



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MİKRODALGA TEKNOLOJİSİNİN TANELENMİŞ NAR  
KALİTESİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ONUR ÇİL**

**Tez Danışmanı**

**PROF. DR. MEHMET SEÇKİN ADAY**

**ÇANAKKALE – 2022**





T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKRODALGA TEKNOLOJİSİNİN TANELENMİŞ NAR KALİTESİNE  
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR ÇİL

Tez Danışmanı

PROF. DR. MEHMET SEÇKİN ADAY

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FYL-2019-3151

ÇANAKKALE – 2022

## ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na 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 taahhüt ve beyan ederim.

Onur ÇİL  
29/08/2022

## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Seçkin ADAY, alıŐma sÜresince tÜm zorlukları benimle göğüsleyen Fatih ERDEM, laboratuvar analizlerinde zamanını ayırarak yardım eden Öğr. Gör. Dr. Serpil ADAY ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Onur İL  
anakkale, Eylül 2022



## ÖZET

# MİKRODALGA TEKNOLOJİSİNİN TANELENMİŞ NAR KALİTESİNE ETKİSİ

Onur ÇİL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Seçkin ADAY

29/08/2022, 91

Nar içerdiği bileşenler bakımından önemli bir kaynak olduğundan dolayı, talebi giderek artan bir üründür. Fakat tanelenmiş narların depolama süresince uğradığı çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal değişimler raf ömrünü sınırlamaktadır. Bu nedenle, çalışmada kalitenin muhafazasını sağlamak amacıyla mikrodalga teknolojisi 200W, 400W, 600W, 800W ve 1000W güçlerinde nar tanelerine uygulanmış ve ambalajlanarak 5 °C de 18 gün depolanmıştır. Mikrodalga uygulaması yapılmayan örnekler kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir. Tanelenmiş narda farklı uygulamaların karşılaştırılmasında; ambalaj içi gaz kompozisyonu, ağırlık kaybı, renk, tekstür, suda çözünür kuru madde, pH, titrasyon asitliği, elektrolit sızıntısı, fenol, antosiyanin, mikrobiyolojik ve duyu analizler yapılmıştır. Sonuçlara göre 600W uygulamasının narın kalitesinin korunmasında en koruyucu uygulama olduğu tespit edilmiş, 800W ve 1000W uygulamalarının ise nara zarar verdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, mikrodalga ile muhafazada optimum güç seviyesinin belirlenmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nar, Mikrodalga, Raf Ömrü, Kalite Kriterleri.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF MICROWAVE TECHNOLOGY ON THE QUALITY OF POMEGRANATE ARILS

Onur ÇİL

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Food Engineering

Advisor: Prof. Dr. Mehmet Seçkin ADAY

29/08/2022, 91

Since pomegranate is an important source in terms of its compounds, the demand for it is increasing. However, various physiological and biochemical changes that pomegranate arils undergo during storage limit their shelf life. For this reason, to maintain the quality of this study, microwave technology was applied to the pomegranate arils at 200W, 400W, 600W, 800W, and 1000W power levels, and they were packaged and stored at 5 °C for 18 days. Samples without microwave treatment were categorized as the control group. To compare the effects of different applications in pomegranate arils; in-pack gas composition, weight loss, color, texture, total soluble solids, pH, titration acidity, electrolyte leakage, phenol and anthocyanin, microbiological and sensorial analyses were performed. According to the results, it was determined that the 600W treatment was the most protective application in preserving the quality of the pomegranate, while 800W and 1000W applications were (observed to be harmful to the pomegranate arils. Therefore, it was concluded that it is important to determine the optimum power level in the microwave application.

**Keywords:** Pomegranate, Microwave, Shelflife, Quality Criteria

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1

1.1. Giriş.....	1
-----------------	---

## İKİNCİ BÖLÜM

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

4

2.1. Narın Üretim ve Tüketim Miktarları.....	4
2.2. Narın Ekonomik Değeri.....	6
2.3. Narın Kimyasal Bileşimi.....	7
2.4. Narda Kalite Kusurlar.....	9
2.4.1. Kabuk Çatlaması.....	9
2.4.2. Kabuk Kahverengileşmesi.....	11
2.4.3. Soğuk Zararı.....	12
2.4.4. Ağırlık Kaybı.....	13
2.4.5. Çürüme.....	14
2.5. Gıda Endüstrisinde Isıtma Amaçlı Yeni Teknolojiler.....	15
2.5.1. İnfrared Isıtma.....	16
2.5.2. Ohmik Isıtma.....	17
2.5.3. Radyo Frekansı ile Isıtma.....	19
2.6. Mikrodalga Teknolojisi.....	20



2.6.1.	Dielektrik Isıtma.....	21
2.6.2.	Nem İçeriği.....	22
2.6.3.	Penetrasyon.....	23
2.6.4.	Frekans.....	25
2.6.5.	Geometri.....	27
2.6.6.	Gıdanın Mikrodalga Fırın İçerisindeki Yerleşimi.....	28
2.6.7.	Gıdanın Kompozisyonu.....	28
2.6.8.	Sıcaklık.....	29
2.6.9.	Güç.....	30
2.6.10.	Şekil.....	31
2.6.11.	Fırına Yerleştirilen Gıdanın Boyutu.....	31
2.6.12.	Mikrodalga Fırının Tekrarlı Kullanımı.....	32
2.6.13.	Mikrodalga ile Isıtma ve Geleneksel Isıtma.....	33

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### MATERYAL YÖNTEM

34

3.1.	Materyaller.....	34
3.2.	Tanelerin Ayrılması.....	34
3.3.	Mikrodalga Uygulaması.....	34
3.4.	Ambalajlama ve Depolama.....	35
3.5.	Analizler.....	35
3.5.1.	Ambalaj İçerisindeki Gaz Kompozisyonu.....	35
3.5.2.	Ağırlık Kaybı.....	35
3.5.3.	Renk Analizi.....	36
3.5.4.	Tekstür Analizi.....	36
3.5.5.	Suda Çözünür Kuru Madde.....	36
3.5.6.	pH ve Titrasyon Asitliği.....	37
3.5.7.	Elektrolit Sızıntısı.....	37
3.5.8.	Toplam Fenol Analizi.....	37
3.5.9.	Monomerik Antosiyanin Analizi.....	38
3.5.10.	Mikrobiyolojik Analizler.....	38
3.5.11.	Duyusal Değerlendirmeler.....	38
3.5.12.	İstatistiksel Analiz.....	39

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM  
ARAŞTIRMA BULGULARI

40

4.1.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Ambalajı İçerisindeki Gaz Kompozisyonuna Etkisi.....	40
4.2.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Ağırlık Kaybına Etkisi.....	44
4.3.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Renk Parametrelerine Etkisi.....	47
4.4.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Sertlik Değerine Etkisi.....	51
4.5.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Suda Çözünür Kuru Madde İçeriğine Etkisi.....	53
4.6.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın pH ve Titrasyon Asitliğine Etkisi.....	55
4.7.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Elektrolit Sızıntısına Etkisi.....	59
4.8.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Toplam Fenol İçeriğine Etkisi.....	61
4.9.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Antosiyanin İçeriğine Etkisi.....	64
4.10.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Toplam Canlı ve Küf ve Maya Sayılarına Etkisi.....	67
4.11.	Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Duyusal Özelliklere Etkisi.....	71

BEŞİNCİ BÖLÜM  
SONUÇ ve ÖNERİLER

73

KAYNAKÇA .....	75
----------------	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Kg	Kilogram
g	Gram
mg	Miligram
$\mu$ g	Mikrogram
L	Litre
mL	Mililitre
%	Yüzde oranı
W	Watt
O <sub>2</sub>	Oksijen
CO <sub>2</sub>	Karbondiyoksit
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
SÇKM	Suda çözünür kuru madde
L*	Parlaklık
a*	Kırmızı-yeşillik
b*	Sarı-mavilik

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo No</b>	<b>Tablo Adı</b>	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 1</b>	Yıllara göre Türkiye nar denge tablosu	5
<b>Tablo 2</b>	Bazı illere ve yıllara göre nar üretim miktarları	6
<b>Tablo 3</b>	Narda bulunan bileşenler ve mineraller	8
<b>Tablo 4</b>	Bazı gıdaların dielektrik özellikleri ve penetrasyon derinlikleri	24



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Yıllara göre nar ihracat miktar ve değerleri	7
Şekil 2	Ambalaj içerisindeki O <sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	41
Şekil 3	Ambalaj içerisindeki O <sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	41
Şekil 4	Ambalaj içerisindeki CO <sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	43
Şekil 5	Ambalaj içerisindeki CO <sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	43
Şekil 6	Ağırlık kaybının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	46
Şekil 7	Ağırlık kaybının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	46
Şekil 8	L* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	48
Şekil 9	L* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	49
Şekil 10	a* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	49
Şekil 11	a* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	50
Şekil 12	Sertlik değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	51
Şekil 13	Sertlik değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	52
Şekil 14	Suda çözünür kuru maddenin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	54

<b>Şekil 15</b>	Suda çözünür kuru maddenin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	55
<b>Şekil 16</b>	pH değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	56
<b>Şekil 17</b>	pH değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	56
<b>Şekil 18</b>	Titrasyon asitliğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	57
<b>Şekil 19</b>	Titrasyon asitliğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	57
<b>Şekil 20</b>	Elektrolit sızıntısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	59
<b>Şekil 21</b>	Elektrolit sızıntısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	60
<b>Şekil 22</b>	Toplam fenol içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	63
<b>Şekil 23</b>	Toplam fenol içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	63
<b>Şekil 24</b>	Antosiyanin içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	65
<b>Şekil 25</b>	Antosiyanin içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	65
<b>Şekil 27</b>	Toplam canlı sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	68
<b>Şekil 28</b>	Toplam canlı sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	68
<b>Şekil 29</b>	Maya ve küf sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi	69
<b>Şekil 30</b>	Maya ve küf sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi	69

**Şekil 31** Duyusal parametrelerin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi

72



# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1. Giriş

Nar lezzeti ve aynı zamanda da kırmızı, turuncu ya da nadiren görülen kremi sarı renkteki çiçekleri nedeniyle dekoratif bir bahçe bitkisi olarak antik zamanlardan bu yana yetiştirilmektedir. Nar (*Punica granatum L.*) Punicaceae ailesinin bir üyesidir. İran ile Himalaya arasındaki bölge için yerel bir bitki olmakla birlikte İran, İspanya, Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri ve Yakın ve Uzak Doğu ülkelerinin çoğunda yetiştirilmektedir (Dhumal vd., 2014).

Türkiye narın anavatanının sınırları içerisinde yer almaktadır ve binlerce yıldır hem üretimi hem de tüketimi yapılmaktadır. Ülkemizde özellikle son yıllarda nar yetiştiriciliği oldukça yaygın hale gelmiştir (Özalp vd., 2018). Türkiye nar üretimi açısından gerek iklim gerekse toprak koşulları bakımından oldukça uygundur ve toplam nar üretimi 2002 yılından 2018 yılına kadar artış göstererek yaklaşık 537000 ton seviyesine gelmiş ve yaklaşık 9 katına çıkmıştır (TUİK, 2020).

Nar meyvesinin ve nar içeren gıdaların tüketiminin sağlık açısından sağladığı faydalar sayesinde nara olan tüketici talebi artmış ve bu nedenle son yıllarda değerli bir mahsul haline gelmiştir. Nar meyveleri ellajitanenler açısından oldukça zengindir ve bu polifenolik bileşikler narın sağlığa olan etkisinde en çok katkı sağlayan bileşenlerdir. Narda bulunan temel polifenol bileşiklerden bazıları A ve B punikalaginleri, gallik ve elajik asit türleridir (Qu vd., 2012).

Polifenoller gibi biyoaktif bileşikler açısından zengin olan nar, yapılan *in vivo* ve *in vitro* araştırmalarda antioksidan, antiinflamatuvar ve antihipertansif etkiler gibi çeşitli sağlık ile ilişkili özellikler göstermiştir. Meyvenin sağlığa olan etkileri daha çok punikalagin içeriği ve buna kıyasla daha küçük ölçüde flavonoller ve antosiyaninler gibi diğer metabolitlerden



ileri gelmektedir. Ayrıca, narın kanser, diyabet ve kalp hastalıklarının tedavisindeki potansiyel katkıları da bulunmaktadır (Kandyli ve Kokkinomagoulos, 2020).

Nar; farklı ürünler ve meyve sularının üretilmesinde kullanılarak birçok pazarda sunulmaktadır. Nar taneleri; aseptik dolun yapılan ya da dondurularak depolanan pastörize meyve suyu veya meyve konsantresine işlenebilmekte ya da raf ömrü uzatılmış, taze, yemeye hazır, tanelenmiş nar olarak tüketilebilmektedir. Nar artıklarından da fitokimyasal bileşikler kimyasal yöntemlerle ekstrakte edilebilmekte ve beslenme ve farmakoloji alanlarında da kullanılabilir. Örnek olarak meyve kabuklarından ellajitanenler gibi polifenoller yüksek konsantrasyonlarda ekstrakte edilip beslenmede antioksidan olarak kullanılmaktadır (Borgese ve Massini, 2007).

Nar meyveleri ve taneleri, ağırlık kaybı, mikrobiyolojik bozulma ve tanelerde renk bozulmasını da içeren çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal değişimlere maruz kalmaktadır ve bu değişimler hasat sonrası uygulamalar ve engel teknolojileri ile geciktirilebilmekte ya da yavaşlatılabilmektedir. Nardaki bozulma faktörlerinin engellenmesi amacıyla optimum depolama sıcaklığı, modifiye atmosfer ambalajlama, kontrollü atmosfer, kaplama ve kurutma gibi çeşitli hasat sonrası uygulamalar narların raf ömrünün artırılması için önerilmektedir (Pourebrahimi vd., 2020).

Gıdaların raf ömrünün uzatılmasında kullanılan yöntemlerden bir tanesi olan mikrodalga teknolojisinin meyve bazlı ürünlere daha üstün bir kalite sağladığı ve geleneksel muhafaza tekniklerine iyi bir alternatif sunduğu yapılan çeşitli bilimsel çalışmalarda belirtilmiştir. Mikrodalga prosesi sırasında meydana gelen bu belirli ısıtma şekli dikkate alındığında bu teknolojinin geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla daha yüksek penetrasyon gücüne, daha hızlı ısıtma oranlarına, daha yüksek termal verimlilik ve daha kısa proses sürelerine ulaşılmasına imkân sağladığı görülmektedir. Bütün bu pozitif etkiler sayesinde; gıdaların mikrodalga teknolojisi ile daha iyi duyusal, besinsel ve fonksiyonel özelliklere sahip olması mümkündür (Benlloch-Tinoco vd., 2015).

Bu çalışmada farklı glerde uygulanan mikrodalga teknolojisinin nar tanelerinde fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olarak depolama süresinde etkisi incelenmiştir.



## İKİNCİ BÖLÜM ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Narın Üretim ve Tüketim Miktarları

Sağlıklı ve fonksiyonel gıdalara karşı talebin son yıllardaki artışından, içerdiği besin elementleri ve çeşitli biyoaktif bileşenler nedeniyle nar da olumlu yönde etkilenmiş, üretim ve tüketim miktarları artış göstermiştir. Ülkemizin iklim ve toprak koşullarına oldukça uygun olan nar önemli bir ürün olup, Türkiye’deki toplam üretim miktarı 2000 yılında 59000 ton seviyesindeyken meydana gelen üretim artışıyla beraber 2018 yılında 537847 ton seviyesine çıkmıştır. Üretim miktarı 2002-2018 yılları arasında sürekli olarak artmış ve yaklaşık olarak 9 katına çıkmıştır (Tablo 1) (TUİK, 2020). Aynı tabloya göre ülkemizdeki nar tüketimi de son yıllarda artış göstermektedir. 2008 yılında 88425 ton olan toplam nar tüketimi her yıl artış göstererek 2018 yılında 301053 ton seviyesine ulaşmıştır. Yine 2008-2018 yılları arasında kişi başına düşen tüketim oranı da 1,2 kg’dan 3,7 kg seviyesine kadar artmıştır (TUİK, 2020).

Tablo 1

Yıllara göre Türkiye nar denge tablosu (TUİK, 2020)

Yıl	Üretim (Ton)	İhracat (Ton)	İthalat (Ton)	Yurt içi kullanım (Ton)	Tüketim (Ton)	Kayıplar (Ton)	Kişi Başına Tüketim (Kg)
2018	537 847	203 248	1 776	327 232	301 053	26 179	3,7
2017	502 606	178 832	514	315 744	290 484	25 259	3,6
2016	465 200	173 824	584	284 052	261 327	22 724	3,3
2015	445 750	173 199	914	265 887	244 616	21 271	3,1
2014	397 335	144 659	254	246 175	226 481	19 694	2,9
2013	383 085	149 607	423	227 389	209 197	18 191	2,7
2012	315 150	99 276	179	210 695	193 840	16 856	2,6
2011	217 572	65 695	60	148 238	136 379	11 859	1,8
2010	208 502	67 514	142	137 585	126 579	11 007	1,7
2009	170 963	50 803	311	117 565	108 159	9 405	1,5
2008	127 760	30 092	619	96 114	88 425	7 689	1,2
2007	106 560	15 029	1 939	91 658	84 325	7 333	1,2
2006	90 737	12 987	1 136	77 343	71 156	6 187	
2005	80 000	11 123	142	67 659	62 246	5 413	
2004	73 000	12 036	271	59 994	55 194	4 800	0,8
2003	80 000	9 356		69 284	63 741	5 543	0,9
2002	60 000	7 127		51 853	47 705	4 148	0,7
2001	60 000	7 207	15	51 788	47 645	4 143	0,7
2000	59 000	3 120		54 877	50 487	4 390	0,8

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre narın 2019 yılında 58 ilimizde yetiştiriciliği yapılmıştır (Tablo 2). En çok üretim; gerekli koşulların en uygun olduğu Akdeniz ve Ege bölgelerindeki illerde gerçekleşmiştir. 2019 yılı verilerine göre 130031 ton ile üretim miktarında birinci sırada yer alan Antalya ilini sırasıyla Mersin, Muğla, Adana ve Denizli izlemektedir. 559171 tonluk 2019 yılı toplam üretiminin 418719 tonluk büyük bir kısmını bu 5 il sağlamaktadır (TUİK, 2020).

Tablo 2

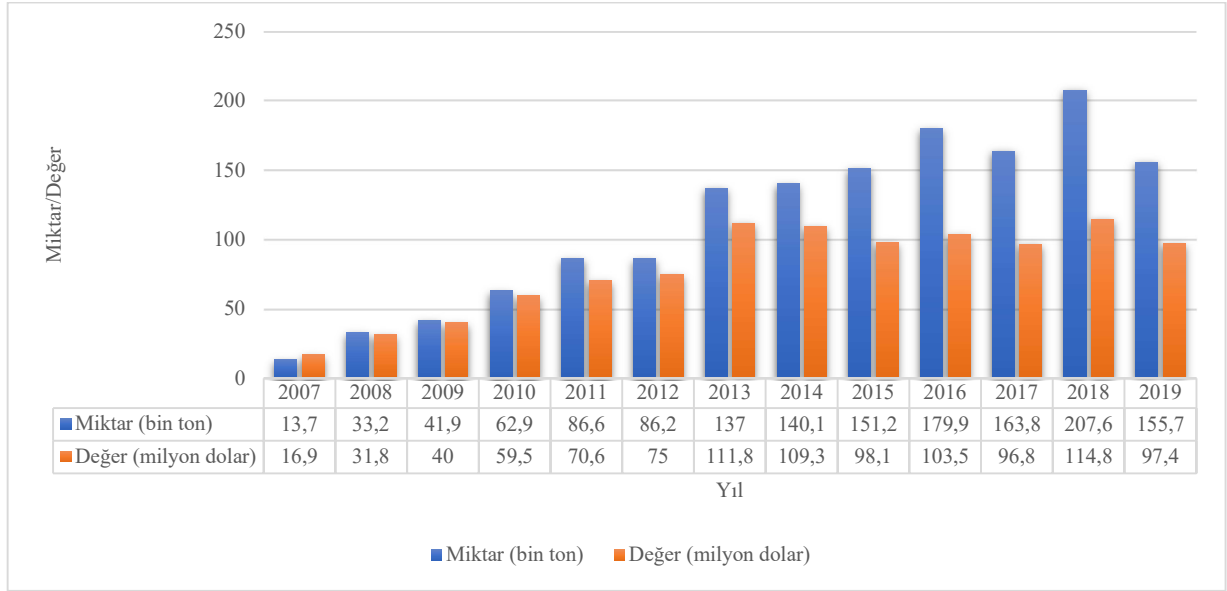
Bazı illere ve yıllara göre nar üretim miktarları (ton) (TUİK, 2020).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Antalya</b>	28053	26441	36387	53415	52963	71066	79112	82933	104421	104815	108786	107237	111041	113040	123880
<b>Mersin</b>	8334	8010	8590	8705	8197	10588	17440	12297	25227	30370	35015	61919	66595	72152	83159
<b>Muğla</b>	1512	2073	3118	4960	10412	21519	26051	24305	47067	66703	68347	65748	73183	81403	87306
<b>Adana</b>	2272	2331	2065	2962	2948	4083	14636	16891	26200	34098	39740	39715	44861	47698	67688
<b>Denizli</b>	5979	6084	6817	5871	9465	13336	13667	12568	28182	34618	23363	45594	44751	45616	44129
<b>Hatay</b>	4385	4793	5333	4090	4812	7788	9351	13548	15543	18429	22155	20769	20430	27460	22012
<b>Gaziantep</b>	544	6234	6714	6025	8509	8766	7007	6632	14087	21828	18862	19370	18578	19234	19376
<b>İzmir</b>	2058	2252	2276	2213	3028	3791	4695	5608	7508	7875	9991	11854	13023	14036	14886
<b>Aydın</b>	6469	6722	7029	4910	7247	8448	7432	9336	10351	15483	16429	17175	14969	15798	15122
<b>Adıyaman</b>	376	698	723	839	967	1438	2347	3231	3804	4299	4425	5112	7748	9672	10295

## 2.2. Narın Ekonomik Değeri

Ülkemizde üretilen narın büyük bir kısmı yurtiçinde tüketilirken yine azımsanamayacak bir kısmı da ihraç edilmektedir. Ayrıca üretim ve ihracat miktarlarına kıyasla çok az sevilerde olsa da nar ithalatı da yapılmaktadır. Örneğin 2018 yılında üretilen 537847 ton ve ithal edilen 1776 ton narın 327232 tonu yurtiçinde kullanılırken 203248 tonu ihraç edilmiştir. Bu da 2018 yılında toplam nar miktarının yaklaşık %62'sinin yurtiçinde kullanılırken yaklaşık %38'inin ihraç edildiğini göstermektedir. Ülkemizde son yıllarda artan üretim miktarları ile birlikte ihracat miktarları da artmakta ve bu durum ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. 2007 yılında 13,7 bin ton nar ihracat miktarı geçen yıllar boyunca genellikle artış göstermiş ve 2018 yılında 207,6 bin ton seviyesine ulaşmıştır. Bununla birlikte bu ihracatlardan elde edilen değer 2007 yılındaki 16,9 milyon dolardan 2018 yılında 114,8 milyon dolar seviyesine çıkmıştır (Şekil 1). Nar ihracatının getirdiği ekonomik değer son yıllarda genel bir artış göstermiştir ancak yıl bazında incelendiğinde bu artışın her yıl devam etmediği bazı yıllarda düşüş meydana geldiği görülmektedir. Son yıllar incelendiğinde 2010, 2011, 2012, 2013, 2016 ve 2018 yıllarında ihracat değerlerinde bir önceki yıla göre artış gözlenirken, 2014, 2015, 2017 ve 2019 yıllarında bu değerlerde düşüş meydana gelmiştir. İhracat değerinin en çok arttığı sene 36,8 milyon dolarlık bir yükselişin

meydana geldiği 2013 yılı olurken; en fazla azalma 17,4 milyon dolar düşüş ile 2019 yılında görülmüştür (AKİB, 2020).



Şekil 1. Yıllara göre nar ihracat miktar ve değerleri (AKİB, 2020)

### 2.3. Narın Kimyasal Bileşimi

Nar değerli besin bileşenleri açısından da iyi bilinen bir kaynaktır. Çeşitli hastalıklara karşı birçok olumlu etki ile ilişkilendirilmiş; hidrolize edilebilir tanenler, flavonoller, antosiyaninler, fenolik ve organik asitler gibi çeşitli bileşikler içermektedir. Nar kimyasal olarak; düşük bir pH değeri (genellikle 4'ten küçük), nispeten yüksek bir asitlik (20 g sitrik asit/L meyve suyu) ve 70-180 g/L'lik bir şeker içeriği (temel olarak fruktoz ve glukoz) ile karakterize edilmektedir (Kandyli ve Kokkinomagoulos, 2020).

Narın farklı bölümlerinde değerli bileşikler bulunmaktadır. Bunlar kabuk, tohumlar ve taneler olarak farklı anatomik orijinlere ayrılabilir. Meyvelerin kimyasal ve mineral kompozisyonları (Tablo 3) çeşide, yetiştirildiği bölgeye, iklime, olgunluğa, yetiştirme şekline ve depolama koşullarına göre değişiklik göstermektedir (Desseva ve Mihaylova, 2020). Nardaki organik asitler, fenolik bileşenler, şekerler, suda çözünebilir vitaminler ve mineraller bakımından yıllara göre önemli varyasyonlar bulunmaktadır. Nar meyvesinin

yenilebilir kısmı meyvenin %50'sini oluşturmaktadır ve bunun %40'ı taneler ve %10'u tohumlardır (Pareek vd., 2015). Taneler %85 su, %10 toplam şeker (temel olarak fruktoz ve glukoz) ve %1,5 pektin, askorbik asit, sitrik asit ve malik asitler gibi organik asitler ve fenolikler, flavonoidler ve daha çok antosiyaninler gibi biyoaktif bileşiklerden oluşmaktadır. Tohumlar toplam lipidler açısından zengin bir kaynaktır ve nar tohum yağı toplam tohum ağırlığının %12-20'sini oluşturmaktadır. Bu yağ yüksek miktarda linolenik ve linoleik asit gibi çoklu doymamış (n-3) yağ asitleri ve punisik asit, oleik asit, stearik asit ve palmitik asit gibi diğer lipidleri içermektedir. Tohumda ayrıca protein, ham lifler, vitaminler, mineraller, pektin, şekerler, polifenoller, izoflavonlar (en çok genistein), fitoöstrojen kumestrol ve östron bulunmaktadır (Viuda-Martos vd., 2010).

Tablo 3

Narda bulunan bileşenler ve mineraller (Moghadam vd., 2019)

Bileşen (%)	Taze meyvede	Kuru ağırlık bazında
Nem	78	19
Protein	1,6	7,27
Toplam şekerler	14,6	66,36
Kül	0,7	3,18
Asitlik	0,58	2,64
<b>Mineraller (mg/100g)</b>		
Ca	10	45
P	70	318
Mn	44	200
K	133	604
Na	0,9	4,09
Fe	1,79	8,14
Zn	0,82	3,73
Mg	0,77	3,5
Cu	0,34	1,55

Narda bulunan düşük aktiviteli dört inhibitör gallik asit, granatin A, korilagin ve ellajik asit antimikrobiyal, antifungal ve antitumörjenik aktivitelere sahiptir. Bunlar

ellajitannenler olarak bilinmektedir. Punikalın ve punikalagin pnitrofenil asetatı inhibe etmektedir. Gallik asit ve kateşin narın iyileşme aktivitesinden sorumlu temel bileşiklerdir. Narda bulunan bileşiklerin terapi açısından en etkili olanları ellajik asit ellajitanenleri olup nar, punikalaginler, punisik asit, flavonoidler, antosiyanidinler, antosiyaninler ve östrojenik flavonol ve flavononları da içermektedir (Moghadam vd., 2020). Ayrıca narın meyve ağırlığının yaklaşık %50 gibi büyük bir bölümünü oluşturan kabuk kısmı da biyoaktif bileşenler açısından önemli bir kaynaktır. Nar kabuğunda bulunan önemli biyoaktif bileşenlerden bazıları; fenolikler, flavonoidler, ellajitannenler, proantosiyanidin bileşikler, potasyum, azot, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve sodyum gibi mineraller ve kompleks polisakaritlerdir (Sreekumar vd., 2014).

#### **2.4. Narda Kalite Kusurları**

Nar, klimakterik olmayan bir meyve olarak sınıflandırılmaktadır. Nar meyvelerinin nispeten düşük bir solunum oranına sahip olduğu ve bu değer in hasat sonrası azalarak yaklaşık 3 ayda 8 ml/kg.h denge oranına düştüğü ve 20 °C sıcaklıkta 2 hafta depolandığında ise etilen üretiminin 0,2 µl/kg.h olduğu bilinmektedir. Gözlemlenen bu metabolik proses narın hasat sonrası fizyoloji ve kompozisyonunda yüksek bir değişim meydana gelmediğinden narın klimakterik olmayan bir meyve olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca olgunlaşma süreci bitkide hasat öncesinde gerçekleşmekte, hasat edilen meyveler depolama sırasında olgunlaşmaya devam etmemekte ve erken hasat edilenlerin lezzet kalitesi düşük kalmaktadır. Meyvenin klimakterik olmayan doğasına karşın, hasat sonrası proseslerinin etkisi narda yine de soğuk zararı, kabukta kahverengileşme, ağırlık kaybı ve çürüme gibi sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir (Caleb vd., 2012).

##### **2.4.1. Kabuk Çatlaması**

Meyve çatlaması ve güneş yanıkları nar meyvelerini etkileyebilmekte ve bazen önemli ticari zararlara sebep olabilmektedir. Meyve çatlaması aslında nar meyvesinin normal gelişim sürecinin son aşaması olarak kabul edilebilir. Bilinen çoğu nar çeşidinde aşırı olgunlaşma ile en sonunda çatlama meydana gelmektedir. Meyve çatlamasının şiddeti



düzenli sulama ve özellikle de damla sulama ile önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Kurak mevsimden hemen sonra meydana gelen yağmurun olgunlaşmış meyvelerde hızlı bir kabuk çatlamasına neden olduğu bilinmektedir. Bu yüzden meyve olgunlaşma sürecinin yağışlı bir mevsim ile çakıştığı bölgelerde çatlama problem oluşturmaktadır (Holland vd., 2009).

Hibrit nar genotiplerinin ve olgunlaşma zamanlarının güneş yanığı ve çatlamaya karşı dirence etkilerinin incelendiği bir çalışmada; geç olgunlaşan genotiplerin güneş yanığı ve çatlamaya karşı erken ve orta sezonlarda olgunlaşanlara göre daha hassas olduğu görülmüştür (Yazici ve Ercişli, 2017).

Narlarda görülen çatlamanın incelenmesi için, bilinen iki nar cinsinin (Malas-e-Saveh, Yusef-Khani) meyve karakteristikleri (kabuk kalınlığı, meyve hacmi, kabuk-tohum oranı, kalsiyum ve depolimerize pektin) ve kabuk biyokimyasal davranışlarının araştırıldığı bir çalışmada; iki cinsin kabuk kalınlıklarının önemli ölçüde farklı olmasına rağmen kabuk kalınlığı ile meyve çatlaması arasında herhangi bir ilişki saptanamamıştır. Bunun aksine meyve hacmi, meyve şekli, tohum ağırlık oranları ve kabuk ağırlık oranlarının meyve çatlaması ile ilişkili olduğu görülmüştür (Saei vd., 2014).

