - 17.30A - 16.70B - 13.60C - 7.50AB + 12.68B^2$$

Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık, süre ve briks derecesinin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarındaki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.12.'de görülmektedir ($p < 0.01$).

Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı, süresi ve briks derecesi arttıkça mikrodalga kurutma sonrası rehidrasyon oranlarının azaldığı belirlenmiştir.

Mikrodalga destekli ve farklı sıcaklıklarda sıcak hava kurutma uygulanan elma dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının, elma dilimlerinin rehidrasyon kapasitesine etkisinin incelendiği bir çalışmada, ozmotik dehidrasyon uygulanmadan kurutulan elma dilimlerinin rehidrasyon kapasitesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, ozmotik dehidrasyon uygulanan elma dilimlerinin daha az gözenekli olması, dehidrasyon sırasında hücre duvarı ve hücreler arası

boşluğa sakaroz geçişiyle birlikte hücre duvarı geçirgenliğinin azalması sonucunda suyun yeniden rehidre edilebilme yeteneğinin azalması ile açıklanmaktadır (Prothon ve ark., 2001).

Tablo 4.12. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde rehidrasyon oranlarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	9429.40	9	1047.71	20.43**	0.0001	0.9583
A-Sıcaklık	2992.90	1	2992.90	58.37**	< 0.0001	
B-Süre	2788.90	1	2788.90	54.39**	< 0.0001	
C-Briks Derecesi	1849.60	1	1849.60	36.07**	0.0003	
AB	450.00	1	450.00	8.78*	0.0181	
AC	180.50	1	180.50	3.52	0.0975	
BC	40.50	1	40.50	0.79	0.4001	
A ²	0.28	1	0.28	0.01	0.9429	
B ²	435.57	1	435.57	8.49*	0.0195	
C ²	72.67	1	72.67	1.42	0.2680	
Uyum Eksikliği	367.46	5	73.49	5.16	0.1037	
Hata	42.75	3	14.25			
Genel	9839.61	17				

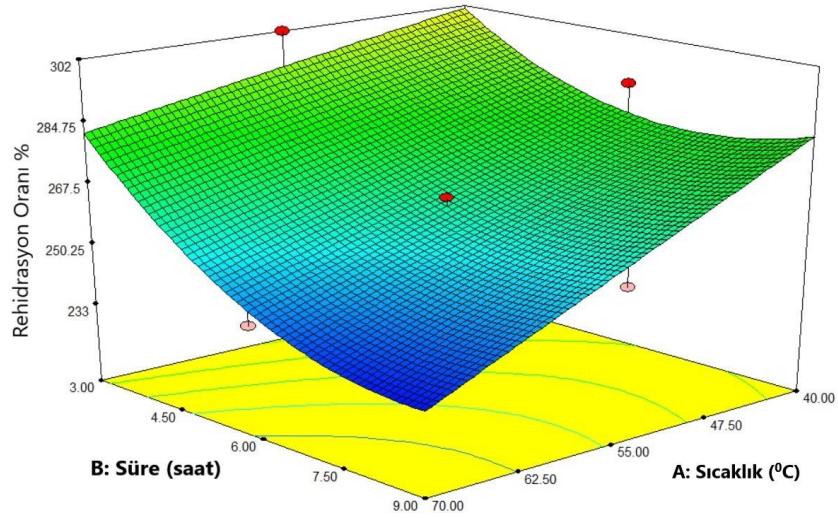
**p<0.01, *p<0.05

Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonunun 40 briks ve dehidrasyon süresinin 3 saat olduğu koşullarda, çözelti sıcaklığının 40°C'den 70°C'ye yükseltilmesiyle rehidrasyon oranı %326'dan %296'ya düşmüştür (Şekil 4.19.).

Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı 40°C ve dehidrasyon süresi 9 saat olduğunda, çözelti konsantrasyonu 40 briksten 70 brikse yükseltildiğinde rehidrasyon oranının da %303'ten %273'e düştüğü gözlenmiştir.

Ozmotik çözelti sıcaklığının 55°C ve konsantrasyonunun 55 briks olduğu koşullarda, 3, 6 ve 9 saatlik dehidrasyon sürelerinde ise rehidrasyon oranlarının sırasıyla %302, %259 ve %253 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.19.).

Diğer taraftan; ozmotik dehidrasyon uygulanmadan mikrodalga ile kurutulan kontrol örneklerinde rehidrasyon oranı ise %376 saptanmıştır.



Şekil 4.19. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarındaki değişime etkisi

Cháfer ve ark. (2011), tarafından yapılan bir araştırmada, konveksiyonel olarak kurutulan armut dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının ürünün rehidrasyon kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ozmo-dehidre armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarının dehidrasyon uygulanmayan armut dilimlerine göre daha düşük olduğu belirtilmektedir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan ürünlerde, rehidrasyon sırasında şekerin suya geçişinin yavaşladığı bu durumun da suyun ürüne kütle transfer kinetiğini düşürdüğü ileri sürülmektedir. Bu nedenle, rehidre edilecek meyvelerin kurutulmasında ozmotik ön işlemin önerilmediği belirtilmektedir.

Bu çalışmada da, ozmotik dehidrasyon sıcaklığı, süresi ve çözelti konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak ozmotik çözeltilerden armut dilimlerine çözünen katı madde geçişi arttığından, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin rehidre edilmeleri sırasında dokulara geçen sakarozun suyun meyveye difüzyonunu yavaşlattığı, örneklerdeki lif oranlarının da farklı olması nedeniyle rehidrasyon kapasitelerinde farklılıklar oluştuğu düşünülmektedir.

4.7 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Su Aktivitesine Etkisi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde su aktivitesi değerleri EK 7’de verilmiştir. Su aktivitesinin, ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde 0.872-0.943, konveksiyonel kurutma sonrasında 0.358-0.420 ve mikrodalga kurutma sonrasında 0.415-0.523 aralığında değiştiği gözlenmiştir.

Her iki yöntemle kurutmadan önce uygulanan dehidrasyon koşullarının, dehidrasyon sonrasında ölçülen su aktivitesi değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir.

Salim ve ark. (2016), tarafından yapılan bir araştırmada, sakaroz, glukoz ve gliserol çözeltilerinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının, 50 ve 60°C’de kabin kurutucularda konveksiyonel olarak kurutulan armut dilimlerinde su aktivitesine etkisi araştırılmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulanan tüm örneklerde su aktivitesi değerlerinin, ozmotik dehidrasyon uygulanmamış kontrol örneğine kıyasla daha düşük olduğu, ozmotik dehidrasyon uygulamasının armut dilimlerinin su aktivitesini düşürmede etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir.

Bernardi ve ark. (2009), tarafından yapılan bir araştırmada, mango dilimlerinin 45°C sakaroz ve invert şeker şurubunda bekletilerek dehidre edilmesiyle su aktivitesi değerlerinin önemli miktarda azaldığı belirtilmektedir.

Saxena ve ark. (2018), tarafından yapılan bir araştırmada, yanıt yüzey metodu kullanılarak armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon koşulları optimize edilmiştir. Ozmotik çözelti sıcaklığının 40-60°C, çözelti konsantrasyonunun 40-60 briks ve dehidrasyon süresinin 120-180 dakika olduğu koşullarda, armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon sırasındaki su aktivitesi değerlerinin, sıcaklık, süre ve konsantrasyondaki artışa bağlı azaldığı ve bu koşulların etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu aktarılmaktadır. Armut dilimlerinin optimum dehidrasyon koşullarının ozmotik çözelti sıcaklığı 59.57°C, çözelti konsantrasyonu 53.73 briks ve dehidrasyon süresi ise 151.9 dakika olduğu belirtilmektedir.

Örneğin, çözelti konsantrasyonunun 70 briks ve uygulama süresinin 9 saat olduğu koşullarda, çözelti sıcaklığı 30°C’den 60°C’ye çıkarıldığında su aktivitesinin de 0.923’ten 0.882’ye düştüğü görülmüştür.

Ozmotik çözelti sıcaklığının 60°C ve dehidrasyon süresinin 3 saat olduğu koşullarda, çözelti konsantrasyonu 40 briksten 70 brikse yükseltildiğinde su aktivitesinin 0.943’ten 0.916’ya düştüğü belirlenmiştir.

Ozmotik çözelti sıcaklığı 55°C ve çözelti konsantrasyonu 55 briks olduğunda, dehidrasyonun 3, 6 ve 9 saatlik süre sonunda su aktivitesinin sırasıyla 0.938, 0.928 ve 0.926 olduğu gözlenmiştir.

Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı, süresi ve çözelti konsantrasyonu arttıkça armut dilimlerinde bulunan suyun ozmotik çözeltiye difüzyonu arttığından ve çözeltiden de örneğe sakaroz geçişi hızlandığından su aktivitesi değerlerinin düştüğü ileri sürülebilir.

Ancak, nem oranı %15-20 aralığında kuru meyvelerde ozmofilik maya gelişiminin engellenmesi için su aktivitesi değerlerinin en az 0.60-0.65 arasında, küf gelişiminin engellenmesi için ise su aktivitesi değerlerinin en az 0.80 olması gerektiğinden meyvelerin kurutulmasında ozmotik dehidrasyon tek başına yeterli bir kurutma yöntemi olamayacağı değerlendirilmektedir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su aktivitesi değerlerindeki değişime etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin su aktivitesi değerlerindeki değişimin karesel modele uygunluk gösterdiği ve bu modelin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiş, ($p < 0.01$), determinasyon katsayısı (R^2) 0.8845 saptanmıştır.

Karesel modele ilişkin parametreler Tablo 4.13.'te gösterilmiş ve model denkliği aşağıda verilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sonrasında Su Aktivitesi Değerleri} = 0.40 + 6.900E-003A - 0.011AC - 0.020A^2$$

Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığının armut dilimlerinde su aktivitesindeki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.13.'te verilmiştir ($p < 0.05$). Su aktivitesi üzerine çözelti sıcaklığı-çözelti konsantrasyonu etkilerinin de önemli olduğu saptanmıştır ($p < 0.01$).

Tablo 4.13. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde su aktivitesine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

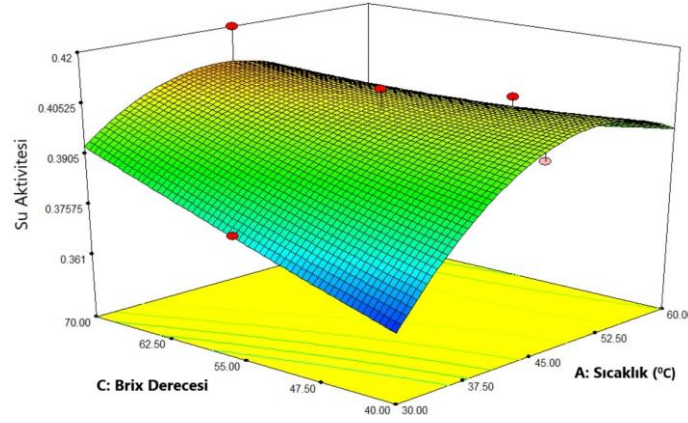
Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	0.003855	9	0.000428	6.81**	0.0064	0.8845
A-Sıcaklık	0.000476	1	0.000476	7.57*	0.0250	
B-Süre	0.000185	1	0.000185	2.94	0.1248	
C-Briks Derecesi	0.00026	1	0.00026	4.13	0.0765	
AB	7.2E-05	1	7.2E-05	1.14	0.3160	
AC	0.000924	1	0.000924	14.69**	0.0050	
BC	0	1	0	0	1.0000	
A ²	0.001128	1	0.001128	17.93**	0.0029	
B ²	5.35E-06	1	5.35E-06	0.085	0.7781	
C ²	9.6E-07	1	9.6E-07	0.015	0.9047	
Uyum Eksikliği	0.000339	5	6.79E-05	1.24	0.4575	
Hata	0.000164	3	5.47E-05			
Genel	0.004359	17				

**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik çözelti sıcaklığı arttıkça, konveksiyonel kurutma sonrasında 0.358-0.400 aralığındaki su aktivitesi değerlerinin önce arttığı sonra azaldığı Şekil 4.20.'de görülmektedir.

Bu durumun, ozmotik çözelti sıcaklığına bağlı olarak dehidre edilen armut dilimlerinde katı madde oranı da arttığından konveksiyonel kurutma sırasında suyun difüzyonunun yavaşlamasından kaynaklanmaktadır. Ozmotik çözelti konsantrasyonunun düşük olduğu koşullarda kurutulan armut dilimlerinin su aktivitelerinin daha düşük olduğu ancak bu değişimin istatistiksel açıdan önemli olmadığı görülmüştür (p>0.05; Tablo 4.13.).

Diğer taraftan, Ciurzyńska ve ark. (2018), tarafından yapılan bir araştırmada elma dilimlerinde ultrases destekli ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel ve dondurarak kurutulmuştur. Ozmotik dehidrasyon uygulanan elma dilimlerinde su aktivitesinin kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada da ozmotik dehidrasyon sonrası her iki yöntemle kurutulan örneklerdeki su aktivitesi değerleri kontrol örneğine kıyasla yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.20. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin su aktivitesine etkisi

Mikrodalga Kurutma

Ozmotik dehidrasyon koşullarının mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su aktivitesi değişimine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.14.'te görülmektedir. Mikrodalga kurutma sonrasında su aktivitesi değişiminin karesel modele uyduğu ve R^2 'nin 0.8325 olduğu saptanmıştır. Karesel modele ilişkin denklik aşağıda verilmiştir.

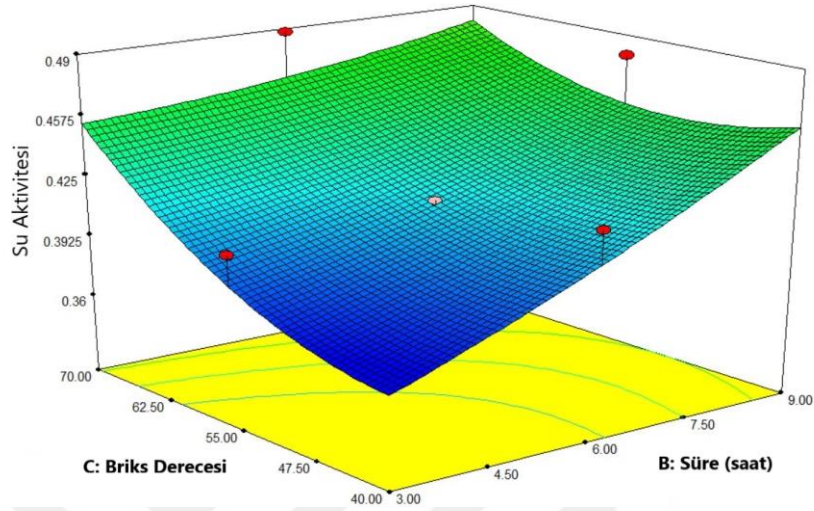
$$\text{Mikrodalga Kurutma Sonrasında Su Aktivitesi Değerleri} = 0.42 - 0.023A + 0.031B + 0.027C$$

Tablo 4.14. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde su aktivitesine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R^2
Model	3.65E-02	9	4.05E-03	4.42*	0.0240	0.8325
A-Sıcaklık	5.29E-03	1	5.29E-03	5.77*	0.0431	
B-Süre	9.36E-03	1	9.36E-03	10.21*	0.0127	
C-Briks Derecesi	7.45E-03	1	7.45E-03	8.13*	0.0215	
AB	6.66E-04	1	6.66E-04	0.73	0.4188	
AC	3.24E-03	1	3.24E-03	3.53	0.0969	
BC	2.21E-03	1	2.21E-03	2.41	0.1591	
A^2	2.04E-03	1	2.04E-03	2.22	0.1745	
B^2	5.29E-05	1	5.29E-05	0.06	0.8163	
C^2	8.70E-04	1	8.70E-04	0.95	0.3586	
Uyum Eksikliği	0.01	5	0,00	3.40	0.1714	
Hata	0.00	3	0,00			
Genel	0.04	17				

**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı, süresi ve çözelti konsantrasyonu arttıkça mikrodalga kurutma sonrasında 0.415-0.523 aralığında belirlenen su aktivitesi değerlerinin önemli düzeyde arttığı ($p<0.01$) Şekil 4.21.'de görülmektedir.



Şekil 4.21. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin su aktivitesi oranlarındaki değişime etkisi

4.8 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Renk Değişimi Üzerine Etkisi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde renk değerleri EK 8'de verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde renk değişimi (ΔE) değerleri konveksiyonel kurutma sonrasında 5.71-13.36, mikrodalga kurutma sonrasında ise 7.96-25.87 aralıklarında belirlenmiştir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde renk değerlerindeki değişime etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Kurutulan armut dilimlerinin renk değerlerindeki değişimin karesel modele uygunluk gösterdiği ve bu modelin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiş

olup ($p<0.01$), determinasyon katsayısı (R^2) 0.8196 olan karesel modele ilişkin prametreler Tablo 4.15.'te gösterilmiştir. Modele ilişkin denklik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sırasında Renk Değerlerindeki Değişim} = 11.43 - 2.18A$$

Tablo 4.15. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde renk değişimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R^2
Model	77.29	9	8.59	4.04*	0.0310	0.8196
A-Sıcaklık	47.31	1	47.31	22.24**	0.0015	
B-Süre	2.72	1	2.72	1.28	0.2905	
C-Briks Derecesi	3.86	1	3.86	1.81	0.2150	
AB	0.02	1	0.02	0.01	0.9345	
AC	5.76	1	5.76	2.71	0.1384	
BC	2.70	1	2.70	1.27	0.2923	
A^2	8.38	1	8.38	3.94	0.0824	
B^2	0.83	1	0.83	0.39	0.5495	
C^2	0.85	1	0.85	0.40	0.5440	
Uyum Eksikliği	15.69	5	3.14	7.11	0.0687	
Hata	1.33	3	0.44			
Genel	94.31	17				

** $p<0.01$, * $p<0.05$

Ozmotik dehidrasyon koşullarından sadece çözelti sıcaklığının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde renk değerlerindeki değişime (ΔE) lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.15.'te görülmektedir ($p<0.01$). Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı arttıkça konveksiyonel kurutma sırasında ΔE renk değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 4.22.).

Kowalski ve Mierzwa (2011), tarafından yapılan bir araştırmada, havuç dilimlerinde, 20, 40 ve 60 briks glukoz, fruktoz ve sakaroz çözeltilerinde ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel kurutma uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulanmayan havuç dilimlerinde ΔE değerinin 17.01, uygulanan örneklerde ise 3.26-12.95 aralığında değiştiği, ozmotik dehidrasyon uygulamasının renk değerlerine olumlu etki ettiği, yapı ve tekstür özelliklerini koruduğu belirtilmektedir.

