

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN NAR TANELERİNİN
BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ, *IN VITRO* BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİ,
RENK VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

İrem ÖZAY ARANCIOĞLU

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Salih KARASU

Haziran, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN NAR TANELERİNİN
BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ, *IN VITRO* BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİ, RENK
VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

İrem ÖZAY ARANCIOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 18.06.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Salih KARASU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Salih KARASU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ümit GEÇGEL, Üye
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Doç. Dr. Ömer Said TOKER, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe KARADAĞ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Aslı AKSOY, Üye
Haliç Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Salih KARASU sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Farklı Kurutma Yöntemlerinin Nar Tanelerinin Biyoaktif Bileşenleri, *In Vitro* Biyoerişilebilirliği, Renk ve Yapısal Özelliklerine Etkisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İrem ÖZAY ARANCIOĞLU

İmza



Babama

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi, tecrübe ve destekleriyle bana yol gösteren ve bu çalışmayı tamamlamamı sağlayan çok değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Salih KARASU'ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitelerimde kıymetli görüşleri ile bana yol gösteren sayın Prof. Dr. Ümit GEÇGEL ve Doç. Dr. Ömer Said TOKER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Biyoerişilebilirlik konusundaki değerli katkıları için sayın Doç. Dr. Ayşe KARADAĞ'a çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen çok sevgili hocam başta Arş.Gör. Hatice BEKİROĞLU'na ve Arş. Gör. Öznur SAROĞLU'na, Hazal TEKİN'e, Haliç Üniversitesi hocalarıma ve mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte beni her zaman motive edip sonsuz güvenen sevgili eşim Başman ARANCIOĞU'na, kendisiyle ilgilenmem gereken bir çok vakitte tez çalışmama zaman ayırmama göz yuman Can oğluma gönülden teşekkür ederim.

Bugünlere ulaşmamda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her an yanımda olan canım annem Fatma ÖZAY'a, abim Bahadır ÖZAY'a ve bir yerlerden beni izlediğine inandığım babam merhum Muzaffer ÖZAY'a en derin hissiyatımla minnet dolu şükranlarımı bildiririm.

İrem ÖZAY ARANCIOĞLU

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
2 GENEL BİLGİLER	5
2.1 Nar	5
2.1.1 Nar Meyvesinin Kısımları ve Kompozisyonu	7
2.1.2 Nar Meyvesinin Biyoaktif Özellikleri	9
2.1.3 Nar Meyvesinin Sağlık Üzerine Etkileri	17
2.2 Sindirim Sistemi ve Besinlerin Biyoyararlanımı	22
2.2.1 Biyoyararlılık.....	23
2.2.2 Biyoaktivite	24
2.2.3 Biyoerişilebilirlik	24
2.3 Kurutma	33
2.3.1 Kuruma Eğrileri.....	34
2.3.2 Kurutma Yöntemleri.....	35

3 MATERYAL VE YÖNTEM	42
3.1 Materyal.....	42
3.1.1 Bitkisel Materyalin Hazırlanması.....	42
3.2 Yöntem.....	42
3.2.1 Kurutma İşlemleri	43
3.2.2 Fiziksel Analizler	45
3.2.3 Kimyasal Analizler.....	46
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1 Kuruma Eğrisi	53
4.2 Fiziksel Analiz Sonuçları	55
4.2.1 Kurutma İşlemlerinin Renk Üzerindeki Etkisi	55
4.2.2 Kurutma İşlemlerinin Nar Tanelerinin Mikroyapısına Etkisi	59
4.3 Kimyasal Analiz Sonuçları	62
4.3.1 Nar Meyvesinin Biyoaktif Bileşenleri Üzerinde Kurutma İşlemlerinin Etkisi	62
4.3.2 Nar Tanelerinin <i>In Vitro</i> Gastrointestinal Sindirilebilirliği	75
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	84
KAYNAKÇA	87
A ANALİZLERE AİT KALİBRASYON EĞRİLERİ	108
B İKLİM VERİLERİ	110
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	111

SİMGE LİSTESİ

L^*	Beyazlık-Siyahlık
Me	Denge Durumundaki Nem İçeriği (kg su/kg meyve)
M_0	Gıdanın Başlangıç Nem İçeriği (kg su/kg meyve)
M	Herhangi Bir t Anındaki Nem İçeriği (kg su/kg meyve)
a^*	Kırmızılık-Yeşillik
ϵ	Molar Soğurma Katsayısı
b^*	Sarılık-Mavilik
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
ΔE	Toplam Renk Farklılığı İndeksi
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

A	Absorbans
ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)
CE	Kateşin Eşdeğeri
CUPRAC	Bakır İndirgeyici Antioksidan Kapasitesi
DK	Dondurarak Kurutma
DPPH	1,1-difenil-2-pikril hidrazil
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
KM	Kuru Madde
KZYA	Kısa Zincirli Yağ Asidi
L	Küvet Optik Yolu Uzunluğu
LDL	Düşük Yoğunluklu Lipoprotein
MA	Molekül Ağırlığı
MR	Nem Oranı
NAFLD	Alkolsüz Yağlı Karaciğer Hastalığı
OS	Oksidatif Stres
PPO	Polifenoloksidaz
RNS	Reaktif Nitrojen Türleri
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SHK	Sıcak Hava Kurutma
Sf	Seyreltme Faktörü
T2D	Tip 2 Diyabet
TA	Toplam Antosiyanin
TE	Troloks Eşdeğeri
TF	Toplam Flavonoid
TFM	Toplam Fenolik Madde
USVK	Ultrases Destekli Vakum Kurutma
VK	Vakum Kurutma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Narın farklı kısımları.....	7
Şekil 2.2 <i>In vitro</i> ve <i>in vivo</i> yöntemlerin temel prensipleri.....	27
Şekil 2.3 Tipik kuruma eğrileri.....	35
Şekil 2.4 Şematize edilmiş ultrasonik banyo ve prob sistem.....	40
Şekil 2.5 Şematize edilmiş ultrases destekli vakum kurutma düzeneği.....	41
Şekil 3.1 Taze nar.....	42
Şekil 3.2 (A)Kabin fırın; (B)Kabin fırında sıcak hava ile kurutulacak nar taneleri.....	44
Şekil 3.3 Vakum kurutma ve ultrases destekli vakum kurutma düzeneği.....	44
Şekil 4.1 Nar tanelerinin farklı kurutma yöntemleri ile kuruma özellikleri.....	53
Şekil 4.2 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin görüntüleri.....	59
Şekil 4.3 Kurutulmuş nar tanelerinin SEM görüntüleri.....	60
Şekil 4.4 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin toplam fenolik madde miktarları.....	63
Şekil 4.5 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin toplam flavonoid miktarları.....	65
Şekil 4.6 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin toplam antosiyanin miktarları.....	66
Şekil 4.7 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin farklı yöntemlerle elde edilen antioksidan kapasiteleri.....	68
Şekil 4.8 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin <i>in vitro</i> sindirim sonucu elde edilen kazanım oranları.....	82
Şekil A.1 Gallik asit kalibrasyon eğrisi.....	108
Şekil A.2 Kateşin kalibrasyon eğrisi.....	108
Şekil A.3 Troloks cinsinden ABTS radikali kalibrasyon eğrisi.....	109
Şekil A.4 Troloks cinsinden CUPRAC radikali kalibrasyon eğrisi.....	109
Şekil B.1 Silifke yöresine ait yıllık iklim verileri.....	110

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Nar meyvesinin besin bileşimi.....	8
Tablo 3.1	Simüle edilmiş sindirim sıvılarının stok çözeltilerinin bileşimi.....	51
Tablo 4.1	Kurutma işlemi sırasında nar tanelerinin renk parametrelerindeki değişimler.....	56
Tablo 4.2	Kurutma işlemi sırasında nar tanelerinin biyoaktif özelliklerinde meydana gelen değişimler.....	62
Tablo 4.3	Kurutma yöntemlerinin nar tanesinin fenolik profiline etkisi.....	74
Tablo 4.4	<i>In vitro</i> gastrointestinal sindirim analizi sonuçları.....	76

Farklı Kurutma Yöntemlerinin Nar Tanelerinin Biyoaktif Bileşenleri, *In Vitro* Biyoerişilebilirliği, Renk ve Yapısal Özelliklerine Etkisi