Manfalouty cinsi nar ağaçlarında dört farklı oranda (600, 900, 1200 ve 1500 g/ağaç) uygulanan amonyum nitrat gübresi ve üç farklı konsantrasyonda (% 0, 1 ve 2) uygulanan kalsiyum klorit spreynin; vejetatif büyüme parametreleri, verim ve meyve kalitesi (özellikle meyve çatlaması ve güneş yanığı hasarı) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; amonyum nitrat ve/veya kalsiyum kloritin ayrı ayrı ya da kombinasyon halinde kullanımının vejetatif büyüme parametreleri, verim, meyve kalitesi özelliklerini iyileştirdiği; vejetatif gelişimi arttırarak meyve çatlaması ve güneş yanığı hasarlarını azalttığı ve böylece meyvelerin direkt güneş ışığından korunmasını ve kalsiyumun meyvelerdeki bozuklukların kontrolündeki rolünü geliştirdiği gösterilmiştir (Bakeer, 2016).

#### 2.4.2. Kabuk Kahverengileşmesi

Kabukta renk değişim semptomları elmalardaki yüzeysel yanıklara benzer şekilde ve genellikle meyvenin sap tarafından başlayarak şiddetini arttırdıkça çiçek tarafına doğru yayılan yanıklar şeklinde meydana gelmektedir. Ayrıca bu durum meyvenin çürümeye karşı daha dayanıksız hale gelmesine de sebep olmaktadır. Problemin görülme oranlarının geç sezonda hasat edilen narlarda, ara sezonda hasat edilen narlara göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu durum kabuk yanığının meyve yaşlanması ile ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Her iki hasattan elde edilen meyvelerin de 7 °C sıcaklıkta 4 ile 6 ay arasında depolandıklarında bazı yanıklar sergilediği görülmüştür (Prasad vd., 2010).

Kabuk kahverengileşmesi oranı ve şiddetine karşı difenilamin ve/veya 1-metilsiklopropen depolama öncesi uygulamaları ve depolama sürecindeki atmosfer modifikasyonlarının etkilerinin incelendiği bir çalışmada; kahverengileşme oranı ve şiddetinin geç sezonda hasat edilen narlarda ara sezonda hasat edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki hasat zamanında elde edilen narlarında 7 °C sıcaklıkta 4-6 ay depolama sonrasında kabuk kahverengileşmesi gösterdiği, ne difenilamin ne de 1-metilsiklopropenin ayrı ayrı ya da birlikte uygulandığında kabuk kahverengileşmesinin görülme oranı ya da şiddetini azaltmadığı belirtilmiştir. Bu rağmen test edilen üç kontrollü atmosfer depolama koşulunun da (1 kPa O<sub>2</sub>, 1kPa O<sub>2</sub> +15 kPa CO<sub>2</sub> ve 5 kPa O<sub>2</sub> +15 kPa CO<sub>2</sub>), iki sezonda da hasat edilen narlarda 7 °C sıcaklıkta 6 aya kadar yapılan depolamada kabuk kahverengileşmesi görülme oranı ve şiddetini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür (Defilippi vd., 2006).

7 °C sıcaklıkta 5 ay süre ile depolanan üç farklı nar çeşidinin kabuk ve meyve suyu kalitesine normal hava atmosferi ve kontrollü atmosferin (2 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub>) etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada, üç çeşidin de normal hava atmosferinde kalitelerini koruması konusunda farklılık gösterdiği ancak kontrollü atmosferde kabuk kahverengileşmesi ve çürümenin azalması konusunda benzer tepkiler gösterdiği belirtilmiştir (Matityahu vd., 2016).

### 2.4.3. Soğuk Zararı

Narların hasat sonrası oda sıcaklığında depolanması sürecinde kabuk ve tanelerde önemli kalite kayıpları meydana gelmektedir. Bu yüzden depolanabilirliğin sürdürülebilmesi için soğutma ihtiyacı doğmaktadır. Ancak meyveler soğuk zararına karşı duyarlıdır ve bu hasarların şiddeti daha düşük sıcaklıklar (-3 ile 5 °C arası) ve depolama süresinin uzamasıyla artmaktadır. Nar meyvelerinde soğuk zararları kabuk kahverengileşmesi ve yanması, benek oluşumu, sertlik kaybı ve çürümeyi de kapsamaktadır. Meyvelerde düşük sıcaklıklarda hücre membranında fonksiyon kaybı meydana gelmekte ve bu durum da sonuç olarak soğuk zararı semptomlarına yol açan temel moleküler olay olarak değerlendirilmektedir. Fonksiyon kaybı membranın akışkanlığını etkilemekte buna da lipid kompozisyonu güçlü bir şekilde tesir etmektedir (Sayyari vd., 2011).

Yapılan bir çalışmada, hasat öncesi ve sonrası immersiyon ile kombine halde yapılan 0, 0,5, 1 ve 2 mM arginin uygulamalarının; nar meyvesinin soğuk hasarı ve nurasötik özelliklerine etkileri 4 °C sıcaklıktaki 120 günlük depolama sürecinde incelenmiştir. 1 mM arginin uygulaması yapılan nar meyvelerinde dış kabuktaki kahverengileşme ile açıkça görülebilen soğuk zararının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür (Babalar vd., 2018).

Başka bir çalışmada meyveler karboksimetil selüloz (%2 a/h) ve kitosan (%1,5 a/h) yenilebilir kaplamaları ile ayrı ayrı ya da oksalik asit (5 mM ve 10 mM) ve malik asit (50 mM ve 100 mM) ile kombinasyonlar halinde uygulanmış; uygulamalar sonrasında meyveler 2 °C sıcaklık ve %80-90 bağıl nem şartlarında 120 gün boyunca depolanmıştır. Uygulama yapılan meyvelerde soğuk zararının uygulama yapılmayan kontrol örneklerine göre daha düşük olduğu görülmüştür (Ehteshami vd., 2019).

Yapılan başka bir çalışmada 0, 1, 10, 100 ve 1000 µM olarak yapılan melatonin uygulamalarının 4 °C sıcaklıkta 120 gün depolanan narların soğuk zararına olan etkileri incelenmiştir. 100 µM melatonin uygulamasının daha az kabuk kahverengileşmesinin gösterdiği şekilde soğuk zararını azalttığı ve daha düşük elektrolit sızıntısı ve malondialdehit

birikmesinin de gösterdiği gibi membran bütünlüğünün daha iyi korunduğu sonucuna ulaşılmıştır (Jannatizadeh, 2019).

#### 2.4.4. Ağırlık Kaybı

Hızlı nem kaybı nar meyvesinin hasat sonrası ömrünü etkileyen temel kalite problemlerinden bir tanesidir. Satılabilir meyve ağırlığının azalmasının yanında %5 üzerinde nem kaybına uğrayan meyvelerde buruşma meydana gelmekte ve bu durum da meyvelerin görsel çekiciliği ve ticari değerini azaltmaktadır. Meyvelerde görülen bu nem kayıplarının temel sebebi terleme ile birlikte solunumdur. Meyve yüzeyi ile çevresini saran hava arasındaki buhar basıncı farklılığı nem kaybı oranının artmasına sebep olmaktadır. Nar meyvelerinin soğutulması kaliteyi koruyabilmekte ancak soğuk depolama sırasında da nem kaybı zorluk oluşturmaya devam etmektedir. Depolama odasının nemlendirilmesi, meyvelerin plastik filmler ile ambalajlanması, meyve kaplamaları ve streç film ile sarma gibi önlemler nem kaybını azaltmak için uygulanan bazı yöntemlerdir (Mukama vd., 2018).

Narlarda soğuk depolama ve ambalajlamanın etkilerinin araştırılması amacıyla yürütülen bir çalışmada meyvelere polietilen torbalarda ambalajlama, ticari ambalaj kapları (Falcon) kullanma ve vakslama (%2) uygulamaları yapılmış ve kontrol örnekleri için ise ambalajlama yapılmayarak 4 ay süre ile 5 ve 7 °C sıcaklıkta depolanmıştır. Fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki değişimlerin aylık periyotlarla kaydedildiği çalışmanın sonucunda, depolamanın yapıldığı iki sıcaklık için de ağırlık kaybının azaltılması, antosiyanin ve askorbik asit seviyelerinin muhafaza edilmesi ve meyvelerin tazeliğinin korunması konularında polietilen ambalajlamanın daha üstün olduğu görülmüştür (Ghafir vd., 2010).

Nar meyvelerinin hasat sonrası ömürlerine kitosan kaplama uygulaması ve depolama sıcaklığının etkilerinin araştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada; *Rabbab-e-Neyriz* çeşidi nar meyveleri %0, 1 ve 2'lik kitosan çözeltilerine batırılarak hava ile kurutulmuş ve 135 gün süreye kadar %90 bağıl nem koşullarında 2 ve 5 °C sıcaklıkta depolanmıştır. Kitosan kaplama uygulaması depolama sürecinde 2 °C sıcaklıkta 5 °C'ye göre daha etkin olmak üzere her iki sıcaklık için de solunum oranı ve ağırlık kaybını azaltmış, 135 günlük depolama

süreci sonrasında %18,19 ve %9,33 ile en yüksek ve en düşük ağırlık kayıpları sırasıyla 5 °C sıcaklıkta depolanan kontrol grubundaki meyvelerde ve 2 °C sıcaklıkta depolanan %2'lik kitosan kaplaması yapılmış meyvelerde kaydedilmiştir. Sonuçlar nar meyvelerinde hasat sonrasında görülen ağırlık kayıplarına temel olarak kabuklarda meydana gelen ağırlık kayıplarının neden olduğunu ve uygulama yapılan meyvelerde kabuk ağırlığı yüzdesinde (bütün meyvede) %4 ile %8 arasında azalma meydana geldiğini göstermiştir. Taramalı elektron mikroskopisi, kaplama uygulaması yapılan meyvelerde kitosanın meyvenin bütün perikarp yüzeyini ve porlarını kapladığını ortaya çıkarmış olup, kaplama uygulaması yapılmayan meyvelerde depolama sürecinde daha fazla ağırlık kaybı meydana geldiğini göstermiştir (Varasteh vd., 2017).

#### 2.4.5. Çürüme

Narların depolama potansiyellerini sınırlayan temel sebep, *Aspergillus* spp, *Cladosporium* spp, *Colletotrichum* spp, *Epicoccum* spp, *Penicillium* spp, *Pestalotia* ve *Botrytis cinerea* gibi çeşitli patojenler nedeniyle meydana gelen küf gelişimidir. Nar ile ilişkilendirilen çeşitli hasat sonrası hastalıklar gri küf (*Botrytis cinerea*) çürümesi, yeşil küf (*Penicillium digitatum*) çürümesi, mavi küf (*P. expansum*) çürümesi ve öz (*Aspergillus niger*) çürüklüğüdür (Dhineshkumar vd., 2015).

Yapılan bir çalışmada Yunanistan ve Kıbrıs'ta yerel meyve bahçeleri 2013 yılı içerisinde incelenerek, hasat öncesinde çürüme semptomları gösteren narlardan 280 tane toplanmış ayrıca buna ek olarak Yunanistan'da hasat sonrasında soğuk depolama yapılan meyvelerden 153 izolat toplanmıştır. Yapılan moleküler tanımlama sonucunda narlarda hasat öncesinde görülen çürümelerde *Aspergillus* (*Aspergillus niger* ve *Aspergillus tubingensis*) ve *Alternaria* (*Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*, ve *Alternaria arborescens*) türlerinin baskın olduğu görülmüştür. Buna karşın hasat sonrası meyve çürümelerine temel olarak *Botrytis* spp. ve daha az oranda *Pilidiella granati* ve *Alternaria* spp. izolatlarının neden olduğu saptanmıştır (Kanetis vd., 2015).

5 °C sıcaklık ve %95 bağıl nem koşullarında 4 ay süre ile depolanan narlara depolama öncesinde yapılan putresin uygulamalarının (1, 2 ve 3 mmol/L) meyvelerin hasat sonrası kalite özelliklerine etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada; herhangi bir uygulama yapılmayan kontrol örneklerinde daha yüksek seviyelerde dış çürüme (%1,72-%33,26), soğuk zararı (%10,53-%38,77) ve kahverengileşme (%15,04-%100) görüldüğü ve 4 aylık depolama sürecinde renklerinin daha az cazip olduğu görülmüştür (Fawole vd., 2020).

Kitosan, karanfil esansiyel yağı, kitosan nanopartikülleri ve karanfil esansiyel yağı yüklenmiş kitosan nanopartiküllerini (CEO-ChNPs ya da enkapsüle yağ) içeren dört farklı kaplama dispersiyonunun 5 °C sıcaklıkta depolanan minimal işlenmiş tanelenmiş narın raf ömrü ve kalitesine etkilerinin incelendiği bir çalışmada; kaplama uygulaması yapılmayan tanelenmiş narların fungal çürüme nedeniyle 18. günde kullanılamaz hale geldiği görülürken, test edilen dispersiyonlardan CEO-ChNPs'nin tanelenmiş narların raf ömrünü 54 gün uzattığı saptanmıştır. Çalışma sonucunda CEO-ChNPs kaplamasının depolama sonunda mikrobiyal kalitenin sürdürülebilirliğini önemli ölçüde arttırabileceği belirtilmiştir (Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020).

## **2.5. Gıda Endüstrisinde Isıtma Amaçlı Yeni Teknolojiler**

Gıda ürünlerinin raf ömürlerinin uzatılması için çeşitli şekillerde işlenmeleri gerekmektedir. Ancak bu tarz prosesler genellikle gıda güvenliğini geliştirirken, duyu kalitelerinde düşüşe sebep olan ısı uygulamaları içermektedir. Bu nedenle gıdaların maruz kaldığı ısının minimize edilmesi için zamanın ve sıcaklık profillerinin optimizasyonu amacıyla birçok teknoloji araştırılmaktadır. Yeni geliştirilen gıda işleme teknolojileri yapılan ısı uygulamalara katkı sağlama hatta ısı uygulamaları tamamen elimine etme potansiyeline sahip olabilmektedir. Ayrıca ohmik, infrared ve mikrodalga ile ısıtma gibi teknolojileri de içeren farklı yöntemler elektromanyetik radyasyonun gıda işleminde kullanılabilmesi için potansiyel fırsatlar sunmaktadır. Prosesin gereklilikleri ve tüketici taleplerine bağlı olarak bu teknolojiler çeşitli şekillerde kullanılabilir (Rastogi, 2012).

### 2.5.1. İnfrared Isıtma

İnfrared, elektromanyetik spektrumun ultraviyole ile mikrodalga radyasyon arasındaki bölümünü (0,78–1000  $\mu\text{m}$ ) ifade etmektedir. İnfrared bölgesine düşen atomlar ve moleküller titreşim durumunda olduğundan rotasyonel hareket içerisindedir ve bu durum da ısı üretimi sağlamaktadır. Gıda ürünlerinin temel olarak yüzeyde konveksiyon ve daha sonra ürün içerisinde kondüksiyon ile ısındığı geleneksel ısıtma yöntemlerinin aksine infrared ısıtma sistemlerinde ürünler yüzeyde radyasyon ve daha sonra içeride kondüksiyon ile ısınmaktadır (Rifna vd., 2019).

Mutlak sıfırın üzerindeki bütün maddeler, termal radyasyon yaymaktadır. Termal radyasyonun dalga boyu aralığı görünür ışık (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ) ve infrared radyasyonu (0,7-1000  $\mu\text{m}$ ) da içeren 0,4-1000  $\mu\text{m}$  aralığındadır. Baz alınan spektruma göre değişmekle beraber infrared radyasyon çeşitli bölümlere ayrılabilir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) infrared radyasyonun üç genel bölgeye ayrılmasını önermektedir: 0,7-1,4  $\mu\text{m}$  aralığındaki yakın infrared radyasyon (NIR), 1,4-3  $\mu\text{m}$  aralığındaki orta infrared radyasyon (MIR) ve 3-1000  $\mu\text{m}$  aralığındaki uzak infrared radyasyon (FIR). Başka bir ayırma türünde ise infrared radyasyon: NIR (0,7-1,4  $\mu\text{m}$ ), kısa dalga boylu infrared radyasyon (1,4-3  $\mu\text{m}$ ), orta dalga boylu infrared radyasyon (3-8  $\mu\text{m}$ ), uzun dalga boylu infrared radyasyon (8-15  $\mu\text{m}$ ) ve FIR (15-1000  $\mu\text{m}$ ) olarak 5 bölüme ayırmaktadır. Gıda işleme uygulamalarında Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun bölümlendirmesi çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Pan vd., 2014).

İnfrared radyasyon maruz bırakılan materyale penetre olduğunda, radyasyonun enerjisi ısıya dönüşmektedir. Penetrasyon derinliği ürünün kompozisyonu ve yapısına göre ve infrared radyasyonun dalga boylarına göre değişmektedir. Bir materyal radyasyona maruz bırakıldığında yoğun şekilde ısınmaktadır ve materyal içerisindeki sıcaklık gradyanı kısa bir periyot içerisinde azalmaktadır. Ayrıca materyalin ısınma periyodunu soğumanın izlediği radyasyon uygulamasında ürünün merkezinden yüzeyine doğru yoğun bir nem transferine ulaşılabilir (Rastogi, 2015). Bu yöntem geleneksel kurutma yöntemleri ile kıyaslandığında daha yüksek bir ısı transfer oranı sağlamakta, ürün daha eşit bir şekilde ısıtılabilir ve daha iyi kalite özelliklerinin elde edilebilmesini sağlamaktadır. Geleneksel

ısıtmada ise ısı hava sirkülasyonundan doğan konveksiyon ile daha çok yüzeylere uygulanabilmekte ve merkeze ısı transferi kondüksiyon ile gerçekleşmekte bu da ısıtılan materyalde sertleşmeye neden olmakta ve kütle transferini engellemektedir (Krishnamurthy vd., 2008).

İnfrared ısıtma termal bir teknoloji olduğu için mikroorganizmaları ısıyla ve ısının mikroorganizmalarının içeriklerine etkisiyle (örneğin proteinlerin ve nükleik asitlerin termal denatürasyonu) inaktive ettiği varsayılmaktadır. Ancak infrared spektrumu mikrodalga ile ultraviyole ışık arasında yer aldığından indüksiyon ile ısınma ve DNA hasarını içeren bir çakışma etkisinin de mikrobiyal inaktivasyondan sorumlu olduğu düşünülmektedir (Krishnamurthy, 2006). İnfrared ısıtmanın hücrelere hem içten hem de dıştan hasar verdiği bilinmektedir ve böylelikle hücre duvarında hasar, sitoplazmik membranlarda büzüşme, mezozomlarda ayrılma ve hücre içeriğinde dışarı sızmasını görülmektedir (Ramaswamy vd., 2012).

### **2.5.2. Ohmik Isıtma**

Ohmik ısıtma vurgulu elektrik alan ve yüksek basınç gibi yeni teknolojiler ile birlikte gıda endüstrisinde gelecek için yüksek potansiyele sahip teknolojilerin başlarında gelmektedir. Ohmik ısıtma temelini, elektriğin yarı geçirgen bir materyalden geçerken bir iç ısınmaya sebep olması (Joule etkisi) gibi basit bir prensipten almaktadır. Gıdaların büyük bir çoğunluğunun kompozisyonunun su, tuzlar ve organik asitler açısından zengin olduğu bilindiğinden ohmik ısıtmanın gıdalara uygulanması oldukça mantıklı görünmektedir (Pereira vd., 2018).

Ohmik ısıtma uygulamalarında bir güç kaynağı elektrik enerjisi sağlamaktadır ve elektrik akımının voltaj ve frekansı ısıtma hızı ve oranını belirleyen temel parametrelerdir. Isıtma oranı ayrıca gıdanın kimyasal kompozisyonu, fiziksel durumu ve sıcaklığı gibi elektriksel iletkenliğini belirleyen karakteristik özelliklerine göre de değişmektedir. Elektrik enerjisi ürüne ısıtma haznesinin iki farklı tarafında bulunan elektrotlar üzerinden aktarılır. Elektrotların ürün ile temas alanı ve elektrotlar arasındaki uzaklık da ısıtma oranına etki



etmektedir (Gavahian vd., 2019). Uygulama kesikli ya da sürekli akış sistemi ile yapılabilmektedir. Akım geçişi; alan gücü, elektrot konfigürasyonu ve ürünün iletkenliğinin bir fonksiyonu olarak gerçekleşmektedir. Ohm kanununa göre; yüksek enerji yoğunluğu ve kısa ısıtma süreleri ile karakterize edilen enerji girişi; elektrik enerjisinin neredeyse tamamen ısı enerjisine dönüşmesine neden olmaktadır. Kullanılan voltajlar 400-4000 V arasında değişiklik göstermektedir. Elektrot aralığı olarak 10-50 cm arasında değişen bir değer kullanıldığında 20-400 V/cm değerlerinde alan güçlerine ulaşılmaktadır. Ulaşılan ısıtma oranları güç kaynağının güç çıkışına, uygulama ekipmanının dizaynına ve ürün özelliklerine (iletkenlik, viskozite vb.) göre değişiklik göstermektedir (Jaeger vd., 2016). Elektrik iletkenliği 0,1 ile 10 S/m arasında olan gıdalar 100V/cm altındaki elektriksel alanlar kullanılarak yapılan ohmik ısıtma işlemleri için uygun olarak değerlendirilmektedir (Kubo vd., 2020).

Ohmik ısıtma; daha hızlı ısıtmayı sağlama, yüksek enerji verimliliği ve termofiziksel özellikler ve dış konvektif katsayısından daha bağımsız olması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca ısı hacimsel olarak üretildiğinden gıdalar daha eşit bir şekilde ısınma eğilimine girmektedir. Fazla ısınma, elektrot materyalinde hasarlar (erozyon ve belli frekanslarda meydana gelen korozyon ile) ve elektrik iletkenliğine karşı yüksek bağımlılık bu teknolojinin dezavantajlarından (Müller vd., 2020).

Ohmik ısıtmadaki mikrobiyal inaktivasyon mekanizmaları doğası gereği termal olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca ohmik ısıtmanın elektrik alanı varlığı nedeniyle hücrelere hafif bir nontermal hasar verebildiği de düşünülmektedir. Ohmik ısıtmanın bu ekstra etkisinin temel sebebi sahip olduğu düşük frekansın (50-60 Hz) hücre duvarlarında elektriksel yük birikimine ve bu nedenle gözenek oluşturmasıdır. Çünkü ohmik ısıtmada uygulanan elektrik alanı hücre membranlarında elektroporasyona neden olmaktadır (Kubo vd., 2020). Hücre elektroporasyonu; elektrik alan varlığı sebebiyle hücre membranlarında gözeneklerin oluşması, bunun sonucunda membranın geçirgenliğinin artması ve elektro-osmoz ile membrandan materyal difüzyonu gerçekleşmesi olarak tanımlanmaktadır. Elektriksel yıkım ya da elektroporasyon mekanizmasının ohmik ısıtmanın nontermal etkilerinden en baskını olduğu farz edilmektedir. Bu etkinin temel sonucu olarak mikrobiyal

inaktivasyon için gözlemlenen  $D$  değerinin ohmik ısıtmada geleneksel metotlara kıyasla daha düşük olmasını sağlamaktadır (Knirsch vd., 2010).

### 2.5.3. Radyo Frekansı ile Isıtma

Piştirme, pastörizasyon, sterilizasyon ve kurutma gibi işlemlerde kullanılan yeni ısıtma teknolojileri genellikle uniform ısıtmanın sağlanabilmesi, enerji verimliliği ve ürünlerin kalite özelliklerinin korunması konularına odaklanmaktadır. Bu teknolojilerin çoğunu elektrik kullanılarak yapılan uygulamalar oluşturmakta ve bunlar elektrik akımının direkt olarak gıdaya uygulandığı (örneğin ohmik ısıtma) direkt elektrik ile ısıtma ve elektrikten elektromanyetik radyasyona dönüştürülerek ısı üretiminin ürün içerisinde gerçekleştirildiği (örneğin mikrodalga ve radyo frekansı ile ısıtma) indirekt elektrik ile ısıtma olarak ikiye ayrılabilir. Ohmik ve radyo frekansı ile ısıtma gibi prosesler sadece endüstriyel alanda kullanılırken mikrodalga ise evlerde de kullanılmaktadır (Marra vd., 2009).

Radyo frekansı ile ısıtma zararlıların öldürücü sıcaklığa ısıtılıp bu sıcaklıkta gerekli sürede tutulması için elektromanyetik enerjinin kullanıldığı termal uygulamalardan bir tanesidir. Polarize moleküller ve yüklü iyonlara sahip herhangi bir materyal hızlı bir şekilde yön değiştiren bir elektromanyetik alana maruz bırakıldığında; rotasyonlar ve hareketler sonucunda oluşan sürtünme kayıpları nedeniyle ısınma olayı meydana gelir (Orsat ve Raghavan, 2014). Alanın frekansı yükseldikçe materyale uygulanan enerji de yükselmektedir. Radyo frekansı ile ısıtmada uygulanan frekanslar 10 ile 300 MHz arasındadır ve iletişim sistemlerine etki etmemesi amacıyla Amerikan Federal İletişim Komisyonu tarafından özellikle 13,56, 27,12 ve 40,68 MHz frekansları tahsis edilmiştir. Zirai ürünlerin radyo frekansı ile ısıtılmasına birçok faktör etki etmekle beraber temel faktörler zirai ürünlerin dielektrik özellikleri ve ürün içerisinde elektromanyetik enerjiden dönüştürülen termal enerjiyi belirleyen elektromanyetik alan dağılımıdır. Radyo frekansı enerjisi; dipol rotasyon ve iyonik kondüksiyonun polarizasyon mekanizmalarının kombine etkileri ile ürün içerisinde hacimsel olarak ve hızlı bir şekilde ısı üretmektedir (Hou vd., 2016).

Hacimsel ısıtma proseslerindeki mikrobiyal inaktivasyon mekanizmaları temel olarak termal etkilerden ileri gelmektedir. Radyodalgaları ve mikrodalgadaki elektromanyetik enerji mikroorganizmaları; enzimlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin geri dönüşümsüz denatürasyonlarını da içeren termal mekanizmalar ile inhibe etmektedir. Çünkü, enzimler yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında primer, sekonder ve tersiyer yapılarında denatüre olan proteinlerdir. Bu denatürasyonlar sonucunda aktivitelerini kaybederler ve böylece mikroorganizmanın yaşaması için esansiyel olan çeşitli biyokimyasal aktiviteler bozulmuş olur. Ayrıca; DNA gibi nükleik asitler mikroorganizmaların replikasyonları ve vejetatif çoğalmaları için elzem olup, bunlar da yüksek sıcaklıklarda denatüre olurlar ve çift zincirli olan DNA zincirlerindeki hidrojen bağlarının kırılması ile tek zincire dönüşür (Dev vd., 2012; Kubo vd., 2020).

## **2.6. Mikrodalga Teknolojisi**

Mikrodalgalar, frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalga fırınların frekansları ise iletişim aygıtlarının frekansları ile çakışmayacak şekilde tanımlanmıştır. Mikrodalga frekansı azaldıkça penetrasyon artmaktadır. Genellikle verimlilik ve maliyetin dengelenmesi için ev tipi mikrodalga fırınlarda 2,45 GHz frekansı kullanılırken, endüstriyel mikrodalga cihazlarında ise 915 MHz ya da 2,45 GHz frekansları kullanılmaktadır. Mikrodalga alanı alternatif bir manyetik alandır ve bu alanda polarite moleküllerin elektrik alan yönünün oryantasyonuna göre değişmektedir (saniyede 2,45 milyar kez) (Guo vd., 2017).

Mikrodalga ısıtma, materyallerin mikrodalga enerjisini absorbe etmesi ve bu enerjiyi ısıya dönüştürmesi sonucu meydana gelmektedir. Gıda materyallerinin mikrodalga ile ısınması ise temel olarak dipolar ve iyonik mekanizmalar vesilesiyle olmaktadır. Mikrodalga uygulanan ürün içeriğinde bulunan su ya da nem, suyun dipolar doğası nedeni ile dielektrik ısınmaya yol açmaktadır (Venkatesh ve Raghavan, 2004). Salınım yapan bir elektrik alan su moleküllerine etki ettiğinde, polarize dipolar moleküller elektrik alan yönünde tekrar hizalanmaya çalışır. Elektrik alanın yüksek frekansı nedeni ile bu yeniden hizalanma saniyede milyonlarca kere meydana gelir ve moleküllerde iç sürtünmeye neden olarak materyalin hacimsel olarak ısınmasını sağlar. Mikrodalga ısıtma; gıdalarda bulunan

iyonların salınımlı migrasyonu nedeniyle de gerçekleşerek yüksek frekans ile salınım yapan bir elektrik alanının varlığında ısı üretebilir. Mikrodalga ısıtmayı ve ısı dağılımını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır ve bunlardan en önemlileri dielektrik özellikler ve penetrasyon derinliğidir (Chandrasekaran vd., 2013).

Mikrodalga ısıtmayı etkileyen faktörler dielektrik özellikler, penetrasyon derinliği, mikrodalga haznesi dizaynı, gıdanın fiziksel özellikleri ve gıdanın geometrisini de içermektedir. Bu faktörler mikrodalga alanının fırın içerisinde ve gıda içerisinde nasıl yayıldığını belirlemektedir.

### 2.6.1. Dielektrik Isıtma

Bir elektrik alan ile bir maddenin etkileşimi genellikle dielektrik tepki açısından değerlendirilmektedir. Elektromanyetik enerjiyi ısıya çevirme açısından materyallerin farklı özellikleri bulunduğu için, mikrodalga ile ısıtmanın faydalarından daha iyi yararlanılabilmeye materyalin dielektrik özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Her materyalin mikrodalga enerjisini absorbe edebilme kapasitesi direkt olarak mikrodalgaların materyale penetrasyon derecesi ilgilidir. Metaller gibi reflektif materyaller için penetrasyon sıfır iken, kuartz ve teflon gibi pratikte transparan olan materyaller için penetrasyon sonsuzdur. Absorbsiyon meydana geldiğinde elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşümü, materyalin dielektrik kayıp faktörü ( $\epsilon''$ ) ve dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ) arasındaki ilişkiye göre değişmektedir. Bu ilişki kayıp faktörü ya da kayıp tanjantı ( $\tan \delta$ ) olarak bilinmektedir (Mello vd., 2014). Dielektrik sabiti; bünyesinde enerji barındıran bir dış elektrik alan (mikrodalgalar gibi) tarafından bir maddenin polarize edilebilme kabiliyetinin bir ölçüsünü temsil etmektedir. Dielektrik kayıp faktörü ise materyalin absorbe ettiği elektromanyetik enerjiyi ısıya dönüştürerek harcama kabiliyetini temsil etmektedir. Bir örnek için harcama kapasitesi arttıkça mikrodalgaların o örneğe penetrasyonları azalmaktadır. Bu yüzden  $\epsilon''/\epsilon'$  oranı her materyalin belirli sıcaklık ve frekanslarda elektromanyetik enerjiyi (mikrodalgalar) ısıya dönüştürme kabiliyetini göstermektedir (Muthukumarappan ve Swamy, 2019).

Çoğu materyalin dielektrik özellikleri çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Zira ürünler ve gıdalar gibi higroskopik materyallerde su içeriği genellikle dominant bir faktördür. Dielektrik özellikler ayrıca uygulanan alternatif elektrik alanın frekansı, materyalin sıcaklığı, yoğunluğu, kompozisyonu ve yapısına göre de değişmektedir. Granüllü ya da partiküllü materyallerde ise hava-partikül karışımının kitle yoğunluğu dielektrik özellikleri etkileyen diğer bir faktördür. Materyallerin dielektrik özellikleri özellikle mobil iyonların varlığı ve materyalin içeriğinde bulunan su ve diğer bütün moleküllerin dipol momentleri olmak üzere materyalin kimyasal kompozisyonuna göre değişmektedir (Nelson ve Trabelsi, 2012).

### **2.6.2. Nem İçeriği**

Bir ürünün serbest su içeriği yani nem içeriği o ürünün bir mikrodalga fırında nasıl ısınacağını belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Çoğu gıdanın %50-90'ı sudan oluşmaktadır. Yüksek su oranları genellikle daha yüksek mikrodalga absorpsiyonu ve daha düşük penetrasyon derinliğine yol açmaktadır. Genellikle nem içeriği yüksek olduğunda ürün daha yüksek dielektrik kayıp faktörü nedeniyle daha verimli ısınacaktır. Bununla beraber, daha düşük nem oranına sahip olan ürünler de nem oranı azaldıkça penetrasyon derinliğinin artması ve daha düşük özgül ısı kapasitesi nedeniyle iyi ısınabilmektedir (Heddleson ve Doores, 1994).