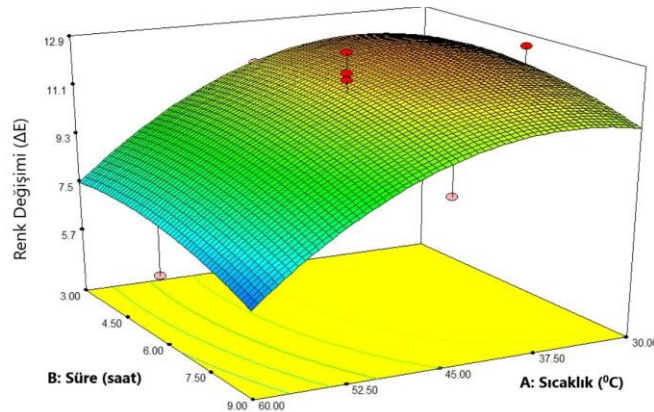
Moreno-Castillo ve ark. (2005), tarafından yapılan araştırmada, ozmotik çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonundaki değişimin hint incirlerinde ΔE renk değerlerine etkisi incelenmiştir. Ozmotik çözelti konsantrasyonunun renk

değerlerine etkisinin istatistiksel açıdan önemsiz olduğu, çözelti sıcaklığındaki artışın ise renk değerlerindeki değişimi azalttığı belirtilmiştir. Ozmotik çözelti sıcaklığının 50°C'nin üzerine çıkartılmasıyla polifenoloksidaz enzim faaliyetlerinin durması sonucunda renk değerlerindeki değişimin azaldığı ileri sürülmektedir.

Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonunun 70 briks ve dehidrasyon süresinin 9 saat olduğu koşullarda, çözelti sıcaklığının 30°C'den 60°C'ye çıkarılması sonucunda ΔE renk değerlerindeki değişimin 12.56'dan 5.71'e düştüğü gözlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan konveksiyonel olarak kurutulan armut dilimlerinin ΔE değerinin 15.48 olduğu, ozmotik dehidrasyon uygulanan bütün koşullara göre daha yüksek bulunduğu görülmüştür. Ozmotik çözelti sıcaklığındaki artışın, dehidrasyon sırasında meyveye katı madde geçişini artırarak dokulardaki oksijenin uzaklaşmasını ve oksidasyon reaksiyonlarını yavaşlatmasından dolayı ozmotik dehidrasyona uğrayan örneklerde renk değişiminin fazla olmadığı düşünülmektedir.

ΔE renk değişimindeki bu olumlu etkinin, meyvede su kaybı oranlarının ve katı madde kazanımının artışıyla su aktivitesi değerlerinin düşmesi sonucu enzimatik faaliyetlerin yavaşlamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda fenoloksidaz enzim aktivitesinin yavaşlamasının da ΔE renk değişimine olumlu etki sağlayacağı ileri sürülebilir.

Diğer taraftan, ozmotik çözelti konsantrasyonu ve dehidrasyon süresinin ($p>0.05$) ΔE renk değerlerindeki değişime etkisinin istatistiksel açıdan önemsiz olduğu Tablo 4.15.'te görülmektedir.



Şekil 4.22. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin renk değişimine etkisi

Mikrodalga Kurutma

Ozmotik dehidrasyon sonrası mikrodalga ile kurutulan örneklerdeki renk değişiminin de karesel modele uyduğu (R^2 : 0.9364) ve istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır (Tablo 4.16.). Modele ilişkin denklik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Mikrodalga Kurutma Sırasında Renk Değerlerindeki Değişim} = 13.29 - 6.8A + 2.15C$$

Tablo 4.16. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde renk değişimine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R^2
Model	612.97	9	68.11	13.09**	0.0007	0.9364
A-Sıcaklık	471.69	1	471.69	90.66**	< 0.0001	
B-Süre	9.29	1	9.29	1.79	0.2182	
C-Briks Derecesi	46.35	1	46.35	8.91*	0.0175	
AB	1.95	1	1.95	0.37	0.5574	
AC	8.67	1	8.67	1.67	0.2327	
BC	3.69	1	3.69	0.71	0.4244	
A^2	8.37	1	8.37	1.61	0.2404	
B^2	8.37	1	8.37	1.61	0.2404	
C^2	4.32	1	4.32	0.83	0.3889	
Uyum Eksikliği	35.42	5	7.08	3.43	0.1698	
Hata	6.20	3	2.07			
Genel	654.59	17				

**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ($p<0.01$) ve konsantrasyonunun ($p<0.05$) mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin ΔE renk değerlerindeki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.16.'da verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı arttıkça mikrodalga kurutma sonrası ΔE renk değerlerinin azaldığı, çözelti konsantrasyonu arttıkça ΔE renk değerlerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.23).

Waliszewski ve ark. (2000), tarafından yapılan araştırmada ozmotik çözelti sıcaklığının 50, 60 ve 70°C, çözelti konsantrasyonunun 50, 60 ve 70 briks, pH derecesinin 6, 7 ve 8 olduğu 5 farklı koşulda muz dilimlerinde polifenol oksidaz enzim aktivitesi araştırılmıştır. Çözelti sıcaklığı 35°C iken polifenoloksidaz enzim

aktivitesinin maksimum seviyede olduğu ve sıcaklık artışıyla birlikte azaldığı belirtilmektedir. Çözelti sıcaklığı 70°C'ye yükseldiğinde ve 90 dakikalık dehidrasyon sonrasında polifenoloksidaz enzim aktivitesinin tamamen bittiği, çözelti sıcaklığı 50-60°C aralığı gibi düşük sıcaklıklarda tutulduğunda ise polifenol enzim aktivitesinin halen aktif olduğu ve bu durumun muz dilimlerinin depolama sürecinde veya kurutulması sırasında renk ve duyu özelliklerinde olumsuz etki yaratabileceği bildirilmiştir.

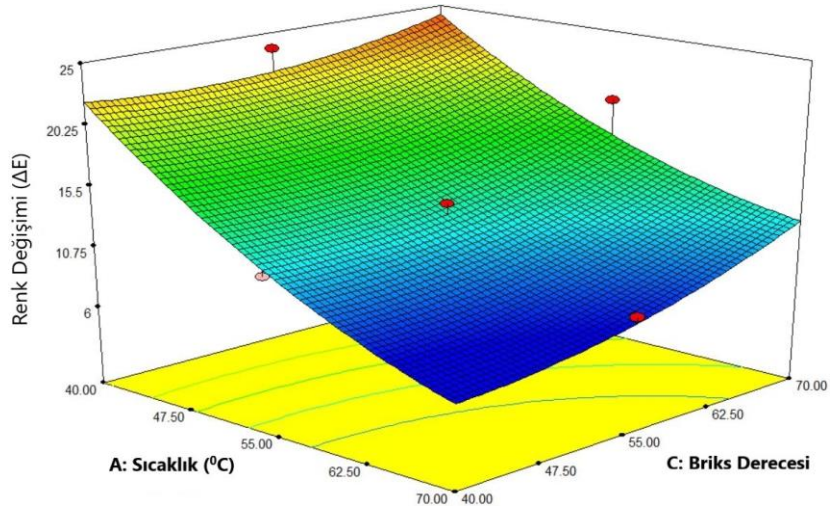
Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonunun 70 briks ve dehidrasyon süresinin 9 saat olduğu koşullarda, ozmotik çözelti sıcaklığı 40°C'den 70°C'ye yükseltildiğinde ΔE renk değerlerinin 24.68'den 7.96'ya düştüğü görülmüştür.

Ozmotik çözelti sıcaklığının 70°C ve dehidrasyon süresinin 9 saat olduğu koşullarda ise çözelti konsantrasyonun 40 briks olduğunda ΔE renk değeri 7.96 iken çözelti konsantrasyonu 70 brikse yükseltildiğinde ΔE renk değeri 12.41'e yükselmiştir.

Ozmotik dehidrasyon süresine bağlı olarak ΔE renk değerlerindeki değişimin istatistiksel açıdan önemsiz olduğu ($p>0.05$) Tablo 4.16.'da görülmektedir.

Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin ΔE renk değerlerinin 25.21 olduğu ve ozmotik dehidrasyon uygulanan koşullara kıyasla daha yüksek bulunduğu görülmüştür.

Mikrodalga altında ozmotik dehidrasyon ön işleminin sıcak hava ve dondurarak kurutma ile kurutulan elma dilimlerinde renk değişimlerine etkisi incelenmiştir. Ozmotik çözelti sıcaklığı 33-68°C, çözelti konsantrasyonu 33-68 briks ve dehidrasyon süresi 5-55 dakika belirlenmiştir. Mikrodalga-ozmotik dehidrasyon ön işlemi uygulandıktan sonra sıcak hava kurutma ile kurutulan elma dilimlerindeki ΔE renk değerlerinin, doğrudan sıcak hava ile kurutulanlara kıyasla daha düşük olduğu ve doğrudan dondurularak kurutulan elma dilimlerinin ΔE renk değerlerine ise yakın bulunduğu belirtilmektedir (Azarpazhooh ve Ramaswamy, 2011).



Şekil 4.23. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin renk değişimine etkisi

Elma dilimlerinde farklı süre, sıcaklık ve konsantrasyonlarda mikrodalga destekli ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra 50 °C, %50 bağıl nem ve 0.5 m/s kurutucu hava hızında kuru nem oranları %20'ye düşünceye kadar konveksiyonel kurutma, dondurarak kurutma ve taze elma dilimlerinde doğrudan konveksiyonel kurutma uygulanmıştır. Taze elma dilimlerinin sıcak hava ile kurutulması sonucu ΔE renk değerleri en yüksek iken dondurarak kurutmada en düşük bulunmuş, mikrodalga destekli ozmodehidre sıcak hava kurutmada renk değerleri değişimin ise dondurarak kurutmaya yakın olduğu aktarılmıştır. Polifenoloksidaz enzimlerinin mono ve difenollerini ortokinonlara oksidasyonunu katalize ederek esmer renkli pigmentlerin oluşuma yol açtığı bilinmektedir. Mikrodalga destekli ozmotik kurutma sırasında fenoloksidaz enzim faaliyetlerinin sıcaklığa ve oksijen konsantrasyonundaki düşüşe bağlı olarak durması veya yavaşlamasının ΔE renk değerlerini düşürdüğü ileri sürülmüştür (Li, 2007).

4.9 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan armut Dilimlerinde Esmerleşme İndeksine Etkisi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde esmerleşme indeksi değerleri EK 9'da verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde esmerleşme indeksi değerlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutma sonrasında sırasıyla 0.029-0.058 ve 0.022-0.056 aralıklarında değişmiştir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde esmerleşme indeksi değişimine etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Kurutulan armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerlerindeki değişimin konveksiyonel kurutmada karesel modele uygunluk gösterdiği ve bu modelin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0.01$). Karesel modele ilişkin parametreler Tablo 4.17.'de görülmektedir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sonrasında Esmerleşme İndeksi} = +0.045 - 0.010A - 2.800E-003C - 1.250E-003BC - 3.619E-003A^2 + 3.381E-003B^2$$

Tablo 4.17. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde esmerleşme indeksi etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	R ²
Model	0.12	9	0.0134329	79.72**	< 0.0001	0.9890
A-Sıcaklık	0.11	1	0.10609	629.57**	< 0.0001	
B-Süre	1E-05	1	1E-05	0.06	0.8137	
C-Briks						
Derecesi	0.0078	1	0.00784	46.52**	0.0001	
AB	5E-05	1	5E-05	0.30	0.6008	
AC	5E-05	1	5E-05	0.30	0.6008	
BC	0.0012	1	0.00125	7.42*	0.0261	
A ²	0.0036	1	0.003549	21.06**	0.0018	
B ²	0.0031	1	0.0030974	18.38**	0.0027	
C ²	0.0003	1	0.0003393	2.01	0.1937	
Uyum Eksikliği	0.0009	5	0.0001696	1.02	0.5288	
Hata	0.0005	3	0.0001667			
Genel	0.1222	17				

**p<0.01, *p<0.05

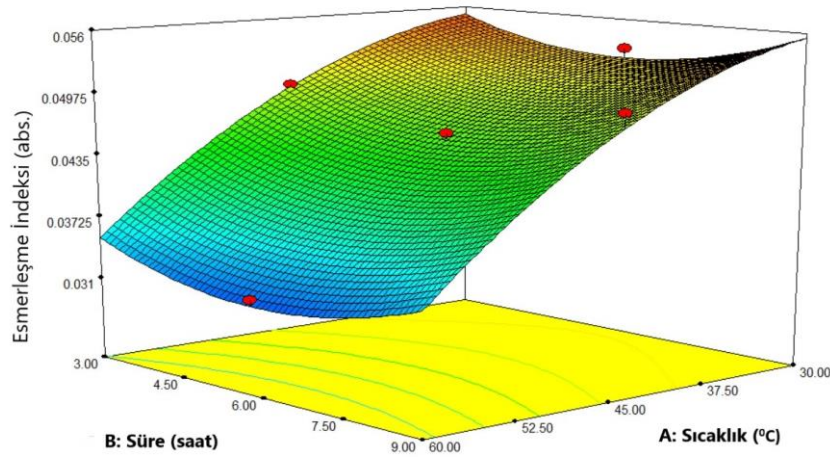
Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık ve briks derecesinin, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.17.'de verilmiştir ($p < 0.01$).

Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde esmerleşme indeksinin çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.)

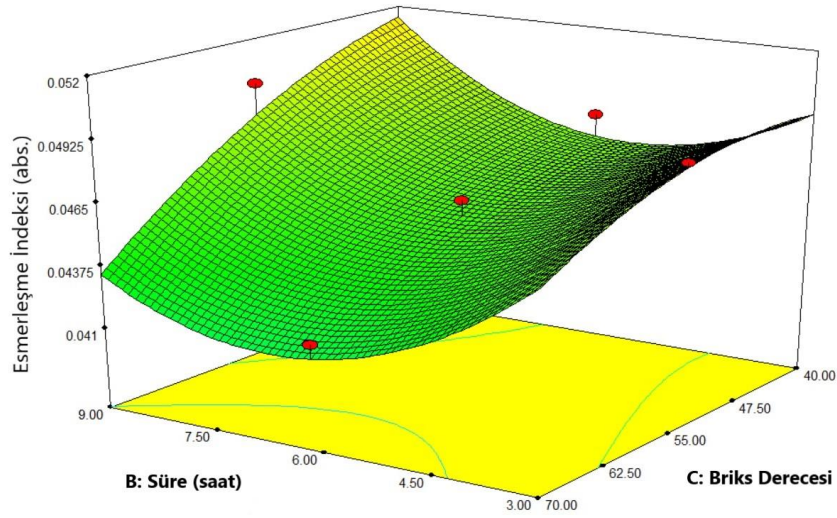
Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonunun 70 briks ve dehidrasyon süresinin 9 saat olduğu koşullarda, sıcaklık 30°C'den 60°C'ye yükseltildiğinde esmerleşme indeksinin 0.050'den 0.029'a düştüğü belirlenmiştir.

Aynı zamanda çözelti sıcaklığı 60°C ve dehidrasyon süresi 9 saat iken konsantrasyon 40 briksten 70 brikse yükseltildiğinde esmerleşme indekslerinin de sırasıyla 0.037 ve 0.029 olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte ozmotik dehidrasyon uygulanmayan kontrol örneklerinde esmerleşme indeksinin 0.058 olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, ozmotik dehidrasyon uygulamasının örneklerde esmerleşmeyi azalttığını göstermektedir.



Şekil 4.24. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime etkisi



Şekil 4.25. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti konsantrasyonu ve sürenin konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime etkisi

Mikrodalga Kurutma

Ozmotik dehidrasyon sonrası mikrodalga ile kurutulan örneklerdeki esmerleşme indeksi değişimine ilişkin bulunan lineer model ve ilgili parametreleri Tablo 4.18.'de verilmektedir. Lineer modele ilişkin denklik aşağıda gösterilmiştir.

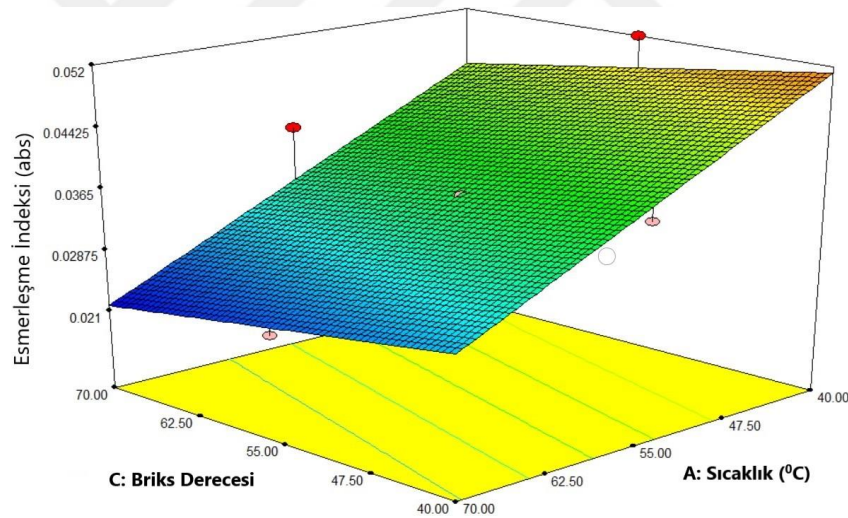
$$\text{Mikrodalga Kurutma Sonrasında Esmerleşme İndeksi} = 0.036 - 0.012A - 3.300E-003C$$

Tablo 4.18. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde esmerleşme indeksine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	1.43E-03	3	4.77E-04	26.94**	< 0.0001	0.8523
A-Sıcaklık	1.32E-03	1	1.32E-03	74.61**	< 0.0001	
B-Süre	9.00E-07	1	9.00E-07	0.05	0.8250	
C-Briks Derecesi	1.09E-04	1	1.09E-04	6.14*	0.0265	
Uyum Eksikliği	2.27E-04	11	2.07E-05	2.99	0.1993	
Hata	2.08E-05	3	6.92E-06			
Genel	1.68E-03	17				

**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyon koşullarından ozmotik dehidrasyon sıcaklığı ($p<0.01$) ve brix derecesinin ($p<0.05$) mikrodalga kurutma ile kurutulan armut dilimlerinde esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.18.'de verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı ve briks derecesi arttıkça mikrodalga kurutma sonrası esmerleşme indeksinin azaldığı görülmüştür. (Şekil 4.26.) Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonunun 70 briks ve dehidrasyon süresinin 9 saat olduğu koşullarda, sıcaklık 40°C'den 70°C'ye yükseltildiğinde esmerleşme indeksinin 0.043'ten 0.025'e düştüğü belirlenmiştir. Aynı zamanda çözelti sıcaklığı 70°C ve dehidrasyon süresi 9 saat iken konsantrasyon 40 brikten 70 briks'e yükseltildiğinde esmerleşme indekslerinin de sırasıyla 0.028 ve 0.025 olduğu görülmüştür. Bununla birlikte ozmotik dehidrasyon uygulanmayan kontrol örneklerinde esmerleşme indeksinin 0.080 olduğu tespit edilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulamasının mikrodalga ile kurutulan örneklerde esmerleşmeyi azalttığı görülmüştür.