İrem ÖZAY ARANCIOĞLU

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Salih KARASU

Nar meyvesi (*Punica granatum* L.) antik çağlardan bu yana sağlık üzerine olumlu etkileri için kullanılmakta, günümüzde de artan bilimsel çalışmalarla birlikte kullanım alanı yaygınlaşmaktadır. Yapılan çok sayıda araştırma ile narın anti-kanser, kalp hastalıklarına karşı koruyucu ve anti-enflamatuvar aktivitelere sahip olduğu, yanı sıra diyabet ve obezite gibi kronik hastalıkların tedavisinde de etkili olduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla narın uzun süre muhafazasını sağlayarak kullanımını yaygınlaştırmak önem kazanmıştır ve bu amaçla kullanılabilen en uygun işlem kurutmadır. Bu çalışmada, dondurarak kurutma (DK), ultrases destekli vakum kurutma (USVK), vakum kurutma (VK) ve sıcak hava kurutma (SHK) olmak üzere 4 farklı kurutma yönteminin nar tanelerinin kuruma davranışına, renk ve mikroyapısal özelliklerine, toplam biyoaktif madde içeriğine, biyoaktif bileşiklerin *in vitro* biyoerişilebilirliğine etkileri araştırılmıştır. DK hariç tüm kurutmalar 55°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kurutma yöntemleri, kurutulmuş nar tanelerinin seçilen tüm parametrelerini önemli ölçüde etkilemiştir ($p<0,05$). Dondurarak kurutulan nar taneleri, diğer kurutma

yöntemleri ile elde edilenlere göre daha yüksek miktarda toplam biyoaktif bileşik, daha iyi hücre yapısı ve daha iyi renk kalitesi göstermiştir. Ultrases destekli vakum kurutma yöntemi; vakum kurutma ve sıcak hava kurutma yöntemlerine göre daha düşük kuruma süresi, daha az büzülme ve daha yüksek miktarda toplam biyoaktif bileşik sağlamıştır. Kurutulmuş nar tanelerinin antioksidan kapasiteleri 3 farklı metot ile incelenmiştir. CUPRAC metodu sonucu ve ABTS, DPPH radikallerini süpürme kapasitesi sonuçları sırasıyla 29,70-61,61 $\mu\text{mol TE/g}$, 34,53-63,71 $\mu\text{mol TE/g}$ ve %64,82-93,69 olarak belirlenmiştir. Tüm yöntemler için en yüksek antioksidan kapasite değerleri DK ile kurutulan örneklerde elde edilmiştir. Ardından ABTS yöntemi hariç sırasıyla USVK, VK ve SHK yöntemleri ile elde edilmiştir. ABTS yönteminde VK örneklerin daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu görülmüştür. Kafeik, gallik ve klorojenik asit majör olarak tespit edilen fenolik bileşenlerdir. Kurutma yöntemlerinin fenolik bileşen üzerine etkileri önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Dondurarak kurutma yöntemi dışında tüm yöntemlerde fenolik bileşen değerlerinde azalma gözlenmiştir. *In vitro* gastrointestinal sindirim sonrası kurutulmuş ve taze nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarının (TFM) geri kazanımı %2,58 (taze örnek) ve %10,32 (VK örnek) arasında belirlenmiştir. DK örneklerin TFM geri kazanımının (%2,62) taze örneğe en yakın olduğu ve VK örneklerin USVK örneklerden çok az bir farkla (%9,59) en yüksek TFM geri kazanımı sağladığı görülmüştür. Kurutulmuş nar tanelerinin ABTS ve CUPRAC metotları ile saptanan antioksidan kapasitelerine göre sindirim sonrası en yüksek geri kazanım USVK örneklerde (sırasıyla %23,01 ve %50,37) belirlenmiştir. Bu çalışma, nar meyvesinin biyoaktif madde miktarını daha iyi seviyede koruması, daha kısa kuruma süresi sağlaması, kurutulmuş üründe daha az renk değişimi ve büzülme meydana gelmesi, biyoaktif bileşiklerin daha yüksek geri kazanımı nedenleriyle ultrases destekli vakum kurutma yönteminin sıcak hava kurutma yöntemine alternatif olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *In vitro* biyoerişilebilirlik, mikroyapı, nar tanesi, ultrases

The Effect of Different Drying Methods on the Bioactive Components, *In Vitro* Bioaccessibility, Color and Structural Properties of Pomegranate Arils

İrem ÖZAY ARANCIOĞLU

Department of Food Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Salih KARASU

Pomegranate (*Punica granatum* L.) has been used for its positive effects on health since ancient times, and its usage area is becoming widespread with increasing scientific studies. Numerous studies have shown that pomegranate has anti-cancer, protective against heart diseases and anti-inflammatory activities, as well as being effective in the treatment of a number of chronic diseases such as diabetes and obesity. Hence, the most suitable process that can be used to preserve the pomegranate for a long time and expand its use is drying. In this study, the effects of 4 different drying methods: freeze drying (FD), ultrasound assisted vacuum drying (UAVD), vacuum drying (VD) and hot air drying (HAD), on the drying behavior of pomegranate arils, color and microstructural properties, total bioactive substance content, *in vitro* bioaccessibility of bioactive compounds were investigated. Except for FD, all drying was carried out at 55°C. Drying methods significantly affected all selected parameters of dried pomegranate arils ($p < 0.05$). Freeze-dried pomegranate arils showed higher amounts of total bioactive compounds, better cell structure and better color quality than those obtained by other drying methods. Ultrasound

assisted vacuum drying method provided lower drying time, less shrinkage and higher amount of total bioactive compounds compared to vacuum drying and hot air drying methods. Antioxidant capacities of dried pomegranate arils were examined by 3 different methods. The scavenging capacity of ABTS and DPPH radicals and the CUPRAC method results were determined as 34.53-63.71 $\mu\text{mol TE/g}$, 64.82-93.69% and 29.70-61.61 $\mu\text{mol TE/g}$ respectively. For all methods, the highest antioxidant capacity values were obtained in samples dried with FD. Then, it was obtained by UAVD, VD and HAD methods, respectively, except ABTS method. VD samples showed higher antioxidant activity in ABTS method. Caffeic, gallic and chlorogenic acid are the major phenolic compounds identified. The effects of drying methods on the phenolic component were found to be significant ($p < 0.05$). A decrease in phenolic component values was observed in all methods except freeze drying method. Recovery of the total phenolic content (TPC) in dried and fresh pomegranate arils after *in vitro* gastrointestinal digestion was determined between 2.58% (fresh sample) and 10.32% (VD sample). It was found that the TPC recovery of the FD samples (2.62%) was closest to the fresh sample, and the VD samples provided the highest TPC recovery with a slight difference (9.59%) from the UAVD samples. According to the antioxidant capacities of dried pomegranate arils determined by ABTS and CUPRAC methods, the highest recovery after digestion was determined in UAVD samples (23.01% and 50.37% respectively). This study showed that the ultrasound assisted vacuum drying method can be used as an alternative to the hot air drying method because of the better preservation of the bioactive substance amount of pomegranate fruit, shorter drying time, less discoloration and shrinkage in the dried product, and higher recovery of bioactive compounds.

Keywords: *In vitro* bioaccessibility, microstructure, pomegranate arils, ultrasound assisted vacuum drying, vacuum drying

1.1 Literatür Özeti

Nar (*Punica granatum* L.) Amerika, Anadolu, Mezopotamya, Hindistan ve Akdeniz ülkeleri gibi dünyanın birçok farklı bölgesinde yetişen ve hemen hemen tüm dünyada tanınan tropikal-subtropikal bir meyvedir. Nar, taze tüketilmesinin yanı sıra meyve suyu, reçel, marmelat, meyve barları gibi birçok ürüne işlenmektedir [1]. Ayrıca unlu mamuller, şekerlemeler, enerji barları, yoğurt, dondurma, salata sosları, nar çekirdeği yağı, cilt bakım ürünleri ve sağlık takviyelerinde ticari olarak kullanılmaktadır. İnsanlığa yüzlerce yıldır eşlik eden nar meyvesine hayat, sağlık, uzun yaşam, doğurganlık, bilgi, ahlak, ölümsüzlük ve maneviyat gibi farklı kültürlerde çok çeşitli sembolik anlamlar yüklenmiştir [2]. Toplam fenolik madde içerikleri ve antioksidan aktiviteleri sayesinde tıbbi ve besleyici açıdan fonksiyonel özellik gösteren gıdalara günümüzde büyük önem verilmektedir [2], [3]. Nar meyvesi, bazı meyvelerin üstün beslenme niteliklerini ve sağlığı teşvik eden fitokimyasallarını vurgulamak için kullanılan bir terim olan “süper meyveler” grubunun bir parçası olarak kabul edilmektedir. Nar, antioksidan aktivitesi yüksek meyvelerden biridir. Narın yüksek antioksidan özelliği onu birçok tıbbi araştırmaya konu yapmıştır. Dolayısıyla son yıllarda nar, antioksidan, antimikrobiyal ve antikarsinogenik etkilere sahip olan antosiyanin, tanen ve fenolik asit gibi yüksek biyoaktif madde içeriğiyle tüketicilerin ilgi odağı olmuştur [4], [5]. Narın bu özellikleri çeşidine, yetiştirildiği bölgeye, tarımsal uygulamalara, depolamaya ve işlemeye bağlı olarak değişmektedir [6].

Nar, yüksek nem ve şeker içeriğinden dolayı mikroorganizmalar ve enzim aktiviteleri nedeniyle kolay bozulabilen bir üründür. Bu nedenle yıl boyunca tüketilebilmesi için muhafaza işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Kurutma, meyve ve sebzeleri muhafazada en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Bunun temel sebepleri, kurutulmuş ürünlerin uygun ambalajlama ile neredeyse sınırsız raf ömrüne sahip olmaları ve diğer muhafaza yöntemleriyle üretilen gıda

maddelerine kıyasla daha düşük nakliye, işleme ve depolama maliyetlerine sahip olmalarıdır [7].