Yapılan bir çalışmada gıdaların infrared ve sıcak hava destekli mikrodalga ısıtılması için sıcaklık ve nem profilleri “multifaz gözenekli ortam taşıma modeli” kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre sadece mikrodalga ile yapılan ısıtmada nemin yüzeye akışındaki artış (basınç nedeniyle) ve soğuk ortam havasının nemi yüksek oranlarda çekmemesi nedenleriyle yüzeylerde nem birikmeleri meydana gelmiştir. İnfrared enerjinin önemli oranlarda penetre ettiği gıdalarda, infraredin eklenmesi aslında yüzeylerdeki nem birikmesini arttırmaktadır. Enerji daha çok yüzeyde absorbe edildiğinde ise infrared yüzey nemini düşürebilmekte ve de belirli bir eşik güç seviyesinin ötesinde yüzey nemini başlangıç seviyesinden daha düşük değerlere düşürebilmektedir. Sıcak hava da yüzey nemini düşürebilmekte ve yüzey sıcaklığını arttırabilmektedir. Ancak muhtemelen infrared enerjiye kıyasla çok daha düşük yüzey ısı akışı nedeniyle infrared ısıtma kadar etkili olmamaktadır.

Hava akış hızı ve dolayısıyla ısı ve kütle transfer katsayılarının artışı yüzeyde meydana gelen nem birikmesini elimine edebilmektedir (Datta ve Ni, 2002).

Yapılan diğer bir çalışmada farklı nem içeriklerine sahip darı nişastasası örneklerinin mikrodalga uygulaması sonrasındaki fizikokimyasal ve in vitro koşullarındaki sindirimleri incelenmiştir. Mikrodalga uygulamasının tepe viskozite değeri, şişme gücü,  $\Delta H$ , bağlı kristallik değerlerinde düşüşe ve saydamlık değerlerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Bu değişimlerin seviyelerinin nişastaların nem içeriklerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle %40 seviyesindeki nem içeriklerinde olmak üzere örneklerin in vitro sindirilebilirliklerinin oldukça fazla arttığı gözlemlenmiştir. Nem içeriği arttıkça granül yüzeylerinde çatlaklar ve merkezi boşluklar oluştuğu, nişastanın orijinal görüntüsünün giderek yok olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucu yüksek nem oranının darı nişastasasına mikrodalga etkisini arttırabildiğini göstermiştir (Li vd., 2019).

### **2.6.3. Penetrasyon**

Bazı gıdalar için hesaplanan mikrodalga gücü ve penetrasyon derinlikleri gıda kompozisyonu ve mikrodalga frekanslarının etkilerinin gösterilmesi amacıyla Tablo 4'de verilmiştir. Değerler pişirilmiş jambonda 2450 MHz için 2,8 mm'den mısır yağında 915 MHz için 467 mm arasında değişiklik göstermektedir. Tuzlu gıdalarda 2450 MHz frekansının düşük penetrasyon derinliği yaratması nedeniyle ev tipi mikrodalga fırınlar kullanıldığında eşit ısınmama problemleri ortaya çıkmaktadır. Endüstriyel mikrodalga ısıtma sistemlerinde kullanılan 915 MHz frekansındaki mikrodalgalar havada, 2450 MHz frekansındaki mikrodalgaların üç katı kadar dalga boyuna sahiptir ve bu nedenle 915 MHz değerlerinde 2450 MHz değerlerine göre daha yüksek bir penetrasyon vardır. Bu yüzden 915 MHz değerinde daha uniform bir ısıtma sağlanabilmekte ve daha büyük boyutlu gıdaların işlenmesinde kullanılabilir. Mikrodalgalar çok düşük seviyedeki dielektrik kayıp faktörü nedeniyle buzda iyi bir penetrasyona sahiptir. 2450 ve 915 MHz frekanslarının her ikisi de donmuş gıdaların temperlenmesinde (ürünün derin dondurma derecesinden donma derecesinin altına getirilmesi) kullanılmaktadır (Tang ve Resurreccion, 2009).

Tablo 4

Bazı gıdaların dielektrik özellikleri ve penetrasyon derinlikleri (Tang ve Resurreccion, 2009)

Gıda	Sıcaklık (°C)	915 MHz			2450 MHz		
		$\epsilon'$	$\epsilon''$	$d_p$ (mm)	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$d_p$ (mm)
<b>Hava</b>		1	0		1	0	
<b>Su</b>							
Distile/deiyonize	20	79,5	3,8	122,4	78,2	10,3	16,8
%0,5 tuzlu	23	77,2	20,8	22,2	75,8	15,6	10,9
Buz	-12				3,2	0,003	11,6
<b>Mısır yağı</b>	25	2,6	0,18	467	2,5	0,14	220
<b>Taze meyve ve sebzeler</b>							
Elma	22	60	9,5	42,6	57	12	12,3
Patates	25	65	20	21,3	54	16	9
Kuşkonmaz	21	74	21	21,5	71	16	10,3
<b>Kurutulmuş elma (%nem)</b>							
87,5	22	56	8	48,9	54,5	11,2	12,9
30,3		14,4	6	33,7	10,7	5,5	11,9
9,2		2,2	0,2	38,7	2,2	0,1	289
<b>Yüksek proteinli gıdalar</b>							
Yoğurt	22	71	21	21,2	68	18	9
	25	61	96	5,1	60	42	3,8
Pişmiş domuz eti	50	50	140	3,7	53	55	2,8
	25	76	36	13	72	23	9,9
Pişmiş dana eti	50	72	49	9,5	68	25	8,9

 $\epsilon'$  : relatif dielektrik sabiti $\epsilon''$  : relatif dielektrik kayıp faktörü $d_p$ : penetrasyon derinliği

Yapılan bir çalışmada surimi endüstrisinde mikrodalga teknolojisinin daha etkin kullanılması amacıyla farklı kalınlıklardaki surimi jelleri incelenmiştir. Surimi hamurunun elektromanyetik özelliklerine göre maksimum penetrasyon derinliği ve absorpsiyon piki 1 cm'den daha düşük olarak bulunmuştur. Sıcaklık dağılımı sonuçları surimideki maksimum sıcaklık noktasının merkezden dış yüzeye kaydığını göstermiştir. Mikrodalga (2450 MHz) ile ısıtılan 2 cm kalınlığındaki surimi hamurunun geleneksel su banyosu yöntemi ile ısıtma uygulamasına kıyasla daha yüksek jel özellikleri ( $16,42 \pm 0,22$  MPa) ve su tutma kapasitesine ( $\%73,59 \pm 0,26$ ) sahip olduğu görülmüştür. Taramalı elektron mikroskopisi 2 cm kalınlıkta düzenli ve sıkı bir yapının oluştuğunu göstermiştir (Cao vd., 2019).

Yapılan diğerk bir çalışmada %82,7 nem içeriğine sahip önceden pişirilmiş silindir şeklindeki patates püresi ürünlerinin vurgulu mikrodalga ısıtma (pulsed microwave heating) uygulamasının optimizasyonu için bir simülasyon modeli kullanılmıştır. Deneysel değişkenler olarak örnek çapı (2,4, 2,8 ve 3,2 cm ya da mikrodolga radyasyonu penetrasyon derinliğinin 1,5, 1,75 ve 2 katı), mikrodalga çalışırken meydana gelen sıcaklık yükselmesi (20 ve 15  C), mikrodalga durdurulduğunda meydana gelen sıcaklık düşüşü (3 ve 5  C), toplam proses süresi (<1000 s) ve ortalama örnek sıcaklığı kullanılmıştır. Sonuçlar 2,4 ve 2,8 çapındaki örneklerin üniform ve etkin şekilde ısındığını göstermiştir. Mikrodalga çalışırken meydana gelen sıcaklık artışı değişkeninin optimum vurgulu mikrodalga ısıtma uygulaması için kritik olduğu ve 20  C'nin 15  C'den daha iyi bir seçim olduğu gözlemlenmiştir. Mikrodalga durdurulduğunda meydana gelen sıcaklık düşüşü değişkeninin toplam proses süresini büyük örneklerde küçük örneklere göre daha fazla etkilediği görülmüştür. Toplam proses süresinin mikrodalga çalışırken meydana gelen sıcaklık artışı, mikrodalga durdurulduğunda meydana gelen sıcaklık düşüşü ve örnek çapına göre değiştiği belirtilmiştir (Gunasekaran ve Yang, 2007).

#### **2.6.4. Frekans**

Mikrodalgaların frekansları gıda içerisine olan penetrasyon derinliğini çok büyük ölçüde etkilemektedir. Bu yüzden dalga boyu yükseldikçe (frekans azaldıkça) penetrasyon derinliği de artmaktadır. Ayrıca dielektrik kayıp faktörü de frekanstan önemli derecede etkilenmektedir (Chandrasekaran vd., 2013). Sulu özeltiler için daha düşük bir frekans daha düşük bir dielektrik kayba yol açmaktadır. Yine de çözeltilerde serbest iyonların bulunduğu durumlarda kayıp faktörü düşük frekanslarda daha yüksektir. Ayrıca yüzey ya da merkez ısınma durumları da frekanstan direkt olarak etkilenmektedir. Ürün yüzeyinin geometrik merkeze göre daha yüksek sıcaklıklara ulaştığı, 2,45 MHz frekansında çalışan mikrodalga fırınlarda genellikle sorun oluşmaktadır. Bu durumun tersi ise 915 MHz frekansında çalışan mikrodalgalarda görünse de merkezi ısınmayı etkileyen faktörler ürün şekli, boyutu ve tuz içeriğine göre değişmektedir (Heddleson ve Doores, 1994).

Radyo dalgaları ve mikrodalgalardan neredeyse hiç enerji absorplamayan bazı ekstrem materyaller haricinde çoğu materyalin dielektrik özellikleri uygulanan elektrik



alanların frekanslarına göre değişmektedir. Dipollerin uygulanan elektrik alana göre hizalanmaları, mikrodalga etkisinin neden frekansa bağlı olduğunu göstermektedir. Elektronik polarizasyon atomların elektronlarının atom çekirdeğine göre yer değiştirmesi ve atomik polarizasyon ise atom çekirdeklerinin birbirlerine göre yer değiştirmesidir. Bu iki tip polarizasyon “distorsiyon” ya da “deformasyon” olarak isimlendirilmiştir. Diğer bütün şartlar sabit tutulduğunda, dielektrik sabiti frekans arttıkça azalmakta ya da sabit kalmaktadır. Kayıp tanjantı yani dielektrik kaybı; frekans aralığı ve absorpsiyon prosesinin doğasına bağlı olarak frekansla birlikte değişmektedir. Frekans düşük değerlerden yükseldikçe polar moleküller elektrik alan yönündeki değişimi belli bir noktaya kadar takip edebilmekte ve frekans yükselmeye devam ettikçe dipol hareket değişen alana daha fazla ayak uyduramamaktadır. Bunun sonucu olarak dielektrik sabiti bu bölgede artan frekansla birlikte azalır. Daha yüksek frekanslarda dielektrik sabiti optik değer denem seviyeye yakın değerlere düşer ve kayıp faktörü de düşük bir değere iner (Icier ve Baysal, 2004).

Yapılan bir çalışmada dokuz taze meyve ve sebzedeki kesilen örnekler için, 10 MHz ile 1,8 GHz frekans aralığında, 5 ile 95 °C sıcaklık aralığında, dielektrik sabit ve kayıp faktörüne dayanan kompleks bağımlı geçirgenlik ölçülmüştür. Elma, avakado, muz, kantalop kavunu, havuç, salatalık, üzüm, portakal ve patates için elde edilen geçirgenlik verilerine göre dielektrik sabitlerinin 10 MHz frekansında birkaç yüzlü değerler ile 1,8 GHz frekansında 100’ün altındaki değerler arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Dielektrik sabitinin düşük frekanslarda sıcaklıkla birlikte artış gösterdiği ancak yüksek frekanslarda sıcaklık artışıyla düşüş gösterdiği görülmüştür. 10 MHz ile 100 MHz frekansları arasındaki bir noktada dielektrik sabitinin sıcaklığa bağımlılığının minimum olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktanın altındaki frekanslarda iyonik kondüksiyonun dielektrik davranışa çok büyük etki gösterdiği ancak bu noktanın üzerindeki frekanslarda dipolar gevşemenin dielektrik davranışı kontrol ettiği belirtilmiştir. Meyve ve sebze örneklerinin nem içerikleri, yoğunlukları ve suda çözünebilir kuru madde içerikleri de ölçülmüş ancak bu karakteristikler ile dielektrik özellikler arasında çok zayıf bir korelasyon gözlemlenmiştir (Nelson, 2003).

Yapılan başka bir çalışmada dielektrik özelliklerin frekans ve nem bağımlılığına ilişkisinin belirlenmesinde %8 ile %91 aralığındaki nem içerikleri analiz edilmiştir. Nem

içeriğinin belirlenen nem aralığında yüksek frekanslarda dielektrik sabiti ile doğrusal bir korelasyon içerisinde olduğu görülmüştür (McKeown vd., 2012).

### 2.6.5. Geometri

Eşit kalınlıktaki bir dikdörtgen plaka halindeki bir gıda düşünülürse ve eğer plaka kalınlığı hesaplanan penetrasyon derinliğine kıyasla daha yüksek ise, güç seviyesi içeriye doğru gittikçe azalarak önemsiz seviyelere inecektir. Burada durumun daha basite indirgenebilmesi amacıyla mikrodalga alanı ve gücünün gıda yüzeyinde eşit dağıldığı varsayılmıştır. Daha ince bir plaka için ise mikrodalgaların artan ve iki karşı yüzeye çarpan güç seviyeleri çakışacaktır. Yüzeyin çevresini kapsayan havadan gerçekleşen ısı transferi ve buharlaşmadan doğan soğuma dikkate alındığında, bu durum merkez bölümlerin yüzey bölgelerine göre daha hızlı ısınması ile sonuçlanabilir. Bir plaka için, materyal içerisine aktarılan dalgalar plakanın karşı yüzeyinden belli bir miktarda yansıtacaktır. Bu olay içeride kalan dalgaları yaratmaktadır. Dikdörtgen plakanın yüksekliği plakanın dikey kesitindeki ısı dağılımını da etkileyecektir (Wäppling-Raaholt ve Ohlsson, 2009).

Gıda materyallerinin mikrodalga ile ısıtılmasında örnek şeklinin etkisinin incelendiği bir araştırmada detaylı bir teorik analiz gerçekleştirilmiştir. Gıda materyalleri mikrodalga yayılma parametrelerine göre dört gruba ayrılmış ve her materyal grubunun ısınma dinamikleri dairesel ve kare şekillerinin yarı sonsuz silindirik şekillerini içeren bir temsil edici materyal için simule edilmiştir. Dairesel ve kare olarak iki şeklin seçilme amacının gıda materyallerindeki mikrodalga yayılma dinamiklerine kare örneklerde bulunan keskin köşelerin etkilerinin araştırılması olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışma ısıtılan materyallerde köşelerin bulunmasının, orta ve yüksek kalınlıktaki örnekler için boyutsal ısınma dinamiklerine belirgin etkileri olduğunu ve bu etkilerin mikrodalga kaynağının köşeye göre yerleşimine göre değiştiğini göstermiştir (Bhattacharya ve Basak, 2017).

### 2.6.6. Gıdanın Mikrodalga Fırın İçerisindeki Yerleşimi

Mikrodalga fırınların içinde oluşan dalgaların varyasyonları nedeniyle bir ürünün ısınma oranı fırın içerisindeki yerleşiminden etkilenmektedir. Metalik fırın duvarları mikrodalgaları, bütün mikrodalgalar gıda tarafından absorbe edilene kadar yansıtmaktadır. Bu yüzden ürünün hazne içerisindeki yerleşimi mikrodalgaların ürüne nasıl çarptığını, yansıdığını ve üründe nasıl absorbe edildiğini etkilemektedir. Mikrodalgaların eşit dağılmaması sorunu bir dalga karıştırıcı ile azaltılabilmekte ancak problem tamamen ortadan kaldırılamamaktadır (Krishnakumar, 2019).

### 2.6.7. Gıdanın Kompozisyonu

Gıda ürünlerinin dielektrik özelliklerini temel olarak kimyasal kompozisyonları ve çok daha küçük ölçüde ise fiziksel yapıları belirlemektedir. Gıda materyallerinin anizotropik doğaları da bu materyallerin dielektrik özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Gıdadaki tuz ya da kül içeriğinin mikrodalga üzerine etkisi büyük oranda diğer gıda bileşenlerine bağlılıkları ya da bu bileşenler tarafından hareketlerinin kısıtlanmasına göre değişmektedir. Isınma karakteristikleri ayrıca partikül boyutu, homojenite ve dağılıma göre değişmektedir (Icier ve Baysal, 2004).

Yapılan bir çalışmada eşit yoğunluktaki 915 MHz'lik düzlem dalgaları ile üstten ve alttan ısıtılan bir dikdörtgen dielektrik levhadaki elektromanyetik güç dağılımının öngörülmesi amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiştir. Kayıp faktörü, dielektrik sabit ve gıda kalınlığının kombinasyonu olan birimsiz bir parametre önerilmiştir (J-T numarası). Bu özgün parametre; gıdanın dielektrik özellikleri, kalınlık, ürün sıcaklığı ve termal letalite arasındaki ilişkiye doğrudan bir öngörü sağlamaktadır. Doğrulama testleri için %0-2 tuz içeriklerine sahip patates püresi, bezelye ve pirinç örnekleri pilot ölçekli bir mikrodalga destekli termal sterilizasyon sisteminde işlenmiştir. Her örnekte 100-121 °C sıcaklıkta, 1,8-2,2 J-T numaralarını veren dielektrik özellikler ve kalınlık kombinasyonu en yüksek letaliteyi sağlamıştır. Çalışmada mikrodalga destekli termal sterilizasyonun gıda endüstrisine adapte edilen yeni bir ticari teknoloji olduğu ve çalışmada bahsedilen model

kullanılarak gıda özellikleri ve letalitelerin kombine etkisinin kalitatif olarak değerlendirilmesinin mikrodalga destekli termal sistemlerin geliştirilmesinde faydalı olacağı belirtilmiştir (Jain vd., 2019).

### 2.6.8. Sıcaklık

Dielektrik özelliğine etki eden diğer bir faktör olan sıcaklık, farklı frekans değerlerinde, çeşitli gıda bileşenlerinde değişkenlik göstermektedir. Dielektrik kaybının, sıcaklığa bağlı olarak değişmesindeki faktör ürünün doğasıdır. Mikrodalga neticesinde istenilen sıcaklık derecesine ulaşılması için, örneğin başlangıç sıcaklığının da bilinmesi gerekmektedir (Konak vd., 2009).

Yapılan bir çalışmada yeşil Hindistan cevizi suyunun sürekli mikrodalga prosesi göz önüne alınarak 0-90 °C sıcaklık ve 500-3000 MHz frekans aralığındaki dielektrik özellikleri ve iletkenliği açık uçlu koaksiyal prob tekniği ile belirlenmiştir. Ayrıca bileşen katkıları ve interaksiyonlarının değerlendirilmesi amacıyla yeşil Hindistan cevizi suyundaki şeker ve tuzlar ile oluşturulan simülasyon çözeltileri de incelenmiştir. Mikrodalga ile ısıtmada, 915 MHz frekansında iyonik kondüksiyonun önemli bir rol oynadığı; 2450 MHz frekansında iyonik ve dipolar mekanizmalar arasında bir denge gözlemlendiği ve bunların sıcaklığa göre değiştiği belirtilmiştir. Şeker içeriğinin polarizasyon veya kayıp üzerinde güçsüz bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Sıcaklık arttıkça dielektrik özellikler ve güç penetrasyon derinliğinde meydana gelen değişimlerin takip edilebilmesinin mümkün olduğu ve korelasyonların sıcaklık bağımlılık modeline uyum sağladığı (ya da modeline göre ayarlandığı) belirtilmiştir (Franco vd., 2015).

Yapılan diğer bir çalışmada farklı şekillerde oluşturulan surimi ürünlerinin üretimi için mikrodalga destekli pastörizasyon sistemlerinin potansiyeli incelenmiştir. Mikrodalga destekli pastörizasyon işlemi öncesinde ısıtma hızının surimi jellerinin tekstürel özelliklerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla surimi hamurları 3 °C/dakika ve 24 °C/dakika ile ısıtılarak sistematik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Düşük ısıtma hızında (3 °C/dakika) jel oluşumu meydana gelmemiştir. Daha dayanıklı jellere daha yüksek ısıtma hızlarında

ulaşmıştır. Surimi hamurlarının mikrodalga ile ısıtılmasındaki ısınma paterni %2 tuz ve %40 sükröz eklenerek dielektrik özellikleri ayarlanan bir gellan jel model gıda kullanılarak belirlenmiştir. Mikrodalga destekli pastörizasyon sistemi ile işlenen surimi jellerinin kırılma kuvvetleri ve penetrasyon derinliklerinin su banyosu yöntemine göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Wang vd., 2019).

### 2.6.9. Güç

Bir materyalin ısınma oranı bu materyale giriş yapan mikrodalga gücü tarafından kontrol edilmektedir. Belirli bir başlangıç sıcaklığına sahip materyalin istenilen son sıcaklık değerine ulaşması için gerekli olan güç seviyesi o materyalin özelliklerine göre hesaplanmaktadır. Daha sonra güç seviyesi ve bu gücün verimliliği çeşitli testler ile doğrulanmaktadır. Materyallerin sıcaklığı; güç seviyesi ve bant hızının hassas kontrolü ile ayarlanmaktadır. Yapılacak uygulama için mikrodalga ısıtmanın teknik fizibilitesi belirlendikten sonra çeşitli ekonomik faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir (Shah, 2018).

Mikrodalga gücü mikrodalga ısıtma oranını önemli derecede etkileyen bir faktördür. Yüksek değerde bir güç uygulandığında ısıtılan materyalin sıcaklık artışının da yüksek oranda olması beklenir. Isıtmada kullanılan mikrodalga gücü ile sıcaklık artışı aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir (Houšová ve Hoke, 2018):

$$\Delta T = P \times t / V \times cp \times \rho \quad (2.1)$$

Burada  $\Delta T$  ısıtılan materyalin sıcaklık artış ortalamasını (K), P ısıtma için kullanılan mikrodalga gücünü (W), V hacmi ( $m^3$ ), cp ısı kapasitesini (J/kg.K),  $\rho$  yoğunluğu ( $kg/m^3$ ) ve t ısıtma süresini (s) ifade etmektedir. Mikrodalga fırın üreticileri, güç değerini mikrodalga frekansı, fırın haznesinin hacim ve boyutlarını fırının özellikleri ile beraber vermektedir. Günümüzdeki ev tipi mikrodalga fırınların güç çıkışı değerleri 600 ile 1000 watt arasında değişmektedir (Houšová ve Hoke, 2018).

Bir gıdanın bir noktasındaki sıcaklık artış oranı o noktaya giriş yapan enerji oranı ve gıdanın o noktasının termal özelliklerine göre değişmektedir. Mikrodalga fırın içinde bir gıdanın bulunması ya da bulunmaması, bulunuyorsa bu gıdanın dielektrik özellikleri iletilen mikrodalga enerjisini değiştirmektedir ve bu da mikrodalga fırını geleneksel fırından ayıran bir özelliktir (James vd., 2017).

Mikrodalga ile ısıtmayı en çok etkileyen parametreler fırın için magnetron (dizaynı) ve haznenin boyutları (hacim), ısıtılan materyal için ise bu materyalin hacmi ve dielektrik özellikleridir. Isıtılan materyalde absorplanan mikrodalga gücünü etkileyen en önemli faktörler ise materyalin sıcaklığı (materyalin dielektrik özelliklerini etkilemektedir), materyalin geometrisi, materyalin ambalajı ya da materyalin ısıtılması için kullanılan kabın özellikleri (sıcaklık, ısı kapasitesi), materyalin hazne içerisindeki pozisyonu (az miktardaki materyaller için özellikle önemlidir), hazne duvarlarının üretildiği materyal (elektriksel iletkenlik) ve besleme sistemidir (Houšová ve Hoke, 2018).

#### **2.6.10. Şekil**

Gıdalara yapılan mikrodalga ile ısıtma uygulamalarında gıdanın geometrisi yani şekli ısıtma yapılan gıdanın homojen olarak ısıtılması için oldukça önemlidir. Isıtılan ürünün şekli ince kenarlara ve keskin köşelere sahipse bu bölgeler diğerlerinden daha fazla ısınacaktır ve bu durum da genellikle istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Küre homojen bir ısıtmanın sağlanabilmesi için en uygun şekildir ve bu konuda küreyi silindir izlemektedir (Konak vd., 2009).

#### **2.6.11. Fırına yerleştirilen gıdanın boyutu**

Hazır yemeklerin ağırlıkları genellikle 200 gram ile 400 gram arasında değiştiğinden, yapılan bir çalışmada 420 gram ve 250 gram ağırlığındaki su yüklerine iletilen güç miktarı ölçülmüş ve standart 1 kilogramlık yükler ile karşılaştırılmıştır. Test edilen bütün fırınlarda su miktarı azaltıldıkça güç çıkışının da azaldığı, test edilen 5 fırından 3'ünde yük 1 kilogramdan 420 grama düşürüldüğünde güç çıkışında 20 Watt'lık küçük bir değişiklik

meydana gelmiş, diğer iki fırında ise bu değişikliğin daha yüksek olduğu görülmüştür. Yük 1 kilogramdan 250 grama düşürüldüğünde ise güç kaybı 64 ile 263 Watt arasında değişen daha önemli derecelerde seyretmiştir. Yüzde olarak ise yük 1 kilogramdan 420 grama düşürüldüğünde güç çıkışında %0,1 ile %9,7 arasında, yük 1 kilogramdan 250 grama düşürüldüğünde %11,1 ile %30,8 azalma gözlenmiştir. Küçük yükler daha az miktarlarda mikrodalga enerjisi absorbe etmektedir ve bu enerji miktarı 1 litreden daha büyük yüklerde maksimuma ulaşmaktadır (James vd., 2017).

### **2.6.12. Mikrodalga Fırının Tekrarlı Kullanımı**

Güç testleri soğuk mikrodalga fırınlarda (örneğin son 6 saatte hiç kullanılmamış) gerçekleştirilmektedir. Ev tipi ve ticari mikrodalga uygulamalarında fırınlar tekrar tekrar kullanılmakta ve bu da fırın ve parçalarının ısınmasına sebep olmaktadır. Mikrodalga fırınların sürekli ya da tekrar tekrar kullanılmasının güç çıkışını yavaş yavaş azalttığı bilinmektedir. Bu düşüşler %20'ye kadar çıkabilmektedir. Mikrodalga fırın testlerinde kullanılan ön ısıtma aşaması bir litre suyun, tam güçte, mikrodalgada kullanılabilir bir kap içerisinde, 10 dakika boyunca ısıtılması ve daha sonra suyun çıkarılarak mikrodalga fırının kapağı açık şekilde en az 15 dakika ya da döner tabla sıcaklığının 27 °C altına düşünceye kadar soğutulmasını kapsamaktadır (James vd., 2017).

Schiffmann, (2013) tarafından yapılan bir çalışmada 8 adet fırında 10 dakikalık bir ön ısıtma sonrasında ortalama %8 ile %22 arasında güç düşüşü meydana geldiği belirtilmiştir. James ve diğerleri, (1994) tarafından yapılan diğer bir çalışmada kullanılan 5 fırında fırın ısındıkça su yüküne iletilen güç azalmış ve yarım saat sonrasında meydana gelen düşüşün büyüklüğü 35 ile 167 watt arasında, yüzde olarak ise %6-20 aralığında değişiklik göstermiştir. Ancak materyal tarafından kazanılan ısının bir bölümü geleneksel ısı transferiyle kazanıldığı için yapılan ölçümler tam olarak gerçeği yansıtmamaktadır. Isının suya, sıcak hazne duvarlarından kondüksiyon ve radyasyon ile ve sıcak havadan da konveksiyon ile transferi gerçekleşmiştir. Mikrodalga kaynağı çalıştırılmadan gerçekleştirilen ayrı testlerde ısı girişi 67 ile 118 watt arasında değişen ısı gücü olarak hesaplanmıştır. Bu yüzden fırın ısınması nedeniyle meydana gelen gerçek mikrodalga gücü düşüşü %20 ile %35 arasında değişmektedir. Fakat yapılan bütün çalışmalar ön ısıtmanın

ölçülen güçte önemli etkilere sahip olduğunu göstermemektedir. 8 mikrodalga fırın ile yapılan bir çalışmada üç fırında gücün sadece %01, ile %4,8 arasında düşüşler yaşandığı, diğer 5 fırında ise güçte %1 ile %3,4 aralığında artışlar meydana geldiği belirtilmiştir (James vd., 2017).

### **2.6.13. Mikrodalga ile Isıtma ve Geleneksel Isıtma**

Mikrodalga ısıtma alternatif elektromanyetik alan enerjisinin materyaldeki polar molekülleri etkileyerek ısı enerjisine dönüşmesinden ileri gelmektedir. Mikrodalga ısıtmanın en önemli özelliği hacimsel ısıtmadır. Geleneksel ısıtma konveksiyon ve ısının materyale yüzeyden nüfuz ettiği kondüksiyon ile gerçekleşmektedir. Hacimsel ısıtma materyallerin mikrodalga enerjisini direkt olarak ve içeriden absorbe etmesi ve ısıya dönüştürmesi anlamına gelmektedir. Mikrodalga ile ısıtmada ısı materyalin her tarafında üretilir ve bu da ısının genellikle yüzeyden içe transfer edildiği geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla daha hızlı ısıtma oranlarına ulaşılmasını sağlar (Vadivambal ve Jayas, 2007).

Mikrodalga prosesleri sonucunda gıda ürünlerinin bileşimindeki değişimler kalitenin ölçümü için temel göstergedir. Enzimler, iz elementler, proteinler ve gıdalardaki diğer bileşenler sıcaklığa duyarlıdır ve proses sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar gıda yapısını bozabilmekte ve hatta gıda kalitesini ciddi derecede etkileyen zararlı maddelerin oluşmasına neden olabilmektedir (Zhang vd., 2018). Gıda ürünlerinde sıcaklığın eşit dağılmaması sıcak ve soğuk noktaların oluşmasına neden olmaktadır. Sıcak noktaların meydana geldiği bölgelerde sıcaklık gıda bileşenlerine hasar verecek kadar yüksek derecelerde olabilirken; soğuk noktaların bulunduğu bölgelerde ise gıda bozulma risklerinin artmasına sebep olan mikroorganizmaların inhibisyonu için gerekli sıcaklıklara ulaşılmasında başarısız olunabilmektedir. Bu yüzden sıcak noktalar da soğuk noktalar da genel gıda kalitesi için dezavantaj oluşturmaktadır (Chandrasekaran vd., 2013). Ayrıca tek tip homojen materyal ya da sentetik bir materyale kıyasla gıda ürünleri kompleks yapıda ve anizotropik olduğundan elektromanyetik dalgalar ile gıda materyalleri arasındaki etkileşim prosesler sırasında daha az uniform hale gelmekte ve bu da sıcaklığın eşit dağılmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle gıdalara uygulanan mikrodalga proseslerinde sıcaklığın eşit dağılımı üzerine çalışılması oldukça önemlidir (Zhang vd., 2018).



## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyaller

Çalışmada Denizli’de hasat edilmiş ‘Hicaznar’ (*Punica granatum L.*) çeşidi narlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan meyveler seçilirken; çürüme ve çatlama gibi hasarların bulunduğu ve görünüş olarak uygun olmayan meyveler ayrılmış; boyut ve olgunluk seviyesi birbirine yakın olan meyveler seçilmiştir. Seçilen meyveler ortalama 500 g ağırlığındadır. Çalışmada ambalaj kabı olarak polipropilen kaplar (144 × 190 × 50 mm) kullanılmış ve kaplar biaksiyel dizilimli polipropilen film ile kapatılmıştır.