Şekil 4.26. Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık ve briks derecesinin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerlerindeki değişime etkisi

4.10 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Antioksidan Aktivite Değişimine Etkisi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerleri EK 10'da verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon

uygulanan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerleri konveksiyonel ve mikrodalga kurutma sonrasında sırasıyla 646.3-712.8 µM Trolox/kg ve 673-791 µM Trolox/kg aralıklarında değişmiştir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga olarak kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değişimine etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Kurutulan armut dilimlerinin antioksidan aktivite değerlerindeki değişimin konveksiyonel kurutmada 2FI modele uygunluk gösterdiği ve bu modelin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0.01$, Tablo 4.19.). Modele ilişkin denlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sonrasında Antioksidan Aktivite} = 694.61 + 8.89A + 12.36C + 8.48BC$$

Tablo 4.19. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktiviteye etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	3009.32	6	501.55	5.23**	0.0089	0.7405
A-Sıcaklık	789.61	1	789.61	8.24*	0.0152	
B-Süre	2.61	1	2.61	0.03	0.8719	
C-Briks Derecesi	1527.45	1	1527.45	15.93**	0.0021	
AB	57.14	1	57.14	0.60	0.4564	
AC	57.57	1	57.57	0.60	0.4547	
BC	574.94	1	574.94	6.00*	0.0323	
Uyum Eksikliği	969.89	8	121.24	4.29	0.1290	
Hata	84.72	3	28.24			
Genel	4063.93	17				

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ($p < 0.05$) ve çözelti konsantrasyonunun ($p < 0.01$), konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerlerindeki değişime lineer etkisinin önemli, dehidrasyon süresinin ise önemsiz olduğu ($p > 0.05$) Tablo 4.19.'da verilmiştir. Ozmotik

dehidrasyon sıcaklığı ve briks derecesi arttıkça konveksiyonel kurutma sonrası antioksidan aktivitenin arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.27.).

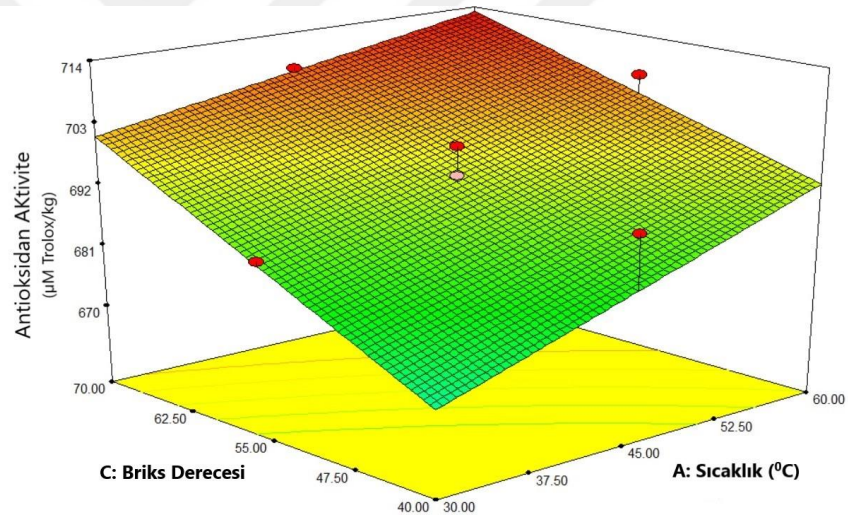
Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonu 40 briks ve dehidrasyon süresi 9 saat olduğunda, çözelti sıcaklığının 30°C'den 60°C'ye yükseltmesiyle antioksidan aktivitenin 646.31 µM Trolox/kg'dan 691.9 µM Trolox/kg'a yükseldiği tespit edilmiştir. Ozmotik çözelti sıcaklığının 30°C ve dehidrasyon süresinin de 9 saat olduğu koşullarda, çözelti konsantrasyonu 40 ve 70 briks olduğunda antioksidan aktivite değeri sırasıyla 646.31 µM Trolox/kg ve 713.44 µM Trolox/kg'a bulunmuştur.

Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan doğrudan konveksiyonel yöntemle kurutulan armut dilimlerindeki antioksidan aktivitenin ise 628.41 µM Trolox/kg olduğu belirlenmiştir. Bu durum, konveksiyonel kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının armut dilimlerindeki antioksidan aktivitede artışa neden olduğunu göstermiştir. Bu durum; ozmotik dehidrasyon sırasında armut dilimlerindeki su kaybı ve katı madde kazanımı ile meyve dokularındaki oksijen konsantrasyonunun azalmasına ve sıcaklığa bağlı olarak polifenol oksidaz enzim aktivitesinin düşmesi ve antioksidan bileşiklerin muhafaza edilmesiyle açıklanabilmektedir.

Xinxin ve ark. (2022), tarafından yapılan bir araştırmada, kayısı dilimlerine 60°C'de konveksiyonel kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının antioksidan aktivite ve biyoaktif bileşenlere etkisi incelenmiştir. Doğrudan konveksiyonel yöntemle kurutulan kayısı dilimleri, kontrol örneği olarak belirlenmiştir. Kayısı dilimleri 60 briks sakaroz çözeltisinde 12 saat, 45 ve 60 briks sakaroz çözeltilerinde 6 saat ve 30, 45, 60 briks sakaroz çözeltilerinde 4 saat olmak üzere 3 farklı şekilde ozmotik dehidrasyona maruz bırakılmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra kayısı dilimlerine nem oranları %75 azalınca kadar konveksiyonel kurutma uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulanan her üç grup kayısı diliminde de toplam fenolik bileşen, toplam karotenoid, askorbik asit ve toplam flavonol gibi biyoaktif bileşen miktarlarının doğrudan konveksiyonel yöntemle kurutulan armut dilimlerine kıyasla daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Antioksidan aktivite değerlerindeki değişimler incelendiğinde de ozmotik dehidrasyon uygulanmış örneklerdeki antioksidan aktivite değerlerinin doğrudan konveksiyonel yöntemle kurutulan örneklere kıyasla iki kat daha yüksek bulunduğu aktarılmaktadır.

Almeida ve ark. (2015), tarafından yapılan bir araştırmada, muz dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının polifenol içeriği ile antioksidan aktivite üzerine etkisi incelenmiştir. Muz dilimlerinde antioksidan aktivite değişiminin dehidrasyonun ilk 60 dakikasında sıcaklık ve çözelti konsantrasyonundan önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir. 180 dakikadan sonra sadece çözelti konsantrasyonuna bağlı değişimin önemli olduğu saptanmıştır. Yüksek çözelti konsantrasyonlarında antioksidan aktivitenin de daha yüksek bulunduğu bildirilmektedir. Bu durum, şeker konsantrasyonunun meyve yüzeyinden antioksidan özellikteki bileşiklerin çözeltiye geçişini engellemesi, sakarozun bariyer etki göstermesi şeklinde açıklanmaktadır.

Meyvedeki sakaroz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte biyoaktif bileşenlerin ozmotik çözeltiye geçişinin engellenerek korunduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.27. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değişimine etkisi

Birçok araştırmada, fenolik bileşenler ve vitaminlerin sıcaklığa ve oksidatif bozulmalara duyarlı olması nedeniyle sıcak hava kurutmanın biyoaktif bileşenlerin azalmasına ve antioksidan aktivitenin düşmesine neden olduğu belirtilmektedir.

Mantarların vakum kurutulmasında ozmotik dehidrasyon ön uygulamasının, kuruma sürelerinin kısalmasını sağlayarak sıcaklığa maruz kalınan süreyi kısalttığı

böylece besinsel içeriğin korunmasına etki ettiği, çözelti konsantrasyonundaki artışın da antioksidan kapasiteyi artırdığı belirtilmektedir (Xinxin ve ark., 2022).

Quiles ve ark. (2005), tarafından yapılan bir araştırmada, elma dilimlerine ozmotik dehidrasyon uygulamasının polifenol oksidaz enzim aktivitesine etkisi araştırılmıştır. Ozmotik dehidrasyon ile elma dilimlerinde hücrede ve hücreler arası boşluklarda katı madde geçişinin sağlanmasıyla dokulardaki oksijen uzaklaşmakta ve böylece polifenol oksidaz enzim aktivitesi azalmaktadır. Polifenol oksidaz enzim aktivitesindeki azalmaya bağlı olarak antioksidan aktivitenin artacağı aktarılmaktadır.

Mikrodalga Kurutma

Ozmotik dehidrasyon sonrası mikrodalga ile kurutulan örneklerdeki antioksidan aktivite değişiminin lineer modele uyduğu Tablo 4.20.'de görülmektedir. Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık ($p < 0.01$) ve sürenin ($p < 0.05$) mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerlerindeki değişime lineer etkisinin önemli olduğu bulunmuştur. Mikrodalga kurutma sonrası antioksidan aktivitenin ozmotik dehidrasyon sıcaklığı arttıkça azaldığı; süreye bağlı olarak ise arttığı Şekil 4.28.'de görülmektedir.

Devic ve ark. (2010), tarafından yapılan bir araştırmada, ozmotik dehidrasyon uygulanan elma dilimlerinde antioksidan bileşiklerin dehidrasyon sıcaklığına ve elma türüne göre değişimi incelenmiştir. Antioksidan bileşik konsantrasyonunun ozmotik çözelti sıcaklığına bağlı olarak azaldığı bildirilmektedir. Elma türlerine göre ise antioksidan aktivite değişiminin farklılık gösterdiği belirtilmektedir. Polimerize prosiyanidin içeriği yüksek olan elma türlerinde antioksidan bileşik kaybı daha az görülürken, hidrosinamik asit ve monomerik kateşin kayıpları daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenle, antioksidan bileşiklerin moleküler büyüklerinin de önemli bir faktör olduğu aktarılmaktadır.

Örneğin, ozmotik dehidrasyon süresinin 9 saat ve çözelti konsantrasyonunun 70 briks olduğu koşullarda, çözelti sıcaklığının 40°C'den 70°C'ye yükseltilmesiyle antioksidan aktivite değerlerinin sırasıyla 783.89 μM Trolox/kg'dan 735.01 μM Trolox/kg olduğu belirlenmiştir. Ozmotik çözelti konsantrasyonunun 40 briks ve çözelti sıcaklığının 70°C olduğu koşullarda, dehidrasyon süresinin 3 saatten 9 saate yükseltilmesiyle antioksidan aktivite değerinin 673.94 μM Trolox/kg'dan 730.26 μM Trolox/kg değerine yükseldiği görülmüştür. Ozmotik dehidrasyon

uygulanmadan doğrudan mikrodalga olarak kurutulan armut dilimlerindeki antioksidan aktivitenin ise 645.30 μM Trolox/kg olduğu belirlenmiştir. Bu durum, mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının armut dilimlerindeki antioksidan aktiviteyi artırdığını göstermektedir.

Tablo 4.20. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktiviteye etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

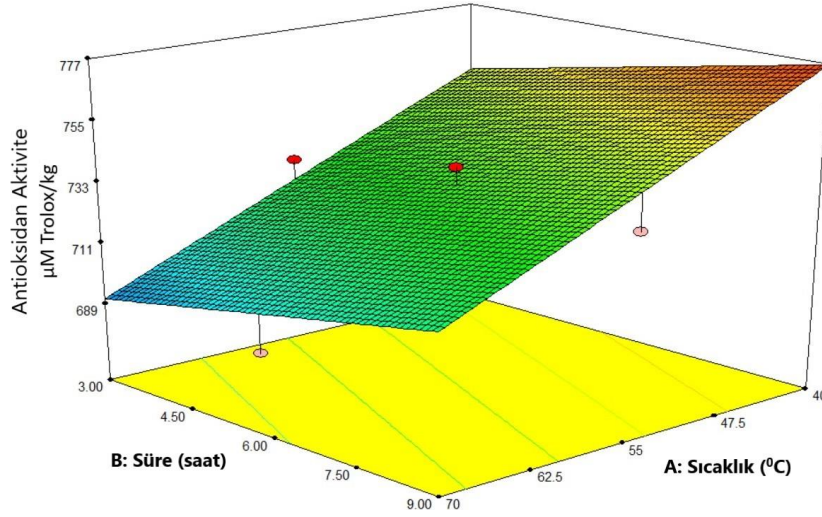
Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	11807.69	3	3935.90	20.34**	< 0.0001	0.8134
A-Sıcaklık	9431.66	1	9431.66	48.75**	< 0.0001	
B-Süre	1518.56	1	1518.56	7.85*	0.0141	
C-Briks Derecesi	857.48	1	857.48	4.43	0.0538	
Uyum Eksikliği	2400.46	11	218.22	2.12	0.2911	
Hata	308.09	3	102.70			
Genel	14516.24	17				

**p<0.01, *p<0.05

Mikrodalga Kurutma Sonrasında Antioksidan Aktivite Değişimi = 733.75 - 30.71A + 9.26C

Almeida ve ark. (2015), ozmotik dehidrasyonun muz dilimlerinde antioksidan aktivite üzerine etkisi incelendiğinde, ozmotik çözelti sıcaklığındaki artışın antioksidan aktiviteyi olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Bu durum sıcaklık artışı ile hücre zarı geçirgenliğinin artması sonucunda meyvedeki suda çözünür bileşenlerin ozmotik çözeltiye geçişinin hızlanmasıyla açıklanmaktadır.

Konveksiyonel kurutma sonrasında antioksidan aktivite değerlerinin çözelti sıcaklığına bağlı olarak yükseldiği, mikrodalga kurutma sonrasında ise azaldığı saptanmıştır. Bu durumun; mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik çözelti sıcaklığının konveksiyonel kurutmaya kıyasla daha yüksek uygulanmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.28. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değişimine etkisi

4.11 Ozmotik Dehidrasyon Koşullarının Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Armut Dilimlerinde Toplam Fenolik Bileşik Miktarına Etkisi

Konveksiyonel yöntem ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değerleri EK 11’de verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değerleri konveksiyonel ve mikrodalga kurutma sonrasında sırasıyla 8.88-11.6 g gallikasit/100gk.m ve 8.77-11.94 g gallikasit/100gk.m aralıklarında belirlenmiştir.

Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değişimine etkisi yanıt yüzey yöntemi ile modellenmiştir.

Konveksiyonel Kurutma

Kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değerlerindeki değişimin karesel modele uygunluk gösterdiği ve bu modelin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0.01$, Tablo 4.21.). Modele ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Konveksiyonel Kurutma Sonrasında Toplam Fenolik Bileşen Değişimi} = 10374.54 + 448.10A + 359.90C - 829.32A^2$$

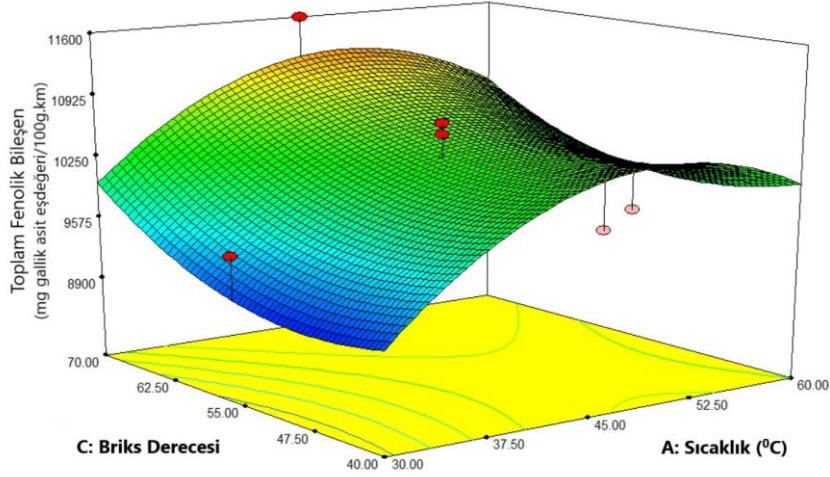
Tablo 4.21. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşik miktarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri	R ²
Model	6387828.37	9	709758.71	3.69*	0.0397	0.8061
A-Sıcaklık	2007936.10	1	2007936.10	10.45*	0.0120	
B-Süre	967210.00	1	967210.00	5.04	0.0551	
C-Briks Derecesi	1295280.10	1	1295280.10	6.74*	0.0318	
AB	40.50	1	40.50	0.00	0.9888	
AC	57122.00	1	57122.00	0.30	0.6004	
BC	722.00	1	722.00	0.00	0.9526	
A ²	1863645.76	1	1863645.76	9.70*	0.0143	
B ²	5051.89	1	5051.89	0.03	0.8752	
C ²	484103.31	1	484103.31	2.52	0.1511	
Uyum Eksikliği	1251521.16	5	250304.23	2.63	0.2277	
Hata	285208.75	3	95069.58			
Genel	7924558.28	17				

**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyon koşullarından sıcaklık ve briks derecesinin, konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşik miktarındaki değişime lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.21.'de verilmiştir (p<0.05). Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı arttıkça konveksiyonel kurutma sonrası toplam fenolik bileşik miktarının önce arttığı daha sonra azaldığı, çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak ise arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.29.). Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonun 70 briks ve dehidrasyon süresinin 3 saat olduğu koşullarda, toplam fenolik bileşen içeriği çözelti sıcaklığı 30°C olduğunda 9.342 mg gallikasit/100gk.m, çözelti sıcaklığı 60°C'ye çıkarıldığında ise toplam fenolik bileşen içeriğinin 10.470 mg gallikasit/100gk.m saptanmıştır. Bununla birlikte, ozmotik çözelti sıcaklığının 30°C ve dehidrasyon süresinin 9 saat olduğu koşulda, çözelti konsantrasyonunun 40 briksten 70 brikse çıkarılmasıyla toplam fenolik bileşen içeriğinin sırasıyla 9.372 mg gallikasit/100gk.m ve 10.206 mg gallikasit/100g k.m olduğu belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan

doğrudan konveksiyonel kurutulan armut dilimlerindeki toplam fenolik bileşen içeriği 9.655 mg gallikasit/100g k.m belirlenmiştir. Bu sonuç, ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinin fenolik bileşen içerikleriyle önemli bir farklılığın olmadığını göstermiştir.



Şekil 4.29. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonunun konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değişimine etkisi

Islam ve ark. (2019), tarafından yapılan bir araştırmada, papaya meyvesinde farklı çözelti konsantrasyonları ve sıcaklıklarda ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra 70°C’de konveksiyonel kurutma uygulanmıştır. Papaya meyvesindeki antioksidan aktivite ve toplam fenolik bileşen miktarı değerlerinin çözelti konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ozmotik dehidrasyon sırasında çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak daha fazla şeker geçişinin oksijen konsantrasyonunu düşürerek biyoaktif bileşenler üzerinde koruyucu etki sağlayabileceği ileri sürülmektedir.

Osae ve ark. (2019), tarafından yapılan araştırmada, ultrasonik destekli-ozmotik dehidrasyon uygulamasının polifenoloksidaz enzim aktivitesini düşürerek

fenolik bileşenlerin korunmasını sağladığı, antioksidan kapasitenin yükseldiği, şeker konsantrasyonundaki artışın oksidatif stresi azalttığı aktarılmaktadır.