Günümüzde kurutma işleminin kontrollü bir şekilde uygulanması için güneşte kurutma gibi geleneksel yöntemler yerine endüstriyel yöntemler tercih edilmektedir. Sıcak hava kurutma (SHK), kolay uygulanması nedeniyle en çok kullanılan yöntemlerdendir. Ancak sıcak hava kurutmada, uzun kuruma süresi, meyve ve sebzelerin mikroyapısal özelliklerinin olumsuz etkilenmesi ve biyoaktif bileşenlerin yüksek oranda bozunması gibi nedenlerle farklı kurutma yöntemleri araştırılmaktadır [8]–[10]. Bu doğrultuda en çok incelen dondurarak kurutma (DK) yöntemi, düşük sıcaklıkta uygulanan bir işlem olması nedeniyle duysal, mikroyapısal ve biyoaktif özellikler bakımından kaliteli ürünler sağlamaktadır [10], [11]. Ancak birçok avantajına rağmen yöntemin yüksek işlem maliyeti sebebiyle kullanımı kısıtlıdır [12]. Bu nedenle kullanımı kolay, işletme maliyeti düşük, kaliteli ürün sağlayan alternatif yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Vakum kurutma, SHK'da görülen dezavantajların üstesinden gelmek için en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Vakum kurutma sırasında buhar basıncının düşmesi kuruma süresini kısaltmakta ve düşük sıcaklıklarda çalışma imkanı sağlamaktadır [13], [14]. Ayrıca, vakum kurutma sırasında ortamda oksijenin olmaması, fenolik bileşikler ve vitaminler gibi biyoaktif bileşenlerin bozunmasını azaltmaktadır [1]. Kurutma verimini artırmak amacıyla vakum kurutmanın ultrases, mikrodalga ve kızılötesi ile birlikte kullanıldığı çalışmalar yaygınlaşmıştır. Ultrases sırasında oluşan kavitasyon ve süngerimsi etki sayesinde ürünlerin mikroyapısal özellikleri iyileştirilebilmekte ve böylece kuruma hızı artmaktadır. Bu nedenle, ultrases destekli vakum kurutma araştırmalarına eğilim artmaktadır [11], [15], [16]. Nar tanelerine, sıcak hava kurutma [17]–[19], vakum kurutma [1] ve vakum kurutmanın kızılötesi ile [20], [21] ve mikrodalga ile [22] kombine edildiği çeşitli kurutma yöntemlerinin uygulandığı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak nar tanelerinin vakum kurutma ve ultrases ile birlikte kurutulması konusunda çalışmaya rastlanmamıştır.

Kurutma sırasında ürünlerin rengi, mikroyapısal özellikleri, duyuşal özellikleri, dokusal özellikleri ve biyoaktif madde içerikleri önemli ölçüde değişmektedir. Farklı kurutma yöntemleri ve sıcaklıklarının nar tanelerinin biyoaktif bileşen miktarı, renk ve rehidrasyon kapasitesi gibi kalite özelliklerine etkilerini belirlemek için çok sayıda araştırma yapılmıştır [1], [22], [23]. Kurutma işlemiyle değişim gösteren biyoaktif bileşiklerin miktarları kadar bu bileşiklerin vücut tarafından ne ölçüde kullanılabileceğini belirlemeye yardımcı olan *in vitro* biyoerişilebilirlik özellikleri de oldukça önemlidir. Ancak farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen nar tanelerinin biyoaktif bileşiklerinin *in vitro* biyoerişilebilirliği üzerine çalışma yapılmamıştır. Bu tez çalışmasında, nar tanelerinin farklı kurutma yöntemlerindeki kuruma davranışı, rengi, mikroyapısı, toplam biyoaktif madde içeriği ve *in vitro* biyoerişilebilirlik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Nar meyvesinin sağlık üzerine olumlu etkilerinden faydalanabilmek adına ürünün her mevsim tazesine yakın nitelikte temin edilebilir olması önemlidir. Kurutma ile meyvenin uzun süre muhafazası ve farklı ürünlerin üretiminde kullanılabilmesi mümkündür. Uygun kurutma işlemi seçilerek fiziksel ve fonksiyonel özellikleri korunmuş ürün elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, nar meyvesinin uzun süre dayanımını sağlamak, farklı şekillerde kullanım alanı oluşturmak ve bunları yaparken biyoaktif niteliklerini kaybetmemek adına meyvenin geleneksel kurutma yöntemleri yerine modern tekniklerden ultrases uygulaması ile muhafazası hedeflenmiştir. Bu doğrultuda SHK, VK, USVK ve DK olmak üzere farklı tekniklerle 55°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işlemlerinin nar tanesinin kuruma davranışı, biyoaktif özellikleri, mikroyapısı, renk nitelikleri ile *in vitro* biyoerişilebilirlik özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi ve ultrases uygulamasının taze örneğe yakın kalite özellikleri sağlayıp sağlayamayacağını belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Geleneksel kurutma işlemi olan sıcak hava kurutma uygulaması sonucu elde edilen üründe kalite kayıpları meydana gelmektedir. Bu sorunu aşmak amacıyla

dondurarak kurutma işlemi kullanılabilse de işlemin uygulama zorluğu ve maliyet etkin olmaması nedeniyle alternatif yöntemler aranmalıdır. Vakum altında kurutma işlemi ile sıcak hava kurutmanın olumsuz etkileri azaltılabilmektedir ancak yöntemin ultrases uygulaması gibi yeni bir teknolojiyle kombine edilmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Vakum altında ve düşük sıcaklıkta uygulanan ultrases işlemi sayesinde nar tanelerinin hücre yapısı etkilenecek ısı ve kütle aktarımının hızlanacağı varsayılmaktadır. Böylece daha kısa sürede ve oksijensiz ortamda gerçekleşen kurutma sonucu biyoaktif bileşen miktarının daha çok korunduğu, fiziksel kusurların en aza indirildiği ve kavitasyon etkisi ile biyoerişilebilirliği yüksek olan kurutulmuş nar tanelerinin elde edilmesi beklenmektedir.

2.1 Nar

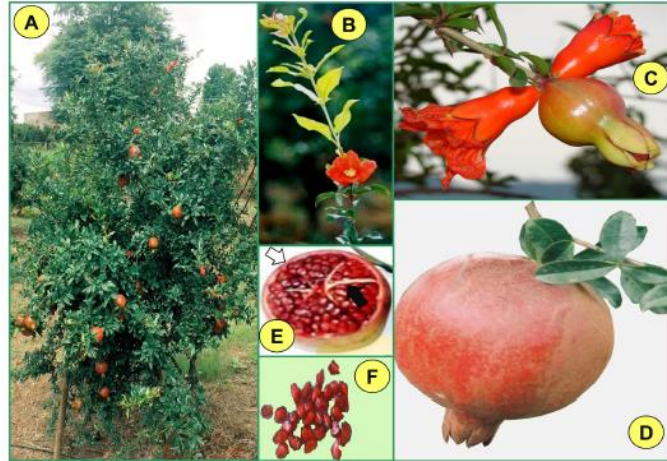
Nar, *Punica granatum* L., *Lythraceae* familyasının *Punica* cinsine ait olan, dünya çapında birçok farklı iklimatik bölgede subtropikal ve tropikal alanlarda yetiştirilen bir bitkidir. İsmi “Pomuni granatum”dan türetilmiştir ve “tanelenmiş elma” anlamına gelen Pomum (elma) granatus (taneli) kelimelerinden evrilmiştir [6]. Tarihsel gelişime bakıldığında bilinen en eski yenilebilir meyvelerden birisidir ve Orta Doğu'nun eski uygarlıklarıyla ilişkilidir. Ehlileştirilmesi M.Ö. 4000-3000'de İran'ın kuzeyi ve Türkiye'de başlamıştır. Ekimi daha sonra eski Mısır, Hindistan, Küçük Asya, Kuzey Afrika ve Akdeniz kıyılarına yayılmıştır. İspanyol misyonerler narı 1500 ve 1600'lerde Orta Amerika, Meksika ve Güney Amerika'ya tanıtmıştır [2]. Günümüzde nar yetiştiriciliği en fazla Akdeniz Havzası, Güney Batı Asya ve Amerika'da yapılmaktadır. Bütün din kitaplarında yer alan ve mistik bir meyve olarak addedilen nar, Hristiyan sanatında umut sembolü olarak kabul edilmektedir. Nar Babil'de bir diriliş aracıken, Persler nar tohumlarının savaş alanına yenilmezlik sağladığına inanmaktaydı. Çin'de ise nar meyvesi uzun yaşamı simgelemekteydi. Ülkemizde de bir gelinin, narı yere attığında dökülen tane sayısına bakarak sahip olacağı çocuk sayısını tahmin ettiği bir inanış bulunmaktadır [24], [25]. Yaklaşık 11 milyon yıllık fosillerine rastlanılan nar meyvesinin kök, gövde, yaprak, çiçek ve meyvelerinden değişik amaçlarda yararlanıldığına dair tarihi belgelere rastlanmıştır [26]. Eski zamanlardan beri nar, Ayurveda (Hindistan) ve Unani (Orta Doğu ve Hindistan) gibi çeşitli tıbbi sistemlerde kullanılmaktadır. Hem tıbbi hem de besleyici bir gıda olan nar ile ilgili araştırmalar son zamanlarda artmıştır. Modern çalışmalar da göstermiştir ki, nar meyvelerinin, çiçekleri, yaprakları, kabuğu ve kökü, sağlık üzerine güçlü fizyolojik etkiler sergileyen çok sayıda biyoaktif fitokimyasal içermektedir. Sağlık üzerine olumlu etkileri kanıtlandıkça tüm dünyada nar üretimi de artmaktadır.