#### 3.2. Tanelerin Ayrılması

Taneleme işleminde; meyve kabukları bıçaklar kullanılarak kesilmiş ve tanelere zarar vermemeye dikkat edilerek el ile taneler ayrılmıştır. Bu işlem boyunca herhangi bir kontaminasyonun meydana gelmemesine dikkat edilmiş, kullanılan bıçaklar ve kaplar kullanılmadan önce sterilize edilmiştir. Taneleme işlemi sonrasında narlar mikrodalga uygulamasına kadar steril saklama kaplarına konularak buzdolabında muhafaza edilmiştir.

#### 3.3. Mikrodalga Uygulaması

Mikrodalga uygulaması öncesinde tanelenmiş narlar, örneklerde homojenliğin sağlanması amacıyla büyük bir tepsiye alınarak karıştırılmıştır. Daha sonra mikrodalga işleminde kullanılacak olan yuvarlak cam kaba tanelenmiş narlar her seferinde 500’er gram tartılmış ve kaba eşit şekilde yayılmıştır. Uygulamalarda MS2595CIS (LG, Güney Kore) smart inverter teknolojili mikrodalga fırın kullanılmıştır. Uygulamalar; 200, 400, 600, 800 ve 1000 watt mikrodalga güçlerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama sırasında mikrodalga fırında biriken ısıнын uzaklaştırılması ve cihazın dinlendirilmesi amacıyla uygulamalar 10’ar dakika ara ile yapılmıştır. Daha sonra uygulama yapılan tanelenmiş narlar ambalajlama öncesinde oda sıcaklığına getirilmesi amacıyla steril bir kaptan toplanmış ve bekletilmiştir.

### **3.4. Ambalajlama ve Depolama**

Oda sıcaklığına soğutulan narlar PP kaplara konulmuş ve MAP-25 (APACK, Türkiye) ambalajlama makinesi kullanılarak hava atmosferinde BOPP (biaxially oriented polypropylene) ambalaj filmi ile kapatılmıştır. Hazırlanan örnekler 5 °C sıcaklık ve %90 bağıl nem şartlarında depolanmak üzere ticari bir soğuk hava deposuna konulmuştur. Depolama sürecinde yapılan analizler için belli periyotlar ile her örnek grubundan ambalajlar depodan çıkarılarak çalışmalar yürütülmüştür.

### **3.5. Analizler**

#### **3.5.1. Ambalaj İçerisindeki Gaz Kompozisyonu**

Yapılacak olan diğer analizler için ambalajlar açılmadan önce Map-Pak Combi gaz analiz cihazı (AGC Instruments, İrlanda) kullanılarak ambalaj içerisindeki hava boşluğunun gaz kompozisyonu oksijen ve karbondioksit oranları şeklinde ölçülmüştür. Gaz kompozisyonu analizi ambalaj filminin üzerine hava geçirmez bir yapışkan septum yapıştırılıp bu septuma analiz cihazının iğnesinin batırılması ve cihaza 15 mL gaz örneği çektilerle gerçekleştirilmiştir. Analiz günlerinde; her ambalajın iki farklı bölgesinden ikişer ölçüm olmak üzere ve ortalamaları alınarak sonuçlar % oksijen ve % karbondioksit olarak verilmiştir (Ayhan ve Eştürk, 2009).

#### **3.5.2. Ağırlık Kaybı**

Depolama sürecinde ambalajlanmış tanelenmiş nar örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıplarının belirlenmesi amacıyla, örnekler ambalajlandıktan hemen sonra ve ambalaj açılıncaya kadar geçen süreçte terazi ile tartılarak ağırlıklar kaydedilmiştir. Ağırlık kayıpları aşağıdaki formül ile hesaplanarak sonuçlar % ağırlık kaybı olarak verilmiştir (Belay vd., 2018).

$$W_L(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.1)$$

$W_1$  : ilk ağırlık (g)

$W_2$  : son ağırlık (g)

$W_L$  : % ağırlık kaybı

### 3.5.3. Renk Analizi

Renk analizleri 3NH NR20XE (Shenzhen Threenh Technology Co., Ltd., Çin) renk analiz cihazı kullanılarak CIE L\*, a\*, b\* skalasında gerçekleştirilmiştir. L\* değeri parlaklığı, a\* değeri yeşil (-) ile kırmızı (+) aralığını ve b\* değeri de mavi (-) ile sarı (+) aralığını ifade etmektedir. Renk analiz cihazı ölçümlerden önce kendi beyaz plakası ile kalibre edilmiştir. Örneklerin renk değerleri L\* ve a\* parametreleri bakımından yorumlanmıştır (Dokhanieh vd., 2016).

### 3.5.4. Tekstür Analizi

Tekstür analizleri (Kapetanakou vd., 2015) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında 60 mm/dk hız ve 10 mm penetrasyon mesafesi parametreleri kullanılarak maksimum kuvvet (N) ölçülmüş ve sertlik olarak belirtilmiştir. Tekstür analizlerinde TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) tekstür analiz cihazı kullanılmıştır.

### 3.5.5. Suda Çözünür Kuru Madde

Tanelenmiş narlar meyve presi yardımı ile sıkılıp, tülbent bezi ile süzölmüş ve elde edilen meyve suyundan direkt olarak suda çözünür toplam kuru madde ölçümleri yapılmıştır (Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020). Ölçüm sırasında Atago (Japonya) dijital el

refraktometresi kullanılmış ve ölçümden önce cihaz saf suyla sıfırlanmıştır. Sonuçlar °Briks olarak verilmiştir.

### 3.5.6. pH ve Titrasyon Asitliği

Sıkılan narlardan elde edilen meyve sularının pH'ı, (Mettler Toledo Seven Compact pH/Ion S220, Mettler-Toledo, İsviçre) pH metre kullanılarak yapılmıştır. Titrasyon asitliğinde ise seyreltilen nar suları 0,1 N NaOH ile 8,2 pH derecesine titre edilerek potansiyometrik olarak belirlenmiştir. Sonuçlar % sitrik asit olarak belirtilmiştir (Adiletta vd., 2019).

### 3.5.7. Elektrolit Sızıntısı

Tanelenmiş nar örneklerinin elektrolit sızıntı ölçümü için Colgecen ve Aday, (2015) tarafından belirtilen metot kullanılmıştır. 5 g tanelenmiş nar örneği tartılarak üzerine 90 mL deiyonize su eklenmiş ve inkübasyon için 25 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Bu çözeltinin elektrik iletkenliği 1. (C<sub>1</sub>) ve 60. Dakikada (C<sub>60</sub>) ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra aynı çözelti 121 °C sıcaklıkta 15 dakika otoklavlanmış ve toplam elektrolit ölçümü (C<sub>T</sub>) yapılmıştır. Örneklerin elektrolit sızıntı yüzdeleri (E) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{C_{60}-C_1}{C_T} \times 100 \quad (3.2)$$

### 3.5.8. Toplam Fenol Analizi

Tanelenmiş narlar sıkılarak elde edilen meyve suyundaki toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu metodu (Singleton ve Rossi, 1965) kullanılarak belirlenmiştir. Tanelenmiş narlar sıkılıp süzildükten sonra elde edilen meyve suyundan örnekler alınarak, gerekli kimyasallar eklenmiş ve inkübasyon için ışık almayan bir ortamda 2 saat süre ile

bekletilmiş daha sonra spektrofotometrede (Thermo Scientific, Multiskan Spectrophotometer, ABD) 765 nm dalga boyunda absorbans miktarları ölçülmüştür. Analizde gallik asit standart çözeltileri kullanılarak standart grafiği elde edilmiştir. Tanelenmiş narlardan elde edilen meyve suyundaki toplam fenolik madde miktarı mg GAE/L olarak verilmiştir.

### **3.5.9. Monomerik Antosiyanin Analizi**

Tanelenmiş nar örneklerinden sıkılarak elde edilen meyve suyundaki toplam monomerik antosiyanin miktarı Giusti ve Wrolstad, (2001)'in yayımladığı metot kullanılarak belirlenmiştir. Örnekler önceden hazırlanan buffer çözeltileri (pH 1 ve pH 4,5) ile tamamlanmıştır. Daha sonra spektrofotometre (Thermo Scientific, Multiskan Spectrophotometer, ABD) ile 520 ve 700 nm dalga boylarında absorbans değerleri ölçülerek analiz gerçekleştirilmiştir. Tanelenmiş narlardan elde edilen meyve suyundaki toplam monomerik antosiyanin miktarı mg siyanidin 3-glukozit/L olarak verilmiştir.

### **3.5.10. Mikrobiyolojik Analizler**

Toplam canlı sayımında Plate Count Agar içeren petriler kullanılmış ve daha sonra dökme plak yöntemine göre analiz gerçekleştirilmiştir. İnkübasyonda petriler 24 saat süresinde 37°C'de bekletilmiş ve daha sonra oluşan koloniler sayılmıştır (AOAC, 2000). Maya ve küf sayımının belirlenmesinde de dökme plak yöntemi kullanılmış olup, Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol besiyeri içeren petriler 25°C'de 5 gün (AOAC, 2000) bekletilmiştir.

### **3.5.11. Duyusal Değerlendirmeler**

Duyusal değerlendirmeler bir panel tarafından sertlik, görünüş ve lezzet parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Örnek grupları karışık bir şekilde numaralandırılarak panelistlere sunulmuş, panelistlere hangi örneğin hangi gruba ait olduğu bildirilmeyerek

objektif bir değerlendirmenin sağlanması amaçlanmıştır. Duyusal değerlendirmelerde 5 puanlık bir skala kullanılmıştır. Bu skalada 1 puan en kötü, 5 puan ise en iyi sonucu temsil etmektedir (zdemir ve Gökmen, 2017).

### **3.5.12. İstatistiksel Analiz**

Farklı uygulamaların farklı depolama srelerindeki kalite özelliklerinin karşılaştırılmasında ANOVA dizaynı kullanılmıştır. Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde ise çoklu karşılaştırma testinden yararlanılmıştır. Analizler SAS JMP programıyla gerçekleştirilmiştir.

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

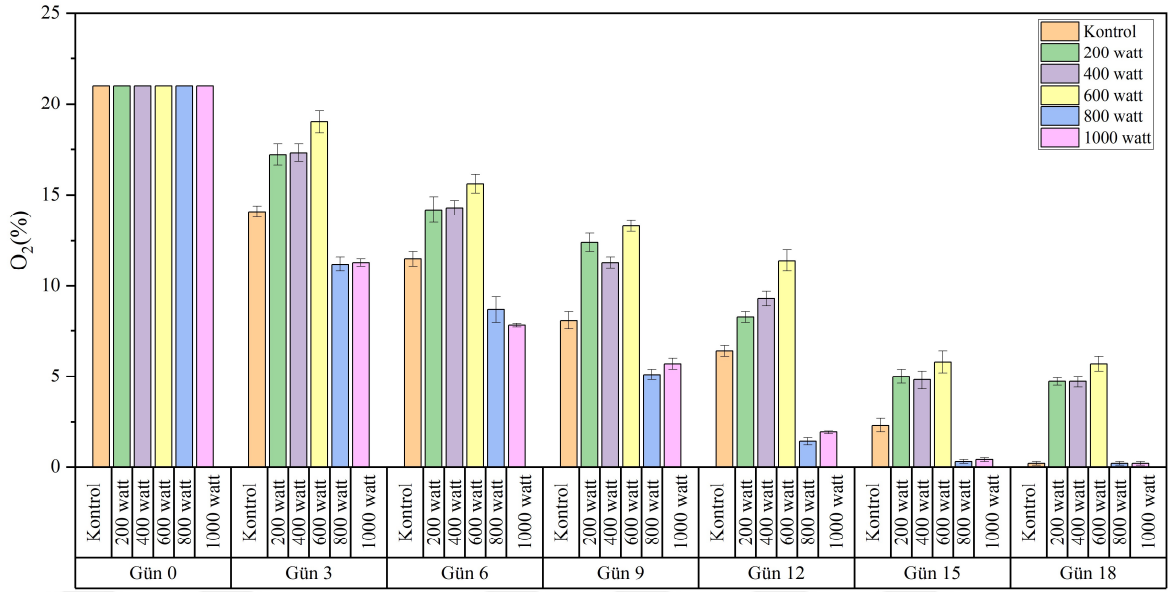
### **ARAŞTIRMA BULGULARI**

Bu çalışmada narın kalite kriterlerinin depolama süresince uygulamalar neticesinde nasıl değiştiği çeşitli analizler gerçekleştirilerek karşılaştırılmıştır.

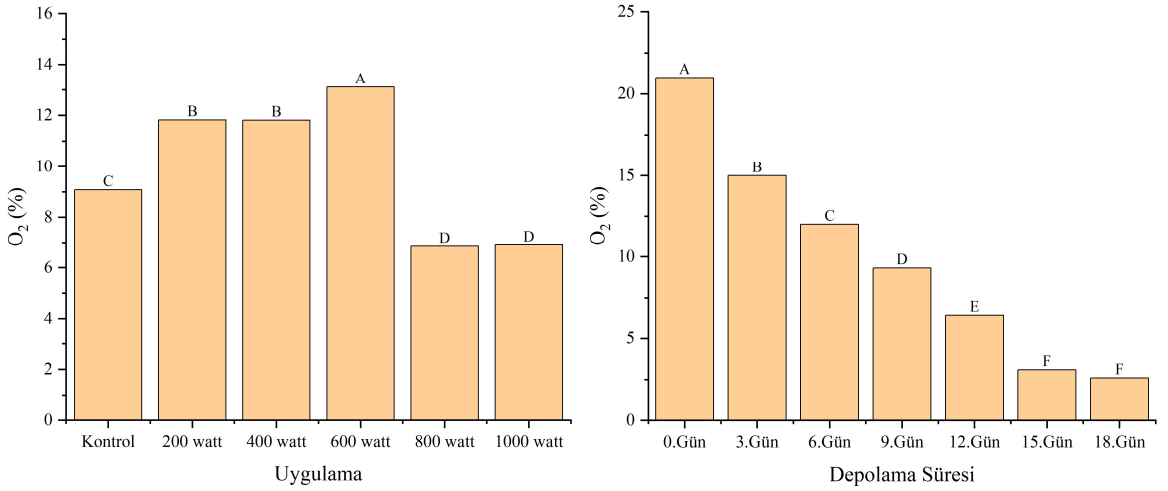
#### **4.1. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Ambalajı İçerisindeki Gaz Kompozisyonuna Etkisi**

Taze ve taze kesilmiş ambalajlı meyvelerin ambalaj içerisindeki gaz kompozisyonu meyvenin solunum oranı, ambalajın gaz geçirgenlik özellikleri ve depolama sıcaklığı gibi çeşitli faktörlerden direkt veya indirekt olarak etkilenmektedir (Yousuf ve Srivastava, 2017). Tanelenmiş narların solunum oranları da ortam atmosferindeki O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarıyla beraber değişmektedir (Gunes vd., 2010). Pasif modifiye atmosfer ambalajlamanın minimal işlenmiş tanelenmiş narların raf ömürlerinin arttırılması konusunda etkin olması için doğru ambalaj filminin seçilmesi ve bu şekilde hem ambalaj içerisindeki yoğunlaşmanın engellenerek nem kayıplarının önüne geçilebilmesi hem de istenilen gaz kompozisyonunun yaratılması gerekmektedir (Adiletta vd., 2019).

Yaptığımız çalışmada ambalaj içerisindeki gaz kompozisyonunda depolama süresi arttıkça O<sub>2</sub> oranı azalmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3). Tanelenmiş narların depolanması ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar görülmektedir (López-Rubira vd., 2005; Maghoumi vd., 2013a; Martínez-Romero vd., 2013; Yousuf ve Srivastava, 2017). Nar tanelerine 600W uygulandığında, O<sub>2</sub> tüketimi en düşük seviyede gerçekleşirken, CO<sub>2</sub> üretimi de bunla ilişkili olarak en az seviyede meydana gelmiştir. En fazla O<sub>2</sub> tüketimi ise 800W ve 1000W uygulamalarında görülmüş olup, bu uygulamalardaki yüksek güç değerlerinin meyveye zarar vererek, solunum hızını arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 2. Ambalaj içerisindeki O<sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



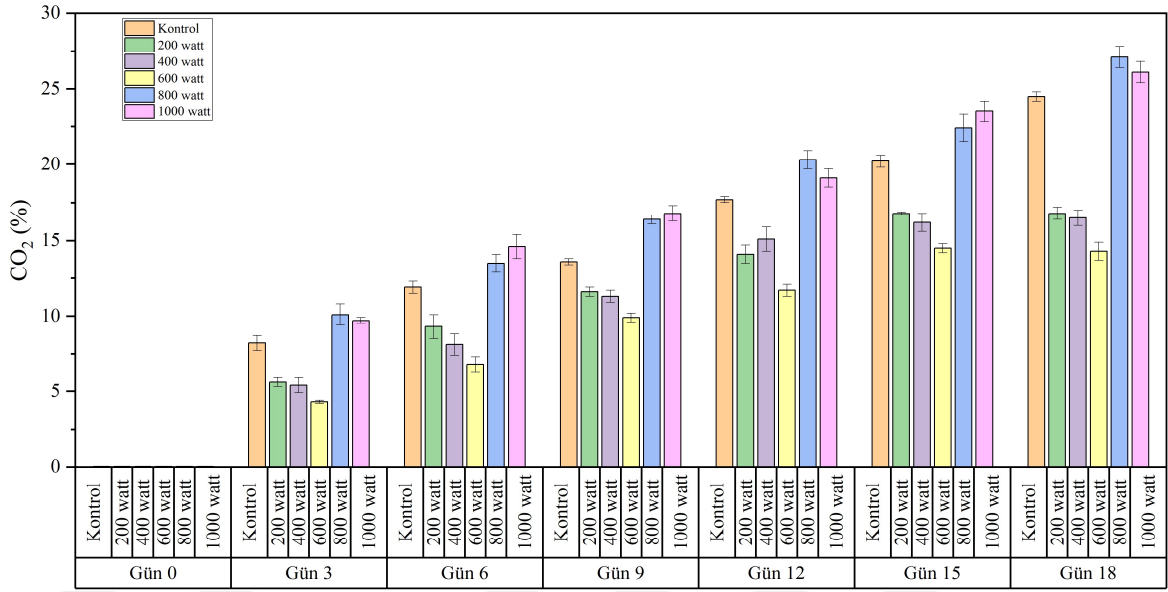
Şekil 3. Ambalaj içerisindeki O<sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

O'Grady vd., (2014) tarafından yapılan çalışmada da 14 günlük depolama sürecinde O<sub>2</sub> konsantrasyonu azalırken CO<sub>2</sub> konsantrasyonu artmış, ambalaj tipi gaz kompozisyonunu etkilerken nar çeşidinin önemli bir etki göstermediği, farklı ambalaj tiplerinde varyasyon gösteren gaz kompozisyonlarının ambalajlanan tanelenmiş narların kütle/hacim oranları nedeniyle meydana gelmiş olabileceği belirtilmiştir. O<sub>2</sub> oranının %2'lik bir fermantatif eşik

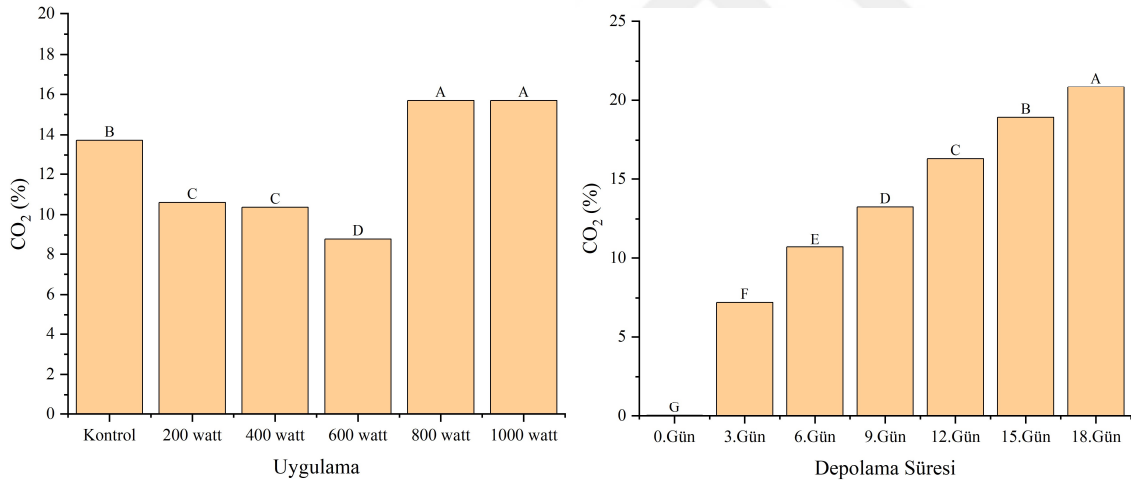


değeri altına indiğinde anaerobik solumu tetikleyebileceği bunun da istenmeyen tat ve kokuların üretimi ile sonuçlanabileceği belirtilmiştir (Caleb vd., 2013a). O<sub>2</sub> oranının depolama sonunda %1 altına düştüğü gruplar, kontrol, 800W ve 1000 W uygulamaları olduğundan, anaerobik reaksiyonların başlaması ve bgunun neticesinde istenmeyen tat ve kokuların oluşması muhtemeldir.

Çalışmamızda ambalaj içerisindeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun en fazla olduğu örnekler 1000W ve 800 W olurken, bu grupları kontrol takip etmekte, en az seviye ise 600 W uygulamasında görülmektedir (Şekil 4 ve Şekil 5). Sonuçlara göre yüksek mikrodalga güç seviyelerinin, üründe solunumu artırarak raf ömrünü azalttığı düşünülmektedir. Her ne kadar CO<sub>2</sub> düşük sıcaklıklarda yüksek derecelerde çözünebilmekte ve karbonik asit oluşturarak taze kesilmiş ürünlerin dokularında bakteriostatik etki gösterebilse de karbonik asit birikimi minimal işlenmiş ürünlerin duysal özelliklerinde değişikliklere neden olabilmektedir (Banda vd., 2015). Caleb vd., (2013b) de 5 °C sıcaklıkta depolanan tanelenmiş narların ambalaj içerisindeki gaz kompozisyonunun depolama sonunda %4,8 O<sub>2</sub>, %27,8 CO<sub>2</sub> seviyesine ulaştığını; CO<sub>2</sub> seviyesindeki hızlı artışın ürünün raf ömrünün sonunun bir göstergesi olabileceğini ve ambalaj içerisindeki CO<sub>2</sub> birikmesinin önüne geçilebilmesi için CO<sub>2</sub> geçirgenliği daha yüksek olan bir polimerik ambalaj filmi kullanılabileceğini belirtmiştir. Mikrodalğanın etkisine benzer olarak Maghoumi vd., (2013b) tarafından yapılan çalışmada tanelenmiş narlara uygulanan ısı işleminin ambalaj içerisindeki oksijen oranının azalıp karbondioksit oranının arttığı gözlemlenmiştir. Depolamanın sonuna doğru solunum oranında görülen artışın ambalaj içerisindeki mikrobiyal gelişimden kaynaklı olabileceği belirtilmiştir.



Şekil 4. Ambalaj içerisindeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 5. Ambalaj içerisindeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

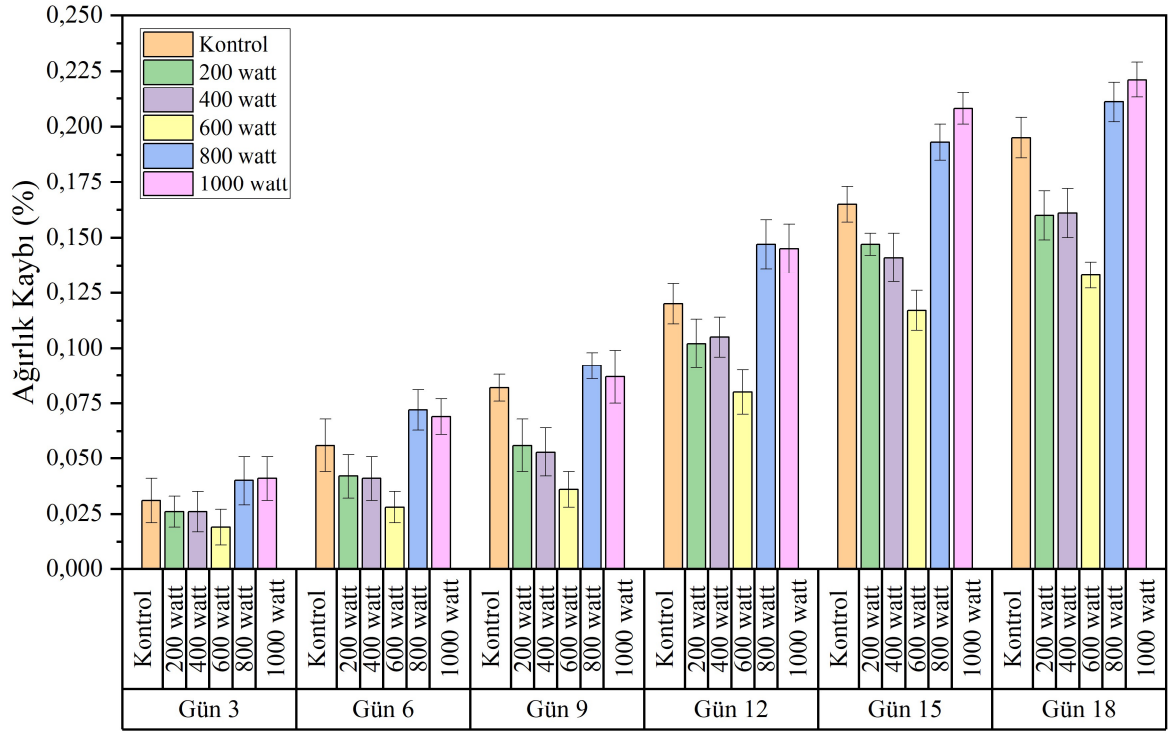
Yapılan diğer çalışmada (Hong vd., 2007) satsuma mandalinalarına farklı sıcaklık ve sürelerde sıcak suya batırma uygulaması yapılmış ve 5 °C sıcaklıktaki 3 haftalık depolama sırasında kapalı bir sistem kullanılarak örnek gruplarının solunum oranları ve gaz kompozisyonları belirlenmiştir. Isı uygulaması yapılan örneklerin solunum oranlarının uygulama sonrasında kontrol örneklerine kıyasla önemli derecede daha yüksek olduğu ve

uygulama sıcaklıklarından bağımsız olarak uygulama süresi arttıkça yükseldiği görülmüştür. Meyvelere yapılan ısı uygulamalarının artan sıcaklıklarda metabolik prosesleri aktive ederek solunumu arttırabildiği belirtilmiştir. Bu sonuç çalışmamızda, 800W ve 1000W uygulamalarının kontrol uygulamasına göre solunumunun fazla olduğunu açıklayabilmektedir. Nektarin ve şeftalilere sıcak su uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada sıcak su uygulaması yapılan şeftali örneklerinin gaz kompozisyonlarında depolamanın birinci haftasında kontrol örneklerine kıyasla bir fark oluşmadığı ancak iki haftalık depolama sonrasında kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek oksijen ve daha düşük karbondioksit oranlarına sahip olduğu görülmüş, bunun nedeninin sıcak su uygulamasının meyvenin ambalaj içerisinde olgunlaşmasını engellemesi olabileceği belirtilmiştir (Malakou ve Nanos, 2005). Mangolar üzerinde yapılan bir çalışmada bütün haldeki mangolara yapılan sıcak suya batırma uygulamasının oksijen tüketim oranını azalttığı ancak karbondioksit üretim oranını etkilemediği, oksijen tüketim oranında meydana gelen bu düşüşün yapılan ısı uygulamasının genel etkisinin bir indikatörü olarak kullanılabileceği ve bu uygulamanın yapıldığı bütün haldeki mangolardan işlenen taze kesim mangoların raf ömrünü arttırabileceği belirtilmiştir (Djioua vd., 2009). Bu sonuç, nar tanelerindeki 200W, 400W ve 600 W uygulamalarının oksijen tüketiminin kontrol grununa göre daha az çıkmasına ilişkin değerle benzerlik göstermektedir.

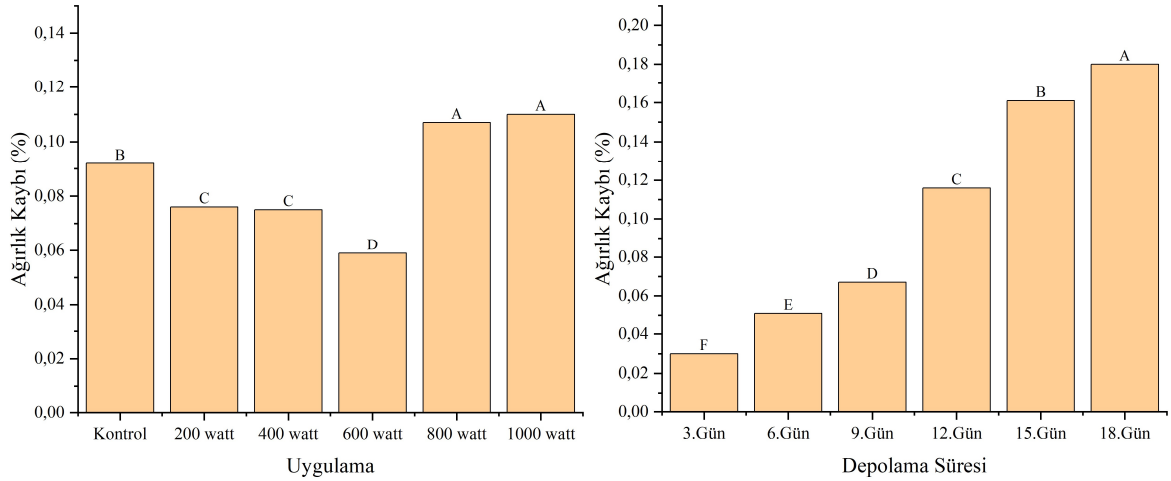
#### **4.2. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Ağırlık Kaybına Etkisi**

Ağırlık kaybı zirai ürünlerin tazeliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmekte ve meyvelerin görsel ve besinsel kalitesini etkileyebilmektedir (Koushesh Saba ve Amini, 2017; Yousuf ve Srivastava, 2017). Meyvelerde hasat sonrası işleme sırasında yapılan soyma, kesme, dilimleme gibi işlemler sonucunda dokuların dış ortam ile etkileşimi artmakta, bu durum da su kaybı oranını arttırmaktadır (Oz ve Ulukanli, 2012). Bu nedenle minimal işlenmiş ürünler bütün haldeki meyve ve sebzelere göre ağırlık kaybına karşı daha dayanıksızdır (Yousuf ve Srivastava, 2017). Genel olarak ağırlık kaybının, hasat edilen meyve ve sebzelerde meydana gelen katabolik olayların doğal bir sonucu olduğu söylenebilmektedir (Bhatia vd., 2013). Meydana gelen su kaybı çoğu meyvede yüzeylerde solma ve buruşmalara neden olabilmektedir (Bhatia ve Asrey, 2019).