Mikrodalga Kurutma

Ozmotik dehidrasyon sonrasında mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşenlerin karesel modele göre değişim gösterdiği saptanmıştır (Tablo 4.22.). Karesel modele ilişkin eşitlik aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Mikrodalga Kurutma Sonrasında Toplam Fenolik Bileşen Değişimi} = 9252.56 - 646.05A + 939.86A^2$$

Tablo 4.22. Ozmotik dehidrasyon koşullarının, mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşik miktarına etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	R ²
Model	1.28E+07	9	1.42E+06	7.63**	0.0044	0.8956
A-Sıcaklık	4.17E+06	1	4.17E+06	22.37**	0.0015	
B-Süre	4.32E+05	1	4.32E+05	2.31	0.1668	
C-Briks						
Derecesi	8.55E+04	1	8.55E+04	0.46	0.5177	
AB	2.76E+05	1	2.76E+05	1.48	0.2587	
AC	7.68E+05	1	7.68E+05	4.12	0.0769	
BC	7.78E+04	1	7.78E+04	0.42	0.5366	
A ²	2.39E+06	1	2.39E+06	12.83**	0.0072	
B ²	4.83E+05	1	4.83E+05	2.59	0.1464	
C ²	6.49E+03	1	6.49E+03	0.03	0.8567	
Uyum Eksikliği	1.08E+06	5	2.15E+05	1.56	0.3801	
Hata	4.15E+05	3	1.38E+05			
Genel	1.43E+07	17				

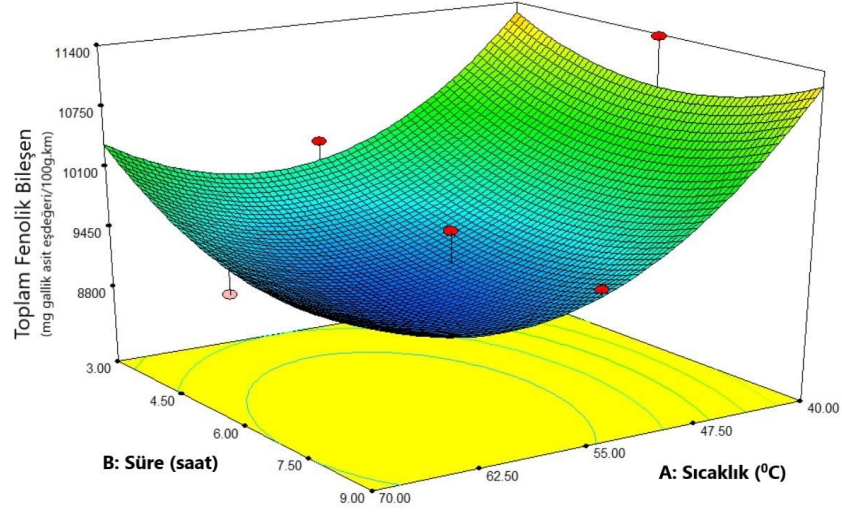
**p<0.01, *p<0.05

Ozmotik dehidrasyonda çözelti sıcaklığının mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değişimine lineer etkisinin önemli olduğu Tablo 4.22.'de görülmektedir (p<0.01). Ozmotik dehidrasyon sıcaklığı arttıkça mikrodalga kurutma sonrası toplam fenolik bileşen miktarının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.30.).

Nadia ve ark. (2013), tarafından yapılan bir araştırmada, armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon koşulları araştırılmıştır. Çözelti sıcaklığı artışına bağlı olarak hücre duvarı yapısı bozulup hidrofilik biyoaktif bileşenler ozmotik çözeltiye geçtiğinden, çözelti sıcaklığına bağlı olarak toplam fenolik bileşen içeriğinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklığın, hücre duvarı bütünlüğünü bozarak fenolik bileşenler ile oksidasyona neden olan enzimlerin interaksyonunu artırdığı aktarılmaktadır.

Kucner ve ark. (2013), tarafından yapılan araştırmada, 65°Bx sakaroz çözeltisinde 5-240 dakika süreyle ve 30-70°C özelti sıcaklıklarında ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon sırasında atmosferik basınç altında ultrasonikasyon uygulanarak lipaz ve pektolitik enzimlerin toplam fenolik bileşen miktarına etkileri değerlendirilmiştir. Ozmotik dehidrasyonun 60-70°C aralığında en etkili düzeyde olduğu ancak dehidrasyonun ilk 2 saatinde toplam fenolik bileşen kaybının bu sıcaklık seviyelerinde en yüksek düzeyde olduğu belirtilmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak difüzyonun hızlandığı, hücre geçirgenliği artışının toplam fenolik bileşen kaybını artırdığı ileri sürölmektedir. Ayrıca özelti sıcaklığının 30°C olduğu koşullarda lipaz ve pektolitik enzimleri kullanarak ozmotik dehidrasyonun etkinliğinin artırıldığı, toplam fenolik bileşen kaybının da %4 oranında en az düzeye indirilebileceği belirtilmektedir.

Örneğin, ozmotik çözelti konsantrasyonunun 70 briks ve dehidrasyon süresinin 9 saat olduğu koşullarda, ozmotik çözelti sıcaklığı 40°C'den 70°C'ye yükseltildiğinde toplam fenolik bileşen içeriğinin sırasıyla 11.282 mg gallikasit/100gk.m ve 9.650 mg gallikasit/100gk.m olduğu tespit edilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanmadan mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerindeki toplam fenolik bileşen içeriği ise 8.562 mg gallikasit/100g k.m belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulaması mikrodalga kuruma sürelerini önemli derecede kısalttığından örneklerde toplam fenolik bileşen içerikleri anlamlı bir artış göstermiştir.



Şekil 4.30. Ozmotik dehidrasyon koşullarından çözelti sıcaklığı ve sürenin mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değişimine etkisi

4.12 Optimizasyon Koşullarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, Deveci türü armut dilimleri, ozmotik dehidrasyon ön işlemi uygulandıktan sonra konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmuşlardır.

Ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulması sırasında kuru madde oranları, ağırlık kayıpları, su kayıpları, katı madde kazanımları, suyun efektif difüzyon katsayıları, su aktiviteleri, rehidrasyon oranları, renk değerleri, esmerleşme indeksleri, toplam fenolik bileşen içerikleri ve antioksidan aktivite sonuçları yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildikten sonra optimum dehidrasyon koşullarının belirlenmesi amacıyla nümerik optimizasyon yapılmıştır.

Optimum dehidrasyon koşullarının belirlenmesi amacıyla, konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutma sırasında kuru madde oranları, ağırlık kayıpları, su kayıpları, su aktivitesi, esmerleşme indeksi ve renk değerlerindeki değişiminin minimum; katı madde kazanımı, efektif difüzyon katsayısı, rehidrasyon oranı, toplam fenolik bileşen ve antioksidan aktivitenin maksimum olması hedeflenmiştir.

Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan armut dilimlerinin ozmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonunda kullanılan değişkenlere ilişkin hedefler Tablo 4.23.'te verilmektedir.

Tablo 4.23. Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutulmasında ozmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonunda kullanılan değişkenlere ilişkin hedefler

	Değişken	Hedef	Minimum Değer	Maksimum Değer
Konveksiyonel Kurutma (60 °C, 1 m/s kurutucu hava hızı, 3 saat)	Sıcaklık (°C)	Aralık içinde	30	60
	Briks Derecesi	Aralık içinde	40	70
	Süre (saat)	Aralık içinde	3	9
	Kuru Madde oranı (%)	Minimum	35.07	69.12
	Su Kaybı (%)	Minimum	37.74	75.04
	Ağırlık Kaybı (%)	Minimum	28.70	74.87
	Katı Madde Kazanımı (%)	Maksimum	3	10.09
	Efektif Dif. Katsayısı m ² /s	Maksimum	1.63x10 ⁻⁹	2.53x10 ⁻⁹
	Su Aktivitesi (a _w)	Minimum	0.358	0.420
	Renk Değişimi (ΔE)	Minimum	5.71	13.36
	Esmerleşme İndeksi (abs)	Minimum	0.029	0.058
	Rehidrasyon Oranı %	Maksimum	269	389
	Antioksidan Aktivite (μM Trolox/kg)	Maksimum	646.31	713.44
	Toplam Fenolik Bileşen Miktarı mg/100 g k.m.	Maksimum	8.866	11.600
Mikrodalga Kurutma (180-watt mikrodalga gücü)	Sıcaklık (°C)	Aralık içinde	40	70
	Briks Derecesi	Aralık içinde	40	70
	Süre (saat)	Aralık içinde	3	9
	Kuru Madde Oranı (%)	Minimum	29.82	60.01
	Su Kaybı (%)	Minimum	33.66	71.76
	Ağırlık Kaybı (%)	Minimum	20.80	71
	Katı Madde Kazanımı (%)	Maksimum	7.45	14.44
	Efektif Dif. Katsayısı m ² /s	Maksimum	9.67x10 ⁻⁹	1.33x10 ⁻⁸
	Su Aktivitesi (a _w)	Minimum	0.371	0.564
	Renk Değişimi (ΔE)	Minimum	7.96	25.87
	Esmerleşme İndeksi (abs)	Minimum	0.022	0.056
	Rehidrasyon Oranı	Maksimum	232	326
	Antioksidan Aktivite (μM Trolox/kg)	Maksimum	673.94	783.89
	Toplam Fenolik Bileşen Miktarı mg/100 g k.m.	Maksimum	8.817,72	11.943,50

Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutulmasında optimum ozmotik dehidrasyon koşulları belirlenirken arzu edilebilirlik (desirability) seviyesinin 1'e yakın olmasına dikkat edilmiştir. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde optimum ozmotik dehidrasyon koşullarına ilişkin istenirlik değerleri Tablo 4.24.'te görülmekte olup, optimum koşullar ve yanıtlar için getirilen yaklaşımlar Tablo 4.25.'te verilmiştir.

Tablo 4.24. Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutulmasında en yüksek istenirlik değerlerine sahip optimum ozmotik dehidrasyon koşulları

		Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Briks Derecesi	İstenirlik değeri
Konveksiyonel Kurutma	1	57	9	70	0.742
	2	60.00	5.44	70	0.739
	3	60.00	5.48	70	0.739
Mikrodalga Kurutma	1	70	5.40	70	0.702
	2	70	5.51	70	0.702
	3	70	5.60	70	0.702

Tablo 4.25. Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutulmasında belirlenen optimum ozmotik dehidrasyon koşulları ve yanıtlar için getirilen yaklaşımlar

	Konveksiyonel Kurutma	Mikrodalga Kurutma
Sıcaklık (°C)	57	70
Süre (saat)	9	5.40
Briks derecesi	70	70
Kuru Madde Oranı (%)	36.35	30.80
Su Kaybı (%)	39.15	36.21
Ağırlık Kaybı (%)	30.39	25.21
Katı Madde Kazanımı (%)	9.27	14.43
Efektif Dif. Katsayısı m ² /s	1.66x10 ⁻⁹	1.31x10 ⁻⁸
Su Aktivitesi (a _w)	0.39	0.44
Görsel Renk Değerleri (ΔE)	7.21	13.10
Esmerleşme İndeksi (abs)	0.032	0.021
Rehidrasyon Oranı	271	245
Antioksidan Aktivite (μM Trolox/kg)	722.27	709.94
Toplam Fenolik Bileşen Miktarı g/100 g k.m.	11.256,20	9.487,01
İstenirlik değeri	0.742	0.702

Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulmasında optimum ozmotik dehidrasyon koşullarına bakıldığında, ozmotik çözelti konsantrasyonunun her iki kurutma türünde de 70 briks, ozmotik çözelti sıcaklığının konveksiyonel kurutma için 57°C, mikrodalga kurutma için 70°C, ozmotik dehidrasyon süresinin ise konveksiyonel kurutma için 9 saat ve mikrodalga kurutma için 5.40 saat olarak önerildiği Tablo 4.25.'te görülmektedir.

Saxena ve ark. (2018), tarafından armut dilimleri ile yapılan araştırmada, çözelti sıcaklığı 40-60°C, çözelti konsantrasyonu 40-60°Bx ve uygulama süresi 120-180 dakika aralıklarında uygulanan ozmotik dehidrasyonda optimum koşullar araştırılmıştır. Buna göre; armut dilimlerinde optimum dehidrasyon koşulları olarak çözelti sıcaklığı 59.57°C, çözelti konsantrasyonu 53.73°Bx ve uygulama süresi 151.9 dakika saptanmıştır.

4.13 Konveksiyonel ve Mikrodalga ile Kurutulan Ozmo-Dehidre Armut Dilimlerinin Depolama Stabilitelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, optimum sonuçların alındığı ozmotik dehidrasyon koşullarında konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimleri, 21°C sabit sıcaklıkta ve kilitli polipropilen ambalajlarda 6 ay süreyle depolanmıştır. Armut dilimlerinin depolama stabilitelerinin belirlenmesi amacıyla aylık periyotlarda kuru madde, rehidrasyon oranı, toplam fenolik bileşen miktarı, esmerleşme indeksi, tekstür profil ve antioksidan aktivite analizleri yapılarak su aktiviteleri ile renk değerleri de ölçülmüştür.

4.13.1 Ozmo-Dehidre Armut Dilimlerinin Depolama Stabilitelerinin Kurutma Metoduna Göre Değişimi

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde depolamanın başlangıcından altıncı ayına kadar ölçüm değerlerinin kurutma metoduna bağlı olarak istatistiksel açıdan önemlilik düzeyinin belirlenmesinde, ölçüm değerlerinde normal dağılım sağlanamadığından non-parametrik test olan Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

Buna göre; ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde kuru madde oranları, rehidrasyon oranları, toplam fenolik bileşen miktarı, antioksidan aktivite ve tekstür profil analiz değerlerinin (sertlik ve yapışkanlık) kurutma

metoduna bağı olarak anlamlı bir farklılık göstermediği Tablo 4.26.'da görülmektedir ($p>0.05$).

Diğer yandan, ΔE renk değerleri, su aktivitesi ve esmerleşme indeksi değerlerinin kurutma metoduna bağı olarak aylara göre alınan ölçümlerde anlamlı bir farklılık bulunduğu Tablo 4.26.'da verilmiştir ($p<0.05$).

Konveksiyonel kurutulan armut dilimlerinin renk değişimi, su aktivitesi ve esmerleşme indeksi değerlerinin mikrodalga kurutmaya kıyasla anlamlı olarak daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 4.26. Armut dilimlerinin depolama sürecinde kalite özelliklerinin kurutma yöntemine göre değişimine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	Kurutma Yöntemi	Z	p
Kuru Madde Oranı %	-	-1.56	0.118
Rehidrasyon Oranı %	-	-1.05	0.290
ΔE Renk Değerleri	**	-2.80	0.005
Su Aktivitesi (a_w)	*	-2.39	0.017
Esmerleşme İndeksi (abs)	**	-2.69	0.007
Antioksidan Aktivite (μM Trolox/kg)	-	-0.68	0.491
Toplam Fenolik Bileşen Miktarı (mg Gallikasit/100 g k.m)	-	-1.19	0.232
Tekstür Profil Analizi Değerleri (Sertlik g)	-	-0.32	0.748
Tekstür Profil Analizi Değerleri (Yapışkanlık g)	-	0.15	0.154

(**)= $p<0.01$; (*)= $p<0.05$; (-)= Önemli değil

4.13.2 Ozmo-Dehidre Armut Dilimlerinin Depolama Stabilitelerinin Aylara Göre Değişimi

Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinde depolamanın başlangıcından altıncı aya kadar alınan ölçümler arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığının incelenmesi amaçlanmıştır.

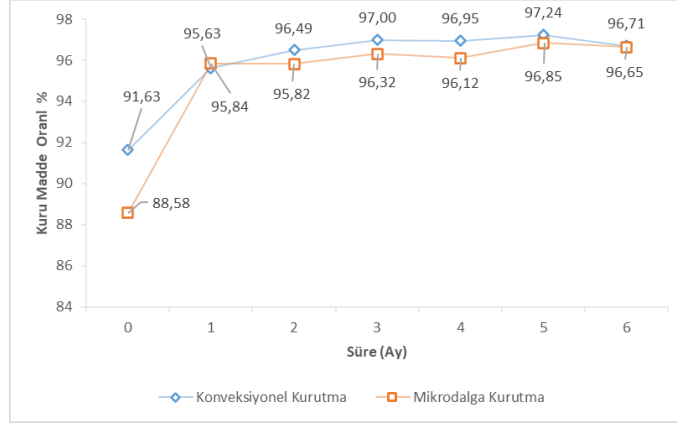
Gruplar arasında anlamlı farklılığın olup olmadığını inceleyen testlerden bir diğeri Tek Yönlü Anova testidir. Her ay ölçülen değerlerin dağılımlarının normal dağılmadığı sonucuna ulaşıldığından, Tek Yönlü Anova testinin non-parametrik versiyonu olan Kruskal Wallis testi tercih edilmiştir. Depolama sürecinde ölçümler arasında aylara göre anlamlı bir farklılık olup olmadığı Kruskal Wallis testiyle incelenmiştir. Kruskal Wallis testi sonucunda elde edilen anlamlı farklılığın hangi aylar arasında olduğunun belirlenmesinde Mann Whitneyy U testiyle uygulanmıştır.

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranları, renk değerleri, esmerleşme indeksi, tekstür profil analizi değerlerinin (sertlik ve yapışkanlık) depolama sürecinde, Kruskal Wallis testine göre anlamlı olarak farklılaşmadığı EK 12’de görülmektedir ($p>0.05$).

Kuru madde oranlarındaki değişimin ise Kruskal Wallis testine göre depolama süresince önemli olduğu görülmektedir ($p<0.05$; EK 12).

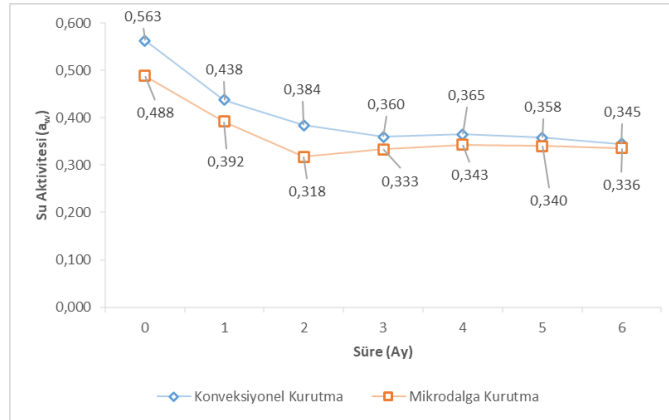
Mann Whitney U testiyle yapılan ikili karşılaştırmalarda konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin kuru madde ölçümlerinin depolamanın 0. ayında 1-6. aylar arasına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Bu durum; depolama sürecinin ilk ayında soğutmalı inkübatördeki hava akışının armut dilimlerinin kuru madde oranlarında bir miktar artışa neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.31).



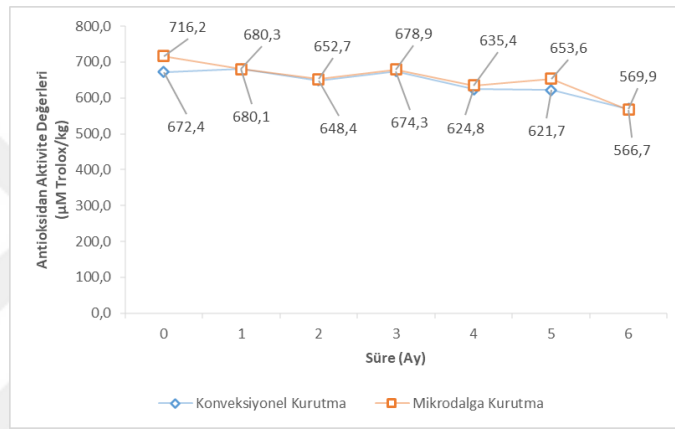
Şekil 4.31. Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde kuru madde oranları

Su aktivitesi değerlerindeki değişimin Kruskal Wallis testine göre depolama süresince anlamlı olarak farklılaştığı EK 12’de görülmektedir ($p < 0.05$). Mann Whitney U testiyle yapılan ikili karşılaştırmalarda konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde depolamanın 0. ve 1. aylarda alınan su aktivitesi ölçümlerine ait değerlerin 2-6. aylar arasına göre anlamlı olarak farklı ve daha yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 4.32.). Depolama sürecinin ilk aylarında ozmo-dehidre armut dilimlerindeki nem oranlarındaki düşüşün su aktivitesi değerlerinde de düşüşe neden olduğu ileri sürülebilir.