Dünyada toplam nar üretiminin yaklaşık 300000 ha'lık alanda 3 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Nar üretiminde Hindistan en büyük alana ve üretime sahiptir (0,81 milyon ton), ardından sırasıyla İran ve Türkiye gelmektedir [24]. Dünyada bilinen 500'den fazla nar çeşidi olmasına rağmen, sadece 50 tanesi yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bugün yetiştirilen nar çeşitlerinin çoğu doğal olarak yetişen çeşitlerden aşılamanın sonucu elde edilmiştir. Yeni çeşitlerin seçimi ve ıslahı yapılırken pazar talepleri, meyve suyu içeriği, verim, hastalık direnci, yetiştirilen bölgeye, iklime ve toprağa dayanımı dikkate alınmaktadır [2]. Türkiye'de uzun yıllardır çok sayıda bölgesel veya standart nar çeşidi yetiştirilmekte ve nar tüketimi yapılmaktadır. Örnek olarak; Çekirdeksiz, Aşı nar, Fellahyemez, Silifke aşısı, Lefan, Katırbaşı, Gevrek nar, İzmir 8, İzmir 1445, Kara, Çevlik, Karaköprü narı, Seyfi narı, Zivzik narı, Hicaz narı, Katırbaşı, Dicle narı, Suruç narı, Urfa narı, Katina narı, Derik narı ve Oğuzeli narı, Keben narı (33 N16) önemli nar çeşitleridir [26]. Nar ülkemizin başta Akdeniz bölgesi olmak üzere diğer birçok yöresinde yetişen bir üründür. Türkiye'de nar yetiştiriciliği eski tarihlerden beri yapılsa da meyvecilik sektöründeki gelişimi 2000'li yıllardan itibaren olmuştur [27]. Nar üretimi 2009 yılında 170963 ton iken son 10 yılda sürekli artış göstermiştir. 2020 yılında 600021 tonluk üretim gerçekleştirilmiştir [28]. 600 bin tonu geçen nar üretiminin en fazla yapıldığı il %25'lik pay ile Antalya'dır. Antalya'yı, %15,6'lık payı ile Mersin ve %15,48'lik payı ile Muğla izlemektedir. Narın ticari potansiyeli ve ekonomik etkisi, meyvenin farklı kullanım şekilleri dikkate alındığında oldukça fazladır. Nar, taze ve/veya meyve suyu, reçel, şarap olarak tüketilebilirken, çeşitli yemekler, fırınlanmış ürünler, şeker, yoğurt, dondurma, salata sosları, kozmetik ürünler ve gıda takviyelerinde ticari olarak kullanılmaktadır. Üretilen narın yaklaşık üçte biri ihraç edilmektedir. 2019 yılında 205 bin ton nar ihracatı yapılmış ve 114 milyon dolar ihracat geliri elde edilmiştir. En fazla ihracat yapılan ülkeler ise Irak (%33) ve Rusya (%23)'dır [27].

2.1.1 Nar Meyvesinin Kısımları ve Kompozisyonu

Nar meyvesinin şekli yuvarlağa yakındır ve çapı 6,25 ila 12,5 cm arasında değişmektedir. Belirgin ve dayanıklı bir çanak yaprağa ve sert, köselemsi bir kabuğa sahiptir. Kabuk rengi, çeşide bağlı olarak pembeli sarılı bir görünümünden parlak kırmızıya kadar değişmektedir. Yenilebilir kısım tohumları çevreleyen pulptur. Taneler çeşide bağlı olarak sulu kırmızı, pembe veya beyazımsı pulpla doludur. Meyvenin köselemsi kabuğu fiziksel hasara ve su kaybına karşı çok dayanıklı gibi gözükse de kabuk sıyrıklardan kolayca aşınabilmektedir. Narın çekerek koparılması meyve ve dallarda zedelenmelere yol açar. Dolayısıyla hasadı yapılan meyveler yumuşak bir şekilde kasalara bırakılmalıdır. Ayrıca kabuk, su kaybını kolaylaştıran birçok mikro çatlak ve diğer açıklıklara sahiptir. Bu nedenle, narların hasat ve hasat sonrası işlemlerinde özenli davranılmalıdır [2], [27].

Nar temel olarak 3 ana kısımdan meydana gelmektedir. Bu kısımlar narın çeşidine ve tipine bağlı olmak üzere; kabuk (%40), çekirdekli taneler (%50) ve beyaz iç zardan (%10) oluşmaktadır [29]. Narın yenilebilir kısmı (taneleri) ise yaklaşık % 75-85 meyve suyu ve % 15–25 çekirdekten ibarettir [2]. Şekil 2.1 nar meyvesinin kısımlarına ait çeşitli görseller içermektedir.



Şekil 2.1 Narın farklı kısımları. (A) Nar ağacı; (B) Nar çiçeği; (C) Gelişen meyve (D) Tamamen olgunlaşmış nar; (E) Nar meyvesinin kabuğu, zarı ve tanelerini gösteren kesiti; (F) Taneler [30]

Narın bileşimi çeşide, tarımsal uygulamalara, coğrafi konuma, depolama ve işlemeye göre değişmektedir. Farklı nar çeşitleri ile narın kabuk, tohum, meyve suyu, yaprak ve çiçekleri gibi farklı bölümlerinin bileşimsel analizi üzerine bir

dizi çalışma yapılmıştır. Yenilebilir kısmın bileşimi, narın besin değerini ve gıdaya işlenebilirliğini belirlemektedir [2]. Nar meyvesi dikkate değer konsantrasyonda fenolik maddeler, organik asitler, şekerler, mineral maddeler ve vitaminler içermektedir. Tablo 2.1’de nar meyvesinin besin bileşimi verilmiştir [6].

Tablo 2.1 Nar meyvesinin besin bileşimi [6]

Besin	Birim	Miktar
Su	g	77,93
Enerji	kcal	82,98
Protein	g	1,67
Toplam lipid	g	1,17
Karbonhidrat	g	18,70
Toplam lif	g	4,01
Toplam şeker	g	13,67
Mineraller		
Kalsiyum, Ca	mg	9,93
Demir, Fe	mg	0,30
Magnezyum, Mg	mg	12,06
Fosfor, P	mg	36,17
Potasyum, K	mg	236,17
Sodyum, Na	mg	2,84
Çinko, Zn	mg	0,35
Vitaminler		
Vitamin C (toplam askorbik asit)	mg	10,21
Tiamin	mg	0,07
Vitamin B2	mg	0,05
Niasin	mg	0,29
Vitamin B6	mg	0,08
Folat	µg	37,94
Vitamin B12	µg	0
Vitamin A (retinol aktivite eşdeğeri)	µg	0
Vitamin E (alfa-tokoferol)	mg	0,60
Vitamin D (D2 + D3)	µg	0
Vitamin K (filokinon)	µg	16,38

Tablo 2.1 Nar meyvesinin besin bileşimi [6] (devamı)

Lipidler		
Toplam doymuş yağ asidi	g	0,12
Toplam tekli doymamış yağ asidi	g	0,09
Toplam çoklu doymamış yağ asidi	g	0,08
Kolesterol	mg	0

Nar, son yıllarda içerdiği biyoaktif bileşenlerin sağlık üzerine olumlu etkilerinin anlaşılmasından sonra oldukça popüler hale gelmiş ve hem dünyada hem de ülkemizde nara ve nardan yapılmış ürünlere ciddi bir talep artışı olmuştur. Nar, antioksidan aktivitesinin %92'sini oluşturan flavanoidler (antosiyantinler, kateşinler, kuersetin), hidrolize olabilen tanenler (punikalın, pedunkulajin, punikalajin, glikozun gallik ve elajik asit esterleri), polifenoller, yağ asitleri (konjüge ve konjüge-olmayan), aromatik bileşikler, aminoasitler, tokoferoller, steroller, terpenoidler, alkaloidler gibi fenolik bileşiklerce zengin bir kaynaktır [6]. Aşağıdaki kısımda nar meyvesinin biyoaktif özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır.

2.1.2 Nar Meyvesinin Biyoaktif Özellikleri

Meyve ve sebzelerin tüketimine atfedilen faydalı sağlık etkileri, genellikle antioksidan aktivitesi ile ilgilidir. Yenilebilir bitkiler birkaç yüz adet farklı antioksidan içermektedir. Doğal antioksidanlar arasında C ve E vitaminleri, karotenoidler ve polifenolik flavonoidler bulunmaktadır. Nar ve nar suyunun biyoaktif özellikleri de antioksidan özellik gösteren fenolik bileşik içeriği ile ilişkilendirilmiştir [2].