Çalışmamızda, ağırlık kaybı sonuçları incelendiğinde bütün örnek gruplarında depolama süresi ilerledikçe ağırlık kaybının arttığı görülmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7). Yousuf ve Srivastava, (2017) ve Kawhena vd., (2020) tarafından yapılan çalışmada bütün örneklerde zamanla ağırlık kaybının arttığı ve bu kayıpların genellikle nem kaybı, solunum ve metabolik reaksiyonlara bağlı hücre yaşlanmaları nedeniyle meydana gelebildiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda tanelenmiş narlardaki ağırlık kaybı oranlarına nar çeşidi, depolama koşulları (sıcaklık ve bağıl nem), ambalaj materyalinin bariyer özellikleri, yüzey/hacim oranı ve mikrobiyal gelişim gibi faktörlerin etki ettiği belirtilmiştir (Adiletta vd., 2019; Bhatia ve Asrey, 2019; Caleb vd., 2013b). Minimal işlenmiş meyvelerin ağırlık kaybı limitleri %4 ile %6 arasında ölçülmüş ve bu limitin üzerinde ağırlık kayıpları meydana geldiğinde bozulma ve çürüme işaretlerinin doğal olarak oluştuğu belirtilmiştir (Oz ve Ulukanli, 2012; Özdemir ve Gökmen, 2017). Çalışmamızda, kontrol grubu da dahil olmak üzere tüm gruplarda belirtilen (%4-6) ağırlık kayıp oranına ulaşılmamış olmasının sebebi, uygulanan pasif modifiye atmosfer koşullarıyla açıklanabilmektedir. Caleb vd., (2013c) tarafından yapılan çalışmada da modifiye atmosfer ambalajlamada kullanılan polimerik filmlerin su buharı hareketine engel oluşturarak ambalaj içerisindeki bağıl nemi koruduğu ve ağırlık kaybını azalttığı belirtilmiş, ancak ambalaj içerisindeki bağıl nem aşırı yüksek olduğunda su buharının yoğunlaşarak patojen mikroorganizmaların üremesi için uygun ortam oluşturabileceğine değinilmiştir.



Şekil 6. Ağırlık kaybının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 7. Ağırlık kaybının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Eris ve Türk, (1999) tarafından bütün haldeki narlar üzerinde yapılan çalışmada narlara ısı uygulaması ve farklı ambalajlama uygulamaları yapılarak örnekler 2-3 °C sıcaklıklarda uzun süreli depolanmıştır. Narlarda ağırlık kaybının depolama süresi arttıkça

arttığı ve termal uygulamalar ile ambalajlama uygulamalarının bu kaybı azalttığı belirtilmiştir. Bütün narlar üzerinde yapılan diğer bir çalışmada (Mirdehghan ve Rahemi, 2005) meyveler sıcak suya ve farklı kimyasallar içeren çözeltilere batırılmıştır. Çalışmalar sonucunda sıcak suya batırma uygulamasında ağırlık kaybının en az olduğu belirtilmiştir. İkinci deneyde ise ağırlık kaybı oranının su sıcaklığı arttıkça arttığı, ancak 55 °C sıcaklığa kadar ağırlık kaybında önemli bir değişiklik meydana gelmediği ve 65 °C sıcaklıkta meydana gelen yüksek ağırlık kaybının sıcak hasarı nedeniyle oluştuğu belirtilmiştir (Mirdehghan ve Rahemi, 2005).

Ramezani ve Rahemi, (2010) tarafından yapılan çalışmada bütün narlara sıcak suya batırma ve farklı kimyasallar içeren çözeltilere batırma uygulamaları yapılmış, uygulama yapılan örnekler 2 °C sıcaklıkta 4,5 ay boyunca depolanmıştır. Ön denemelerde sıcak suya batırma uygulamasının herhangi bir yan etki göstermeden soğuk hasarını kontrol etmede en etkili yöntem olduğu görülmüştür. Sıcak suya batırma uygulamasının kontrol örneklerine kıyasla ağırlık kaybını azalttığı belirtilmiştir. Bu sonuçlara benzer olarak çalışmamızda da 600W grubunda görülen ağırlık kaybının en düşük seviyede olması Ramezani ve Rahemi, (2010) tarafından da belirtildiği gibi uygulamalar sonucunda hücrelerin membran fonksiyonlarının ya da kutiküler özelliklerinin gelişmesi ile bağlantılı olabilmesinden dolayıdır. Hasheminejad ve Khodaiyan, (2020) da yaptıkları çalışmada yüksek solunum oranları sonucunda meydana gelen hücre yıkımlarının ağırlık kayıplarına neden olabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle çalışmamızda 800W ve 1000W gruplarındaki yüksek solunum hızları en fazla ağırlık kayıplarına neden olmaktadır.

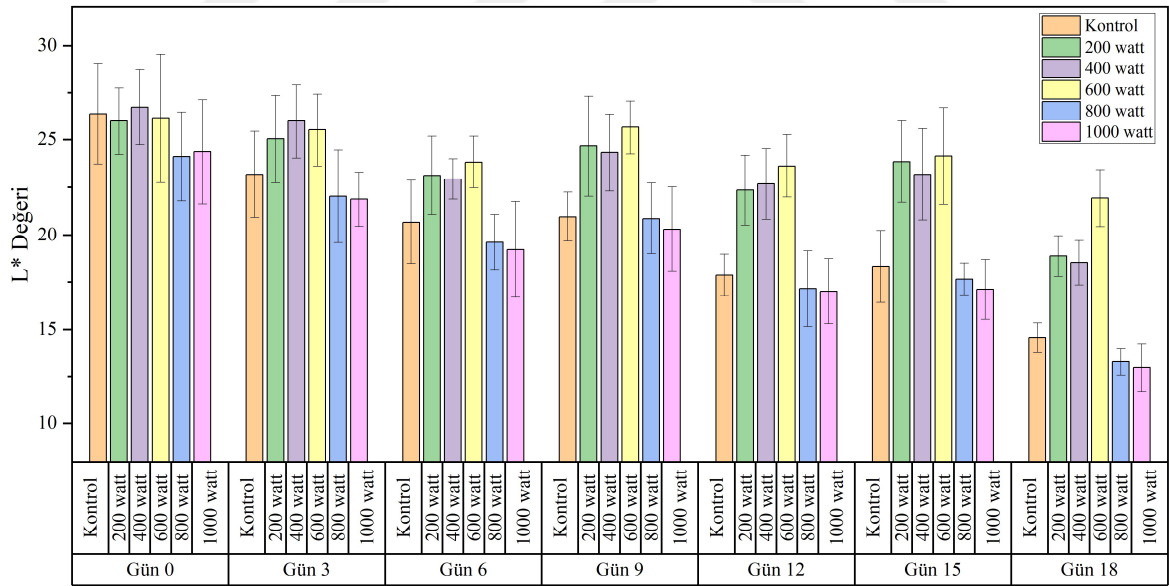
### **4.3. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Renk Parametrelerine Etkisi**

Renk, gıdaların kabul edilebilirliği konusunda rol oynayan önemli bir parametredir ve duyular tarafından ilk algılanan karakteristik özellik olarak değerlendirilmektedir (Yousuf ve Srivastava, 2017). Tanelenmiş narların kalitesi de sahip oldukları kırmızı renk ilişkili olup, bu kırmızı renk de barındırdıkları antosiyaninlerden ileri gelmektedir (Kapetanakou vd., 2015). Narlarda bulunan antosiyaninler ise nar çeşidi, olgunlaşma süreci, depolama süresi ve depolama sıcaklığı gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir (Kapetanakou

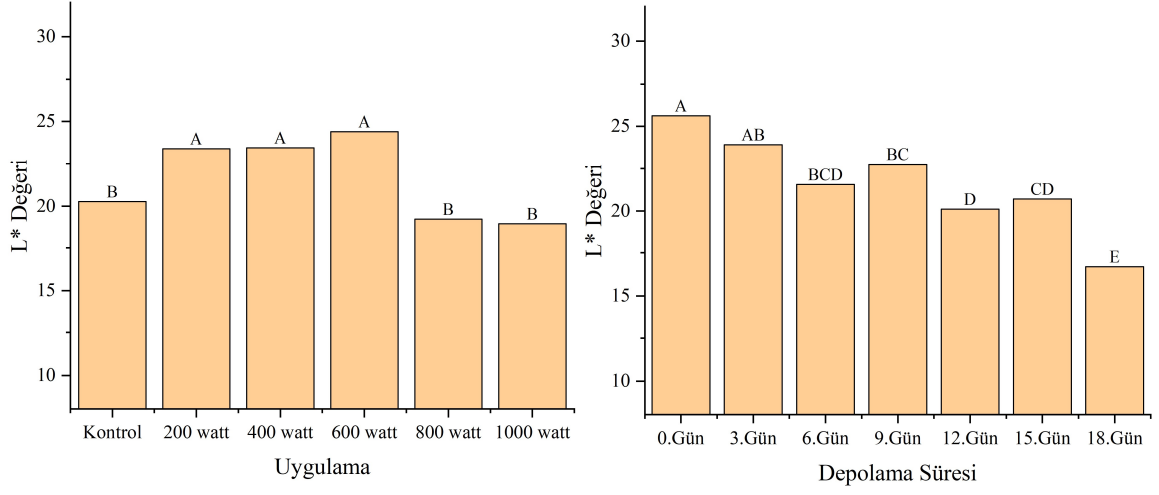
vd., 2015; Oz ve Ulukanli, 2012). Tanelenmiş narlarda meydana gelen renk değişimleri, tazeliğin en önemli göstergesi olarak kabul edilmektedir (Oz ve Ulukanli, 2012).

L\* (parlaklık), a\* (kırmızılık), b\* (sarılık) olarak ölçülen değerler renk stabilitesinin göstergesi olarak kullanılan parametrelerdir (Caleb vd., 2013c). Bu parametrelerden pozitif a\* değerleri kırmızılığı temsil ederken negatif a\* değerleri yeşilliği temsil etmektedir. Bu yüzden a\* renk parametresi nar tanelerinin kırmızılığına bağlı olarak değişmekte ve daha yüksek a\* değerleri daha yüksek kırmızılığı göstermektedir (Yousuf ve Srivastava, 2017).

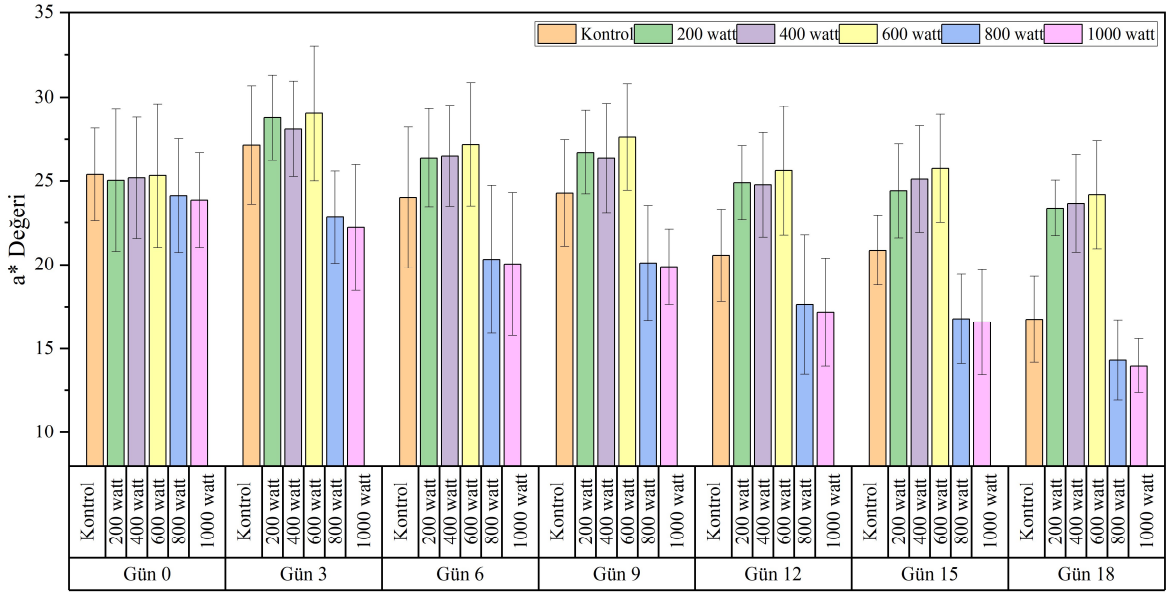
Depolama sürecinde yapılan renk ölçümlerinde L\* (Şekil 8 ve Şekil 9) ve a\* (Şekil 10 ve Şekil 11) değerlerinde depolama sonunda azalma gözlemlenmiştir. L\* ve a\* parametrelerinde en fazla azalma kontrol, 800W ve 1000W uygulamalarında gözlenirken, en az değişim ise 600 W, 400W ve 200W uygulamalarında görülmektedir.



Şekil 8. L\* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.

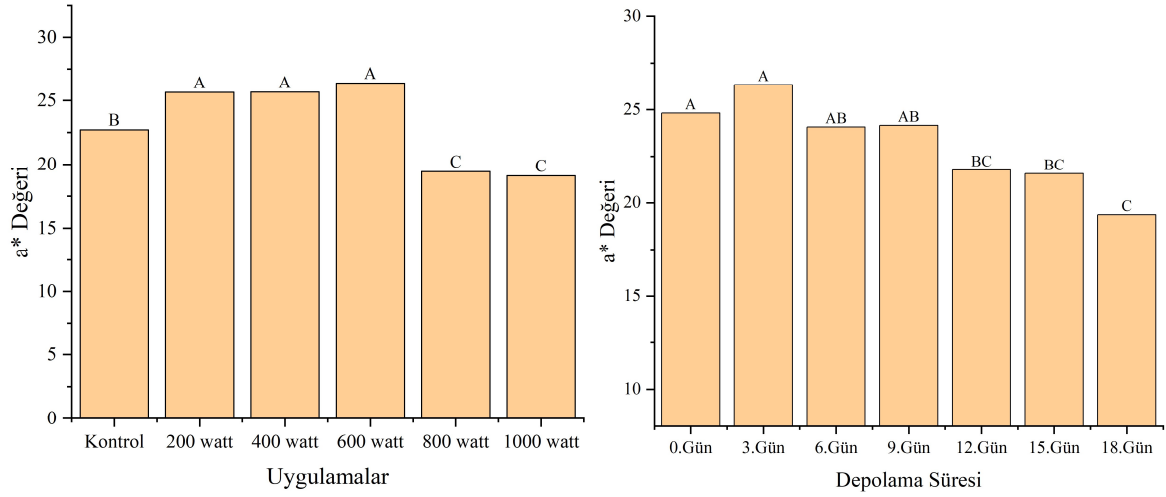


Şekil 9. L\* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Şekil 10. a\* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.





Şekil 11. a\* değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

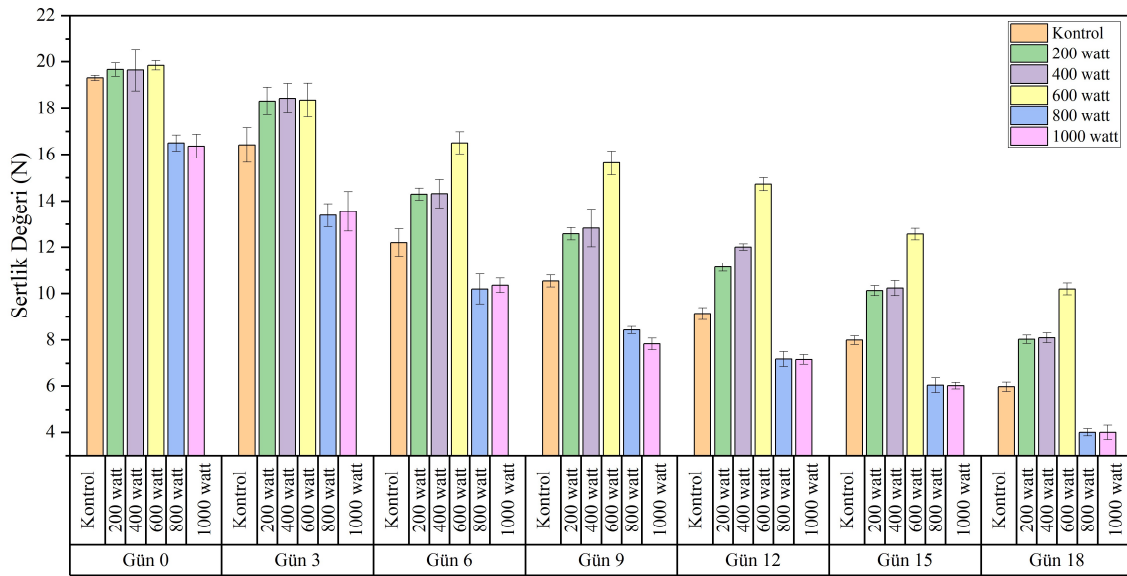
Maghousi vd., (2014) tarafından yapılan çalışmada tanelenmiş narlara yapılan yüksek sıcaklık uygulamalarının L\* ve a\* değerlerinde azalmaya sebep olduğu, L\* değerindeki en yüksek azalmanın en yüksek sıcaklıkta yapılan uygulamada görüldüğü, ısı uygulamalarının enzimatik esmerleşmede etkili olan polifenol oksidaz ve peroksidaz aktivitelerini arttırabileceği, ayrıca yapılan ısı uygulamalarının antosiyanin kaybını tetikleyerek a\* değerinde düşüşe sebep olabileceği ve bu durumun da renk kalitesini düşürebileceği belirtilmiştir (Maghousi vd., 2014). Bu sonuç, çalışmamızda 800W ve 1000W uygulamalarında görülen en fazla düşüşü açıklamaktadır.

2 ve 6 °C sıcaklıklarda 2 ay boyunca depolanan bütün narlara depolama öncesi uygulanan sıcak su uygulaması ve sıcakta bekletme uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; sıcak su ve sıcakta bekletme uygulamalarının L\* değerini kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek tuttuğu belirtilmiştir (Ben Abda vd., 2010). Luo, (2006) tarafından hurmalar üzerinde yapılan çalışmada örnekler farklı sıcaklıklarda 3 saat süre ile uygulanan sıcak hava uygulamalarının örneklerde depolama sırasında meydana gelen renk değişimlerini geciktirdiği belirtilmiştir. Bu sonuç, bizim çalışmamızda da 200W, 400W ve 600W uygulamalarının kontrol grubuna göre daha yüksek L\* değeri almasıyla örtüşmektedir.

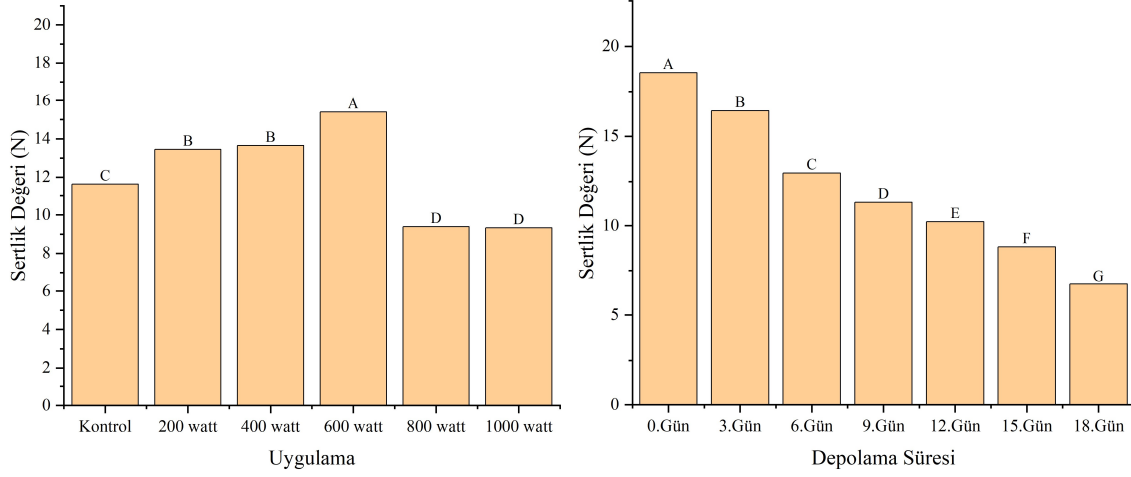
#### 4.4. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Sertlik Değerine Etkisi

Tekstür, tüketicilerin meyve tazeliğini ayırt edebilmek adına değerlendirdiği temel kalite kriterlerinden biridir. Bu özellik minimal işlenmiş meyvelerde daha da fazla önem kazanmaktadır (Kapetanakou vd., 2015). Nar endüstrisinde de nar tanelerinin tekstürel özellikleri önemli kalite kriterlerinden bir tanesi olup, tekstüre bağlı olarak değerlendirilen mekanik özelliklerden biri de sertlik değeridir (Fawole ve Opara, 2013). Sertlik değeri meyvelerin depolama potansiyelini arttıran, hastalıklara ve mekanik hasarlara karşı direncini etkileyen temel karakteristik özelliklerden bir tanesi olarak kabul edilmektedir. Sertlik değeri nar çeşitlerine göre farklılık gösterebilmekte; aynı nar çeşitlerinde bile görülebilen bu farklılıklar meyvelerin yetiştirilme koşullarına göre değişebilmektedir (Belay vd., 2017).

Kontrol grubu ve farklı güçlerde yapılan uygulamalarda depolama boyunca sertlik değerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 12 ve Şekil 13). Sertlik değerinde gözlemlenen bu genel düşüş Bhatia vd., (2013), Martínez-Romero vd., (2013), Belay vd., (2018), Kapetanakou vd., (2015) ve Kawhena vd.,(2020) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla da benzerlik göstermektedir.



Şekil 12. Sertlik değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 13. Sertlik değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Sertlik kaybı özellikle çeşitli işlemler uygulanmış meyve ürünlerinin raf ömürlerini etkileyen çok önemli bir problemdir ve genellikle çeşitli faktörlere göre değişen doku stresi, hücre duvarını etkileyen enzimlerin aktiviteleri ve mikroorganizmalar gibi sebeplerle meydana gelmektedir (Bhatia vd., 2013). Meyvelerin depolanma sürecinde, pektik maddelerin parçalanması nedeniyle hücre duvarının bütünlüğü olumsuz etkilenmekte bu durum da çözünebilir pektin miktarını arttırmakta ve meyvelerin sertlik değerinin azalmasına neden olabilmektedir (Mirdehghan vd., 2007).

Çalışmamızda en fazla yumuşama 800W ve 1000W uygulamalarında görülürken, bu uygulamaları, kontrol takip etmektedir. Sertlik değerinin en iyi korunduğu grup, 600 W olup, bu uygulamayı ise 400W ve 200W uygulamaları izlemektedir. Mirdehghan vd., (2007b) tarafından bütün haldeki narlar üzerinde yapılan bir çalışmada narlar sıcak suya batırılmış ve 2 °C sıcaklıkta 90 gün depolanmıştır. Kontrol grubundaki meyvelerin sertlik değerleri depolama süresinin artması ile önemli derecede düşüş gösterirken ısı uygulaması yapılan meyvelerin sertlik değerinde 75 günlük depolama süresi sonunda önemli bir kayıp olmadığı görülmüştür. Valero vd., (2002) tarafından yapılan çalışmada erikler sıcak suya batırılarak ısı uygulaması yapılmış ve kontrol grubundaki örneklerde tekstürel kalitenin depolama sırasında önemli ölçüde azaldığı görülürken, sıcak su uygulamasının meyve eti sertlik değerinin korunmasında önemli derecede etkili olduğu belirtilmiştir. Zhou vd., (2019) tarafından şeftaliler üzerinde yapılan çalışmada örneklere UV-C ve sıcak hava uygulaması

yapılmış ve örnekler 1 °C sıcaklıkta 35 gün ve 20 °C sıcaklıkta 3 gün depolanmıştır. Depolama sonunda uygulama yapılan örneklerin sertlik değerlerinin kontrol örneklerine göre önemli derecede daha iyi korunduğu ve sıcak hava uygulamasının UV-C uygulamasına göre daha etkili olduğu görülmüştür. Yapılan diğer çalışmada (Belović vd., 2015) olgunlaşma aşamasındaki iki farklı domates çeşidine UV-C ve sıcak hava uygulaması yapılarak örnekler 14 gün boyunca yarı kontrollü şartlarda depolanmıştır. Depolama sonunda uygulama yapılan örneklerin sertlik değerinin daha iyi korunduğu görülmüş, bunun sebebinin olgunlaşma sırasında meyvenin yumuşamasına yol açan enzimlerin yapılan uygulamalar sayesinde inhibe olması ile açıklanabileceği belirtilmiştir. Salatalıklar üzerinde yapılan bir çalışmada örneklere sıcak suya batırma uygulaması yapılarak örnekler 3 ile 12 gün arasında 4 °C sıcaklık ve %90 bağıl nem koşullarında depolanmıştır. Çalışma sonucunda salatalıklara yapılan sıcak suya batırma uygulamasının örneklerin sertlik değerini koruduğu belirtilmiştir (Amer ve Azam, 2019). Rapor edilen bu sonuçlar 200W, 400W ve 600W uygulamalarının, kontrol grubuna göre daha yüksek sertlik değerleri almasıyla benzerlik göstermektedir.

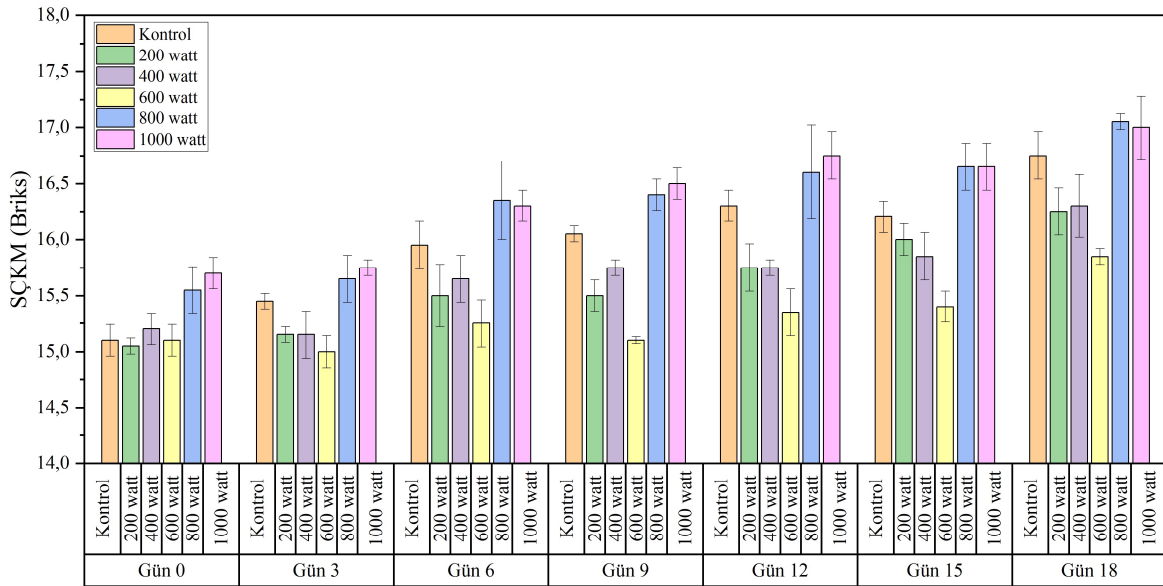
Tanelenmiş narların sertlik değerlerindeki azalmaların enzimatik aktivite, solunum hızının ve dolayısıyla etilen üretiminin artması gibi metabolik prosesler ve depolama sırasında görülebilen su kayıpları nedeniyle meydana gelebildiği belirtilmiştir (Ayhan ve Eştürk, 2009; Caleb vd., 2012). Çalışmamızda, ambalaj içi gaz kompozisyonu ve ağırlık kaybı sonuçlarının da desteklediği gibi en fazla değişimin kontrol, 800W ve 1000W gruplarında meydana gelmesi, yumuşamanın en fazla bu gruplarda görülmesine neden olmaktadır.

#### **4.5. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Suda Çözünür Kuru Madde İçeriğine Etkisi**

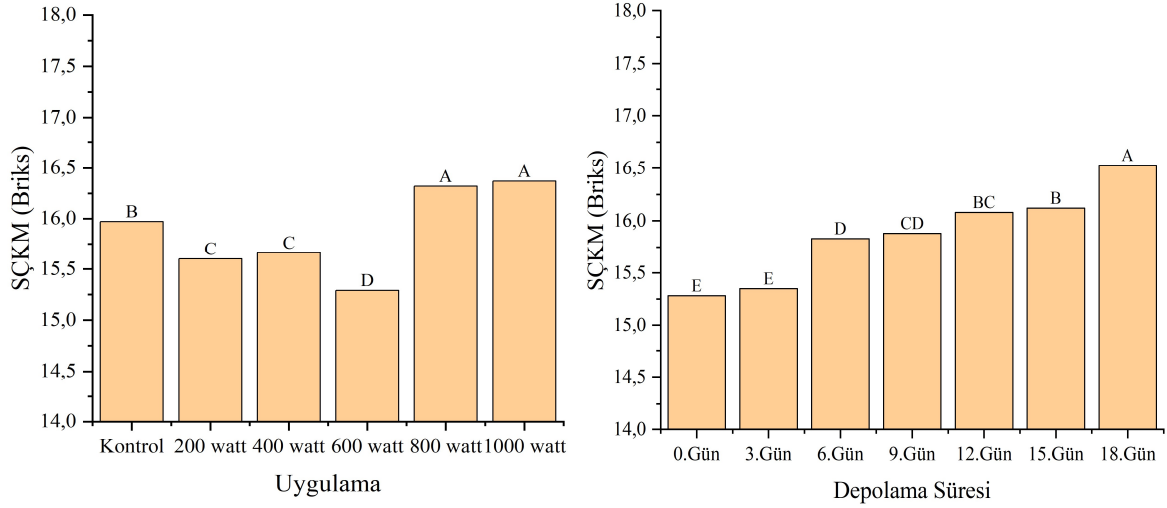
Suda çözünebilir kuru madde içeriği genellikle titrasyon asitliğiyle birlikte değerlendirilen ve meyve lezzetine etki eden özelliklerden biri olduğundan depolama sırasında muhafaza edilmesi önem arz etmektedir (Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020). Meyvelerdeki suda çözünebilir kuru madde içeriği temel olarak çözünebilir şeker içeriği ile bağlantılıdır (Ashtari vd., 2019). Tanelenmiş narların depolama sırasında kalitesinin

korunması ve raf ömrünün artırılması ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda (Belay vd., 2018; Belay vd., 2019; Tayyari vd., 2017) suda çözünür kuru madde içeriğinin depolama sırasında arttığı, bazısında (Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020) azaldığı, bazısında (Ashtari vd., 2019) ise önemli bir değişiklik göstermediği belirtilmiştir.

Yaptığımız çalışmada, SÇKM içeriği depolama sonunda artan bir trendde izlenmekte olup, en fazla artış 800W ve 1000W uygulamalarında gözlenirken, en az değişim ise 600W uygulamasında gözlenmiştir (Şekil 14 ve Şekil 15). Belay vd., (2018) yaptığı çalışmada SÇKM içeriğindeki artışın yüksek molekül ağırlıklı olan çözünmez pektin ve pektin olmayan bileşenlerin çözünürlüğündeki değişimden kaynaklandığını ve ayrıca su kaybından dolayı şekerin tanelerde daha konsantre biçimde görülmesinden kaynaklandığını ifade etmektedir. 800W ve 1000W uygulamalarında görülen su kaybının diğer uygulamalara göre fazla olması SÇKM içeriğinde de en fazla değişimin görünmesine yol açmaktadır.