Şekil 4.32. Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde su aktivitesi değerleri

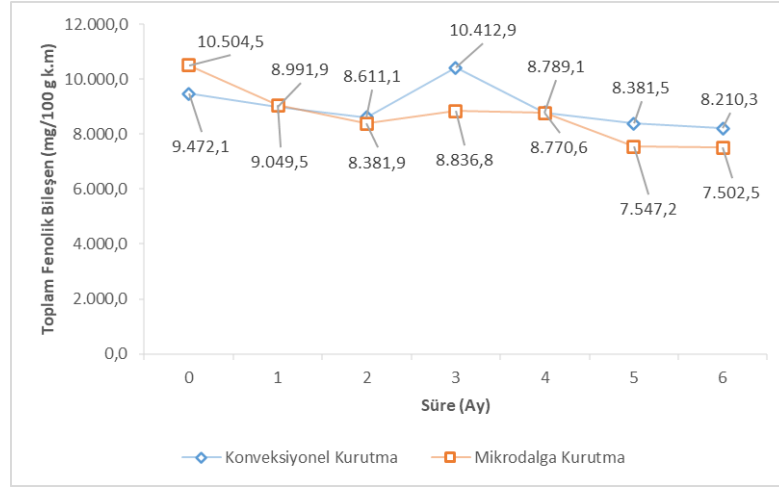
Antioksidan aktivite değerlerindeki değişimin Kruskal Wallis testine göre depolama süresince anlamlı olarak farklılaştığı EK 12’de görülmektedir ($p<0.05$). Mann Whitney U testiyle yapılan ikili karşılaştırmalarda konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde depolamanın 0. ve 6. aylarında alınan antioksidan aktivite ölçümlerine ait değerlerin anlamlı olarak farklı olduğu saptanmıştır. Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerlerine ait depolamanın son ayında alınan ölçümün önceki aylara göre anlamlı düzeyde düştüğü, depolamanın ilk beş ayındaki değişimin istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.33.).



Şekil 4.33. Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde antioksidan aktivite değerleri

Toplam fenolik bileşen miktarındaki değişimin Kruskal Wallis testine göre depolama süresince anlamlı olarak farklılaştığı EK 12’de görülmektedir ($p<0.05$). Mann Whitney U testiyle yapılan ikili karşılaştırmalarda konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde depolamanın 0. ve 6. aylarında alınan toplam fenolik bileşen miktarı ölçümlerine ait değerlerin anlamlı olarak farklı olduğu saptanmıştır.

Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen miktarı değerlerine ait depolamanın son ayında alınan ölçümün önceki aylara göre anlamlı düzeyde düştüğü, depolamanın ilk beş ayındaki değişimin istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.34.).



Şekil 4.34. Konveksiyonel ve mikrodalga olarak kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama sürecinde toplam fenolik bileşen miktarı değerleri

Meyve ve sebzelerin hasat edilmesinden tüketiciye ulaşana kadar geçen depolama sürecinde, ürünün kalite özelliklerinin korunması, bozulmanın ve mikrobiyal gelişimin engellenmesi açısından meyvelerin taze veya kurutularak muhafaza edilmesi gıda endüstrisini ilgilendiren önemli konulardan biridir. Osmotik dehidrasyon uygulamaları ile taze ürün ağırlığında önemli azalmalar sağlayarak nakliye giderlerinin azaltılması ve depolama maliyetlerinin düşmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, osmotik dehidrasyon uygulamaları ürünlerin su aktivitesini de azaltarak mikrobiyal gelişimin yavaşlamasını sağlamakta ve daha uzun raf ömrüne sahip gıdaların tüketiciye sunulmasına olanak sağlamaktadır.

Ahmed ve Choudhary (1995) tarafından yapılan bir araştırmada ozmo-dehidre gıdalarda su aktivitesi değerlerinin düşük olmasına bağlı olarak kimyasal reaksiyonların yavaşladığı, toksin üreten mikroorganizma gelişiminin engellenerek ozmo-dehidre ürünlerin oda sıcaklığında 6 aydan 1 yıla kadar stabil kalabileceği aktarılmaktadır. Osmotik dehidrasyon uygulamaları ile özellikle taze kesilmiş meyvelerin paketlenmesinde mikrobiyal yükün azalmasına ve su aktivitesinin düşmesine katkıda bulunarak raf ömrünün uzamasına olumlu yönde etki ettiği belirtilmektedir (Ahmed ve ark., 2016).

Kumar ve ark. (2008), tarafından yapılan bir araştırmada mango dilimlerinde ozmo-vakum uygulaması yapılmış olup, +4 °C depolama sıcaklığında altı ay depolanan mango dilimlerinin askorbik asit, karotenoid miktarı ve rehidrasyon

oranlarının yüksek olduğu, nem içerikleri ile enzimatik olmayan esmerleşme indeksi değerlerinin düşük olduğu belirtilmektedir. Ayrıca ozmotik dehidrasyonun kolay uygulanabilirliği ile ürünlerin raf ömrüne ve depolama stabilitesine olumlu yönde etki ettiği ileri sürülmektedir.

Aktas ve ark. (2013), tarafından yapılan bir araştırmada, sıcak hava kurutma öncesinde ozmotik dehidrasyon uygulanan elma dilimlerinin depolama sürecince besinsel ve fiziksel özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Ozmo-dehidre elma dilimleri ve kontrol örneklerine ait su aktivitesi değerinin 0.62 altında olduğu, kontrol örneklerine ait su aktivitesi değerinin depolamanın başında ozmotik dehidrasyon uygulanan örneklerden daha düşük olmasına rağmen depolamanın altıncı ayından sonra su aktivitesi değerlerinin çok daha fazla yükseldiği belirtilmektedir. Depolamanın 9. ayında kontrol örneklerinde ΔE renk değişimi 24.03 iken ozmotik dehidrasyon uygulanan örneklerde ΔE renk değişiminin 14.24-17.14 aralığında olduğu belirtilmektedir.

Cichowska ve ark. (2018), tarafından yapılan araştırmada, elma dilimlerine kiraz suyu konsantresinde ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel ve dondurularak kurutulmuş, 12 ay süreyle depolanarak depolama stabiliteleri değerlendirilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan örneklerde polifenolik bileşiklerin 12 aylık depolama sürecinin sonunda kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Adel ve ark. (2019), tarafından yapılan araştırmada, kayısı dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra güneşte ve kabin kurutma uygulanarak 6 aylık depolama stabiliteleri değerlendirilmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra güneşte ve kabin kurutma uygulanan örneklerde toplam bakteri gelişiminin kontrol örneklerine kıyasla daha düşük olduğu, ozmo-dehidre kayısı dilimlerinde küf gelişimi gözlenmezken kontrol örneklerinde depolama sürecinde küf gelişimi olduğu belirtilmektedir.

Souza Neto ve ark. (2004), tarafından yapılan bir araştırmada mango dilimlerinde ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra sıcak hava kurutma uygulanmıştır. Ozmo-dehidre mango dilimlerinin 120 günlük depolama sürecinde mikrobiyal gelişimin stabil olduğu, nem oranları ile su aktivitesi değerlerinin düştüğü, atmosferik basınç altında ozmotik dehidrasyon uygulanan örneklerin renk değerlerinde bir değişim olmadığı, raf ömrü açısından stabil bir ürün elde edildiği aktarılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, “Deveci” armutlarında ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yapılmıştır. Ozmotik ön işlemin konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ozmotik dehidrasyon koşulları çözelti sıcaklığı, çözelti konsantrasyonu ve uygulama süresi olarak belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde yapılan analiz sonuçları yanıt yüzey metodu ile değerlendirilmiş ve kurutma koşullarının optimizasyonu yapılmıştır. Depolama stabilitesinin belirlenmesi için, optimum koşullarda kurutulan armut dilimleri 6 ay süreyle oda sıcaklığında depolanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda belirtilmektedir.

- i. Armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulmasında optimum ozmotik dehidrasyon koşullarına bakıldığında, ozmotik çözelti konsantrasyonunun her iki kurutma türünde de 70 briks, ozmotik çözelti sıcaklığının konveksiyonel kurutma için 57°C, mikrodalga kurutma için 70°C, ozmotik dehidrasyon süresi ise konveksiyonel kurutma için 9 saat ve mikrodalga kurutma için 5.40 saat olarak bulunmuştur.
- ii. Armut dilimlerinde kuru madde, su ve ağırlık kaybı ile katı madde kazanımı oranlarının ozmotik dehidrasyon sonrasında çözelti sıcaklığı, konsantrasyonu ve uygulama süresindeki artışa bağlı olarak önemli derecede arttığı saptanmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutma sonrasında da dehidrasyon koşullarındaki artışa bağlı olarak kuru madde, su ve ağırlık kaybı ile katı madde kazanımı oranlarının azalan oranlarda arttığı belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulamaları, ürünün fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerine termal kurutma yöntemlerine kıyasla daha az düzeyde zarar vererek meyvenin yapısındaki suyun uzaklaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik ön işlem ile ürünün yapısındaki nem miktarı önemli ölçüde uzaklaştığından kurutma

sürelerinin kısalabileceği ve enerji tasarrufu sağlanabileceği böylece ürünün besinsel ve duyuşsal özelliklerinin daha fazla korunabileceği düşünölmektedir.

- iii. Armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayısının, ozmotik dehidrasyon sırasında çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonundaki artışa bağılı olarak yükseldiğı, uygulama süresine bağılı olarak ise azaldığı belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon uygulandıktan sonra konveksiyonel kurutma sırasında ise efektif difüzyon katsayılarının dehidrasyon koşullarına bağılı olarak azaldığı, mikrodalga kurutma sırasında ise arttığı saptanmıştır. Ozmotik dehidrasyon uygulanmış armut dilimlerinde efektif difüzyon katsayılarının (k.k: 1.63×10^{-9} - 2.53×10^{-9} ; m.k: 9.80×10^{-9} - 1.33×10^{-8} m²/s), doğrudan konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerine (1.60×10^{-8} - 3.61×10^{-8} m²/s) kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- iv. Ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulması sonrasında renk değışimi ve esmerleşme indeksi değerlerinin çözelti sıcaklığındaki artışa bağılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, ozmotik dehidrasyon uygulanmış armut dilimlerinin renk değerlerindeki değışimin (k.k: 5.71-13.36; m.k: 7.96-25.87) ve esmerleşme indeksi değerlerinin (k.k: 0.029-0.058; m.k: 0.022-0.056) doğrudan konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinde renk değerlerine (k.k: 15.48; m.k: 25.21) ve esmerleşme indeksi değerlerine (k.k: 0.058; m.k: 0.080) kıyasla daha düşük olduğu, ozmotik ön işlemin armut dilimlerinin renk değerlerine ve esmerleşme indeksine olumlu yönde etki ettiğı gözlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon sırasında oksijen ile temasın kesilmesi sonucunda oksidatif esmerleşme reaksiyonlarının engellenmesi, enzimatik reaksiyonların yavaşlaması nedeniyle rengin korunduğı ileri sürölebilir. Kurutulmuş meyvelerde renk, tüketici açısından önemli bir kalite kriteri olduğundan konveksiyonel ve mikrodalga kurutmada önce ozmotik dehidrasyon uygulanmasının kuru meyvelerin rengine olumlu yönde etki edeceği düşünölmektedir.

- v. Çözelti sıcaklığı, konsantrasyonu ve uygulama süresindeki artışın ozmotik dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulması sonrasında rehidrasyon oranlarını düşürdüğü saptanmıştır. Osmotik dehidrasyon uygulanmış ve her iki yöntemle kurutulmuş armut dilimlerinin rehidrasyon oranlarının (k.k: %269-383; m.k: %232-326), doğrudan kurutulan armut dilimlerine (k.k: %374; m.k.: %376) kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Osmotik dehidrasyonda ürüne katı madde geçişi ile hücre zarı geçirgenliğindeki değişimin, su kaybı sırasında ürünün gözenekli ve tekstürel yapısında ve hücre yapısında meydana gelen değişikliklerin rehidrasyon kapasitesinde azalmaya neden olabileceği değerlendirilmektedir.
- vi. Osmotik dehidrasyon sonrasında çözelti sıcaklığı, konsantrasyonu ve uygulama süresindeki artışa bağlı olarak armut dilimlerinde su aktivitesi değerleri düşerek 0.872-0.943 aralığında belirlenmiştir. Ancak, osmotik dehidrasyon uygulamasının bakteri, küf ve ozmofilik maya gibi mikrobiyal gelişimin engellenmesi için tek başına yeterli olmadığı, depolama stabilitesinin artırılması ve raf ömrünün uzatılması için konveksiyonel ve mikrobiyal kurutma öncesinde tamamlayıcı bir teknik olarak uygulanabileceği önerilmektedir. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma sonrasında 0.358-0.523 aralığında belirlenen su aktivitesi değerlerinin osmotik dehidrasyon koşullarındaki artışa bağlı olarak yükseldiği saptanmıştır.
- vii. Osmotik dehidrasyon uygulanmış armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerlerinin (k.k: 646.31-713.44 μM Trolox/kg; m.k: 673.94-791.19 μM Trolox/kg) kontrol örneklerine (k.k: 628.41 μM Trolox/kg -m.k: 645.30 μM Trolox/kg) kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Osmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde, konveksiyonel kurutma sonrasında antioksidan aktivite çözelti sıcaklığına bağlı olarak artmıştır. Çözelti sıcaklığındaki artış ile katı madde kazanımının antioksidan bileşenlerin çözeltiye geçişini engelleyebileceği, meyve dokusuna şeker geçişi ile oksijen konsantrasyonunun azalacağı hem sıcaklık artışı hem de oksijen konsantrasyonundaki azalışa bağlı olarak fenoloksidaz enzim faaliyetleri

engellenerek antioksidan kapasitenin artabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan, ozmotik dehidrasyon uygulanan armut dilimlerinde mikrodalga kurutma sonrasında antioksidan aktivite çözelti sıcaklığına bağlı olarak azalmıştır. Bu durumun, mikrodalga kurutma öncesinde uygulanan ozmotik dehidrasyonda çözelti sıcaklığının farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çözelti sıcaklığındaki artışın hücre zarı geçirgenliğini artırması, çözelti vizkozitesini düşürmesi ve fenolik bileşenlerin sıcaklığa bağlı parçalanmasına bağlı olarak antioksidan kapasitede azalmaya neden olabileceği ileri sürülmektedir.

viii. Ozmotik dehidrasyon uygulanmış armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen miktarı değerlerinin (k.k: 8.886-11.600; m.k: 8.770-11.943 mg gallikasit/100g k.m.) doğrudan konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan kontrol örneklerine (k.k: 9.655; m.k: 8.562 mg gallikasit/100g k.m.) kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel kurutulmaları sırasında çözelti sıcaklığına bağlı toplam fenolik bileşen miktarının önce artıp sonra azaldığı, mikrodalga kurutma sırasında ise azaldığı tespit edilmiştir. Çözelti konsantrasyondaki artışın ozmo-dehidre armut dilimlerinin konveksiyonel kurutulmaları sonrasında toplam fenolik bileşen miktarında koruyucu etki sağladığı da belirlenmiştir. Yapılan araştırmalara göre ozmotik dehidrasyon sıcaklığındaki ve konsantrasyondaki artış ürünün fiziksel özelliklerine veya kurutma türüne göre toplam fenolik bileşen miktarlarına etkisinde farklılık göstermektedir. Çözelti sıcaklığındaki artışın, ozmotik dehidrasyon sırasında hücre duvarının parçalanmasına neden olduğu ve böylece meyvedeki biyoaktif bileşenlerin ozmotik çözeltiye daha hızlı geçtiği, fenolik bileşenlerin degrade olabileceği ileri sürülmektedir. Diğer taraftan; çözelti sıcaklığındaki artışın çözültiden ürüne katı madde geçişini hızlandırdığı, şeker konsantrasyonundaki artışın biyoaktif bileşenlerin çözeltiye geçişini engellediği ve dokulardaki oksijen konsantrasyonunu düşürerek oksidatif esmerleşmeye koruyucu etki sağladığı değerlendirilmiştir.

ix. Optimum koşullarda konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan armut dilimlerinin nem kaybının ve kuru madde oranlarının depolamanın ilk

ayında yükseldiği ve 1-6. aylar arasında önemli bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Su aktivitesi değerlerinin de depolamanın ilk iki ayında düştüğü diğer aylarda önemli bir değişimin bulunmadığı ve su aktivitesindeki değişimin nem kaybına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Toplam fenolik bileşen miktarı ile antioksidan aktivite değerlerinin depolamanın altıncı ayındaki düşüşün istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, kurutulan armut dilimlerinin rehidrasyon oranları, renk değişimi değerleri, esmerleşme indeksi, tekstür profil analizi (sertlik ve yapışkanlık) değerlerinin depolama süresince istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılaşmadığı görülmüştür. Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama süresince kalite özelliklerine ait değişimler ve yapılan literatür çalışmaları da değerlendirildiğinde ozmotik dehidrasyon uygulamasının depolama stabilitesine olumlu yönde etki ettiği düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde, ozmotik dehidrasyon ön işleminin hem konveksiyonel hem de mikrodalga kurutma öncesinde, Deveci armudunun fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri ile depolama stabilitesine olumlu etkileri nedeniyle gıda endüstrisinde tamamlayıcı bir teknik olarak uygulanması önerilmektedir.

Optimum ozmotik dehidrasyon koşullarında dehidre edilen armut dilimlerinin mikrodalga kurutma sonrası renk değişimi, esmerleşme indeksi ve su aktivitesi değerlerinin konveksiyonel kurutmaya kıyasla daha düşük olması ve rehidrasyon kapasiteleri ile antioksidan aktivite değerlerinin de konveksiyonel kurutmaya kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca ozmotik dehidrasyon uygulamasının mikrodalga kurutma sırasında kuruma sürelerini önemli ölçüde azaltması, bu durumun da konveksiyonel kurutmaya kıyasla sıcaklığa bağlı olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltması nedenleriyle mikrodalga kurutma önerilmektedir.

Ozmotik dehidrasyon sonrasında mikrodalga kurutma uygulamasının, deveci armudunun kalite özelliklerine etkinliği açısından endüstriyel ölçekte mikrodalga destekli vakum kurutma gibi yöntemlerle birlikte kullanımı önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

(Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.)