2.1.2.1 Oksidatif Stres ve Antioksidan Aktivite

Vücuttaki normal fizyolojik koşullar altındaki tüm hücreler, endojen ve eksojen oksidanlara maruz kalmaktadırlar. Oksidatif stres (OS), prooksidan olan reaktif oksijen/nitrojen türlerinin (ROS/RNS) üretimi ile hücrenin bunları antioksidatif koruma sistemleri tarafından nötralize etme kapasitesi arasındaki bir dengesizlik olarak tanımlanmaktadır [31]. Prooksidanlar, dış yörüngelerinde en az bir eşlenmemiş elektron bulunduran radikaller veya yüksek reaktiviteye sahip

radikal olmayan moleküller olarak sınıflandırılmaktadır. Serbest radikallerdeki eşlenmemiş elektronlar kararlı duruma geçmek isterler ve kararlı halde bulunan bir bileşikten elektron alarak, bu bileşiği yeni bir serbest radikal haline dönüştürürler [32]. Mitokondrinin iç zarında bulunan ve enerjinin üretildiği yer olan elektron taşıma zinciri, reaktif oksijen türlerinin ana kaynağıdır. Doğal bir olay olarak, bazı elektronlar oksijenle reaksiyona girmek ve diğer ROS ve RNS formlarını da meydana getirebilen süperoksit anyonları oluşturmak için iç membrandan sızarlar. Artmış ROS/RNS üretimi veya bozulmuş antioksidan üretim kabiliyeti, endojen sistemin oksidatif atağa karşı savaşma kapasitesinin azaldığını gösteren oksidatif stresin ortaya çıkmasının temel sebebidir [31]. Yanısıra radyasyon, çeşitli gazlar, ağır metaller, herbisitler, pestisitler ile tedavi amaçlı kullanılan birçok ilaç, oksidatif stres nedeni olarak gösterilen aktif oksijen oluşumuna neden olabilmektedirler. Serbest radikallerin başlattığı zincirleme reaksiyonlar dizisi, antioksidanlar tarafından durduruluncaya kadar devam eder [33]. ROS/RNS, hücredeki DNA, RNA, proteinler ve lipidler gibi farklı makromolekül türlerine zarar verebilir ve bunları değiştirerek daha güçlü reaktif moleküller oluşturabilir. OS'nin çeşitli bozukluklar ve hastalıklarla ilişkili olduğu yapılan çalışmalar ile doğrulanmıştır. Öte yandan, oksidatif stres antioksidan aktivite oluşumu ile önlenebilmektedir [31].

Antioksidanlar, oksidatif zincir reaksiyonlarının başlamasını veya ilerlemesini inhibe ederek, oksidasyonu engelleyen veya geciktiren bileşiklerdir. Serbest radikaller ile reaksiyona girerek otooksidasyonu önleyen savunma mekanizmalarıdır. Oksidatif stres, kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar, kanser ve diyabet gibi farklı hastalıkların gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda, antioksidanların etki mekanizmaları ile birçok hastalığı önleyebildiği belirlenmiştir [31]. İnsan vücudunun oksidatif strese karşı kendi savunma mekanizması bulunmaktadır. Endojen antioksidan savunma sistemi olarak adlandırılan bu mekanizmada, bazı enzimler (süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve katalaz gibi) ve proteinler (seruloplazmin, ferritin, transferrin ve albümin), glutatyon, koenzim Q, ürik asit, lipoik asit gibi enzim olmayan bazı bileşikler bulunmaktadır [34]. Vücut savunma sisteminin yanısıra çoğu meyve ve sebze ile bazı gıdalar da

endojen antioksidan savunma aktivitesini sağlayan çeşitli antioksidanlar içermektedir [31]. Polifenoller (fenolik bileşikler), gıdalarda en çok bulunan antioksidan bileşiklerdir. Günlük alımlarının diğer tüm gıda kaynaklı antioksidanlardan daha yüksek olduğu bildirilmiştir [35]. Meyve ve sebzelerin yapısında bulunan polifenollerin antioksidan ve antienflamatuvar etkileri yapılan çalışmalar ile kanıtlanmıştır [36]. Oksidatif stresi sınırlamak veya azaltmak için takviye edici ürünlerden ziyade, doğal olarak fitokimyasallar içeren gıdaların tüketilmesi hem daha sağlıklıdır hem de ekonomik açıdan avantajlıdır [37].

Nar meyvesinin iyileştirici etkilerinin çoğu, flavonoidler, antosiyaninler ve hidrolize edilebilir tanenler başta olmak üzere polifenoller, yağ asitleri ve lipidler gibi ikincil ve birincil metabolitleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu metabolitler, meyve kabuğu (elajitaninler, flavonoidler, antosiyaninler), taneler (elajitaninler, flavonoidler, antosiyaninler), çekirdekler (yağ asitleri, lipidler) ve zar (elajitaninler) dahil olmak üzere tüm meyve kısımlarında bulunmaktadır [2], [31], [38]. Farklı meyvelerin kıyaslandığı bir çalışmada narın 11,33 mmol/100 g toplam antioksidan içeriğine sahip olduğu belirlenirken bu değer yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu bilinen yabanmersini (*Vaccinium myrtillus*), zm (*Vitis vinifera*) ve domateste (*Lycopersicon esculentum*) sırasıyla 8,23 mmol/100 g, 2,42 mmol/100 g ve 0,34 mmol/100 g olarak belirlenmiştir [39]. Çeşitli içeceklerin incelendiği bir çalışmada nar suyunun vücut antioksidan kapasitesini artırmada ve oksidatif zararları azaltmada yeşil çay ve kırmızı şaraptan daha yüksek etkiye sahip olduğu bildirilmiştir [40]. Genel olarak bakıldığında, narın antioksidan özelliklerini sağlayan mekanizmalar hala net değildir ancak polifenol bakımından zengin diğer gıdalara kıyasla yüksek antioksidan etkinliği, polifenol biyoyararlılığının daha yüksek olmasına bağlanmaktadır [31].

Bir çalışmada nar antosiyaninlerinin sıçan beyni homojenatlarında lipid peroksidasyonunu süperoksit ($O_2\bullet^-$) ve hidroksil ($OH\bullet^-$) radikallerini temizleyerek önlediği gösterilmiştir [41]. Bir diğer çalışmada nar suyu tüketen bir birey ile kontrol grubunun plazma antioksidan seviyeleri karşılaştırılmış ve nar suyu tüketen bireyde daha yüksek olduğu görülmüştür, bu da nar

polifenollerinin biyoyararlanımının yüksek olduğunu ve vücudun antioksidan kapasitesini arttırabildiğini göstermektedir [42].

2.1.2.2 Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler (polifenoller), bitki materyalinde, özellikle meyvelerde yaygın olarak bulunan büyük bir doğal antioksidan grubudur. İnsan sağlığı üzerinde güçlü bir etki yaparak gen ekspresyonunu, antioksidan aktiviteyi ve bağışıklık fonksiyonlarını güçlendirebilmektedirler. Fenolikler, tüm bitkilerde normal gelişim sırasında veya stres koşullarına yanıt olarak (ultraviyole radyasyon, enfeksiyon, yaralanma vb.) bitkinin şikimik ve alonik asit yollarından sentezlenen ikincil metabolitlerdir [29]. Bitkilerde meyve, sebze, çiçek, yaprak, tohum, dal ve gövde bölümlerinde bulunabilmektedirler [43]. Bitkilerdeki bu fenolik maddeler; tat, koku, renk, acılık, burukluk ve ürünün oksidatif stabilitesine etki etmektedir [44]. Gıdalarda, çözünür (serbest veya yağ asitlerine esterlenmiş) veya çözünmez (kovalent olarak proteinlere, selüloza, pektine vd. bağlı) bileşikler olarak bulunabilmektedirler. Yapısal olarak, bir veya daha fazla hidroksil grubu içeren en az bir aromatik halkadan oluşurlar ve antioksidan aktiviteleri hidroksil grubunun sayısı ve konumu/dağılımı ile ilgilidir [29]. Fenoliklerin antioksidan etkisi, hidroksil gruplarındaki bir hidrojen atomunu vermeleri yoluyla serbest radikal temizleme yeteneklerinden ileri gelmektedir. Genel olarak, molekülde hidroksil gruplarının sayısı ne kadar fazlaysa, antioksidan potansiyeli de o kadar yüksektir. Antioksidan aktiviteye ek olarak, polifenoller metal iyon şelatlayıcısı olarak da işlev görmektedirler [35]. Bunun yanı sıra, yapısal özelliklere bağlı olarak fenolikler, farklı özellikler gösteren çeşitli alt sınıflara (örneğin; flavonoller, fenolik asitler, antosiyaninler, proantosiyanidinler, hidrolize edilebilir tanenler) ayrılmaktadır [45]. Bitkilerin sahip olduğu fenolik madde konsantrasyonu, hasat öncesi (yetiştirme, hasat işlemleri ve hava şartları) ve hasat sonrası (depolama, nakliye, işleme, analiz yöntemi) koşullara göre değişiklik göstermektedir [29]. Derakhshan vd. [46], İran'ın farklı bölgelerinde (Natanz, Shahreza ve Doorak) yetiştirilen nar meyvesinin kısımlarını değerlendirdikleri çalışmalarında, Doorak'ta yetiştirilen narın diğer bölgelere göre %50 daha fazla antioksidan aktiviteye sahip olduğunu

belirlemişlerdir. Benzer şekilde, bileşikleri ekstrakte etmek için kullanılan solventin özellikleri, elde edilen bileşiklerin doğası üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir [2]. Nar kabuğu ile tanelerinin antioksidan kapasitelerinin DPPH (1,1-difenil-2-pikril hidrazil) yöntemi ile kıyaslandığı bir başka çalışmada, metanolik ekstraktın, etilasetat veya su ile elde edilenlerden üstün olduğu saptanmıştır [47].