Şekil 14. Suda çözünen kuru maddenin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi

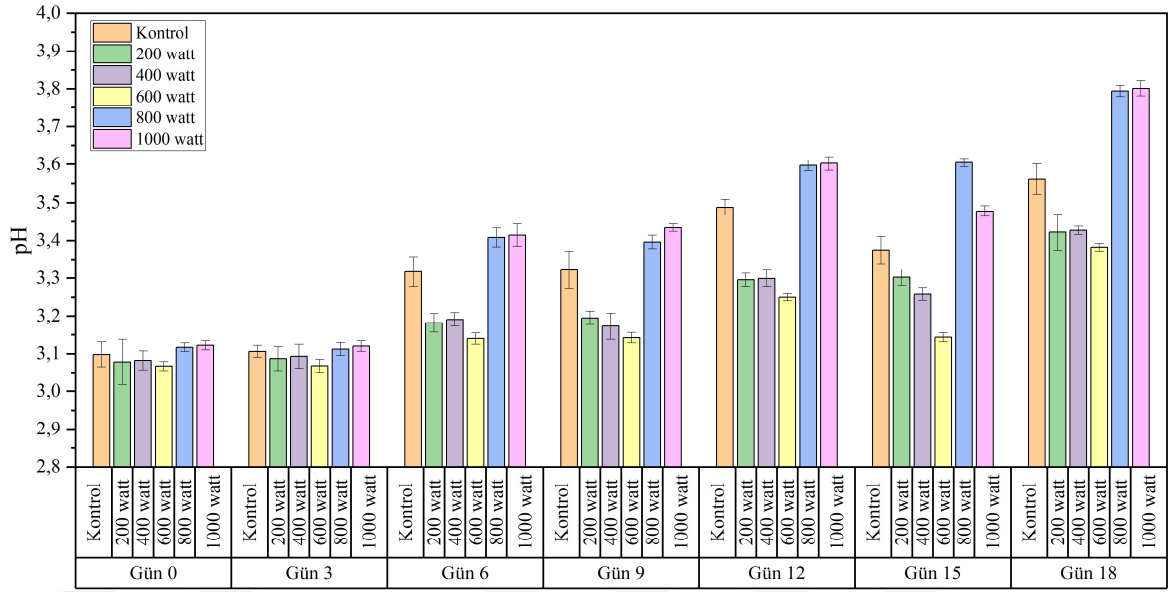


Şekil 15. Suda çözünen kuru maddenin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi

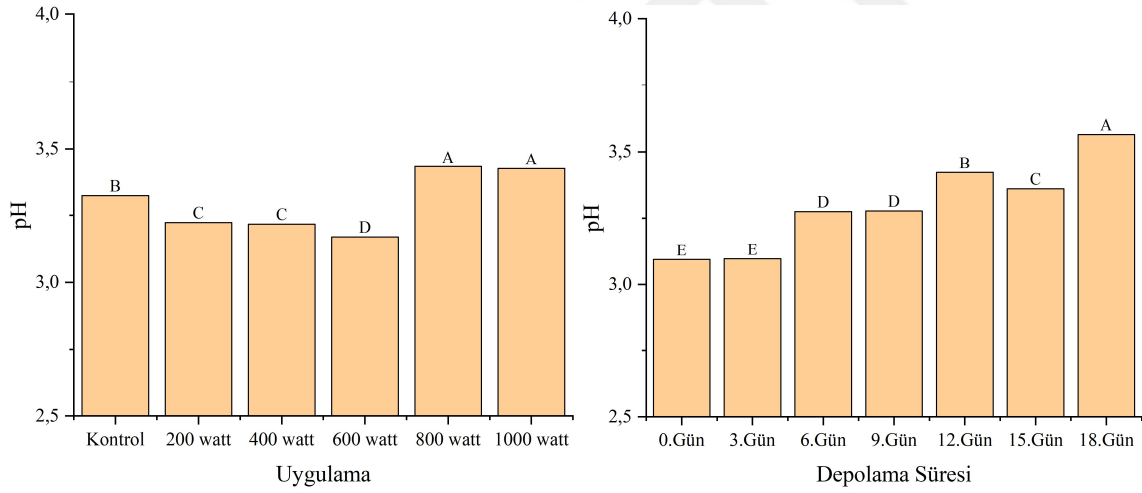
#### 4.6. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın pH ve Titrasyon Asitliğine Etkisi

Tanelenmiş narlarda asitlik lezzet ile bağlantılıdır ve asitlik değerleri değiştiğinde meyvelerin tatlarındaki ekşilik değişmektedir (Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020; Hussein vd., 2015). Lezzeti etkileyen bileşenler ise organik asitler olup, narda en baskın olarak sitrik asit bulunurken bu asidi asetik ve malik asit takip etmektedir (Belay vd., 2018, 2019; Yousuf ve Srivastava, 2017). Ayrıca organik asitler mikroorganizmaların gelişme oranını etkileyerek kalite ve raf ömrü açısından da önemli hale gelmektedir (Belay vd., 2018).

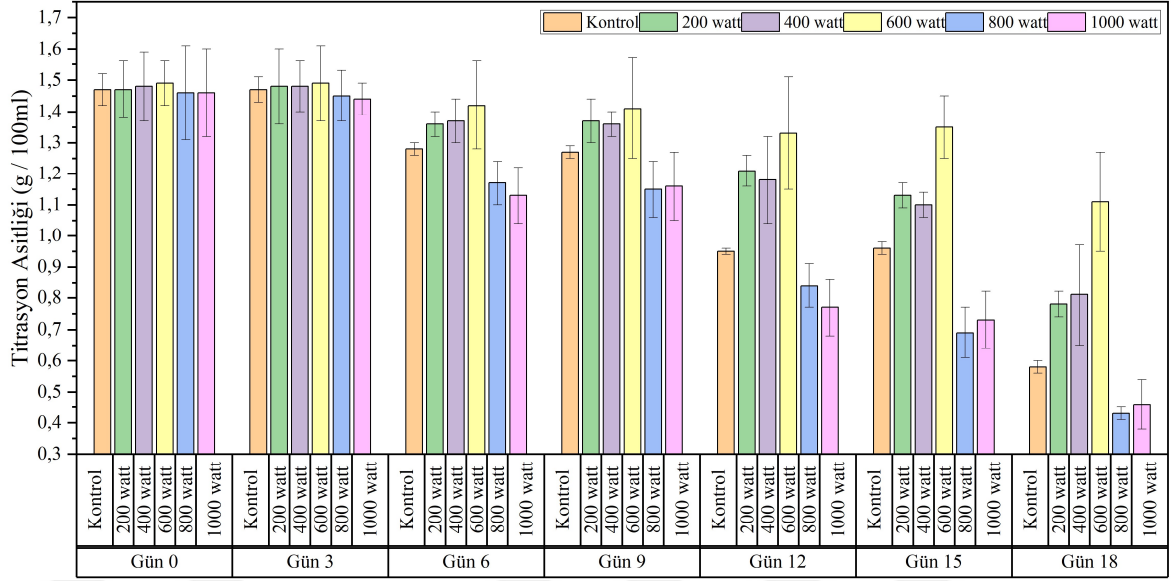
Yaptığımız çalışmada, tüm örnek gruplarında depolama süresi sonunda pH değerlerinde artış (Şekil 16 ve Şekil 17), titrasyon asitliği değerlerinde ise azalma görülmüştür (Şekil 18 ve Şekil 19). Ulaştığımız sonuçlarla benzer şekilde Hasheminejad ve Khodaiyan, (2020) ve Tayyari vd., (2017) tarafından yapılan çalışmalarda pH değerlerinde artış; Hasheminejad ve Khodaiyan, (2020), Maghoumi vd., (2013b) ve Maghoumi vd., (2014) tarafından yapılan çalışmalarda titrasyon asitliği değerlerinde azalma görülmüştür. Çünkü titrasyon asitliğinde meydana gelen düşüşler solunum gibi metabolik aktivitelerde organik asitlerin kullanılması gibi nedenlerle meydana gelebilmektedir (Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020; Hussein vd., 2015; Maghoumi vd., 2014).



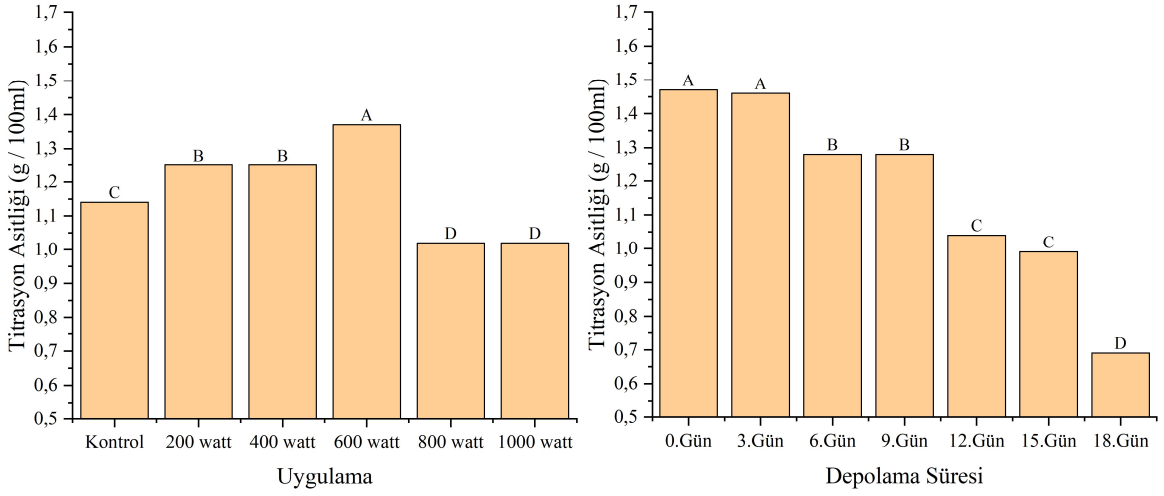
Şekil 16. pH değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 17. pH değerinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Şekil 18. Titrasyon asitliğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 19. Titrasyon asitliğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Çalışmamızda asitlik (pH ve titrasyon asitliği) değerlerinde en az değişim 600W grubunda olurken, en fazla değişim ise 800W ve 1000W uygulamalarında gözlenmiştir Hasheminejad ve Khodaiyan, (2020) çeşitli hasat sonrası uygulamaların düşük solunum oranlarına neden olarak, hücre yıkımlarına neden olan metabolik aktiviteleri azaltacağını ve böylelikle pH artışını yavaşlatabileceğini belirtmiştir. Tanelenmiş narlarda titrasyon asitliği



ve pH değerlerinin varyasyonları yapılan çalışmalarda meyve çeşidi farklarına ve ambalaj içerisindeki karbondioksitin taneler içerisindeki suda çözünebilirlik etkisine bağlanmıştır (Caleb vd., 2013a; Moradinezhad vd., 2020; O'Grady vd., 2014).

Banda vd., (2015) düşük depolama sıcaklıkları ve ambalaj içerisindeki karbondioksit birikmesinin nar tanelerinin yüzeyinde CO<sub>2</sub> özünebilirliğini arttırarak, nar tanelerinin dokularında karbonik asit formasyonuna neden olabileceğini ve bu durumun pH değerini değiştirebileceğini belirtmiştir.

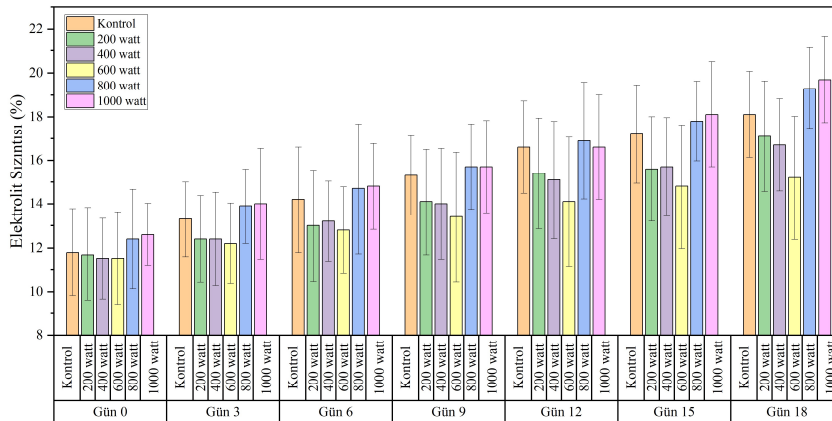
Maghoumi vd., (2013a) tarafından tanelenmiş narlar üzerinde yapılan çalışmada tanelenmiş narların kalitesine sıcak su, UV-C ve yüksek oksijen ile ambalajlama uygulamalarının etkileri incelenmiş ve 5 °C sıcaklıktaki 14 günlük depolama sonrasında titrasyon asitliğinin bütün uygulamalarda benzer şekilde azaldığı, bunun nedeninin organik asitlerin solunum aktivitelerinde substrat olarak kullanılması olabileceği belirtilmiştir. Bu sonuç, alışmamızda 600W uygulamasının solunum hızının düşük olmasından dolayı, organik asitlerin daha az kullanıldığını ve bu nedenle titrasyon asitliğindeki değişimin daha az kalmasını açıklamaktadır.

Mandalinalar üzerinde yapılan bir çalışmada ise örneklerin organik asit miktarlarının ve titrasyon asitliği değerlerinin soğuk depolama boyunca azaldığı ve sıcak hava uygulaması yapılan örneklerde titrasyon asitliği ile sitrik asit ve tartarik asit miktarlarının diğer örneklerden daha fazla azaldığı görülmüştür (Gao vd., 2018). Malta eriklerine uygulanan sıcak hava uygulamasının ise örneklerin titrasyon asitliği değerini önemli derecede azalttığı belirtilmiştir (Shao ve Tu, 2014). Benzer şekilde çalışmamızda da 800W ve 1000W uygulamalarındaki yüksek sıcaklık verdiği zarar nedeniyle solunum hızının artmasına ve böylelikle titrasyon asitliğinde en fazla değişimin yaşanmasına sebep olmaktadır.

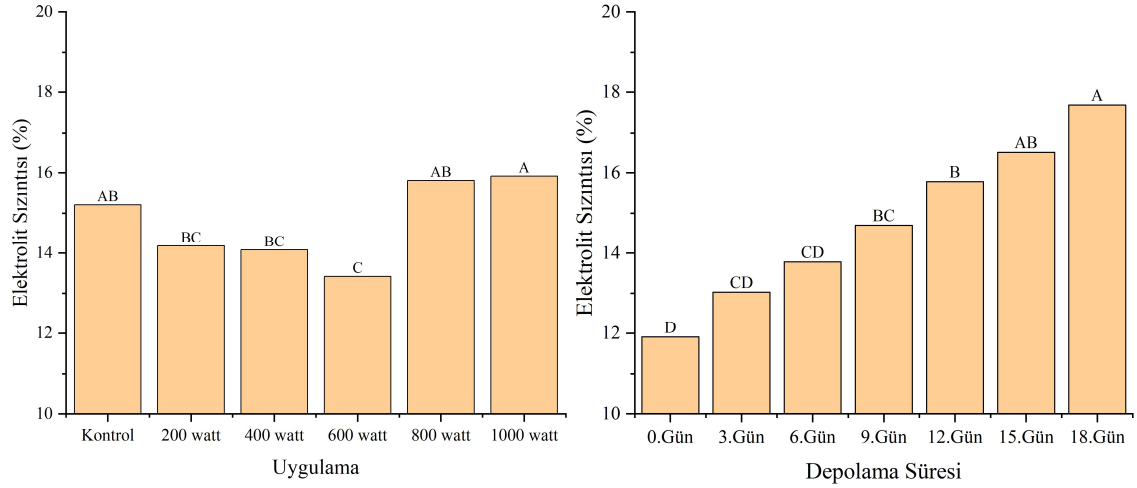
#### 4.7. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Elektrolit Sızıntısına Etkisi

Elektrolit sızıntısı bitkisel doku ve hücrelerinin bütünlüğünün ölçümünde kullanılmaktadır. Zirai ürünlerin elektrolit sızıntı oranlarında meydana gelen artışlar soğuk depolama sırasında hücre membranlarının fiziksel olarak hasar aldığı bir belirtisi olarak görülmektedir (Kaveh ve Vatandoost, 2020). Elektrolit sızıntı ayrıca don hasarlarının derecesinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıkların etkisiyle hücre membranlarının esnek kristal yapıları esnek olmayan katı hale geçmekte ve bu durum da elektrolit sızıntısına neden olmaktadır (Nazoori vd., 2020). Soğuk depolama sırasında elektrolit sızıntısı artışının domates, greyfurt gibi çeşitli meyvelerde görüldüğü ve bu olaya karşı duyarlılığın çeşit, tür ve farklı olgunluk seviyelerine göre varyasyon gösterdiği belirtilmiştir (Nazoori vd., 2020).

Yapılan iletkenlik ölçümleri ile hesaplanan elektrolit sızıntısı oranlarında tüm örnek gruplarında depolama süresinin artmasıyla birlikte artış görülmüştür (Şekil 20 ve Şekil 21). Ulaştığımız sonuçlar yapılan diğer iki çalışma ile benzerlik göstermektedir (Kaveh ve Vatandoost, 2020; Nazoori vd., 2020). Kaveh ve Vatandoost, (2020) tarafından yapılan çalışmada kontrol ve bütün uygulama gruplarında tanelenmiş narların depolama süresi artışının daha yüksek elektrolit sızıntısına sebep olduğu ve yapılan farklı organik madde uygulamalarının elektrolit sızıntısını azaltabildiği belirtilmiştir.



Şekil 20. Elektrolit sızıntısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 21. Elektrolit sızıntısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Çalışmamızda en düşük elektrolit sızıntısı değerleri 200W, 400W ve 600W uygulamalarında gözlenirken, en yüksek değerler ise kontrol, 800W ve 1000W uygulamalarında tespit edilmiştir. Ergun vd., (2006), tarafından yapılan papaya üzerine yapılan çalışmada, etilen baskılayıcıların taze kesim meyvelerde solunum oranını düşürerek elektrolit sızıntısını azaltabildiği, Li vd., (2017), tarafından yapılan çalışmada ise alginat bazlı kaplamaların kivi meyvelerinde elektrolit sızıntısını önemli derecede düşürdüğü belirtilmiştir. Modifiye atmosfer ambalajlamanın da taze kesim ürünlerin elektrolit sızıntısının azaltılmasında faydalı bir işlem olduğu bilinirken ayrıca bütün haldeki nar meyvelerinin uzun süreli soğuk depolanması sırasında da etkili olduğu belirtilmiştir (Valdenegro vd., 2018).

Hasat sonrası yapılan kesikli ısıtma, sıcak suya batırma ve sıcakta bekletme uygulamaların bütün narların kalite özelliklerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada 2 °C sıcaklıkta depolanan bütün örneklerin elektrolit sızıntısı değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Sıcak suya batırma ve sıcakta bekletme uygulamaları yapılan örneklerin elektrolit sızıntısı değerlerinin kontrol ve kesikli ısıtma örnek gruplarının elektrolit sızıntısı değerlerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir (Ben Abda vd., 2010). Sıcak suya batırma işleminin bütün narların kalite özelliklerine etkilerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada 2 °C sıcaklıkta 90 günlük depolama sonunda kontrol grubu örneklerinin elektrolit sızıntısı değerlerinin ısı

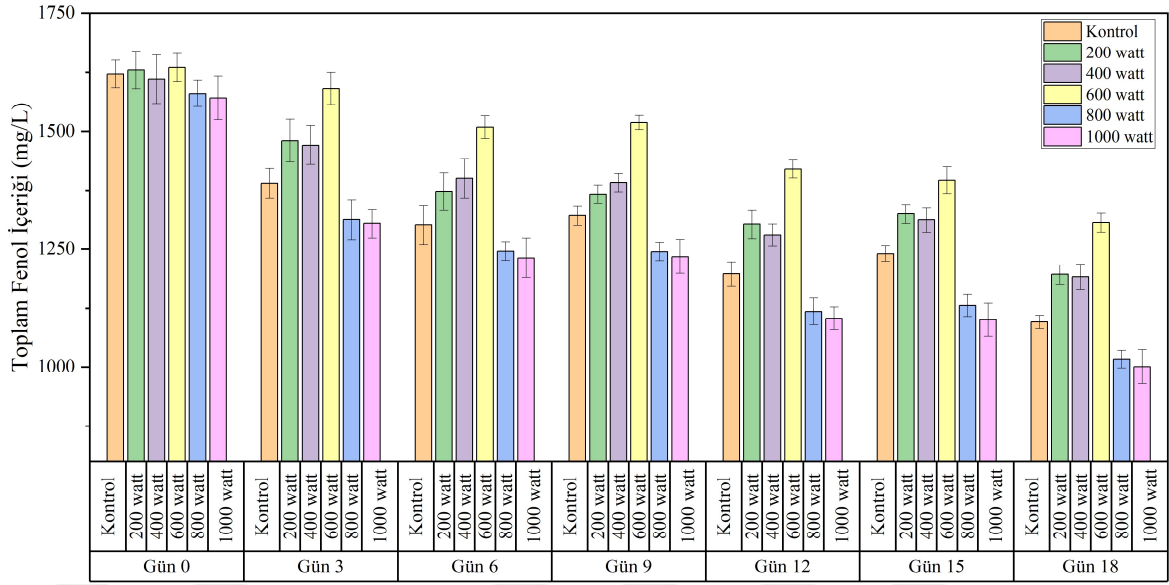
uygulamasý yapılan örneklere kıyasla önemli derecede daha yüksek olduğu, soğuk depolamanın hücre membranında olumsuz değişimlere yol açabildiği ve bu değişimlerin ısı uygulamaları ile azaltılabileceği belirtilmiştir (Mirdehghan vd., 2007). Sıcak suya batırma uygulaması ve farklı kimyasal uygulamalarının nar kalitesine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada sıcak su uygulamasının kontrol örneklarine kıyasla elektrolit sızıntısını %20 oranında azalttığı ayrıca yapılan kimyasal uygulamalarının sıcak su uygulaması ile birlikte yapıldığında elektrolit sızıntısını önleme konusunda daha etkili olduğu belirtilmiştir (Ramezani ve Rahemi, 2010). Yapılan bu çalışmalar en düşük elektrolit sızıntısı değerlerinin 200W, 400W ve 600W uygulamalarında gözlenmesiyle benzeşmektedir.

Çeri domatesleri üzerinde yapılan bir araştırmada ise sıcak su uygulamalarının elektrolit sızıntısını arttırdığı belirtilmiştir (Yang vd., 2009). Mirdehghan ve Rahemi, (2005) tarafından yapılan çalışmada bütün narlara farklı sıcaklıklarda uygulanan sıcak suya batırma işlemlerinin narların kalite özelliklerine etkileri incelenmiş, farklı sıcaklıklarda yapılan sıcak suya batırma uygulamalarında ise belirli sıcaklıklarda yapılan işlemlerin elektrolit sızıntısını arttırdığı ve bu durumun yüksek sıcaklıkların hücre membranı bütünlüğüne hasar verebildiği ve elektrolit sızıntısını arttırabildiğini gösterdiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar; çalışmamızda en yüksek elektrolit sızıntısı değerlerinin 800W ve 1000W uygulamalarında tespit edildiğini gösteren sonuçlarla örtüşmektedir.

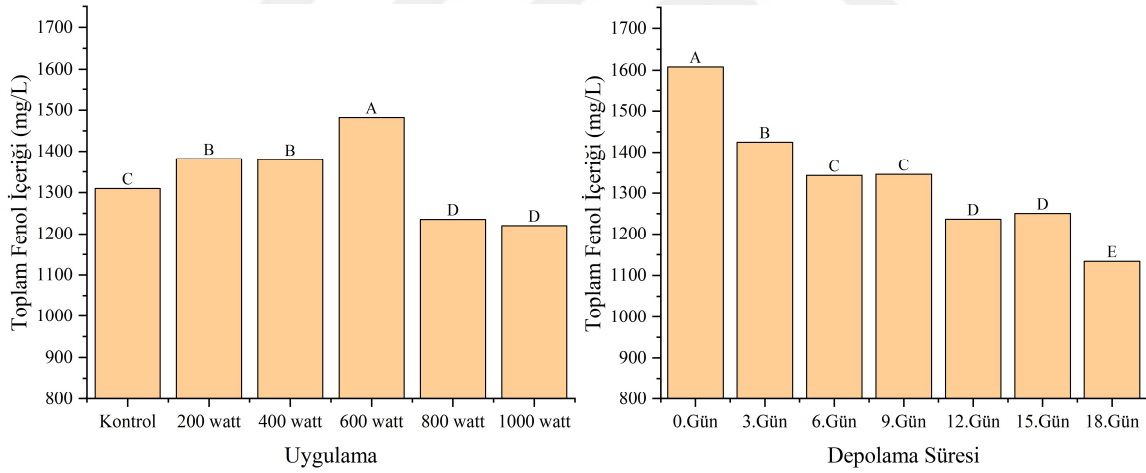
#### **4.8. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Toplam Fenol İçeriğine Etkisi**

Fenolik bileşikler meyvelerde tat ve renk gelişiminden sorumlu olan sekonder metabolitlerdir (Bhatia ve Asrey, 2019). Nar fenolik bileşikler açısından oldukça zengin bir meyvedir. Bunların bazılarının hidrolizlenebilir tanenler (punikalaginler ve punikalinler), proantosiyanidinler, antosiyaninler, kateşinler ve fenolik asitler (gallik, ellajik, klorojenik asit vd.) olduğu belirtilmiştir (Maghoumi vd., 2013). Narın yüksek antioksidan kapasitesi temel olarak yüksek miktarlarda barındırdığı fenolik asitler, flavonoidler ve diğer fenolik bileşiklerden ileri gelmektedir (Ayhan ve Eştürk, 2009). Meyve ve sebzelerdeki toplam fenol içeriği genel olarak ürün özellikleri ve depolama koşullarına göre artma veya azalma eğilimi göstermektedir (Koushesh Saba ve Amini, 2017).

Çalışmamızda kontrol örnekleri ve mikrodalga uygulaması yapılan örneklerin tümünde depolama süresinin sonunda toplam fenol içeriğinin azaldığı görülmüştür (Şekil 22 ve Şekil 23). 600W uygulaması fenol içeriğini en iyi derecede korurken, 800W ve 1000W uygulamaları ise fenol içeriğine en fazla zarar veren gruplar olarak belirlenmiştir. Dokhanieh vd., (2016) tarafından yapılan çalışmada da toplam fenol içeriğinin 4 °C sıcaklıkta yapılan soğuk depolama sırasında azaldığı, yapılan ısıtma ve salisilik asit uygulamasının toplam fenol içeriğindeki azalmayı geciktirdiği belirtilmiştir. Hasheminejad ve Khodaiyan, (2020) tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde depolama sırasında toplam fenol içeriğinde azalma görülmüş, bunun yüksek solunum oranından kaynaklanabileceği rapor edilmiştir. Ayrıca enzimatik esmerleşmeye sebep olan polifenol oksidaz ve fenolalanin amonya-liyaz gibi enzimlerin de aktivitelerinin artması sonucunda fenol içeriğinin azalabileceği belirtilmiştir. Mirdehghan vd., (2006) tarafından yapılan çalışmada bütün narlara uygulanan sıcak suya batırma uygulamasının, hemen uygulama sonrasında yapılan analizlerde ve 90 günlük 2 °C sıcaklıkta depolama sürecindeki analizlerde kontrol grubu örneklerine kıyasla daha yüksek toplam fenol içeriği değerleri gösterdiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı gibi, 600W uygulamasında gözlenen en düşük solunum hızı, fenol içeriğinin en fazla korunmasına yol açmaktadır.



Şekil 22. Toplam fenol içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 23. Toplam fenol içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Maghoubi vd., (2014) tarafından yapılan çalışmada sıcak hava uygulamaların tanelenmiş narların kalitesine etkileri incelenmiş; yüksek sıcaklığın toplam fenolik bileşik içeriğini direkt olarak etkilemediği ancak uygulama sonrasında yapılan 14 günlük soğuk depolama sırasında kontrol grubu ve sıcak hava uygulaması yapılan örneklerin toplam fenol içeriğinin büyük oranda azaldığı belirtilmiştir. Tanelenmiş narlara sıcak suya batırma, UV-C ışık ve farklı modifiye atmosfer uygulamalarının yapıldığı bir çalışmada depolama öncesi

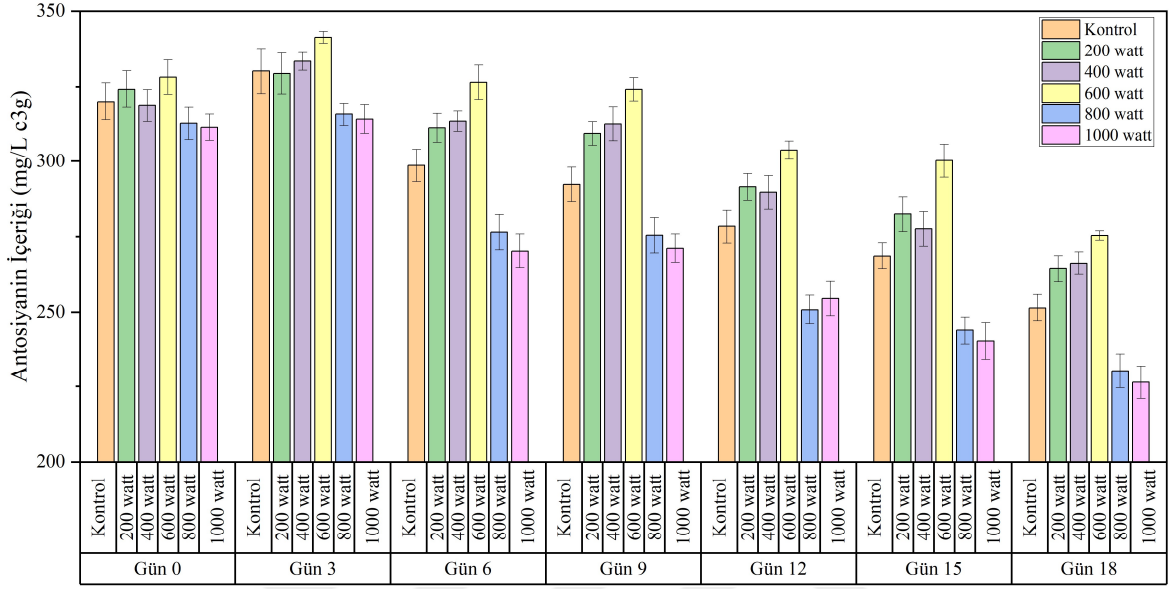
toplam fenol içerikleri açısından kontrol örneklerinin en yüksek, sıcak su uygulaması yapılan örneklerin ise en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Maghoumi vd., 2013). Ghasemnezhad vd., (2013) tarafından fenolik bileşiklerdeki azalmanın depolama sırasında meydana gelen hücre yaşlanması sırasında hücre yapılarının parçalanması nedeniyle meydana geliyor olabileceği belirtilmiştir. Tanelenmiş narlara sıcak suya batırma, UV-C ışık ve farklı modifiye atmosfer uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada 14 günlük 5 °C sıcaklıkta depolama sonrası sıcak su uygulaması yapılan örneklerin en düşük toplam fenol içeriğine sahip olduğu görülmüş, bunun nedeninin polifenol oksidaz enzimi aktivitesinde meydana gelen değişiklikler ya da bu enzimin sıcak sudaki çözünübilirliği ile ilgili olabileceği, yüksek sıcaklık etkisiyle polifenol pathway'ı ile ilgili genlerin çalışmayı durdurmasının da toplam fenol içeriğinin azalmasına neden olabileceği, ısı ile artan fenolik bileşen kayıplarının otooksidasyon ya da parçalanma gibi termal degradasyon tepkimelerinden dolayı meydana gelebileceği belirtilmiştir (Maghoumi vd., 2013b). Yapılan bu çalışmalar, çalışmamızda en fazla azalmanın görüldüğü 800W ve 1000W uygulamalarında elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir.