- Adel Z.M.A, B., Ferial, I., Shahinaz, H., El-Hamid Nashwa, A. (2019). Utilization of Osmotic Dehydration in Production of High Quality Dried Apricot. *Middle East Journal of Applied Sciences* 09(03): 747–61.
- Ahmed, I., Qazi, I. M., Jamal, S. (2016). Developments in Osmotic Dehydration Technique for the Preservation of Fruits and Vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 34: 29–43.
- Akbarian, M., Ghasemkhani, N., Moeyedi, F. (2014). Osmotic Dehydration of Fruits in Food Industrial: A Review. *International Journal of Biosciences (IJB)* 4(1): 42–57.
- Akçay, M.E. ve Yücer, M.M. (2008). *Armut*. Hasad Yayıncılık, 94 s., İstanbul.
- Akharume, F., Smith, A., Sivanandan, L., Singh, K. (2019). Recent Progress on Osmo-Convective Dehydration of Fruits. *SDRP Journal of Food Science & Technology* 4(9): 956–69.
- Aktaş, T., Ulger, P., Daglioglu, F., Hasturk, F. (2013). Changes of Nutritional and Physical Quality Characteristics during Storage of Osmotic Pretreated Apple before Hot Air Drying and Sensory Evaluation. *Journal of Food Quality* 36(6): 411–25.
- Almeida, J.A.R., Mussi, L. P., Oliveira, D. B., Pereira, N. R. (2015). Effect of Temperature and Sucrose Concentration on the Retention of Polyphenol Compounds and Antioxidant Activity of Osmotically Dehydrated Bananas. *Journal of Food Processing and Preservation* 39(6): 1061–69.
- Amiripour, M., Habibi-Najafi, M. B., Mohebbi, M., Emadi, B. (2015). Optimization of Osmo-Vacuum Drying of Pear (*Pyrus Communis* L.) Using Response Surface Methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization* 9(3): 269–80.
- Azarpazhooh, E. ve Ramaswamy, H. S. (2011). Optimization of Microwave-Osmotic Pretreatment of Apples with Subsequent Air-Drying for Preparing High-Quality Dried Product. *International Journal of Microwave Science and Technology* 12: 1–12.
- Barat, J.M., Chiralt, A., Fito, P. (2001). Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International* 7(5): 451 - 456.
- Bchir, B., Besbes, S., Karoui, R., Attia, H., Paquot, M., Blecker, C. (2012). Effect of Air-Drying Conditions on Physico-Chemical Properties of Osmotically Pre-Treated Pomegranate Seeds. *Food and Bioprocess Technology* 5(5): 1840–52.
- Bekele, Y. ve Ramaswamy, H. (2010). Going beyond Conventional Osmotic Dehydration for Quality Advantage and Energy Savings. *EJAST* 1(1): 1–15.
- Bernardi, S., Bodini, R.B., Marcatti, B., Petrus, R.R., Favaro-Trindade, C.S. (2009). Quality and Sensorial Characteristics of Osmotically Dehydrated Mango with Syrups of Inverted Sugar and Sucrose. *Sci. Agric* 66(1): 40–43.
- Beuchat, L. R. (1981). Microbial Stability as Affected by Water Activity. *Cereal Foods World* 26(7): 345–49.
- Cemeroğlu, B. S. (2011). *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, 2. Cilt, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. Yayınları, No:191, Ankara, 636 s.

- Cháfer, M., Gonzalez-Martinez, C., Pastor, C., Xue, K., Chiralt, A. (2011). Rehydration Kinetics of Pear as Affected by Osmotic Pretreatment and Temperature. *Journal of Food Process Engineering* 34(2): 251–66.
- Changrue, V., Orsat, V., Raghavan, G. S. V. (2008). Osmotically Dehydrated Microwave-Vacuum Drying of Strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation* 32: 798–816.
- Chavan, U. D. ve Amarowicz, R.. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research* 1(2).
- Chen, J., Wang, Z., Wu, J., Wang, Q., Hu, X. (2007). Chemical Compositional Characterization of Eight Pear Cultivars Grown in China. *Food Chemistry* 104(1): 268–75.
- Cichowska, J., Samborska, K., Kowalska, H. (2018). Influence of Chokeberry Juice Concentrate Used as Osmotic Solution on the Quality of Differently Dried Apples during Storage. *European Food Research and Technology* 244(10): 1773–82.
- Ciurzyńska, A., Cichowska, J., Kowalska, H., Czajkowska, K., Lenart, A. (2018). Osmotic Dehydration of Braeburn Variety Apples in the Production of Sustainable Food Products. *International Agrophysics* 32(1): 141–46.
- Çınar, I. (2009). Ozmotik Dehidrasyon, Mekanizması ve Uygulamaları. *GIDA* 34(5): 325–29.
- Colaric, M., Stampar, F., Solar, A., Hudina, M. (2006). Influence of Branch Bending on Sugar, Organic Acid and Phenolic Content in Fruits of ‘Williams’ Pears (*Pyrus Communis* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(14): 2463–67.
- Costa Ribeiro, A. S., Aguiar-Oliveira, E., Maldonado, R. R. (2016). Optimization of Osmotic Dehydration of Pear Followed by Conventional Drying and Their Sensory Quality. *LWT - Food Science and Technology* 72: 407–15.
- Devic, E., Guyot, S., Daudin, J. D., Bonazzi, C. (2010). Effect of Temperature and Cultivar on Polyphenol Retention and Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(1): 606–14.
- Ercan, N. (1996). Ege Bölgesinde Uygun Yerli ve Yabancı Armut Çeşitlerinin Seçimi. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* 6: 1–16.
- Falade, O.K., Igbeka, J.C., Ayanwuyi, F.A. (2007). Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering* 80: 979–985
- Gani, G. ve Kumar, A. (2013). Effect of Drying Temperature and Microwave Power on the Physico-Chemical Characteristics of Osmo-Dehydrated Carrot Slices. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3(11): 1–11.
- Giangiacomo, R., Torreggiani, D., Erba, M.L., Messina, G. (1994). Use of Osmodehydrofrozen Fruit Cubes in Yoghurt. *Italian Journals of Food Science* 6: 345–50.
- González-Martínez, C., Cháfer, M., Xue, K., Chiralt, A. (2006). Effect of the Osmotic Pre-Treatment on the Convective Air Drying Kinetics of Pear Var. Blanquilla. *International Journal of Food Properties* 9(3): 541–49.
- Gülaç, Z.N. (2021). *Tarım Ürünleri Piyasası-ARMUT*. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge> Erişim Tarihi: 09.02.2022.
- Hamledari, A., Bassiri, A., Tarzi, B. G., Moghaddam, M B. (2012). Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration of Garlic Bulbs Followed by Microwave Drying. *Journal of Food Biosciences and Technology* 2: 41–56.
- Hartmut, F. (2001). *Kleine Naehrwerttabelle*. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.v., *Neuer Umschau Buchverlag*, 4th ed. Germany, 1:102

- Islam, M.Z., Das, S., Monalisa, K., Sayem, A.S.M. (2019). Influence of Osmotic Dehydration on Mass Transfer Kinetics and Quality Retention of Ripe Papaya (*Carica Papaya* L) during Drying. *Agri Engineering* 1(2): 220–34.
- Karaarslan, B. (2010). Divanu Lügati't-Türk'teki Bitki ve Hayvan Konuları Üzerine Bir İnceleme. *Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 1-172.
- Khan, M. R. (2012). Osmotic Dehydration Technique for Fruits Preservation-A Review. *Pakistan Journal of Food Sciences* 22(2): 71–85.
- Khatir, A., Acheheb, H., Malek, A., Ferradji, A. (2013). Optimization of Osmotic Dehydration of Orange Pieces (Valencia Late) in Sugar Solution Using Response Surface Methodology. *Revue des Energies Renouvelables* 16: 247–56.
- Khodifad, B. C. ve Dhamsaniya, N. K. (2020). Drying of Food Materials by Microwave Energy - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(5): 1950–73.
- Koç, B. ve Kaymak-Ertekin, F. (2009). Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. *Gıda* 20(3): 1–8.
- Kolniak-Ostek, J. (2016). Chemical Composition and Antioxidant Capacity of Different Anatomical Parts of Pear (*Pyrus Communis* L.). *Food Chemistry* 203: 491–97.
- Koşan, A. (2019). Türkçenin Etimolojik Sözlükleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir İnceleme. *Adıyaman Üniversitesi Türk Dili ve Edebiyatı Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Adıyaman, 1-156.
- Kowalski, S. J. ve Łechtańska, J. M. (2015). Drying of Red Beetroot after Osmotic Pretreatment: Kinetics and Quality Considerations. *Chemical and Process Engineering* 36(3): 345–54.
- Kowalski, S. J. ve Mierzwa, D. (2011). Drying of Osmotically Dehydrated Biological Materials. *Journal of Agricultural Machinery Science* 7(3): 325–31.
- Kucner, A., Klewicki, R., Sójka, M. (2013). The Influence of Selected Osmotic Dehydration and Pretreatment Parameters on Dry Matter and Polyphenol Content in Highbush Blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.) Fruits. *Food and Bioprocess Technology* 6(8): 2031–47.
- Kumar, P. S. ve Sagar, V. R. (2008). Quality of Osmo-Vac Dehydrated Ripe Mango Slices Influenced by Packaging Material and Storage Temperature. *Journal of Scientific & Industrial Research* 67: 1108–14.
- Leahu, A., Ghinea, C., Oroian, M-A. (2020). Osmotic Dehydration of Apple and Pear Slices: Color and Chemical Characteristics. *Ovidius University Annals of Chemistry* 31(2): 73–79.
- Lenart, A. ve Lewicki, P. (2006). Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. In *Handbook of Industrial Drying, Third Edition*, CRC Press.
- Li, H. (2007). Microwave Assisted Osmotic Dehydration of Apple Cylinders under Continuous Medium Flow Conditions for Improving Moisture Transfer Rate and Product Quality. Doctor of Philosophy. McGill University.
- Li, X., Zhang, J-Y., Gao, W-Y., Wang, Y., Wang, H-Y., Cao, J-G., Huang, L-Q. (2012). “Chemical Composition and Anti-Inflammatory and Antioxidant Activities of Eight Pear Cultivars.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(35): 8738–44.
- Liu, B. ve Peng, B. (2017). Modelling and Optimization of Process Parameters for Strawberry Osmotic Dehydration Using Central Composite Rotatable Design. *Journal of Food Quality* 2017: 1–7.
- Martinoia, E., Massonneau, A., Frangne, N. (2000). Transport Processes of Solutes across the Vacuolar Membrane of Higher Plants. *Plant Cell Physiol* 41(11): 1175–86.
- Matuska, M., Lenart, A., Lazarides, H.N. (2006). On the Use of Edible Coatings to Monitor Osmotic Dehydration Kinetics for Minimal Solids Uptake. *Journal of Food Engineering* 72: 85–91.

- Mete, I. (2019). Bazı Armut Çeşitlerinde Fenolojik, Morfolojik ve Pomolojik Özelliklerin Belirlenmesi. *Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Aydın, 1-73
- Mirza, A. ve Singh, J. (2020). Preservation of Food and Nutrition by Osmotic Dehdration Technology. *Plant Archives* 20(2): 2751–57.
- Moreno-Castillo, E. J., Gonzalez-Garcia, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M.A., Abud-Archila, M. (2005). Water Diffusivity and Color of Cactus Pear Fruits (*Opuntia Ficus Indica*) Subjected to Osmotic Dehydration. *International Journal of Food Properties* 8(2): 323–36.
- Nadia, D.M., Nourhene, B.M., Nabil, K., Francis, C., Catherine, B. (2013). Effect of Osmo-Dehydration Conditions on the Quality Attributes of Pears. *Journal of Food Processing & Technology* 04(08): 1–6.
- Obajemihi, O.I. ve Asipa, A.A. (2020). Effective Moisture Diffusivity and Rehydration Characteristics of Osmo-Air Dehydrated Tomato. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 22(4): 184-192.
- Osae, R., Zhou, C., Tchabo, W., Xu, B., Bonah, E., Alenyorege, E.A., Ma, A. (2019). Optimization of Osmosonication Pretreatment of Ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe) Using Response Surface Methodology: Effect on Antioxidant Activity, Enzyme Inactivation, Phenolic Compounds, and Physical Properties. *Journal of Food Process Engineering* 42(6): 1–17.
- Özaydın, A. G. ve Özçelik, S. (2014). Ankara Armudunun Bazı Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Fırında Kurutma İşleminin Etkisi. *Akademik Gıda* 12(4): 17–26.
- Özonur, D., Kılıç, D., Akdur, H. T. K., Bayrak, H. (2019). Temel Bileşenler Analizi ve Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanılarak Gıda Sektöründe Çoklu Yanıtların Optimizasyonu. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 12(2), 734-744
- Park, K. J., Bin, A., Pedro Reis Brod, F. (2002). Drying of Pear d’Anjou with and without Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering* 56: 97–103.
- Pavkov, I., Radojcin, M., Stamenkovic, Z., Keselj, K., Tylewicz, U., Sipos, P., Ponjican, O., Sedlar, A. (2021). Effects of Osmotic Dehydration on the Hot Air Drying of Apricot Halves: Drying Kinetics, Mass Transfer, and Shrinkage. *Processes* 9(202): 1–22.
- Pavkov, I., Babic, L., Babic, M., Radojcin, M. (2009). Kinetics of the Combined Drying Technology of Pear Slice (*Pyrus*). *In Processing and Energy in Agriculture* 13(2) 111-116
- Pereira, NR., Marsaioli, Jr A., Ahrné., LM. (2007). Effect of Microwave Power, Air Velocity and Temperature on the Final Drying of Osmotically Dehydrated Bananas. *Journal of Food Engineering* 81(1): 79–87.
- Prothon, F., Ahrne, L.M., Funebo, T., Kidman, S., Langton, M., Sjöholm, I. (2001). Effects of Combined Osmotic and Microwave Dehydration of Apple on Texture, Microstructure and Rehydration Characteristics. *LWT - Food Science and Technology* 34(2): 95–101.
- Quiles, A., Hernando, I., Perez-Munuera, I., Larrea, V., Llorca, E., Lluch, M.A. (2005). Polyphenoloxidase (PPO) Activity and Osmotic Dehydration in Granny Smith Apple. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85(6): 1017–20.
- Ramya, V. ve Jain, N. K. (2017). A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. *Journal of Food Process Engineering* 40(3): 1–22.
- Ranemaye, V., Jalali, R., Narain, N., Da Silva, G. F. (2008). Effect of Osmotic Predehydration on Drying Characteristics of Banana Fruits. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 28(2): 269–73.
- Rastogi, N. K., Angersbach, A., Knorr, D. (2000). Evaluation of Mass Transfer Mechanisms During Osmotic Treatment of Plant Materials. *Journal of Food Science* 65(6): 1–4.

- Rigi, M., Salehi, E. A., Ghahremani, H. (2020). Determination of Optimum Osmotic Dehydration As a Pretreatment in Hot Air Drying of Turnip Slices By Response Surface Methodology (RSM). *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology* 8(4): 325–40.
- Salim, R., Rather, A. H., Naik, H. R. (2016). Influence of Osmotic Pretreatments and Drying Methods on Water Activity of Dried Pear. *Biosciences Biotechnology Research Asia* 13(3): 1607–10.
- Sarpong, F., Yu, X., Zhou, C., Oteng-Darko, P., Amenorfe, L.P., Wu, P., Bai, J., Ma, H. (2018). Drying Characteristic, Enzyme Inactivation and Browning Pigmentation Kinetics of Controlled Humidity-Convective Drying of Banana Slices. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung* 54(10): 3117–30.
- Saxena, A., Shalini, R., Shakya, B.R. (2018). Modelling of Osmotic Dehydration Process of Pear (*Pyrus Communis* L.) in Ternary Solutions of Sugar and Calcium Salt Using Response Surface Methodology. *Carpathian Journal of Food Science and Technology* 10(4): 23–42.
- Sharma, H.K., Pandey, H., Kumar, P. (2003). Osmotic Dehydration of Sliced Pears. *Journal of Agricultural Engineering* 40(1): 65–68.
- Sharma, R.C., Joshi, V.K., Chauhan, S.K., Chopra, S.K., Lal, B.B. (1991). Application of Osmosis - Osmo-Canning of Apple Rings. *Journal of Food Science Technology* 28: 86–88.
- Shete, Y. V., Chavan, S. M., Champawat, P. S., Jain, S. K. (2018). Reviews on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(2): 1964–69.
- Souza Neto, M. A., Souza Filho, M.S.M., Lima, J.R., Borges, M.F., Maia, G.A., Figueiredo, R.W. (2004). Storage Stability of Mango Processed by Osmotic Dehydration and Oven Drying. In *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, 279–84.
- Soylu, A. (2003). İlman İklim Meyveler II. 2nd ed. Bursa: *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları* No:72.
- Sutar, N. ve. Sutar, P.P. (2013). Developments in Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetable-a Review. *Trends in Post Harvest Technology* 1(1): 20–36. www.jakraya.com/journal/tpht.
- Torringa, E., Esveld, E., Scheewe I., Van den Berg, R., Bartels, P. (2001). Osmotic Dehydration as a Pretreatment before Combined Microwave-Hot-Air Drying of Mushrooms. *Journal of Food Engineering* 49(2): 185–91.
- Tortoe, Ch. (2010). A Review of Osmodehydration for Food Industry. *African Journal of Food Science* 4(6): 303–24.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2013). Kanunname-i İhtisabı Bursa, 1–68.
- Ülkümen, L. (1938). Malatya'nın Mühim Meyve Çeşitleri Üzerinde Morfolojik, Fizyolojik ve Biyolojik Araştırmalar. *Ankara Yüksek Ziraat Enstitüsü Yayınları*.
- Waliszewski, K.N., Garcia, R. H., Ramirez, M., Garcia, M.A. (2000). Polyphenol Oxidase Activity in Banana Chips during Osmotic Dehydration. *Drying Technology* 18(6): 1327–37.
- Xinxin, F., Jie, S., Liu, B., Zhou, X., Jiang, L., Weibo, J. (2022). Effect of Gradient Concentration Pre-osmotic Dehydration on Keeping Air-dried Apricot Antioxidant Activity and Bioactive Compounds. *Journal of Food Processing and Preservation*: 2–34.
- Yadav, A. K. ve Singh, S.V. (2014). Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: A Review. *Journal of Food Science and Technology* 51(9): 1654–73.
- Yetenayet, B. ve Hosahalli, R. (2010). Going beyond Conventional Osmotic Dehydration for Quality Advantage and Energy Savings. *Ethiopian Journal of Applied Sciences and Technology (EJAST)* 1(1): 1–15.

- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., Wang, S. (2006). Trends in Microwave-Related Drying of Fruits and Vegetables. *Trends in Food Science and Technology* 17(10): 524–34.
- Zhao, D., Zhao, C., Tao, H., An, K. Ding, S., Wang, Z. (2013). The Effect of Osmosis Pretreatment on Hot-Air Drying and Microwave Drying Characteristics of Chili (*Capsicum Annuum* L.) Flesh. *International Journal of Food Science and Technology* 48(8): 1589–95.