Narın kabuğu, mesocarp kısmı (orta kabuk–albedo) ve taneleri farklı oranda polifenol içeriğine sahiptirler [48]. Coğrafik bölge, bitkinin türü, çevresel koşullar veya yetiştirme teknikleri meyvenin kimyasal bileşimini etkilemektedir. Narın polifenol içeriğinin karmaşık ve aynı zamanda benzersiz olduğu bildirilmekle birlikte narda bulunan temel fenolik bileşikler; antosiyaninler, hidrolize olabilen tanenler ve fenolik asitlerdir [49].

2.1.2.3 Flavonoidler

Flavonoidler gıdalarda en yaygın bulunan polifenollerdir. Flavonoidler çoğu zaman glikozid formunda çiçek, kök, yaprak ve dallarda vakuoller içinde bulunmaktadır. Bu maddeler, antioksidan aktivitenin yanı sıra enzim inhibitörü olarak görev yaptıkları gibi, ultraviyole radyasyona karşı bir savunma mekanizması olarak da rol oynamaktadırlar [50]. Yaklaşık olarak 6.500 farklı flavonoid bilinmektedir. Yapılarındaki iki aromatik halkanın arasındaki bağlanma çeşidine göre altı farklı gruba ayrılmaktadırlar; antosiyanidinler, flavanoller, flavonlar, flavanonlar, flavonoller ve izoflavonlar [51].

Narın yüksek miktarda içerdiği antosiyanidinler, doğada serbest halde bulunmazlar, şekerlerle glikozid yapmış olarak bulunurlar ve antosiyanin adını alırlar. Meyve ve çiçeklerde mavi, mor ve kırmızı renkten sorumlu, suda çözünür bitkisel pigmentlerdir [52]. Doğada 23 adet antosiyanidin bulunmaktadır [53]. Buna karşılık; moleküldeki hidroksil grubu sayısına, hidroksil gruplarının metilasyon derecesine, çoğunlukla üçüncü C atomundaki hidroksil grubuna bağlanan şeker sayısına, çeşidine ve şekerin bağlanma pozisyonuna, ayrıca moleküldeki şekere bağlanan alifatik ve aromatik asitlerin yapısına ve sayısına bağlı olarak [54] 500'den fazla antosiyanin oluşmaktadır [53]. Bitkilerde yaygın olarak görülen antosiyanidinler; pelargodin (Pg),

siyanidin (Cy), peonidin (Pn), delfinidin (Dp), petunidin (Pt) ve malvidin (Mv)' dir [55]. Meyve ve sebzelerde en fazla bulunan antosiyanidin %50 oranı ile Cy'dir. Dp, Pg ve Pn %12, Pt ve Mv ise %7 oranında bulunmaktadır [53]. Antioksidan aktiviteden sorumlu hidroksil grubu sayısına göre değerlendirildiğinde delfinidinler, B halkasındaki fazla sayıdaki hidroksil gruplarından dolayı en yüksek antioksidan güce sahip antosiyaninlerdir [56]. C vitamininden dahi üstün antioksidan aktiviteye sahip oldukları bildirilmiştir [57]. Antosiyanidinlere en yaygın bağlanan monosakkaritler glikoz, galaktoz, ramnoz ve arabinozdur. Bağlanma ile genellikle 3-glikozid içeren veya 3,5-diglikozid içeren yapı meydana gelmektedir [55]. Antosiyanin molekülünde yer alan hidroksil grubu sayısı arttıkça renk maviye doğru değişirken, metoksil grubu sayısının artmasıyla da renk kırmızıya dönmektedir [43].

Antosiyaninler vücutta ince bağırsağa ulaştıklarında doğrudan absorbe edilerek kana karışabildikleri için sağlık açısından önemlidirler [58]. Son yirmi yılda, antosiyaninlerin kardiyovasküler hastalıklara karşı gösterdikleri koruyucu etkilere yönelik çalışmalar artmıştır [29]. Reis vd. [59] yaptıkları sistematik inceleme sonucu, antosiyaninlerin enflamatuvar süreçleri, endotel disfonksiyonunu ve vazodilatör üretimini engelledikleri için kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde etkili bir ajan oldukları sonucuna varmışlardır. Araştırmacılara göre, düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL), yüksek duyarlı C-reaktif protein ve toplam triaçilgliserollerin oksidasyonu üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır ve bu sayede antosiyaninler kardiyovasküler hastalıklarda bireylerin klinik durumunu iyileştirmektedir.

Nar, antosiyanin açısından zengin bir kaynaktır. Nar meyvesinde bulunan başlıca antosiyaninler; siyanidin 3-O-glikozid, siyanidin 3,5-di-O-glikozid, delfinidin 3-O-glikozid, delfinidin 3,5-di-O-glikozid, pelargonidin 3-O-glikozid, pelargonidin 3,5-di-O-glikozid [2]. Çeşit, olgunluk, coğrafi konum, ışık, sıcaklık, pH ve genetik yapı gibi bitkinin antosiyanin içeriğini etkileyebilecek birçok faktör bulunmaktadır [60]. Çevre koşullarından sıcaklığın nar meyvesinde antosiyanin oluşumuna etkisinin incelendiği çalışmalarda sıcaklık artışı ile antosiyanin miktarının ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, antosiyanin miktarı üzerindeki etkilerine ek olarak, mevsim değişikliğinin meyve suyundaki

antosiyenin türevlerinin miktarını ve kompozisyonunu etkilediği görülmüştür. Buna göre sıcak havada nar meyvesinde siyanidin molekülleri, daha soğuk havada ise delfinidin türevlerinin yoğunlukta olduğu saptanmıştır [61].

2.1.2.4 Hidrolize Olabilen Tanenler

Tanenler, yüksek molekül ağırlıklı önemli polifenol gruplarından birisidir. İki gruba ayrılmaktadırlar: yoğunlaştırılmış tanenler/proantosiyanidinler (çayda, üzümde ve kıvılcıkta) ve hidrolize olabilen tanenler (nar, ahududu ve çilekte)[62].

Hidrolize olabilen tanenler, glikozun hidroksil gruplarına esterleşen fenolik gruplara göre gallotanenlere ve elajitanenlere ayrılmaktadır: gallotanenlerde gallik asit ve elajitanenlerde heksahidroksidifenik asit (HHDP) yer almaktadır. Nar, antosiyaninlere ek olarak zengin bir hidrolize olabilen tanen kaynağıdır. Narlarda 60'tan fazla hidrolize olabilen tanen tespit edilmiştir, bunların 30'dan fazlasının meyve kabuğunda, suyunda ve tanede bulunduğu bildirilmiştir [63]. α -punikalajin ve β -punikalajin, nar suyunda yaygın bulunan hidrolize olabilir tanenlerdendir ve bu bileşikler, nardaki yüksek antioksidan kapasitesinden sorumludurlar [49]. Tanımlanan metabolitler, analiz edilen narın farklı kısımlarında bulunabilirken nar çeşidine bağlı olarak da metabolit içeriği değişebilmektedir. Örneğin, nar çekirdeklerinde tanımlanan hidrolize olabilen tanenlerden 3,3' -di-O-metilselajik asit ve 3,3,4' -tri-O-metilelajik asit, meyve kabukları veya meyve suyunda tespit edilmemiştir. Bir diğer araştırmada dört farklı Tunus nar çeşidi analiz edilmiş ve bir castalajin türevi ile bir galloyl-bis-HHDP-hegzosid (casuarinin) türevi, yalnızca "Acide" isimli nar çeşidinde tespit edilebilirken, diğer üç Tunus narı çeşidinde (Gabsi, Nebli ve Tounsi) rastlanmamıştır [63].