#### **4.9. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Antosiyanin İçeriğine Etkisi**

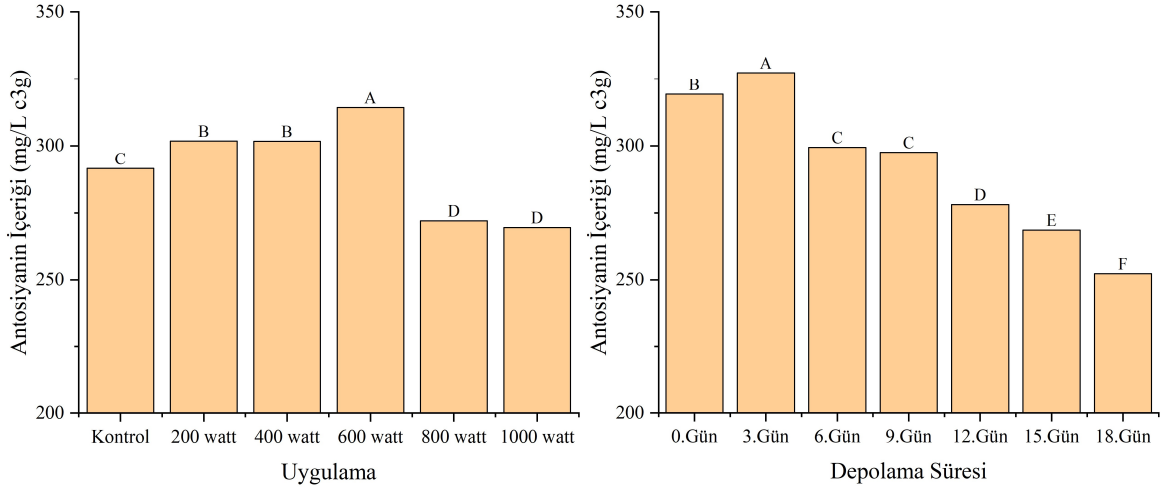
Antosiyaninler nar meyvelerinin kabukları ve tanelerinin kırmızı renginden sorumlu fenolik bileşiklerdir (Banda vd., 2015). Antosiyaninler işleme ve depolama koşullarına karşı oldukça duyarlıdır ve degradasyona elverişlidir (Banda vd., 2015). Antosiyaninler ayrıca antioksidan bileşikler olduğundan dolayı da soğuk depolama sırasında meydana gelebilen hücre yıkımları, tane kahverengileşmesi ya da pigment degradasyonlarında önemli roller oynamaktadır (Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020). Polifenol oksidaz ve peroksidaz aktiviteleri antosiyaninler gibi polifenollerin degradasyonuna yol açmaktadır (Amiri vd., 2020).

Yapılan çalışmada tanelenmiş narlarda toplam antosiyanin içeriğinin depolama sonunda azaldığı görülmüştür (Şekil 24 ve Şekil 25). Antosiyanin miktarındaki bu genel azalma incelenen çeşitli araştırmalarda da görülmektedir (Ayhan ve Eştürk, 2009; Caleb vd., 2013b; Hasheminejad ve Khodaiyan, 2020). Bhatia vd., (2015) ve Belay vd., (2018)

tarafından yapılan çalışmalarda da antosiyanin içeriğinin depolama sürecinde azaldığı belirtilmiştir.



Şekil 24. Antosiyanin içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 25. Antosiyanin içeriğinin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Çalışmamızda antosiyanin içeriği en fazla 600W uygulamasında korunurken bu uygulamayı sırasıyla, 400W, 200W, kontrol, 800W ve 1000W grupları takip etmektedir. Antosiyanin içeriğinin benzer şekilde azaldığı görülen bir diğer çalışmada Belay vd., (2017) antosiyanin degradasyonunun meyvelerin soyulması sırasında tanelerin hasarlanmasından ya da oksidasyon prosesinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Caleb vd., (2013c) tarafından yapılan çalışmada depolama sıcaklığı, depolama süresi ve bunların interaksiyonunun toplam antosiyanin miktarını önemli şekilde etkilediği, ancak yapılan bütün uygulamalarda antosiyanin içeriğinde düşüş görüldüğü belirtilmiştir. Ghasemnezhad vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada artan depolama süresiyle toplam antosiyanin içeriğinin azaldığı, tanelenmiş narlara uygulanan kitosan kaplamanın antosiyanin azalmasını düşürdüğü, bunun sebebinin yapılan kaplamanın antosiyaninlerin enzimatik oksidasyonu için gerekli O<sub>2</sub> kaynağını azaltması olabileceği belirtilmiştir.

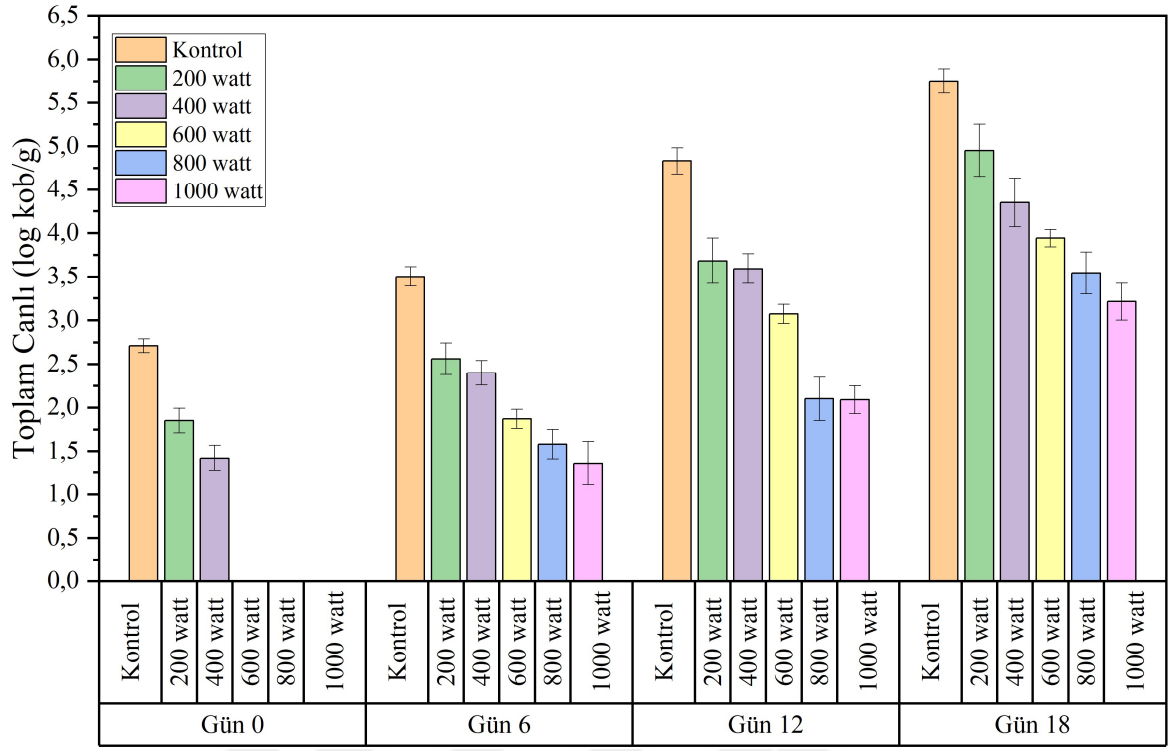
Maghoumi vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada sıcak suya batırılan tanelenmiş narların antosiyanin içeriğinin hiçbir uygulama yapılmayan kontrol örneklerine göre yarı yarıya azaldığı, antosiyaninlerin degradasyona karşı stabil olmadığı ve işleme ve depolama sırasındaki sıcaklık, antosiyaninlerin kimyasal yapısı, pH, askorbik asit, şekerler, metaller ve ışık gibi faktörlerden etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca sıcak su uygulamasının peroksidaz enzimi aktivitesini artırırken fenilalaninamonyaliyaz (PAL) enziminin aktivitesini durdurduğu bunun da hızlı bir antosiyanin düşüşü ve kahverengileşmeye neden olduğu belirtilmiştir. Yaban mersini ve üzüm posalarının sıcak hava ile kurutulduğu bir çalışmada farklı sıcaklıklarda yapılan uygulamaların yaban mersini ve üzüm posası örneklerinin toplam antosiyanin içeriğini keskin bir şekilde düşürdüğü belirtilmiştir (Khanal vd., 2010). Farklı sıcaklıklarda kullanılan sıcak hava uygulamaları ve yüksek oksijen ve yüksek karbondioksit içeren modifiye atmosfer uygulamalarının ayrı ayrı ve kombine halde tanelenmiş narların kalitelerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada yapılan sıcak hava uygulamalarının uygulamadan hemen sonra yapılan analizlerde toplam antosiyanin içeriği açısından önemli bir düşüşe sebep olmadığı ancak toplam antosiyanin içeriğini değerlerinin depolama sırasında azaldığı belirtilmiştir. Yapılan 14 günlük 4 °C sıcaklıkta depolama sonrasında 55 °C sıcaklıkta uygulama yapılan örneklerin toplam antosiyanin içeriğinin uygulama yapılmayan kontrol örnekleri ve 45 °C sıcaklıkta uygulama yapılan örneklere kıyasla önemli derecede düşük olduğu görülmüştür (Maghoumi vd., 2014). Yapılan bu çalışmalar,

antosiyenin miktarının en az olduğu 800W ve 1000W uygulamalarından elde edilen sonuçlarla benzeşmektedir.

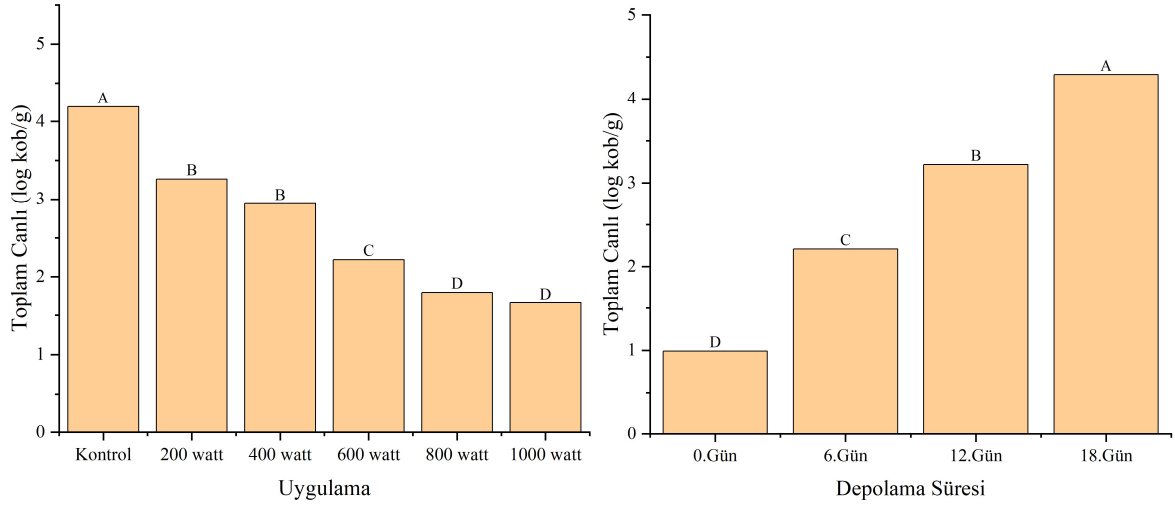
#### **4.10. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Toplam Canlı ve Küf ve Maya Sayılarına Etkisi**

Taze olarak minimal işlenen yemeye hazır meyve ve sebze ürünleri ile ilgili önemli problemlerden bir tanesi de, bu ürünlerin bir koruyucu katmana sahip olmaması, şeker varlığı ve yüksek nem oranları gibi sebeplerle patojenik organizmaların gelişimine açık olmalarıdır (Ashtari vd., 2019). Tanelenmiş narların kalitelerinin bozulmasının en önemli nedenlerinden biri de mikrobiyal bozulmalardır ve bu bozulmalar ambalaj içerisindeki yüksek nem oranları gibi mikrobiyal gelişim için elverişli ortamlar sayesinde ortaya çıkmakta, ambalaj yüzeylerinde gerçekleşen su buharı yoğunlaşmaları mikroorganizmalar için optimum koşulları oluşturabilmekte ve kötü tat oluşumuna neden olabilmektedir (Adiletta vd., 2019). Tanelenmiş narlarda daha çok bakteri ve küf ve mayalar gelişebilmekte ve ürünlerin raf ömürlerini sınırlandırmaktadır (Ashtari vd., 2019).

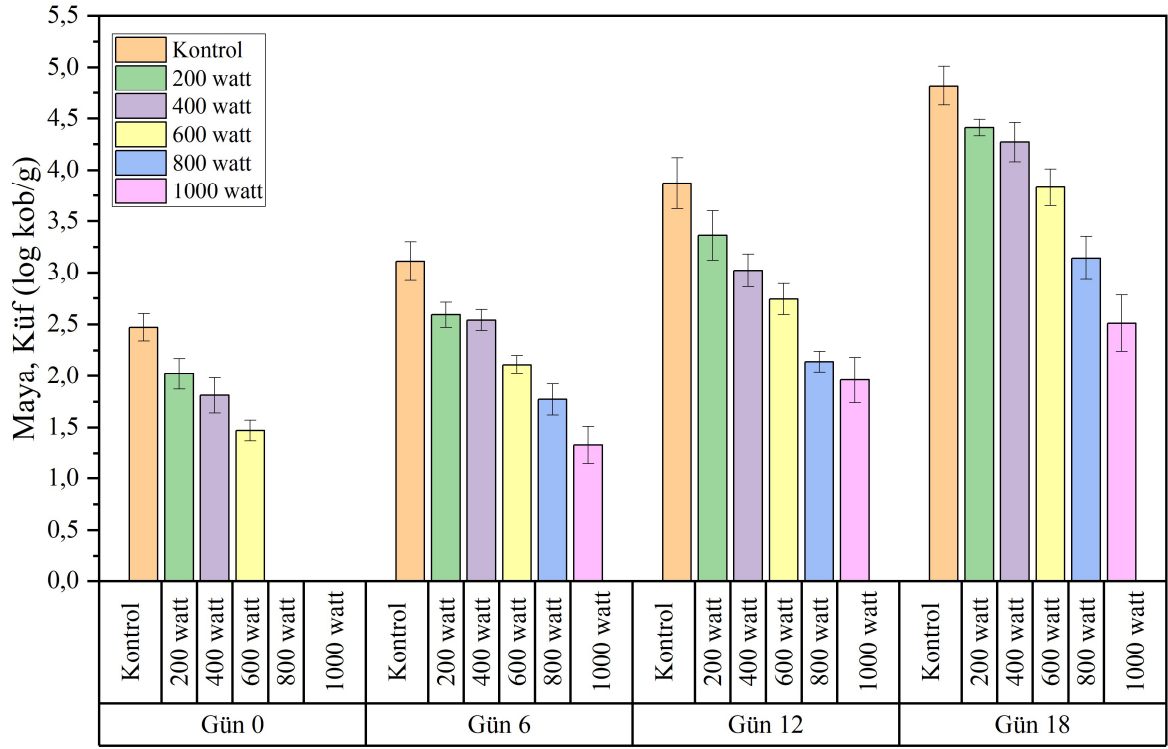
Çalışmamızda yapılan mikrobiyolojik analizlerde depolama süresince toplam canlı (Şekil 27 ve Şekil 28) ve küf ve maya sayılarının (Şekil 29 ve Şekil 30) arttığı gözlemlenmiştir. 800W ve 1000W uygulamalarında toplam canlı ve maya-küf bakımından en fazla azalma tespit edilmiş olup, herhangi bir işlem uygulanmayan kontrol grubunda ise en yüksek sayılara ulaşılmıştır. Hussein vd.,(2015) tarafından yapılan çalışmada da depolama süresinin artmasıyla tanelenmiş narların mikrobiyal değerlerinin arttığı, depolama süresi ve ambalaj tipinin mikroorganizma gelişimini önemli ölçüde etkilediği ve hiçbir örnekte işleme, ambalajlama ve depolama sonrasında *E. coli* tespit edilmediği belirtilmiştir.



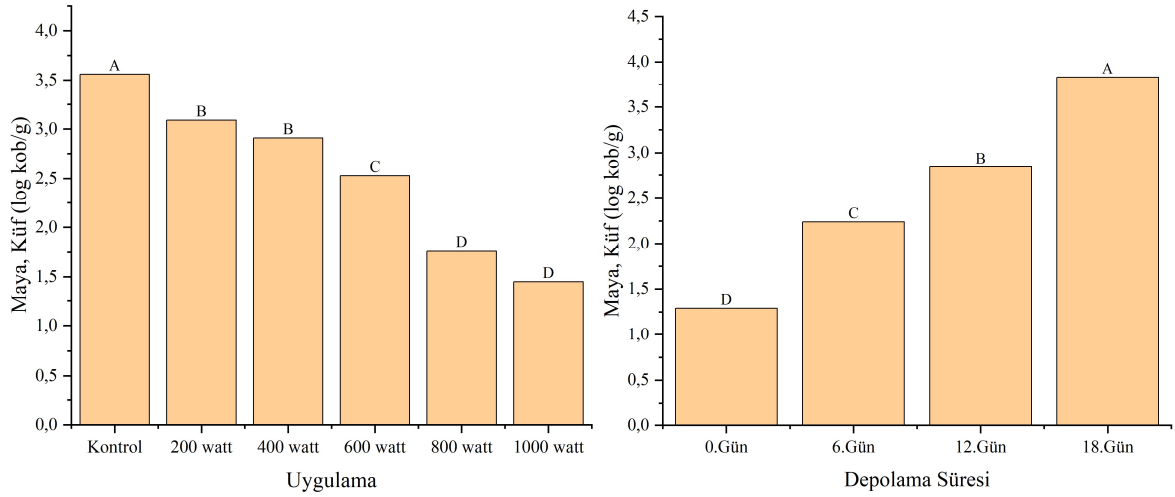
Şekil 27. Toplam canlı sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 28. Toplam canlı sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.



Şekil 29. Maya ve küf sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.



Şekil 30. Maya ve küf sayısının tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Hasheminejad ve Khodaiyan, (2020) tarafından yapılan çalışmada ise toplam küf ve maya sayılarının 5 °C sıcaklıktaki depolama sırasında önemli ölçüde arttığı ancak yapılan

film kaplama uygulamalarının kontrol örneklerine kıyasla bu sayıları önemli derecede azalttığı, kontrol örneklerinde 18 günlük soğuk depolama sonrasında fungal çürümelere meydana geldiği belirtilmiştir.

Pourebrahimi vd., (2020) tarafından yapılan çalışmada ise kontrol grubu dahil bütün örneklerde depolama süresi ile kademeli olarak toplam canlı sayılarının arttığı, yapılan gamma radyasyon uygulamalarının mikrobiyal sayım değerlerini azalttığı ve tanelenmiş narlardaki ilk toplam bakteri ve fungi popülasyonlarının uygulama dozu arttıkça azaldığı belirtilmiştir.

Modifiye atmosfer ambalajlama, depolama süresi ve bunların interaksiyonunun düşük bariyerli BOP film ile ambalajlanan tanelenmiş narların toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında önemli etkisinin olduğu belirtilmiştir çalışmada ise ambalaj içerisindeki yüksek oksijen atmosferinin mikrobiyal gelişmeyi önemli ölçüde azalttığı, yüksek oksijen atmosferinin hücreler içerisinde süperoksit, hidroksil, hidrojen peroksit ve serbest oksijen gibi vital hücresel bileşenlere hasar veren reaktif oksijen türleri oluşumuna yol açarak mikroorganizma hücrelerinin gelişimini düşürebileceğine değinilmiştir (Banda vd., 2015).

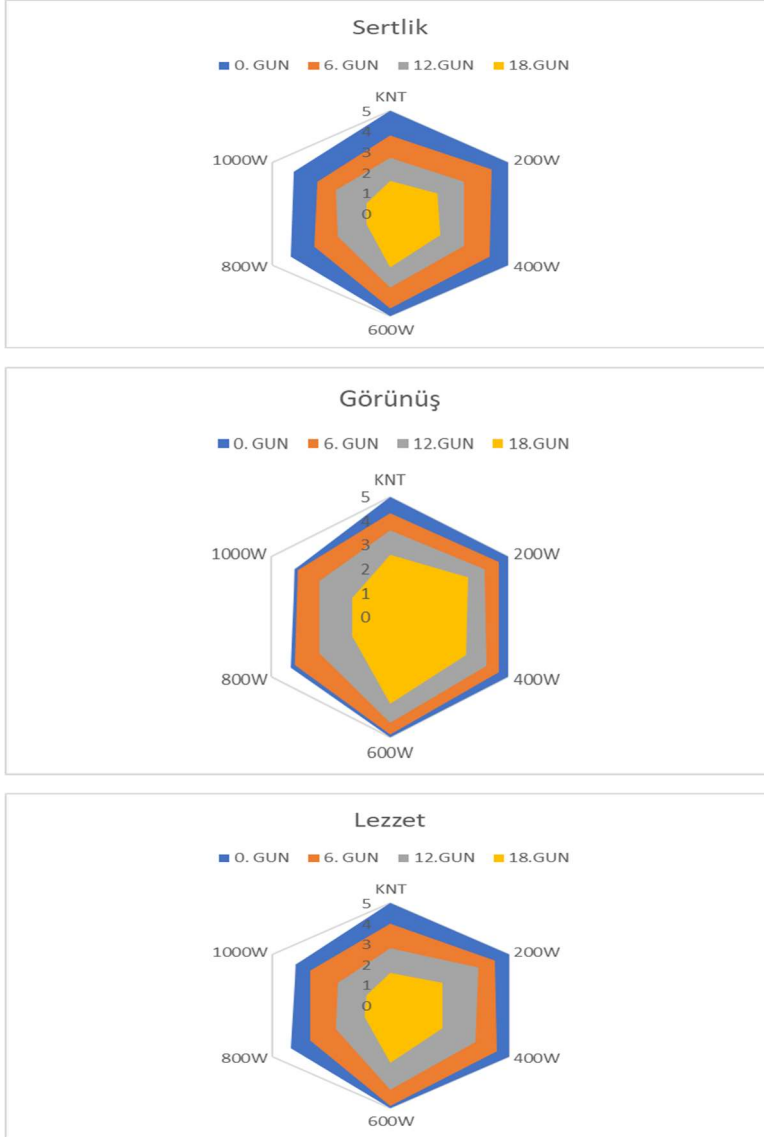
Başka bir çalışmada ise yüksek oksijen miktarlarının enzimatik renk bozulmaları, anaerobik fermantasyon reaksiyonları ve aerobik ve anaerobik mikrobiyal gelişimin engellenmesinde etkili olduğu, modifiye atmosfer ambalajlama uygulamalarında en çok kullanılan gazlar içerisinde sadece karbondioksitin kayda değer direkt antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ve bunun hücre membranı fonksiyonunu değiştirerek besin alımı ve absorpsiyonu etkilemesi, enzimleri direkt olarak inhibe etmesi ya da aktivitelerini azaltması, bakteriyel membranları penetre ederek hücre içi pH değişimleri ve proteinlerin fizikokimyasal yapılarında değişimlere sebep olması gibi özelliklerinden ileri geldiği belirtilmiştir (Ayhan ve Eştürk, 2009).

#### 4.11. Mikrodalga Uygulamaları ve Depolama Süresinin Tanelenmiş Narın Duyusal Özelliklerine Etkisi

Duyusal değerlendirmeler tüketici tarafından algılanan kalite seviyesinin ölçülmesine yardımcı olmakta ve tüketici memnuniyeti açısından önem arz etmektedir (Pourebrahimi vd., 2020). Ürünlerin fiyatı haricinde genel görünüşleri de tüketicinin satın alma kararını etkileyen önemli faktörlerden bir tanesidir (Kapetanakou vd., 2015). Ürünün tekstürü ve rengi yüksek kaliteli, yemeye hazır tanelenmiş narlar için önemli özelliklerdir ve tüketici tarafından kabul edilme ve ticari değer ile direkt olarak bağlantılıdır (Caleb vd., 2013a). Yaptığımız çalışmada; tanelenmiş narlar depolama sürecinde sertlik, görünüş ve lezzet açısından duyusal olarak değerlendirilmiş ve bu üç parametrenin de duyusal değerlendirme puanlarının depolama süresi arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 26). Caleb vd., (2013b), Hasheminejad ve Khodaiyan, (2020), Ayhan ve Eştürk, (2009) ve Martínez-Romero vd., (2013) tarafından yapılan çalışmalarda da duyusal skorların depolama süresince gerilediği rapor edilmiştir.

Çalışmamızda en yüksek skorları 600 W uygulaması alırken, en düşük skorları ise 800W ve 1000W uygulamaları almıştır (Şekil 31). Bu sonuçlar ölçülen fizikokimyasal analizlerle korelasyon göstermekte olup, örneklerin beğenilirliğiyle analizler örtüşmektedir. Tanelenmiş narların kalitesine sıcak suya batırma uygulaması, UV-C ışık uygulaması ve yüksek oksijen ve yüksek karbondioksit içeren modifiye atmosferde ambalajlama uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada 5 °C sıcaklıkta yapılan 14 günlük depolama sonunda örneklerin duyusal özellikleri aroma, tat, sertlik, renk, kahverengileşme ve dehidrasyon açısından değerlendirilmiş, sıcak su uygulaması yapılan örneklerin dehidrasyon bakımından kabul edilebilir olması ve herhangi bir kötü koku geliştirmemesine rağmen duyusal değerlendirme sonuçları kabul edilebilir değerlerin altında çıkmıştır (Maghoumi vd., 2013a). Sıcak hava uygulamaları ve farklı modifiye atmosferde ambalajlama uygulamalarının tanelenmiş narların kalitesine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; 14 günlük 4 °C sıcaklıkta depolama sırasında yüksek sıcak hava uygulaması yapılan örneklerin görünüş değerlerinin hızlı bir şekilde azaldığı, bu konuda en iyi değerlerin sırasıyla orta derecede yapılan sıcak hava uygulamasında ve kontrol örneklerinde görüldüğü, tat açısından orta derecedeli sıcak hava uygulaması yapılan örnekler ve kontrol örneklerinin

14 günlük depolama sonrasında hala kabul edilebilir seviyede olduğu belirtilmiştir (Maghoumi vd., 2014).



Şekil 31. Duyusal parametrelerin tanelenmiş narda mikrodalga uygulamaları ve depolama süresine göre değişimi.

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Nar Punicaceae familyasına ait bir meyve olup, yenilebilir olan ağırlıkça yaklaşık %50'lik kısmı %80 oranında taneler ve %20 oranında tohumlardan oluşmaktadır. Taneler %85 su, %10 toplam şeker (başlıca fruktoz ve glukoz) ve %1,5 pektin, askorbik asit, sitrik asit ve malik asit gibi organik asitler ve fenolikler ve antosiyaninler gibi bioaktif bileşenleri içermektedir. Narın yenilebilir kısmı genellikle içecek, jöle ve reçel yapımında kullanılmaktadır. Fakat narın hasat sonrası depolanması sırasında çeşitli fizyolojik ve enzimatik bozulmalardan dolayı önemli kalite kayıpları meydana gelmektedir ve bu nedenle kalitesinin korunması ve raf ömrünün arttırılması amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları kesikli ısıtma, kürlenme, film ile sarma, vakslama, kontrollü atmosfer ve modifiye atmosfer ambalajlama uygulamalarıdır.

Gıdaların kalitelerinin depolama sırasında korunması ve raf ömrünün arttırılması için çeşitli yöntemler uygulanmakta fakat bu yöntemlerin önemli bir kısmını gıda güvenliğini iyileştirirken ürünlerin kalite özelliklerinde olumsuz etkiler yaratabilen termal uygulamalar oluşturmaktadır. Gıdalara uygulanan bu termal işlemler sırasında ürünlerin maruz kaldığı ısı miktarlarının azaltılması ve termal proseslerin optimize edilmesi amacıyla çeşitli teknolojilerin gıda endüstrisine adapte edilmesi ve yeni teknolojiler araştırılmaktadır. Gıdaların kalite özelliklerinin korunması ve raf ömürlerinin arttırılması için geliştirilen yeni teknolojiler hali hazırda bu amaçlarla kullanılan termal yöntemlere katkı sağlayabilmekte ve hatta bu yöntemler yerine kullanılabilir. Elektromanyetik radyasyonun gıda proseslerinde kullanıldığı mikrodalga, infrared ısıtma, ohmik ısıtma gibi yöntemler ise bu amaçlarla kullanılabilir ve gıda muhafazasında potansiyele sahiptir.

Mikrodalga kullanılarak ısıtma işlemi mikrodalgalara maruz bırakılan ürünün bu dalgaları absorpsiyonu ve dalgaların sahip olduğu enerjinin ürün içerisinde ısıya dönüşümü prensibine dayanmaktadır. Gıda ürünlerinin mikrodalga kullanılarak ısıtılmasında daha çok iyonik ve dipolar mekanizmalar işlemekte; ürünlerin içerdiği su dipolar yapısı sayesinde dielektrik ısınma sağlamaktadır.



Çalışmamızda nar tanelerine 600 watt mikrodalga uygulaması yapıldığında oksijen tüketimi en düşük seviyede gerçekleşirken karbondioksit üretimi de bununla ilişkili olarak en az seviyede meydana gelmiştir. 800 ve 1000 watt uygulamalarında ise tam tersi sonuçlar görülmüş olup bu uygulamaların meyveye zarar vererek solunum hızını arttırdığı tespit edilmiştir. Renk parametrelerinden bir tanesi olan parlaklık ele alındığında en iyi uygulamaların 200, 400 ve 600 watt uygulamaları olduğu belirlenmiş, kontrol, 800 ve 1000 watt uygulamaları arasında istatistiksel farklılık bulunmamıştır. Kırmızılık bakımından değerlendirildiğinde de 200, 400 ve 600 watt uygulamaları nar tanelerinin renginin korunmasında en etkili uygulamalar olarak tespit edilmiştir. Ağırlık kaybı bakımından incelendiğinde depolama süresince en yüksek ağırlık kayıplarının 800 ve 1000 watt uygulamalarında görüldüğü tespit edilmiş olup, en az ağırlık kaybı ise 600 watt uygulamasında belirlenmiştir. Diğer sonuçlarla benzer olarak sertlik, suda çözünür kuru madde, pH ve titrasyon asitliği bakımından 800 ve 1000 watt uygulamalarındaki değişim en fazla miktarda gerçekleşirken, 600 watt uygulamasında değişim ise en düşük seviyede belirlenmiştir. Biyoaktif bileşenler bakımından; antosiyanin ve toplam fenol değerlendirildiğinde 200, 400 ve 600 watt uygulamaları kontrol grubundan daha iyi sonuçlar vermiştir. Toplam canlı ve maya küf sayıları karşılaştırıldığında ise 800 ve 1000 watt uygulamalarının en yüksek inaktivasyona sebep olduğu gözlenmiştir. Duyusal bakımdan sonuçlar değerlendirildiğinde diğer parametrelere benzer olarak en iyi skorlar 600 watt uygulamasında bulunmuş, en düşük skorlar ise 800 ve 1000 watt uygulamalarında görülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışmada, tanelenmiş narlara uygulanan 600 watt mikrodalga gücünün narda fizikokimyasal özelliklerdeki değişimi azalttığı ve raf ömrünü uzattığı tespit edilmiştir. 800 ve 1000 watt uygulamaları ise nar tanelerine zarar vermiştir. Fakat uygulama gücünün belirlenmesi uygulama başarısındaki tek faktör olmayıp, gıda ürünlerinin mikrodalga kullanılarak ısıtılmasını etkileyen diğer etkenlerden olan ürünlerin fiziksel ve kimyasal yapısı, içeriği, şekli, dielektrik özellikleri ve uygulamanın yapıldığı haznenin ya da ortamın yapısı, boyutları ve mikrodalgaların ürüne penetrasyon derinliklerinin de optimizasyonunun yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

- Adiletta, G., Petriccione, M., Liguori, L., Zampella, L., Mastrobuoni, F. ve Di Matteo, M. (2019). "Overall quality and antioxidant enzymes of ready-to-eat 'Purple Queen' pomegranate arils during cold storage". *Postharvest Biology and Technology*, 155 (5), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.05.008>.
- AKİB. (2020). Akdeniz İhracatçı Birlikleri. *Nar İhracat Verileri*. <https://www.akib.org.tr/tr/bilgi-merkezi-sektor-degerlendirmeleri-yas-meyve-sebze-ihracatcileri-birligi-2007-2019.html>.
- Amer, B. M. A. ve Azam, M. M. (2019). "Using hot water as a pretreatment to extend the shelf life of cucumbers (*Cucumis sativus L.*) under cold storage conditions". *Journal of Food Process Engineering*, 42 (2), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12958>.
- Amiri, A., Ramezani, A., Mortazavi, S. M. H., Hosseini, S. M. H. ve Yahia, E. (2020). "Shelf-life extension of pomegranate arils using chitosan nanoparticles loaded with *Satureja hortensis* essential oil". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101 (9), 3778–3786. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11010>.
- AOAC. (2000). *Microbiological methods, Vol. I, Official Methods of Analysis of AOAC International*. Association of Official Analytical Chemists: USA.
- Ashtari, M., Khademi, O., Soufbaf, M., Afsharmanesh, H. ve Askari Sarcheshmeh, M. A. (2019). "Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv. 'Malas Saveh'". *Scientia Horticulturae*, 244 (July 2018), 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.067>.
- Ayhan, Z. ve Eştürk, O. (2009). "Overall quality and shelf life of minimally processed and modified atmosphere packaged "ready-to-eat" pomegranate arils". *Journal of Food Science*, 74 (5). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01184.x>.
- Babalar, M., Pirzad, F., Sarcheshmeh, M. A. A., Talaei, A. ve Lessani, H. (2018). "Arginine treatment attenuates chilling injury of pomegranate fruit during cold storage by enhancing antioxidant system activity". *Postharvest Biology and Technology*, 137, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.012>.