7. EKLER

EK 1 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinin kuru madde oranları

Kuru Madde Oranları %				Kuru Madde Oranları %			
Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Konveksiyonel Kurutma %	Değişim %	Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Mikrodalga Kurutma %	Değişim %
40°Bx 30°C 3 saat	22.55±0.04	91.67±0.15	69.12	40°Bx 40°C 3 saat	24.76±1.27	84.77±0.16	60.01
70°Bx 30°C 3 saat	29.39±0.90	90.22±0.13	60.82	70°Bx 40°C 3 saat	34.72±0.94	84.33±0.15	49.62
40°Bx 30°C 9 saat	28.32±0.06	91.28±0.06	62.95	40°Bx 40°C 9 saat	31.42±0.14	82.35±0.38	50.93
70°Bx 30°C 9 saat	40.91±0.31	90.84±0.28	49.93	70°Bx 40°C 9 saat	50.17±1.43	84.29±1.27	34.12
55°Bx 30°C 6 saat	32.84±0.09	90.14±0.10	57.30	55°Bx 40°C 6 saat	37.67±1.47	84.35±0.27	46.69
40°Bx 45°C 6 saat	26.93±0.24	91.08±0.38	64.15	40°Bx 55°C 6 saat	35.06±1.00	84.28±3.94	49.22
55°Bx 45°C 6 saat	37.53±1.39	91.08±0.18	53.55	55°Bx 55°C 6 saat	45.59±1.52	85.37±1.57	39.78
55°Bx 45°C 6 saat	38.15±0.87	90.78±0.22	52.62	55°Bx 55°C 6 saat	45.10±0.57	86.00±2.53	40.90
55°Bx 45°C 6 saat	38.46±0.04	90.75±0.06	52.29	55°Bx 55°C 6 saat	44.78±0.40	85.99±3.04	41.22
55°Bx 45°C 6 saat	37.13±0.45	91.16±0.19	54.02	55°Bx 55°C 6 saat	44.90±0.63	86.95±0.74	42.05
55°Bx 45°C 3 saat	29.45±0.68	89.94±0.68	60.49	55°Bx 55°C 3 saat	36.76±1.91	84.05±3.91	47.29
55°Bx 45°C 9 saat	43.00±0.45	91.72±0.31	48.72	55°Bx 55°C 9 saat	48.94±0.20	88.79±0.72	39.85
70°Bx 45°C 6 saat	43.84±1.36	90.43±0.43	46.59	70°Bx 55°C 6 saat	54.41±0.66	84.58±0.93	30.18
40°Bx 60°C 3 saat	31.53±1.17	92.25±0.15	60.71	40°Bx 70°C 3 saat	33.30±0.11	86.59±3.22	53.29
70°Bx 60°C 3 saat	45.87±0.07	91.91±0.04	46.04	70°Bx 70°C 3 saat	50.32±0.35	87.32±0.17	37.00
40°Bx 60°C 9 saat	36.46±0.92	92.71±0.12	56.26	40°Bx 70°C 9 saat	38.00±0.48	85.56±1.90	47.56
70°Bx 60°C 9 saat	57.86±0.34	92.92±0.69	35.07	70°Bx 70°C 9 saat	59.78±0.48	89.59±0.17	29.82
55°Bx 60°C 6 saat	47.02±0.77	92.21±0.15	45.19	55°Bx 70°C 6 saat	48.45±0.19	87.66±0.19	39.21
Kontrol Örneği	-----	92.66±0.16	-----	Kontrol Örneği	-----	86.51±0.07	-----

EK 2 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinin su kaybı oranları

Su Kaybı Oranları %							
Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Konveksiyonel Kurutma %	Toplam Su Kaybı %	Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Mikrodalga Kurutma %	Toplam Su Kaybı %
40°Bx 30°C 3 saat	17.40±1.50	75.64±0.11	82.15±0.09	40°Bx 40°C 3 saat	22.90±0.04	71.76±1.57	83.04±1.02
70°Bx 30°C 3 saat	27.91±0.90	68.02±0.90	81.66±0.01	70°Bx 40°C 3 saat	39.77±1.59	60.37±0.89	81.72±0.05
40°Bx 30°C 9 saat	31.39±0.36	69.34±0.16	81.99±0.08	40°Bx 40°C 9 saat	38.75±3.00	62.82±0.22	81.25±0.10
70°Bx 30°C 9 saat	47.14±1.15	55.62±0.34	81.56±0.04	70°Bx 40°C 9 saat	60.84±2.13	42.03±0.93	81.27±0.36
55°Bx 30°C 6 saat	35.11±0.74	64.15±0.30	81.52±0.19	55°Bx 40°C 6 saat	46.97±2.98	56.67±1.69	81.66±0.03
40°Bx 45°C 6 saat	26.96±0.11	70.72±0.42	81.88±0.15	40°Bx 55°C 6 saat	40.37±2.24	59.44±0.41	81.34±1.06
55°Bx 45°C 6 saat	45.47±0.26	59.31±1.28	81.77±0.01	55°Bx 55°C 6 saat	53.55±2.63	47.71±0.75	81.19±0.58
55°Bx 45°C 6 saat	46.00±1.16	58.47±0.99	81.64±0.04	55°Bx 55°C 6 saat	54.48±1.09	48.35±1.84	80.67±0.06
55°Bx 45°C 6 saat	44.10±0.09	58.23±0.06	81.57±0.02	55°Bx 55°C 6 saat	53.10±2.71	48.75±1.88	81.29±1.12
55°Bx 45°C 6 saat	43.69±1.41	59.73±0.43	81.71±0.07	55°Bx 55°C 6 saat	54.49±1.00	49.03±0.28	81.74±0.18
55°Bx 45°C 3 saat	30.60±0.71	67.88±0.52	81.69±0.13	55°Bx 55°C 3 saat	45.63±3.19	57.43±0.29	81.45±1.15
55°Bx 45°C 9 saat	52.13±0.20	53.46±0.57	81.74±0.10	55°Bx 55°C 9 saat	57.94±0.52	45.32±0.23	82.04±0.25
70°Bx 45°C 6 saat	51.05±1.99	52.27±1.21	81.44±0.17	70°Bx 55°C 6 saat	63.45±0.87	37.06±0.09	81.00±0.29
40°Bx 60°C 3 saat	33.32±0.14	66.13±1.31	81.98±0.13	40°Bx 70°C 3 saat	37.26±2.74	62.49±0.87	82.10±0.84
70°Bx 60°C 3 saat	52.57±0.01	50.71±0.09	81.74±0.01	70°Bx 70°C 3 saat	59.49±1.57	43.45±0.45	81.88±0.18
40°Bx 60°C 9 saat	38.60±0.05	60.74±0.93	81.71±0.04	40°Bx 70°C 9 saat	40.71±0.23	56.17±0.40	80.94±0.66
70°Bx 60°C 9 saat	65.23±0.06	37.74±0.07	82.12±0.52	70°Bx 70°C 9 saat	66.80±1.10	33.66±0.33	82.25±0.20
55°Bx 60°C 6 saat	54.34±1.41	49.13±0.75	81.57±0.08	55°Bx 70°C 6 saat	55.81±0.95	45.43±0.39	81.62±0.15
Kontrol Örneği	-----	82.47±0.09	82.47±0.09	Kontrol Örneği	-----	81.24±0.03	81.24±0.03

EK 3 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinin ağırlık kaybı oranları

Ağırlık Kaybı Oranları %							
Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Konveksiyonel Kurutma %	Toplam Ağırlık Kaybı %	Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Mikrodalga Kurutma %	Toplam Ağırlık Kaybı %
40°Bx 30°C 3 saat	14.39±1.97	74.87±0.82	81.38±0.80	40°Bx 40°C 3 saat	15.16±0.90	69.56±2.45	80.83±1.90
70°Bx 30°C 3 saat	20.99±0.27	65.52±1.08	79.16±0.17	70°Bx 40°C 3 saat	29.28±0.27	55.78±1.62	77.13±0.68
40°Bx 30°C 9 saat	27.02±0.56	67.73±1.16	80.38±1.08	40°Bx 40°C 9 saat	31.20±3.13	58.41±0.02	76.84±0.35
70°Bx 30°C 9 saat	38.12±1.63	50.66±0.77	76.59±1.14	70°Bx 40°C 9 saat	49.65±1.32	34.96±1.85	74.20±0.57
55°Bx 30°C 6 saat	27.65±1.19	60.56±1.82	77.93±1.70	55°Bx 40°C 6 saat	37.52±2.12	51.64±2.17	76.62±0.50
40°Bx 45°C 6 saat	22.35±0.41	68.45±1.07	79.60±0.80	40°Bx 55°C 6 saat	29.87±1.20	52.92±0.78	74.81±0.14
55°Bx 45°C 6 saat	38.77±1.78	55.90±1.60	78.35±0.31	55°Bx 55°C 6 saat	40.50±1.79	38.50±1.10	71.98±0.24
55°Bx 45°C 6 saat	39.05±1.02	54.49±0.89	77.66±0.06	55°Bx 55°C 6 saat	42.66±1.21	39.41±1.18	71.73±0.59
55°Bx 45°C 6 saat	35.65±0.19	53.60±0.11	76.95±0.07	55°Bx 55°C 6 saat	40.45±3.98	39.26±2.10	71.81±1.34
55°Bx 45°C 6 saat	36.36±1.78	55.50±0.17	77.47±0.33	55°Bx 55°C 6 saat	42.92±0.20	40.03±1.27	72.74±0.81
55°Bx 45°C 3 saat	24.74±0.28	66.19±0.70	80.00±0.05	55°Bx 55°C 3 saat	36.30±1.93	52.11±0.83	76.12±0.62
55°Bx 45°C 9 saat	44.62±0.79	48.06±0.73	76.33±0.25	55°Bx 55°C 9 saat	45.18±0.25	34.40±1.19	71.13±1.20
70°Bx 45°C 6 saat	41.91±2.14	47.21±0.66	76.38±0.72	70°Bx 55°C 6 saat	50.62±0.97	28.05±0.75	71.98±0.95
40°Bx 60°C 3 saat	26.40±1.47	62.01±2.42	77.85±1.25	40°Bx 70°C 3 saat	27.01±2.86	56.69±0.07	76.30±0.03
70°Bx 60°C 3 saat	42.48±0.10	44.70±0.10	75.72±0.03	70°Bx 70°C 3 saat	46.68±2.01	34.66±0.57	73.09±0.30
40°Bx 60°C 9 saat	29.01±1.11	51.73±1.92	72.70±1.02	40°Bx 70°C 9 saat	27.02±0.27	45.12±1.21	69.89±1.47
70°Bx 60°C 9 saat	56.17±0.20	28.70±0.41	73.08±0.04	70°Bx 70°C 9 saat	52.36±1.44	20.80±0.22	69.39±0.09
55°Bx 60°C 6 saat	44.61±1.86	40.23±0.31	72.67±0.52	55°Bx 70°C 6 saat	46.81±4.71	34.01±0.22	70.21±0.02
Kontrol Örneği	-----	82.47±0.09	82.47±0.09	Kontrol Örneği	-----	81.24±0.03	81.24±0.03

EK 4 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma öncesinde uygulanan ozmotik dehidrasyon sırasında armut dilimlerinde katı madde kazanımı oranları

Katı Madde Kazanımı %			
Koşullar	Konveksiyonel Kurutma %	Koşullar	Mikrodalga Kurutma %
40°Bx 30°C 3 saat	3.00±0.48	40°Bx 40°C 3 saat	7.45±1.17
70°Bx 30°C 3 saat	6.92±0.63	70°Bx 40°C 3 saat	10.49±1.32
40°Bx 30°C 9 saat	4.37±0.21	40°Bx 40°C 9 saat	7.56±0.14
70°Bx 30°C 9 saat	9.01±0.48	70°Bx 40°C 9 saat	11.19±0.81
55°Bx 30°C 6 saat	7.46±0.45	55°Bx 40°C 6 saat	9.46±0.87
40°Bx 45°C 6 saat	4.61±0.30	40°Bx 55°C 6 saat	10.51±1.04
55°Bx 45°C 6 saat	6.70±1.52	55°Bx 55°C 6 saat	13.05±0.85
55°Bx 45°C 6 saat	6.95±0.14	55°Bx 55°C 6 saat	11.82±0.12
55°Bx 45°C 6 saat	8.45±0.10	55°Bx 55°C 6 saat	12.65±1.27
55°Bx 45°C 6 saat	7.32±0.37	55°Bx 55°C 6 saat	11.58±1.20
55°Bx 45°C 3 saat	5.86±0.43	55°Bx 55°C 3 saat	9.33±1.26
55°Bx 45°C 9 saat	7.52±0.59	55°Bx 55°C 9 saat	12.77±0.77
°Bx 45°C 6 saat	9.13±0.15	70°Bx 55°C 6 saat	12.82±0.10
40°Bx 60°C 3 saat	6.92±1.33	40°Bx 70°C 3 saat	10.26±0.12
70°Bx 60°C 3 saat	10.09±0.09	70°Bx 70°C 3 saat	12.81±0.44
40°Bx 60°C 9 saat	9.59±1.06	40°Bx 70°C 9 saat	13.69±0.50
70°Bx 60°C 9 saat	9.06±0.26	70°Bx 70°C 9 saat	14.44±0.34
55°Bx 60°C 6 saat	9.73±0.45	55°Bx 70°C 6 saat	14.30±0.35

EK 5 Ozmotik dehidrasyon, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimlerinde suyun efektif difüzyon katsayıları

Suyun Efektif Difüzyon Katsayısı (m ² /s)					
Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Konveksiyonel Kurutma %	Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon %	Mikrodalga Kurutma %
40°Bx 30°C 3 saat	1.188x10 ⁻¹⁰ ±2.32E-11	2.534x10 ⁻⁹ ±3.94E-11	40°Bx 40°C 3 saat	2.066x10 ⁻¹⁰ ±1.16E-11	9.675x10 ⁻⁹ ±6.89E-11
70°Bx 30°C 3 saat	2.962x10 ⁻¹⁰ ±1.66E-11	2.287x10 ⁻⁹ ±1.16E-11	70°Bx 40°C 3 saat	5.273x10 ⁻¹⁰ ±1.88E-11	9.880x10 ⁻⁹ ±4.30E-11
40°Bx 30°C 9 saat	1.207x10 ⁻¹⁰ ±2.33E-12	2.306x10 ⁻⁹ ±4.31E-11	40°Bx 40°C 9 saat	1.687x10 ⁻¹⁰ ±1.60E-11	1.096x10 ⁻⁸ ±3.22E-10
70°Bx 30°C 9 saat	2.437x10 ⁻¹⁰ ±1.08 E-11	1.946x10 ⁻⁹ ±1.41E-11	70°Bx 40°C 9 saat	3.857x10 ⁻¹⁰ ±1.93E-11	1.148x10 ⁻⁸ ±2.21E-10
55°Bx 30°C 6 saat	2.192x10 ⁻¹⁰ ±7.78E-12	2.124x10 ⁻⁹ ±7.45E-11	55°Bx 40°C 6 saat	3.516x10 ⁻¹⁰ ±2.94E-11	1.087x10 ⁻⁸ ±2.81E-10
40°Bx 45°C 6 saat	1.394x10 ⁻¹⁰ ±1.02E-12	2.326x10 ⁻⁹ ±8.19E-11	40°Bx 55°C 6 saat	2.713x10 ⁻¹⁰ ±1.64E-11	1.061x10 ⁻⁸ ±4.77E-10
55°Bx 45°C 6 saat	3.425x10 ⁻¹⁰ ±3.45E-12	2.080x10 ⁻⁹ ±1.32E-11	55°Bx 55°C 6 saat	4.470x10 ⁻¹⁰ ±2.95E-11	1.116x10 ⁻⁸ ±1.03E-10
55°Bx 45°C 6 saat	3.498x10 ⁻¹⁰ ±1.58E-11	2.029x10 ⁻⁹ ±5.30E-11	55°Bx 55°C 6 saat	4.606x10 ⁻¹⁰ ±5.40E-12	1.229x10 ⁻⁸ ±6.25E-10
55°Bx 45°C 6 saat	3.243x10 ⁻¹⁰ ±1.21E-12	2.031x10 ⁻⁹ ±6.75E-12	55°Bx 55°C 6 saat	4.397x10 ⁻¹⁰ ±3.08E-11	1.168x10 ⁻⁸ ±1.61E-09
55°Bx 45°C 6 saat	3.193x10 ⁻¹⁰ ±1.80E-11	2.083x10 ⁻⁹ ±4.89E-13	55°Bx 55°C 6 saat	4.610x10 ⁻¹⁰ ±4.02E-12	1.282x10 ⁻⁸ ±1.94E-10
55°Bx 45°C 3 saat	3.471x10 ⁻¹⁰ ±1.38E-11	2.281x10 ⁻⁹ ±5.33E-11	55°Bx 55°C 3 saat	6.688x10 ⁻¹⁰ ±6.15E-11	1.081x10 ⁻⁸ ±4.11E-10
55°Bx 45°C 9 saat	2.940x10 ⁻¹⁰ ±2.20E-12	1.923x10 ⁻⁹ ±4.33E-11	55°Bx 55°C 9 saat	3.473x10 ⁻¹⁰ ±2.89E-12	1.302x10 ⁻⁸ ±6.49E-10
70°Bx 45°C 6 saat	4.245x10 ⁻¹⁰ ±3.14E-11	1.892x10 ⁻⁹ ±1.45E-11	70°Bx 55°C 6 saat	6.332x10 ⁻¹⁰ ±2.53E-12	1.147x10 ⁻⁸ ±4.38E-10
40°Bx 60°C 3 saat	4.011x10 ⁻¹⁰ ±2.85E-12	2.371x10 ⁻⁹ ±7.56E-11	40°Bx 70°C 3 saat	4.733x10 ⁻¹⁰ ±4.20E-11	1.094x10 ⁻⁸ ±9.13E-10
70°Bx 60°C 3 saat	8.962x10 ⁻¹⁰ ±3.61E-13	2.113x10 ⁻⁹ ±5.14E-12	70°Bx 70°C 3 saat	1.100x10 ⁻⁹ ±3.17E-11	1.259x10 ⁻⁸ ±2.49E-10
40°Bx 60°C 9 saat	1.716x10 ⁻¹⁰ ±4.13E-13	2.117x10 ⁻⁹ ±1.96E-11	40°Bx 70°C 9 saat	1.826x10 ⁻¹⁰ ±3.94E-12	1.028x10 ⁻⁸ ±7.42E-10
70°Bx 60°C 9 saat	4.778x10 ⁻¹⁰ ±1.18E-12	1.631x10 ⁻⁹ ±8.60E-11	70°Bx 70°C 9 saat	4.774x10 ⁻¹⁰ ±6.12E-12	1.338x10 ⁻⁸ ±8.47E-11
55°Bx 60°C 6 saat	4.789x10 ⁻¹⁰ ±2.47E-11	1.877x10 ⁻⁹ ±9.93E-12	55°Bx 70°C 6 saat	4.829x10 ⁻¹⁰ ±3.27E-12	1.185x10 ⁻⁸ ±3.43E-10
Kontrol Örneği	-----	1.605x10 ⁻⁸ ±7.56E-8	Kontrol Örneği	-----	3.615x10 ⁻⁸ ±361E-8

EK 6 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin rehidrasyon oranları

Rehidrasyon Oranları %			
Koşullar	Konveksiyonel Kurutma %	Koşullar	Mikrodalga Kurutma %
40°Bx 30°C 3 saat	383±5.50	40°Bx 40°C 3 saat	326±19.11
70°Bx 30°C 3 saat	326±6.39	70°Bx 40°C 3 saat	279±3.92
40°Bx 30°C 9 saat	354±7.46	40°Bx 40°C 9 saat	303±4.27
70°Bx 30°C 9 saat	286±4.77	70°Bx 40°C 9 saat	273±5.41
55°Bx 30°C 6 saat	316±5.76	55°Bx 40°C 6 saat	288±4.82
40°Bx 45°C 6 saat	360±4.81	40°Bx 55°C 6 saat	280±4.24
55°Bx 45°C 6 saat	317±13.22	55°Bx 55°C 6 saat	265±11.13
55°Bx 45°C 6 saat	311±3.67	55°Bx 55°C 6 saat	261±16.91
55°Bx 45°C 6 saat	313±0.37	55°Bx 55°C 6 saat	256±13.33
55°Bx 45°C 6 saat	308±10.14	55°Bx 55°C 6 saat	259±15.66
55°Bx 45°C 3 saat	338±10.01	55°Bx 55°C 3 saat	302±14.98
55°Bx 45°C 9 saat	300±0.04	55°Bx 55°C 9 saat	253±5.16
70°Bx 45°C 6 saat	275±6.82	70°Bx 55°C 6 saat	260±7.64
40°Bx 60°C 3 saat	345±22.09	40°Bx 70°C 3 saat	296±3.17
70°Bx 60°C 3 saat	301±3.62	70°Bx 70°C 3 saat	276±7.78
40°Bx 60°C 9 saat	294±12.69	40°Bx 70°C 9 saat	251±2.42
70°Bx 60°C 9 saat	269±0.23	70°Bx 70°C 9 saat	232±7.24
55°Bx 60°C 6 saat	287±2.38	55°Bx 70°C 6 saat	241±4.42
Kontrol Örneği	374±8.12	Kontrol Örneği	376±6.45