Nar tüketimi geleneksel olarak taze meyve suyu şeklindedir, bu nedenle çoğu çalışma meyve suyundaki hidrolize olabilen tanenlerin miktarının belirlenmesine odaklanmıştır. Farklı bölgelerde (İsrail, Türkiye, İspanya, İran, Tunus ve İtalya) yetiştirilen ve hasat edilen 17 nar çeşidinin tanelerinden elde edilen meyve suları analiz edilmiş ve elajik asit miktarı 139,7-473,4 mg/L arasında ve toplam fenolik asit miktarı 300-810 mg/L arasında bulunmuştur [64]. Sekiz İran çeşidi narın

suyundaki elajik asit seviyeleri değerlendirilmiş ve 7-160 mg/L arasında değiştiği saptanmıştır [65]. Benzer şekilde, 10 İran nar çeşidinde yapılan bir çalışmada tanelerden elde edilen sularda punikalajinler 31-607 mg/L aralığında saptanırken, bütün meyveden elde edilen sularda 156-1169 mg/L aralığında saptanmıştır [66]. Punikalajinler, punikalinler, gallajik asit ve elajik asit olmak üzere dört ana hidrolize edilebilir tanen, 29 İsrail nar çeşidinde incelenmiş ve tüm çeşitlerde meyvenin bütününden ve tanesinden elde edilen sularda değişen miktarlarda belirlenmiştir [67].

Hidrolize olabilen tanen bileşimi ve içeriği, farklı ekstraksiyon ve ölçüm yöntemlerinin kullanılması nedeniyle farklı çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırılamasa da, hidrolize olabilen tanenlerin aynı bölgede yetiştirilen farklı nar çeşitlerinde farklılık göstermesinin genetik faktörler ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan, "Wonderful" eşidi gibi dünyanın birçok yerinde yetişen aynı nar çeşidi de farklı bölgelerden toplanıp incelendiğinde hidrolize olabilen tanen içeriği bakımından farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum ise iklim ve ekim metotlarının hidrolize edilebilir tanenler üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca birçok çalışma nar meyvesinin olgunluğa erişme sürecinde farklı aşamalarda farklı fenolik içeriğe sahip olduğunu da ortaya koymaktadır. Örneğin, meyve olgunluğunun ilerlemesi aşamalarında taneden elde edilen nar suları analiz edilmiş ve toplam hidrolize edilebilir tanen miktarının olgunlaşmayla birlikte azaldığı belirlenmiştir [38].

2.1.2.5 Fenolik Asitler

Fenolik asitler, meyve ve sebzeler için önemli bileşiklerdir. Renk, tat ve antioksidan kapasitesinde önemli rol oynamaktadırlar. Fenolik asitler iki gruba ayrılmaktadırlar; benzoik asitten türeyen hidroksibenzoik asitler ve sinamik asitten türeyen hidroksisinamik asitler. Pek çok meyve ve sebzede bulunurlar ve dağılımları tre, varyeteye ve fizyolojik gelişim aşamasına bağlıdır [62]. Meyvelerde en fazla görülen hidroksisinamik asitler, kafeik asit, kumarik asit ve ferulik asittir. Bunlar meyvelerde esterleşmiş halde de bulunabilmektedir. Kafeik asitin kuinik asit ile yaptığı ester olan klorojenik asit en yaygın görülen sinamik asit türevidir. Hidroksibenzoik asit türevleri meyvelerde genellikle ester halinde

bulunmaktadır ve en önemlileri; salisilik asit (2-hidroksibenzoik asit), p-hidroksibenzoik asit (4-hidroksibenzoik asit), protokateşik asit (3,4-dihidroksibenzoik asit), vanilik asit (3-metoksi-4-hidroksibenzoik asit), gallik asit (3-4-5-trihidroksibenzoik asit) dir [44], [51]. Nar suyunda bulunan başlıca fenolik asitler; gallik asit, protokateşik asit, kateşin, kuersetin, klorojenik asit, ferulik asit, kafeik asit, o-kumarik asit, p-kumarik asittir [63].

2.1.2.6 Diğer Bileşikler

Nardaki diğer fenolik bileşikler; organik asitler (sitrik asit, malik asit ve oksalik asit), steroller, yağ asitleri, trigliseritler ve alkaloidlerdir [48]. Nar çekirdeği %6-24 arasında değişen oranda yağ asidi içeriğine sahiptir. Punisik, Linoleik, oleik, palmitik, stearik, linolenik, araşidonik ve palmitoleik asitler gibi önemli yağ asitleri içermektedir [64]. Konjuge asit olan punisik asit, ortalama %80 oranı ile nar çekirdeği yağının baskın yağ asididir. Trienoik yağ asidi olan punisik asit, dienoik yağ asitlerine göre daha yüksek fizyolojik aktiviteye sahiptir. Güncel çalışmalar punisik asidin kanser, obezite, diyabet ve kalp sağlığı üzerine olumlu etkileri olduğunu bildirmektedir [65]. Nar suyu ayrıca başta valin ve metiyonin olmak üzere aminoasitten zengindir. Karotenoid ve karoten içerdiği de bildirilmektedir [64].

2.1.3 Nar Meyvesinin Sağlık Üzerine Etkileri

Taze, ticari ve fermente edilmiş nar suyunun, kabuğunun ve tanelerinin (ve bu kısımların saflaştırılmış fitokimyasallarının) yararlı etkilerini ortaya çıkartmak için yapılan araştırmalar, meyvenin binlerce yıldır tüketildiği göz önünde bulundurulduğunda nispeten yenidir. *In vivo* çalışmaların çoğu, narın antioksidan ve antiaterojenik özelliklerini ya doğrudan (aterosklerotik lezyonların boyutunu veya köpük hücre oluşumunun kapsamını ölçerek) ya da dolaylı olarak (plazma lipoproteinlerinin seviyesi, kan trombositleri, oksidatif stres ile ilişkili çeşitli enzimlerin aktiviteleri ve gen ekspresyonu gibi parametreleri ölçerek) değerlendirmeyi amaçlamıştır [2]. Aşağıdaki kısımda narın çeşitli hastalıklar üzerine etkilerine yönelik yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

2.1.3.1 Enflamatuvar Hastalıklar

Kronik enflamasyon birçok hastalığın temelidir. Nar meyvesinin kanıtlanmış antioksidan ve antienflamatuvar etkileri, enflamatuvar süreçler üzerinde istenen etkilere ulaşmak için kullanılabileceğini göstermektedir. Bu doğrultuda, narın romatoid artrit, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, enflamatuvar bağırsak hastalığı gibi kronik enflamatuvar bozukluklar, ayrıca metabolik ve kardiyovasküler hastalıklar ile kanser üzerindeki etkileri ile ilgili sürekli artan sayıda çalışma bulunmaktadır [64]. Nar ekstraktındaki flavonların, artriti ve eklemlerde ağrılı şişkinliği azaltabilen antienflamatuvar etkilere sahip olduğu bildirilmiştir [66]. Nar ekstraktının romatoid artritte potansiyel faydalarını saptamak için yapılan bir hayvan çalışmasında, artrit oluşumunun ve şiddetinin azaldığı görülmüştür [67]. Narın antienflamatuvar etkisinin mekanizması, gastrointestinal kanalda yaşayan bağırsak mikrobiyotasına sıkı sıkıya bağlıdır. Bu mikrobiyota vücut homeostazı için önemlidir çünkü sindirim sürecine, enerji regülasyonuna, kısa zincirli yağ asidi (KZYA) üretimine, vitamin sentezine ve immünolojik sistemin modülasyonuna katılmaktadır [64]. Bağırsak mikrobiyotasının kronik gastrointestinal hastalıklar [68], nörolojik hastalıklar [69] ve sistemik hastalıklar [70] gibi çeşitli hastalıkların gelişiminde rol oynadığı bildirilmiştir. Yapılan insan denemeleri, diyet polifenollerinin bağırsak sağlığının korunmasına katkıda bulunabileceğini göstermiştir. Narın en önemli aktif bileşenlerinden biri olan elajitanenler, bağırsak mikrobiyotası ile etkileşime girerek metabolizmasını etkileyebilmektedir. Narda bulunan punikalın ve punikalajinin bazı patojenik bakterilerin gelişimini inhibe edebildiği, aynı zamanda komensal bakterilerin gelişimini ve KZYA'ların üretimini artırabildiği gösterilmiştir [71]. Doğrudan önemli bir enerji kaynağı olmalarının yanı sıra KZYA'lar, enflamasyon ve oksidatif stres gibi çeşitli biyolojik yanıtları da azaltabilmektedirler [72]. Marin vd. [73], narda bulunan elajik asidin farelerde intestinal inflamasyonu azalttığını ve böylece yaygın enflamatuvar barsak hastalığı olan ülseratif kolitin ilerlemesini engellediğini bildirmişlerdir. Ayrıca nar ekstraktının, plazma ve kolon mukozasındaki oksidatif stresi azalttığını saptanmıştır [74].