- Bakeer, S. M. (2016). “Effect of ammonium nitrate fertilizer and calcium chloride foliar spray on fruit cracking and sunburn of Manfalouty pomegranate trees”. *Scientia Horticulturae*, 209, 300–308. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.043>.
- Banda, K., Caleb, O. J., Jacobs, K. ve Opara, U. L. (2015). “Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful)”. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.002>.
- Belay, Z. A., Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Fröhling, A. ve Opara, U. L. (2019). “A simplex lattice design to optimise active modified atmosphere for storing pomegranate (cv. Wonderful) arils: Part II, determining optimum gas for maintaining quality attributes”. *Biosystems Engineering*, 178, 322–335. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.11.009>.
- Belay, Z. A., Caleb, O. J., Mahajan, P. V. ve Opara, U. L. (2018). “Design of active modified atmosphere and humidity packaging (MAHP) for ‘wonderful’ pomegranate arils”. *Food and Bioprocess Technology*, 11 (8), 1478–1494. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2119-0>.
- Belay, Z. A., Caleb, O. J. ve Opara, U. L. (2017). “Impacts of low and super-atmospheric oxygen concentrations on quality attributes, phytonutrient content and volatile compounds of minimally processed pomegranate arils (cv. Wonderful)”. *Postharvest Biology and Technology*, 124, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.10.007>.
- Belović, M., Kevrešan, Ž., Pestorić, M. ve Mastilović, J. (2015). “The influence of hot air treatment and UV irradiation on the quality of two tomato varieties after storage”. *Food Packaging and Shelf Life*, 5, 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.06.002>.
- Ben Abda, J., Yahyaoui, N., Mars, M., Sdiri, S. ve Salvador-Pérez, A. (2010). “Effect of intermittent warming, hot water treatment and heat conditioning on quality of “Jbali” stored pomegranate”. *Acta Horticulturae*, 877, 1433–1440. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2010.877.196>.
- Benlloch-Tinoco, M., Igual, M., Rodrigo, D. ve Martínez-Navarrete, N. (2015). “Superiority of microwaves over conventional heating to preserve shelf-life and quality of

- kiwifruit puree”. *Food Control*, 50, 620–629. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.10.006>.
- Bhatia, K. ve Asrey, R. (2019). “Minimal processing of pomegranates (*Punica granatum L.*)—A review on processing, quality, and shelf life”. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43 (12), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14281>.
- Bhatia, K., Asrey, R., Jha, S. K., Singh, S. ve Kannaujia, P. K. (2013). “Influence of packaging material on quality characteristics of minimally processed Mridula pomegranate (*Punica granatum*) arils during cold storage”. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 83 (8), 872–876.
- Bhatia, K., Asrey, R. ve Varghese, E. (2015). “Correct packaging retained phytochemical, antioxidant properties and increases shelf life of minimally processed pomegranate (*Punica granatum L.*) arils Cv. Mridula”. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 74 (3), 141–144.
- Bhattacharya, M. ve Basak, T. (2017). “A comprehensive analysis on the effect of shape on the microwave heating dynamics of food materials”. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.002>.
- Borgese, R. ve Massini, R. (2007). “Pomegranate market, production trend and technology innovation”. *Fruit Processing*, 15, 270–274.
- Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Al-Said, F. A. ve Opara, U. L. (2013a). “Transpiration rate and quality of pomegranate arils as affected by storage conditions”. *CYTA - Journal of Food*, 11 (3), 199–207. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.721807>.
- Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Manley, M. ve Opara, U. L. (2013b). “Evaluation of parameters affecting modified atmosphere packaging engineering design for pomegranate arils”. *International Journal of Food Science and Technology*, 48 (11), 2315–2323. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12220>.
- Caleb, O. J., Opara, U. L., Mahajan, P. V., Manley, M., Mokwena, L. ve Tredoux, A. G. J. (2013c). “Effect of modified atmosphere packaging and storage temperature on volatile composition and postharvest life of minimally-processed pomegranate arils (cvs. “Acco” and ‘Herskawitz’)”. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.01.006>.

- Caleb, O. J., Opara, U. L. ve Witthuhn, C. R. (2012). “Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: a review”. *Food and Bioprocess Technology*, 5 (1), 15–30. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0525-7>.
- Cao, H., Fan, D., Jiao, X., Huang, J., Zhao, J., Yan, B., Zhou, W., Zhang, W., Ye, W. ve Zhang, H. (2019). “Importance of thickness in electromagnetic properties and gel characteristics of surimi during microwave heating”. *Journal of Food Engineering*, 248, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.003>.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. ve Basak, T. (2013). “Microwave food processing-A review”. *Food Research International*, 52 (1), 243–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.033>.
- Colgecen, I. ve Aday, M. S. (2015). “The efficacy of the combined use of chlorine dioxide and passive modified atmosphere packaging on sweet cherry quality”. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.016>.
- Datta, A. K. ve Ni, H. (2002). “Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture”. *Journal of Food Engineering*, 51 (4), 355–364. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00079-6).
- Defilippi, B. G., Whitaker, B. D., Hess-Pierce, B. M. ve Kader, A. A. (2006). “Development and control of scald on wonderful pomegranates during long-term storage”. *Postharvest Biology and Technology*, 41 (3), 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.006>.
- Desseva, I. ve Mihaylova, D. (2020). “Influence of in vitro gastrointestinal digestion on phytochemicals in pomegranate juice”. *Food Science and Technology*, 40, 211–216. <https://doi.org/10.1590/fst.07219>.
- Dev, S. R. S., Birla, S. L., Raghavan, G. S. V. ve Subbiah, J. (2012). “Microbial decontamination of food by microwave (MW) and radio frequency (RF)”. A. Demirci ve M. Ngadi (ed.). içinde: *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications*. (ss. 274–299). Woodhead Publishing: UK. <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.274>.

- Dhineshkumar, V., Ramasamy, D. ve Srivastav, P. P. (2015). “Modified atmosphere packaging of pomegranate arils: Review”. *International Journal of Applied Engineering and Technology*, 5 (3), 8–24.
- Dhumal, S. S., Karale, A. R., Jadhav, S. B. ve Kad, V. P. (2014). “Recent advances and the developments in the pomegranate processing and utilization: A review”. *Journal of Agriculture and Crop Science*, 1, 1–17.
- Djioua, T., Charles, F., Lopez-Lauri, F., Filgueiras, H., Coudret, A., Jr, M. F., Ducamp-Collin, M. N. ve Sallanon, H. (2009). “Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments”. *Postharvest Biology and Technology*, 52 (2), 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.10.006>.
- Dokhanieh, A. Y., Aghdam, M. S. ve Sarcheshmeh, M. A. A. (2016). “Impact of postharvest hot salicylic acid treatment on aril browning and nutritional quality in fresh-cut pomegranate”. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 57 (4), 378–384. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0087-8>.
- Ehteshami, S., Abdollahi, F., Ramezani, A., Dastjerdi, A. M. ve Rahimzadeh, M. (2019). “Enhanced chilling tolerance of pomegranate fruit by edible coatings combined with malic and oxalic acid treatments”. *Scientia Horticulturae*, 250, 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.075>.
- Ergun, M., Huber, D. J., Jeong, J. ve Bartz, J. A. (2006). “Extended Shelf Life and Quality of Fresh-cut Papaya Derived from Ripe Fruit Treated with the Ethylene Antagonist 1-Methylcyclopropene”. *Journal of the American Society for Horticultural Science Jashs*, 131 (1), 97–103. <https://doi.org/10.21273/JASHS.131.1.97>.
- Eris, A. ve Türk, R. (1999). “Heat treatments and different packaging materials for the modified atmosphere storage of pomegranate fruits”. D. Gerasopoulos (ed.). içinde: *Post-harvest losses of perishable horticultural products in the Mediterranean region*. (C. 193, ss. 185–193). Chania: Ciheam.
- Fawole, O. A., Atukuri, J., Arendse, E. ve Opara, U. O. (2020). “Postharvest physiological responses of pomegranate fruit (cv. Wonderful) to exogenous putrescine treatment and effects on physico-chemical and phytochemical properties”. *Food Science and Human Wellness*. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.02.007>.

- Fawole, O. A. ve Opara, U. L. (2013). “Harvest discrimination of pomegranate fruit: Postharvest quality changes and relationships between instrumental and sensory attributes during shelf life”. *Journal of Food Science*, 78 (8). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12176>.
- Franco, A. P., Yamamoto, L. Y., Tadini, C. C. ve Gut, J. A. W. (2015). “Dielectric properties of green coconut water relevant to microwave processing: Effect of temperature and field frequency”. *Journal of Food Engineering*, 155, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.011>.
- Gao, Y., Kan, C., Wan, C., Chen, C., Chen, M. ve Chen, J. (2018). “Effects of hot air treatment and chitosan coating on citric acid metabolism in ponkan fruit during cold storage”. *Plus One*, 13 (11), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206585>.
- Gavahian, M., Tiwari, B. K., Chu, Y. H., Ting, Y. ve Farahnaky, A. (2019). “Food texture as affected by ohmic heating: Mechanisms involved, recent findings, benefits, and limitations”. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 328–339. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.022>.
- Ghafir, S. A. M., Ibrahim, I. Z., Zaied, S. A. ve Abusrewel, G. S. (2010). “Response of local variety “Shlefy” pomegranate fruits to packaging and cold storage”. *Acta Horticulturae*, 877, 427–431. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.877.55>.
- Ghasemnezhad, M., Zareh, S., Rassa, M. ve Sajedi, R. H. (2013). “Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum L. cv. Tarom*) at cold storage temperature”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93 (2), 368–374. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5770>.
- Giusti, M. M. ve Wrolstad, R. E. (2001). “Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy”. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, F1.2.1-F1.2.13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
- Gunasekaran, S. ve Yang, H. W. (2007). “Optimization of pulsed microwave heating”. *Journal of Food Engineering*, 78 (4), 1457–1462. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.018>.

- Gunes, S., Gunes, G. ve Zor, A. O. (2010). "Respiration rate of pomegranate arils as affected by O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>, and design of modified atmosphere packaging". *Acta Horticulturae*, 876, 189–196. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2010.876.24>.
- Guo, Q., Sun, D. W., Cheng, J. H. ve Han, Z. (2017). "Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry". *Trends in Food Science and Technology*, 67, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.007>.
- Hasheminejad, N. ve Khodaiyan, F. (2020). "The effect of clove essential oil loaded chitosan nanoparticles on the shelf life and quality of pomegranate arils". *Food Chemistry*, 309 (9), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125520>.
- Heddleson, R. A. ve Doores, S. (1994). "Factors affecting microwave heating of foods and microwave induced destruction of foodborne pathogens - A review". *Journal of Food Protection*, 57 (11), 1025–1037. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-57.11.1025>.
- Holland, D., Hatib, K. ve Bar-Ya'akov, I. (2009). "Pomegranate: Botany, Horticulture, Breeding". J. Janick (ed.). içinde: *Horticultural Reviews*. (C. 35, ss. 127–191). John Wiley & Sons, Inc.:USA. <https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch2>.
- Hong, S. I., Lee, H. H. ve Kim, D. (2007). "Effects of hot water treatment on the storage stability of satsuma mandarin as a postharvest decay control". *Postharvest Biology and Technology*, 43 (2), 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.09.008>.
- Hou, L., Johnson, J. A. ve Wang, S. (2016). "Radio frequency heating for postharvest control of pests in agricultural products: A review". *Postharvest Biology and Technology*, 113, 106–118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.011>.
- Houšová, J. ve Hoke, K. (2018). "Microwave heating - the influence of oven and load parameters on the power absorbed in the heated load". *Czech Journal of Food Sciences*, 20 (3), 117–124. <https://doi.org/10.17221/3521-cjfs>.
- Hussein, Z., Caleb, O. J., Jacobs, K., Manley, M. ve Opara, U. L. (2015). "Effect of perforation-mediated modified atmosphere packaging and storage duration on physicochemical properties and microbial quality of fresh minimally processed "Acco" pomegranate arils". *LWT - Food Science and Technology*, 64 (2), 911–918. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.040>.



- Icier, F. ve Baysal, T. (2004). “Dielectrical properties of food materials - 1: Factors affecting and industrial uses”. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44 (6), 465–471. <https://doi.org/10.1080/10408690490886692>.
- Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K. H., Knorr, D., Vogel, R. F., Bandick, N., Kulling, S., Heinz, V. ve Steinberg, P. (2016). “Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods”. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.007>.
- Jain, D., Tang, J., Pedrow, P. D., Tang, Z., Sablani, S. ve Hong, Y. K. (2019). “Effect of changes in salt content and food thickness on electromagnetic heating of rice, mashed potatoes and peas in 915 MHz single mode microwave cavity”. *Food Research International*, 119, 584–595. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.036>.
- James, S. J., Foster, A. M., Phillips, I. C., Wilkins, T. J., Burfoot, D. ve Swain, M. J. (1994). *Effects on microwave power output of size of load continuous (intermittent) use, position of load and variation in mains supply voltage* (C. 11). Ministry of Agriculture, Fisheries and Food: UK.
- James, S. J., James, C. ve Purnell, G. (2017). “The heating performance of domestic microwave ovens”. M. Regier, K. Knoerzer, ve H. Schubert (ed.). içinde: *The Microwave Processing of Foods: Second Edition*. (ss. 300–326). Woodhead Publishing: UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00014-0>.
- Jannatizadeh, A. (2019). “Exogenous melatonin applying confers chilling tolerance in pomegranate fruit during cold storage”. *Scientia Horticulturae*, 246, 544–549. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.027>.
- Kandyliş, P. ve Kokkinomagoulos, E. (2020). “Food applications and potential health benefits of pomegranate and its derivatives”. *Foods*, 9 (2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/foods9020122>.
- Kanetis, L., Testempasis, S., Goulas, V., Samuel, S., Myresiotis, C. ve Karaoglanidis, G. S. (2015). “Identification and mycotoxigenic capacity of fungi associated with pre- and postharvest fruit rots of pomegranates in Greece and Cyprus”. *International Journal of Food Microbiology*, 208, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.05.015>.

- Kapetanakou, A. E., Stragkas, I. G. ve Skandamis, P. N. (2015). “Developing an antimicrobial packaging of ready-to-eat pomegranate arils based on vapors of brandy or distillery ethanol”. *Food Research International*, 69 (1), 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.006>.
- Kaveh, H. ve Vatandoost, S. (2020). “Possible use of organic compounds on shelf life and quality properties of peeled pomegranate”. *Food Science and Nutrition*, 8 (1), 636–647. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1351>.
- Kawhena, T. G., Tsigie, A. A., Opara, U. L. ve Fawole, O. A. (2020). “Application of gum arabic and methyl cellulose coatings enriched with thyme oil to maintain quality and extend shelf life of “acco” pomegranate arils”. *Plants*, 9 (12), 1–20. <https://doi.org/10.3390/plants9121690>.
- Khanal, R. C., Howard, L. R. ve Prior, R. L. (2010). “Effect of heating on the stability of grape and blueberry pomace procyanidins and total anthocyanins”. *Food Research International*, 43 (5), 1464–1469. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.04.018>.
- Knirsch, M. C., Alves dos Santos, C., Martins de Oliveira Soares Vicente, A. A. ve Vessoni Penna, T. C. (2010). “Ohmic heating - a review”. *Trends in Food Science and Technology*, 21 (9), 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.06.003>.
- Konak, U. I., Certel, M. ve Helhel, S. (2009). “Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları”. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 4, 20–31.
- Koushesh Saba, M. ve Amini, R. (2017). “Nano-ZnO/carboxymethyl cellulose-based active coating impact on ready-to-use pomegranate during cold storage”. *Food Chemistry*, 232, 721–726. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.076>.
- Krishnakumar, T. (2019). *Application of microwave heating in food industry* (ss. 1–19). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27035.72488>.
- Krishnamurthy, K. (2006). “Decontamination of milk and water by pulsed UV-light and infrared heating” [The Pennsylvania State University]. in: *ProQuest Dissertations and Theses*. <https://etda.libraries.psu.edu/catalog/7212>.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J. ve Demirci, A. (2008). “Infrared heating in food processing: An overview”. *Comprehensive Reviews in Food Science*

*and Food Safety*, 7 (1), 2–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00024.x>.

- Kubo, M. T., Siguemoto, É. S., Funcia, E. S., Augusto, P. E., Curet, S., Boillereaux, L., Sastry, S. K. ve Gut, J. A. (2020). “Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review”. *Current Opinion in Food Science*, 35, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.004>.
- Li, S., Zhang, L., Liu, M., Wang, X., Zhao, G. ve Zong, W. (2017). “Effect of poly-ε-lysine incorporated into alginate-based edible coatings on microbial and physicochemical properties of fresh-cut kiwifruit”. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 114–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.014>.
- Li, Y., Hu, A., Wang, X. ve Zheng, J. (2019). “Physicochemical and in vitro digestion of millet starch: Effect of moisture content in microwave”. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.046>.
- López-Rubira, V., Conesa, A., Allende, A. ve Artés, F. (2005). “Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C”. *Postharvest Biology and Technology*, 37 (2), 174–185. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.04.003>.
- Luo, Z. (2006). “Extending shelf-life of persimmon (*Diospyros kaki L.*) fruit by hot air treatment”. *European Food Research and Technology*, 222 (1–2), 149–154. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0156-1>.
- Maghoubi, M., Gómez, P. A., Artés-Hernández, F., Mostofi, Y., Zamani, Z. ve Artés, F. (2013a). “Hot water, UV-C and superatmospheric oxygen packaging as hurdle techniques for maintaining overall quality of fresh-cut pomegranate arils”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93 (5), 1162–1168. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5868>.
- Maghoubi, M., Gómez, P. A., Mostofi, Y., Zamani, Z., Artés-Hernández, F. ve Artés, F. (2013b). “Combined effect of heat treatment, UV-C and superatmospheric oxygen packing on phenolics and browning related enzymes of fresh-cut pomegranate arils”.

*LWT - Food Science and Technology*, 54 (2), 389–396.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.006>.

Maghoubi, M., Mostofi, Y., Zamani, Z., Talaie, A., Boojar, M. ve Gómez, P. A. (2014). “Influence of hot-air treatment, superatmospheric O<sub>2</sub> and elevated CO<sub>2</sub> on bioactive compounds and storage properties of fresh-cut pomegranate arils”. *International Journal of Food Science and Technology*, 49 (1), 153–159.  
<https://doi.org/10.1111/ijfs.12290>.

Malakou, A. ve Nanos, G. D. (2005). “A combination of hot water treatment and modified atmosphere packaging maintains quality of advanced maturity “Caldesi 2000” nectarines and “Royal Glory” peaches”. *Postharvest Biology and Technology*, 38 (2), 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.06.003>.

Marra, F., Zhang, L. ve Lyng, J. G. (2009). “Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances”. *Journal of Food Engineering*, 91 (4), 497–508.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.015>.

Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D. ve Serrano, M. (2013). “Aloe vera gel coating maintains quality and safety of ready-to-eat pomegranate arils”. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 107–112.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.022>.

Matityahu, I., Marciano, P., Holland, D., Ben-Arie, R. ve Amir, R. (2016). “Differential effects of regular and controlled atmosphere storage on the quality of three cultivars of pomegranate (*Punica granatum L.*)”. *Postharvest Biology and Technology*, 115, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.018>.

McKeown, M. S., Trabelsi, S., Tollner, E. W. ve Nelson, S. O. (2012). “Dielectric spectroscopy measurements for moisture prediction in Vidalia onions”. *Journal of Food Engineering*, 111 (3), 505–510.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.034>.

Mello, P. A., Barin, J. S. ve Guarnieri, R. A. (2014). “Microwave Heating”. E. Flores (ed.). içinde: *Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Determination*. (ss. 59–75). Elsevier B.V.:UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59420-4.00002-7>.

- Mirdehghan, S. H. ve Rahemi, M. (2005). "Effects of hot water treatment on reducing chilling injury of pomegranate (*Punica granatum*) fruit during storage". *Acta Horticulturae*, 682, 887–892. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.682.115>.
- Mirdehghan, S. H., Rahemi, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P. J., Serrano, M. ve Valero, D. (2007). "Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines". *Postharvest Biology and Technology*, 44 (1), 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.11.001>.
- Mirdehghan, S. H., Rahemi, M., Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D. ve Valero, D. (2006). "Prestorage heat treatment to maintain nutritive and functional properties during postharvest cold storage of pomegranate". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (22), 8495–8500. <https://doi.org/10.1021/jf0615146>.
- Moghadam, E. H., Shaaban, M. ve Sepahvand, A. (2019). "Medicinal properties of pomegranate". *Herbal Medicines Journal*, 4 (3), 127–139. <https://doi.org/10.22087/hmj.v4i3.759>.
- Moradinezhad, F., Ansarifard, E. ve Mohammadian Moghaddam, M. (2020). "Extending the shelf life and maintaining quality of minimally-processed pomegranate arils using ascorbic acid coating and modified atmosphere packaging". *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14 (6), 3445–3454. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00591-1>.
- Mukama, M., Ambaw, A. ve Opara, U. L. (2018). "Dynamics of pomegranate fruit weight loss during precooling and ambient storage: a spatial and temporal analysis". *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 14 (4), 202–207.
- Müller, W. A., Ferreira Marczak, L. D. ve Sarkis, J. R. (2020). "Microbial inactivation by ohmic heating: Literature review and influence of different process variables". *Trends in Food Science and Technology*, 99, 650–659. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.021>.
- Muthukumarappan, K. ve Swamy, G. J. (2019). "Microwave processing of foods". M. Kutz (ed.). içinde: *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering*. (ss. 417–438). Academic Press: USA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00016-6>.

- Nazoori, F., ZamaniBahramabadi, E., Mirdehghan, S. H. ve Rafie, A. (2020). “Extending the shelf life of pomegranate (*Punica granatum L.*) by GABA coating application”. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14 (5), 2760–2772. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00521-1>.
- Nelson, S. O. (2003). “Frequency- and temperature-dependent permittivities of fresh fruits and vegetables from 0.01 To 1.8 GHz”. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 46 (2), 567–574. <https://doi.org/10.13031/2013.12946>.
- Nelson, S. O. ve Trabelsi, S. (2012). “Factors influencing the dielectric properties of agricultural and food products”. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 46 (2), 93–107. <https://doi.org/10.1080/08327823.2012.11689828>.
- O’Grady, L., Sigge, G., Caleb, O. J. ve Opara, U. L. (2014). “Bioactive compounds and quality attributes of pomegranate arils (*Punica granatum L.*) processed after long-term storage”. *Food Packaging and Shelf Life*, 2 (1), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.06.001>.
- Orsat, V. ve Raghavan, G. S. V. (2014). “Radio-frequency processing”. D.-W. Sun (ed.). içinde: *Emerging Technologies for Food Processing*. (ss. 385–398). Academic Press: USA. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-411479-1.00021-8>.
- Oz, A. T. ve Ulukanli, Z. (2012). “Application of edible starch-based coating including glycerol plus oleum Nigella on arils from long-stored whole pomegranate fruits”. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36 (1), 81–95. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00599.x>.
- Özalp, A., Yılmaz, S., Ertekin, C. ve Yılmaz, I. (2018). “Energy Analysis and Emissions of Greenhouse Gases of Pomegranate Production in Antalya Province of Turkey”. *Erwerbs-Obstbau*, 60 (4), 321–329. <https://doi.org/10.1007/s10341-018-0380-z>.
- Özdemir, K. S. ve Gökmen, V. (2017). “Extending the shelf-life of pomegranate arils with chitosan-ascorbic acid coating”. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.057>.
- Pan, Z., Atungulu, G. G. ve Li, X. (2014). “Infrared Heating”. D.-W. Sun (ed.). içinde: *Emerging Technologies for Food Processing*. (ss. 461–474). Academic Press: USA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00025-5>.

- Pareek, S., Valero, D. ve Serrano, M. (2015). "Postharvest biology and technology of pomegranate". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (12), 2360–2379. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7069>.
- Pereira, R. N., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., Cappato, L. P., da Silva Ferreira, M. V., da Silva Rocha, R. ve da Cruz, A. G. (2018). "Ohmic heating for the dairy industry: a potential technology to develop probiotic dairy foods in association with modifications of whey protein structure". *Current Opinion in Food Science*, 22, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.014>.
- Pourebahimi, Y., Fazel, M. ve Akhavan, H. R. (2020). "Effect of gamma irradiation on the quality characteristics and shelf life of pomegranate arils during refrigerated storage". *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22 (3), 723–735.
- Prasad, R., Chandra, R. ve Teixeira da Silva, J. (2010). "Postharvest handling and processing of pomegranate". *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 4, 88–95.
- Qu, W., Breksa, A. P., Pan, Z. ve Ma, H. (2012). "Quantitative determination of major polyphenol constituents in pomegranate products". *Food Chemistry*, 132 (3), 1585–1591. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.106>.
- Ramaswamy, R., Krishnamurthy, K. ve Jun, S. (2012). "Microbial decontamination of food by infrared (IR) heating". A. Demirci ve M. Ngadi (ed.). içinde: *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications*. (ss. 450–471). Woodhead Publishing: UK. <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.450>.
- Ramezani, A. ve Rahemi, M. (2010). "Effect of pre-storage application of spermidine, calcium chloride and hot water on chilling injury of cold stored pomegranate". *Acta Horticulturae*, 877 (November 2010), 491–498. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.877.63>.
- Rastogi, N. K. (2012). "Infrared Heating of Fluid Foods". P. J. Cullen, B. K. Tiwari, ve V. P. Valdramidis (ed.). içinde: *Novel Thermal And Non-Thermal Technologies For Fluid Foods*. (ss. 411–432). Academic Press: USA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00013-X>.
- Rastogi, N. K. (2015). "Infrared heating of foods and its combination with electron beam processing". S. D. Pillai ve S. Shayanfar (ed.). içinde: *Electron Beam Pasteurization*

- and Complementary Food Processing Technologies*. (ss. 61–82). Woodhead Publishing: UK. <https://doi.org/10.1533/9781782421085.2.61>.
- Rifna, E. J., Singh, S. K., Chakraborty, S. ve Dwivedi, M. (2019). “Effect of thermal and non-thermal techniques for microbial safety in food powder: Recent advances”. *Food Research International*, 126, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108654>.
- Saei, H., Sharifani, M. M., Dehghani, A., Seifi, E. ve Akbarpour, V. (2014). “Description of biomechanical forces and physiological parameters of fruit cracking in pomegranate”. *Scientia Horticulturae*, 178, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.005>.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M. ve Valero, D. (2011). “Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates”. *Food Chemistry*, 124 (3), 964–970. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.036>.
- Schiffmann, R. F. (2013). “Microwave Ovens and Food Safety: Preparation of Not-Ready-to-Eat Products in Standard and Smart Ovens”. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 47 (1), 46–62. <https://doi.org/10.1080/08327823.2013.11689845>.
- Shah, Y. T. (2018). *Thermal energy: sources, recovery, and applications*. CRC Press: USA.
- Shao, X. ve Tu, K. (2014). “Hot air treatment improved the chilling resistance of loquat fruit under cold storage”. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38 (2), 694–703. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12019>.
- Singleton, V. L. ve Rossi, J. A. (1965). “Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents”. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16 (3), 144–158.
- Sreekumar, S., Sithul, H., Muraleedharan, P., Azeez, J. M. ve Sreeharshan, S. (2014). “Pomegranate fruit as a rich source of biologically active compounds”. *BioMed Research International*, 2014, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2014/686921>.
- Tang, J. ve Resurreccion, F. P. (2009). “Electromagnetic basis of microwave heating”. M. Lorence ve P. Pesheck (ed.). içinde: *Development of Packaging and Products for Use*



in *Microwave Ovens*. (ss. 3–38). Woodhead Publishing: UK.  
<https://doi.org/10.1533/9781845696573.1.3>.

Tayyari, F., Khazaei, J., Rajaei, P. ve Jouki, M. (2017). “Effects of modified atmosphere packaging systems, low temperature and storage time on the quality of fresh minimally processed pomegranate arils”. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 9 (1), 16–26.

TÜİK. (2020). Türkiye İstatistik Kurumu. *Bitkisel Ürün Tabloları*.  
<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=104&locale=tr>.

Vadivambal, R. ve Jayas, D. S. (2007). “Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review”. *Biosystems Engineering*, 98 (1), 1–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.06.006>.

Valdenegro, M., Huidobro, C., Monsalve, L., Bernales, M., Fuentes, L. ve Simpson, R. (2018). “Effects of ethrel, 1-MCP and modified atmosphere packaging on the quality of ‘Wonderful’ pomegranates during cold storage”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 (13), 4854–4865.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.9015>.

Valero, D., Pérez-Vicente, A., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F. ve Serrano, M. (2002). “Plum Storability Improved after Calcium and Heat Postharvest Treatments: Role of Polyamines”. *Journal of Food Science*, 67 (7), 2571–2575.  
<https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2002.TB08778.X>.

Varasteh, F., Arzani, K., Barzegar, M. ve Zamani, Z. (2017). “Pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit storability improvement using pre-storage chitosan coating technique”. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19 (2), 389–400.

Venkatesh, M. S. ve Raghavan, G. S. V. (2004). “An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials”. *Biosystems Engineering*, 88 (1), 1–18.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007>.

Viuda-Martos, M., Fernández-Lóaez, J. ve Pérez-álvarez, J. A. (2010). “Pomegranate and its Many Functional Components as Related to Human Health: A Review”. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9 (6), 635–654.  
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00131.x>.

- Wang, J., Tang, J., Park, J. W., Rasco, B., Tang, Z. ve Qu, Z. (2019). "Thermal gelation of Pacific whiting surimi in microwave assisted pasteurization". *Journal of Food Engineering*, 258, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.001>.
- Wäppling-Raaholt, B. ve Ohlsson, T. (2009). "Influence of food geometry and dielectric properties on heating performance". M. Lorence ve P. Pesheck (ed.). içinde: *Development of Packaging and Products for Use in Microwave Ovens*. (ss. 38-69). Woodhead Publishing: UK. <https://doi.org/10.1533/9781845696573.1.38>.
- Yang, J., Fu, M. Run, Zhao, Y. Ying ve Mao, L. Chun. (2009). "Reduction of chilling injury and ultrastructural damage in cherry tomato fruits after hot water treatment". *Agricultural Sciences in China*, 8 (3), 304–310. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60213-8](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60213-8).
- Yazici, K. ve Ercişli, S. (2017). "Characterization of hybrid pomegranate genotypes based on sunburn and cracking traits related to maturation time". *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 90, 132–139. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2017.090.016>.
- Yousuf, B. ve Srivastava, A. K. (2017). "Flaxseed gum in combination with lemongrass essential oil as an effective edible coating for ready-to-eat pomegranate arils". *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1030–1038. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.025>.
- Zhang, Z., Su, T. ve Zhang, S. (2018). "Shape effect on the temperature field during microwave heating process". *Journal of Food Quality*, 2018, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2018/9169875>.
- Zhou, D., Sun, Y., Li, M., Zhu, T. ve Tu, K. (2019). "Postharvest hot air and UV-C treatments enhance aroma-related volatiles by simulating the lipoxygenase pathway in peaches during cold storage". *Food Chemistry*, 292 (1), 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.049>.