EK 7 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin su aktivitesi

Su Aktivitesi (a_w)					
Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon	Konveksiyonel Kurutma	Koşullar	Ozmotik Dehidrasyon	Mikrodalga Kurutma
40°Bx 30°C 3 saat	0.942±0.001	0.358±0.001	40°Bx 40°C 3 saat	0.942±0.001	0.415±0.021
70°Bx 30°C 3 saat	0.939±0.000	0.391±0.017	70°Bx 40°C 3 saat	0.927±0.002	0.477±0.035
40°Bx 30°C 9 saat	0.939±0.000	0.365±0.028	40°Bx 40°C 9 saat	0.934±0.001	0.495±0.000
70°Bx 30°C 9 saat	0.923±0.001	0.389±0.022	70°Bx 40°C 9 saat	0.909±0.018	0.523±0.041
55°Bx 30°C 6 saat	0.935±0.000	0.377±0.034	55°Bx 40°C 6 saat	0.924±0.001	0.458±0.009
40°Bx 45°C 6 saat	0.942±0.001	0.397±0.025	40°Bx 55°C 6 saat	0.935±0.002	0.498±0.072
55°Bx 45°C 6 saat	0.929±0.003	0.391±0.026	55°Bx 55°C 6 saat	0.918±0.006	0.464±0.061
55°Bx 45°C 6 saat	0.927±0.000	0.401±0.025	55°Bx 55°C 6 saat	0.916±0.004	0.444±0.073
55°Bx 45°C 6 saat	0.927±0.001	0.409±0.012	55°Bx 55°C 6 saat	0.920±0.002	0.462±0.065
55°Bx 45°C 6 saat	0.928±0.002	0.399±0.025	55°Bx 55°C 6 saat	0.920±0.004	0.457±0.040
55°Bx 45°C 3 saat	0.938±0.000	0.402±0.024	55°Bx 55°C 3 saat	0.930±0.004	0.500±0.092
55°Bx 45°C 9 saat	0.926±0.001	0.411±0.036	55°Bx 55°C 9 saat	0.908±0.004	0.449±0.030
70°Bx 45°C 6 saat	0.916±0.002	0.420±0.013	70°Bx 55°C 6 saat	0.886±0.005	0.459±0.030
40°Bx 60°C 3 saat	0.943±0.000	0.390±0.017	40°Bx 70°C 3 saat	0.936±0.001	0.430±0.043
70°Bx 60°C 3 saat	0.916±0.005	0.371±0.002	70°Bx 70°C 3 saat	0.900±0.001	0.448±0.007
40°Bx 60°C 9 saat	0.939±0.000	0.400±0.001	40°Bx 70°C 9 saat	0.931±0.001	0.520±0.051
70°Bx 60°C 9 saat	0.882±0.003	0.390±0.001	70°Bx 70°C 9 saat	0.872±0.002	0.428±0.012
55°Bx 60°C 6 saat	0.922±0.003	0.398±0.001	55°Bx 70°C 6 saat	0.914±0.001	0.511±0.045
Kontrol Örneği	-----	0.351±0.001	Kontrol Örneği	-----	0.407±0.018

EK 8 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin renk değişimi değerleri (ΔE)

Renk Değişimi Değerleri (ΔE)			
Koşullar	Konveksiyonel Kurutma	Koşullar	Mikrodalga Kurutma
40°Bx 30°C 3 saat	10.99±0.26	40°Bx 40°C 3 saat	22.87±0.82
70°Bx 30°C 3 saat	13.11±0.29	70°Bx 40°C 3 saat	25.87±1.56
40°Bx 30°C 9 saat	10.13±1.53	40°Bx 40°C 9 saat	24.68±0.74
70°Bx 30°C 9 saat	12.56±0.52	70°Bx 40°C 9 saat	21.28±3.19
55°Bx 30°C 6 saat	12.47±2.30	55°Bx 40°C 6 saat	23.75±1.41
40°Bx 45°C 6 saat	9.46±1.61	40°Bx 55°C 6 saat	11.89±0.047
55°Bx 45°C 6 saat	12.84±1.09	55°Bx 55°C 6 saat	11.51±0.91
55°Bx 45°C 6 saat	11.23±0.36	55°Bx 55°C 6 saat	12.04±2.30
55°Bx 45°C 6 saat	11.87±0.52	55°Bx 55°C 6 saat	14.14±1.46
55°Bx 45°C 6 saat	12.10±1.18	55°Bx 55°C 6 saat	10.80±1.07
55°Bx 45°C 3 saat	11.32±0.02	55°Bx 55°C 3 saat	20.99±1.54
55°Bx 45°C 9 saat	9.27±3.20	55°Bx 55°C 9 saat	12.96±0.65
70°Bx 45°C 6 saat	13.36±0.11	70°Bx 55°C 6 saat	21.55±2.01
40°Bx 60°C 3 saat	7.71±3.49	40°Bx 70°C 3 saat	12.23±3.61
70°Bx 60°C 3 saat	9.07±0.24	70°Bx 70°C 3 saat	15.29±0.96
40°Bx 60°C 9 saat	9.31±1.98	40°Bx 70°C 9 saat	7.96±0.35
70°Bx 60°C 9 saat	5.71±0.36	70°Bx 70°C 9 saat	12.41±0.37
55°Bx 60°C 6 saat	8.18±0.16	55°Bx 70°C 6 saat	8.66±3.75
Kontrol Örneği	15.48±1.67	Kontrol Örneği	25.21±2.68

EK 9 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinin esmerleşme indeksi değerleri

Esmerleşme İndeksi Değerleri (abs.)			
Koşullar	Konveksiyonel Kurutma	Koşullar	Mikrodalga Kurutma
40°Bx 30°C 3 saat	0.056	40°Bx 40°C 3 saat	0.052
70°Bx 30°C 3 saat	0.052	70°Bx 40°C 3 saat	0.045
40°Bx 30°C 9 saat	0.058	40°Bx 40°C 9 saat	0.056
70°Bx 30°C 9 saat	0.050	70°Bx 40°C 9 saat	0.043
55°Bx 30°C 6 saat	0.053	55°Bx 40°C 6 saat	0.052
40°Bx 45°C 6 saat	0.048	40°Bx 55°C 6 saat	0.038
55°Bx 45°C 6 saat	0.044	55°Bx 55°C 6 saat	0.034
55°Bx 45°C 6 saat	0.046	55°Bx 55°C 6 saat	0.030
55°Bx 45°C 6 saat	0.045	55°Bx 55°C 6 saat	0.036
55°Bx 45°C 6 saat	0.043	55°Bx 55°C 6 saat	0.035
55°Bx 45°C 3 saat	0.049	55°Bx 55°C 3 saat	0.032
55°Bx 45°C 9 saat	0.050	55°Bx 55°C 9 saat	0.030
70°Bx 45°C 6 saat	0.042	70°Bx 55°C 6 saat	0.040
40°Bx 60°C 3 saat	0.035	40°Bx 70°C 3 saat	0.034
70°Bx 60°C 3 saat	0.033	70°Bx 70°C 3 saat	0.022
40°Bx 60°C 9 saat	0.037	40°Bx 70°C 9 saat	0.028
70°Bx 60°C 9 saat	0.029	70°Bx 70°C 9 saat	0.025
55°Bx 60°C 6 saat	0.032	55°Bx 70°C 6 saat	0.040
Kontrol Örneği	0.058	Kontrol Örneği	0.080

EK 10 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinde antioksidan aktivite değerleri

Antioksidan Aktivite Değerleri (µM Trolox/kg)			
Koşullar	Konveksiyonel Kurutma	Koşullar	Mikrodalga Kurutma
40°Bx 30°C 3 saat	686.99±0.81	40°Bx 40°C 3 saat	759.42±7.65
70°Bx 30°C 3 saat	684.67±0.10	70°Bx 40°C 3 saat	764.18±8.22
40°Bx 30°C 9 saat	646.31±12.51	40°Bx 40°C 9 saat	791.19±5.65
70°Bx 30°C 9 saat	713.44±12.39	70°Bx 40°C 9 saat	783.89±7.63
55°Bx 30°C 6 saat	686.48±2.16	55°Bx 40°C 6 saat	760.21±9.22
40°Bx 45°C 6 saat	692.07±7.65	40°Bx 55°C 6 saat	726.08±5.87
55°Bx 45°C 6 saat	686.90±2.07	55°Bx 55°C 6 saat	740.11±4.96
55°Bx 45°C 6 saat	692.40±13.87	55°Bx 55°C 6 saat	720.31±6.98
55°Bx 45°C 6 saat	694.53±9.68	55°Bx 55°C 6 saat	717.43±7.22
55°Bx 45°C 6 saat	699.74±6.10	55°Bx 55°C 6 saat	728.01±5.65
55°Bx 45°C 3 saat	703.95±6.65	55°Bx 55°C 3 saat	728.78±6.25
55°Bx 45°C 9 saat	701.28±11.09	55°Bx 55°C 9 saat	732.69±4.35
70°Bx 45°C 6 saat	707.50±13.59	70°Bx 55°C 6 saat	766.92±8.22
40°Bx 60°C 3 saat	686.35±3.76	40°Bx 70°C 3 saat	673.94±5.96
70°Bx 60°C 3 saat	708.84±4.34	70°Bx 70°C 3 saat	691.72±3.56
40°Bx 60°C 9 saat	691.90±9.21	40°Bx 70°C 9 saat	730.26±2.68
70°Bx 60°C 9 saat	712.76±11.77	70°Bx 70°C 9 saat	735.01±5.72
55°Bx 60°C 6 saat	706.90±2.84	55°Bx 70°C 6 saat	689.08±4.89
Kontrol Örneği	628.41±4.62	Kontrol Örneği	645.30±4.87

EK 11 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimlerinde toplam fenolik bileşen değerleri

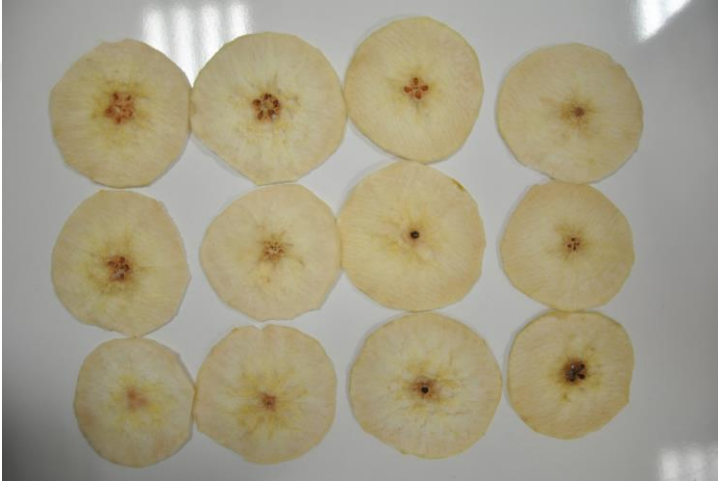
Toplam Fenolik Bileşen Miktarı (mg gallikasit/100 g k.m.)			
Koşullar	Konveksiyonel Kurutma	Koşullar	Mikrodalga Kurutma
40°Bx 30°C 3 saat	8.886±158	40°Bx 40°C 3 saat	10.416±210
70°Bx 30°C 3 saat	9.342±147	70°Bx 40°C 3 saat	11.943±311
40°Bx 30°C 9 saat	9.372±165	40°Bx 40°C 9 saat	11.059±229
70°Bx 30°C 9 saat	10.206±199	70°Bx 40°C 9 saat	11.280±166
55°Bx 30°C 6 saat	9.563±148	55°Bx 40°C 6 saat	11.376±145
40°Bx 45°C 6 saat	9.945±205	40°Bx 55°C 6 saat	9.489±158
55°Bx 45°C 6 saat	10.291±218	55°Bx 55°C 6 saat	9.593±101
55°Bx 45°C 6 saat	10.704±165	55°Bx 55°C 6 saat	8.817±211
55°Bx 45°C 6 saat	10.585±144	55°Bx 55°C 6 saat	9.215±164
55°Bx 45°C 6 saat	10.017±112	55°Bx 55°C 6 saat	8.770±136
55°Bx 45°C 3 saat	10.217±196	55°Bx 55°C 3 saat	10.092±148
55°Bx 45°C 9 saat	10.569±163	55°Bx 55°C 9 saat	9.540±209
70°Bx 45°C 6 saat	11.600±128	70°Bx 55°C 6 saat	9.397±250
40°Bx 60°C 3 saat	10.012±167	40°Bx 70°C 3 saat	10.769±189
70°Bx 60°C 3 saat	10.470±156	70°Bx 70°C 3 saat	10.145±175
40°Bx 60°C 9 saat	10.847±105	40°Bx 70°C 9 saat	9.758±139
70°Bx 60°C 9 saat	11.023±99	70°Bx 70°C 9 saat	8.802±99
55°Bx 60°C 6 saat	9.478±213	55°Bx 70°C 6 saat	9.292±184
Kontrol Örneği	9.655±165	Kontrol Örneği	8.562±218

EK 12 Konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutulan ozmo-dehidre armut dilimlerinin depolama süresince kalite özelliklerindeki değişimler

	Kurutma Yöntemi	Depolama Süresi (Ay) (21 °C)						
		0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Kuru Madde Oranı %	Konveksiyonel	91.63±0.47 ^{ba}	95.93±0.79 ^{aA}	96.49±0.42 ^{aA}	97.00±0.18 ^{aA}	96.95±0.11 ^{aA}	97.24±0.15 ^{aA}	96.71±0.13 ^{aA}
	Mikrodalga	88.58±0.18 ^{ba}	95.84±0.64 ^{aA}	95.82±0.56 ^{aA}	96.32±1.16 ^{aA}	96.12±0.04 ^{aA}	96.85±0.10 ^{aA}	96.65±0.05 ^{aA}
Rehidrasyon Oranı %	Konveksiyonel	254±3.17 ^{aA}	265±0.78 ^{aA}	267±17.34 ^{aA}	277±10.52 ^{aA}	273±28.94 ^{aA}	268±10.52 ^{aA}	268±9.89 ^{aA}
	Mikrodalga	258±11.01 ^{aA}	272±2.51 ^{aA}	272±5.94 ^{aA}	270±10.74 ^{aA}	283±11.70 ^{aA}	278±20.71 ^{aA}	273±3.54 ^{aA}
Renk Değişimi ΔE	Konveksiyonel	11.43±2.65 ^{aA}	13.52±1.05 ^{aA}	12.49±1.28 ^{aA}	13.06±1.99 ^{aA}	12.57±0.14 ^{aA}	13.49±0.05 ^{aA}	13.02±0.16 ^{aA}
	Mikrodalga	9.46±1.57 ^{aB}	11.71±0.42 ^{aB}	12.18±0.47 ^{aB}	12.05±0.08 ^{aB}	11.60±0.07 ^{aB}	12.60±0.46 ^{aB}	11.22±0.30 ^{aB}
Su Aktivitesi (a _w)	Konveksiyonel	0.563±0.03 ^{aA}	0.438±0.01 ^{aA}	0.384±0.04 ^{ba}	0.360±0.00 ^{ba}	0.365±0.01 ^{ba}	0.358±0.00 ^{ba}	0.345±0.01 ^{ba}
	Mikrodalga	0.488±0.04 ^{aB}	0.392±0.02 ^{aB}	0.318±0.01 ^{bb}	0.333±0.02 ^{bb}	0.343±0.00 ^{bb}	0.340±0.01 ^{bb}	0.336±0.00 ^{bb}
Esmerleşme İndeksi (abs.)	Konveksiyonel	0.024 ^{aA}	0.027 ^{aA}	0.027 ^{aA}	0.025 ^{aA}	0.024 ^{aA}	0.025 ^{aA}	0.026 ^{aA}
	Mikrodalga	0.018 ^{aB}	0.024 ^{aB}	0.019 ^{aB}	0.024 ^{aB}	0.023 ^{aB}	0.020 ^{aB}	0.028 ^{aB}
Antioksidan Aktivite (µM Trolox/kg)	Konveksiyonel	672.4±0.61 ^{aA}	680.1±8.14 ^{aA}	648.4±7.02 ^{aA}	674.3±0.42 ^{aA}	624.8±1.14 ^{aA}	621.7±5.50 ^{aA}	569.9±0.68 ^{ba}
	Mikrodalga	716.2±29.07 ^{aA}	680.3±3.54 ^{aA}	652.7±2.14 ^{aA}	678.9±5.09 ^{aA}	635.4±1.14 ^{aA}	653.6±1.80 ^{aA}	566.67±9.60 ^{ba}
Toplam Fenolik Bileşen Miktarı (mg Gallikasit/100 g k.m)	Konveksiyonel	9.472.1±491.2 ^{aA}	8.991.9±1.031.4 ^{aA}	8.611.1±739.6 ^{aA}	10.412.9±77.3 ^{aA}	8.789.1±1.001.5 ^{aA}	8.381.5±292.6 ^{aA}	8.210.34±281.0 ^{ba}
	Mikrodalga	10.504.5±145.8 ^{aA}	9.049.5±960.2 ^{aA}	8.381.9±388.3 ^{aA}	8.836.8±1.141.5 ^{aA}	8.770.6±717.7 ^{aA}	7.547.2±1.087.4 ^{aA}	7.502.5±12.0 ^{ba}
Tekstür Profil Analizi Değerleri (Sertlik g)	Konveksiyonel	48.73±0.90 ^{aA}	6.560.18±719.53 ^{aA}	6.666.79±120.82 ^{aA}	7.366.42±1243.73 ^{aA}	7.370.24±1.368.91 ^{aA}	7.636.74±389.34 ^{aA}	8.284.78±531.03 ^{aA}
	Mikrodalga	29.95±5.10 ^{aA}	7.462.41±571.18 ^{aA}	7.818.15±1.968.19 ^{aA}	7.253.38±38.07 ^{aA}	7.546.71±3.930.54 ^{aA}	7.650.78±814.96 ^{aA}	7.717.73±605.55 ^{aA}
Tekstür Profil Analizi Değerleri (Yapışkanlık g)	Konveksiyonel	-8.48±2.84 ^{aA}	-6.83±0.24 ^{aA}	-5.76±2.16 ^{aA}	-6,52±0.53 ^{aA}	-6.84±0.42 ^{aA}	-6.54±2.00 ^{aA}	-6.47±2.75 ^{aA}
	Mikrodalga	-4.37±0.88 ^{aA}	-6.03±0.55 ^{aA}	-5.36±0.51 ^{aA}	-6,24±0.95 ^{aA}	-6.47±0.53 ^{aA}	-7.36±1.33 ^{aA}	-7.14±2.69 ^{aA}

* Aynı satırda farklı küçük harflerle (a,b) ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A,B) işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

EK 13 Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimleri



Konveksiyonel kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimleri



Mikrodalga kurutma uygulanan ozmo-dehidre armut dilimleri

EK 14 Doğrudan konveksiyonel ve mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimleri



Doğrudan konveksiyonel kurutma uygulanan armut dilimleri



Doğrudan mikrodalga kurutma uygulanan armut dilimleri