2.1.3.2 Metabolik ve Kardiyovasküler Hastalıklar

Kardiyovasküler hastalıklar dünya çapında önemli bir mortalite sebebidir ve oksidatif stres bu rahatsızlıkların gelişiminde anahtar rol oynamaktadır. Bitki bazlı biyoaktif bileşikler kardiyoprotektif etkiler gösteren güçlü antioksidan ve antienflamatuvar özelliklere sahiptirler. Narın son on yılda sağlık üzerine yapılan artan sayıdaki araştırmaların çoğu narın metabolik ve kalp damar sağlığı üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik olmuştur. Birçok çalışma narın hem *in vitro* hem de *in vivo* vasküloprotektif etkilerini saptamıştır [75], [76]. Nar polifenollerinin kardiyoprotektif etkileri arasında; serum kolesterolünde, lipid peroksidasyon seviyelerinde, intima-media kalınlığında, nitrik oksit seviyelerinde azalma, düşük kan basıncı ve anjiyotensin dönüştürücü enzim aktivitesi, LDL oksidasyonunun inhibisyonu, TNF- α , IL-6 ve C-reaktif protein azalması yer almaktadır [77], [78].

Metabolik ve kardiyovasküler hastalıkların patolojisini incelemek için birçok çalışmada hayvan modelleri kullanılmıştır ve narın yüksek antioksidan etkileri olduğu görülmüştür. Dejeneratif bir arter hastalığı olan ateroskleroz oluşumunda ve ilerlemesinde oksidatif stres önemli rol oynamaktadır. Farelerle yürütülen bir çalışmada nar, farelerde görülen aterosklerotik lezyonları azaltmıştır [79]. Hem nar suyu hem de nar ekstaktının obez farelerde denendiği bir başka çalışmada enflamasyon ajanlarında önemli bir azalma saptanmıştır. Her iki grupta da aterosklerozun ilerlemesini azaltan artmış arteriyel endotelial-nitrik oksit sentaz ekspresyonu olduğu görülmüştür [80]. Diyabetik farelere nar suyu verilerek yürütülen bir çalışmada farelerin glukoz seviyelerinde azalma gözlemlenmiştir [81].

Narın, kardiyovasküler hastalıklar için önemli risk faktörlerinden biri olan tansiyon üzerindeki etkilerini araştıran birkaç çalışmada serum lipid peroksidasyonunun, ortalama intima-media kalınlığının ve sistolik kan basıncının başlangıç değerine göre azaldığı belirlenmiştir [64], [82]. Narda bulunan fitosteroller mevcut LDL kolesterolü düşürmekte ve üretimini durdurmaktadır. Böylece nar, arterlerde kolesterol birikimini engelleyerek kardiyoprotektif özellik göstermektedir. Ayrıca bu sayede felç riskini de azaltabileceği bildirilmiştir [66].

Metabolik sendroma sahip Wistar sıçanları ile yürütülen bir çalışmada nar ekstraktının kardiyak ve hepatik yapı ve fonksiyondaki metabolik değişiklikleri hafiflettiği görülmüştür [83]. Sprague-Dawley sıçanlarında alkolsüz yağlı karaciğer hastalığı (NAFLD) üzerine yapılan bir çalışma, diyetle eş zamanlı olarak 7 haftalık 60 mL nar suyu uygulamasının enflamasyonu ve oksidatif stresi azaltarak NAFLD gelişimini önleyebileceğini göstermiştir [84]. Çalışmalar, oksidatif stresin tip 2 diyabetin (T2D) patojenezinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Aşırı glikoz yüklemesi ve oksidatif fosforilasyon, mitokondride çeşitli metabolik süreçler yoluyla ROS oluşumunu artırmaktadır. Nar, oksidatif stresi ve lipid peroksidasyonunu azaltarak, kan şekerini düşürerek, karaciğerdeki glikojeni ve insülin sekresyonunu artırarak T2D'i etkilemektedir [29]. Hiperlipidemi ve ateroskleroz, T2D'li hastalarda ana komplikasyonlar arasında olduğu için narın bu hastalıklara etkilerini araştıran birçok çalışma bulunmaktadır. 8 haftalık bir çalışmada, 22 T2D hastası 40 g/gün konsantre nar suyu ile desteklenmiştir. Çalışmanın sonunda hastaların daha düşük kan glikoz seviyesi, toplam kolesterol ve LDL kolesterol seviyelerine sahip olduğu görülmüştür [85].

Yüksek glisemik indeksli gıdaların T2D gelişimine neden olabileceği düşünülerek hazırlanan ve 16 sağlıklı bireyde yürütülen bir çalışmada, nar suyu tüketiminin ekmek tüketimi sonrası glikoz seviyesini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir [86]. Ambigaipalan vd. [87] nardan elde edilen fenoliklerin, ince bağırsakta bulunan ve kompleks karbonhidratların parçalanmasını ve emilimini sağlayan bir enzim olan alfa-glikozidazın aktivitesini inhibe ettiğini göstermiştir[87]. Diğer birçok çalışmada, polifenollerin T2D'nin patolojik belirteçleri ile ilişkili metabolik değişkenler üzerindeki etkileri gösterilmiştir [29].

2.1.3.3 Kanser

Kanser, vücuttaki hücrelerin düzensiz olarak bölünüp çoğalmasıyla beliren kötü tümörlere verilen isimdir. Birçok faktör ve bu sürece dahil olan çok sayıda hastalık nedeniyle bağışıklık sisteminin işlevsiz kalmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Pek çok fitokimyasal madde, hücre döngüsüne müdahale ederek hücre çoğalmasını (bölünmesini) yavaşlattıkları, zararsız maddeleri

karsinojenlere dönüştüren faz 1 enzimlerini inhibe ettikleri ve hızlı atılımı kolaylaştıran moleküllere karsinojenleri bağlayabilen enzimler olan faz 2 enzimlerini indükledikleri için anti-kanserojen bir etkiye sahiptir. Narın insan vücudundaki kanserli hücrelerin çoğalmasını engelleyebildiğini gösteren *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar bulunmaktadır [66].

Nar, tümör hücresi proliferasyonu, yayılması ve anjiyojenez gibi antikanser aktivitelerine sahiptir. Tümörlere doğru kan akışını engelleyerek boyutunun küçülmesine ve nihayetinde yok olmasına neden olabilmektedir [88]. Meme ve prostat kanseri hücrelerinde yapılan *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar nar suyunda bulunan flavonoid bakımından zengin polifenolik antioksidanların, anti-proliferatif, anti-invaziv, anti-eikosanoid ve pro-apoptotik etkileri sayesinde oksidatif strese ve aterojenizde azalma sağladığını göstermiştir [2], [64], [66]. Adhami vd. [89] tarafından yapılan bir çalışma, nar ekstraktının *in vitro* olarak meme, prostat, kolon ve akciğer kanseri hücrelerinin büyümesini önlediğini ve ön klinik *in vivo* çalışmada tümör büyümesini inhibe etme kabiliyetine sahip olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde nar ekstraktının, sıçanlarda akciğer ve prostat kanser hücrelerinde metastazı önlediği görülmüştür. Ayrıca kolon kanserinde iltihaplı hücreler üzerinde olumlu bir etki göstermiştir [90].

2.1.3.4 Diğer Etkiler

Narın sahip olduğu flavonoidler, ağız sağlığına yardımcı olabilecek antimikrobiyal etkiye sahiptir. Ağzın nar suyu ile çalkalanması sonrasında diş plağı oluşturan mikroorganizmaların seviyesinde önemli bir azalma olmaktadır. Nar suyu tüketiminin, *in vivo* ve *in vitro* çalışmalarla plasental oksidatif stresi azalttığı ve plasental hasarı sınırlayarak fetüse koruma sağlayabileceği görülmüştür [66].

Fenolik bileşiklerin hafıza sorunlarını iyileştirdiği ve Alzheimer hastalığının başlangıcını geciktirdiği düşünülmektedir. Bu antioksidanlar, hafıza kaybına neden olabilecek depresyonla mücadelede de potansiyel role sahiptir. Çalışmalarda, narın Alzheimer hastalığına karşı nöroprotektif olduğu, bu nöroprotektif etkinin başlıca punikalajin olmak üzere nar fenoliklerinden ileri geldiği bildirilmiştir.

Sistemik enflamasyon ve oksidatif stresteeki artışlar, hemodiyalize giren hastaların immün yetersizliği ile ilgili kritik unsurlar olarak tespit edilmiştir. Kronik böbrek hastalığına sahip bireyler, düşük antioksidan seviyelerine ve vücutlarında dolaşan yüksek seviyelerde prooksidan maddelere sahiptir. Dolayısıyla oksidatif stres ile birçok hemodiyaliz komorbiditesi arasındaki bağlantı göz önüne alındığında, antioksidan tüketimi diyaliz hastalarında etkili bir tedavi olabilmektedir [29]. Yapılan bir çalışma, sekiz hafta boyunca haftada üç kez hemodiyalizden hemen sonra 100 mL nar suyu tüketiminin, toplam antioksidan kapasite ve malondialdehit seviyeleri ile ölçülen oksidatif stres düzeylerinde önemli düşüşe neden olduğunu göstermiştir [91].

2.2 Sindirim Sistemi ve Besinlerin Biyoyararlanımı

İnsan sağlığı, vücudun ihtiyaç duyduğu enerjinin ve elementlerin kaynağı olan gıdanın sindirimi ile yakından ilişkilidir. Sindirim sırasında açığa çıkan gıda bileşenleri, hem gıdanın özelliklerine hem de sindirim esnasındaki mekanik ve kimyasal süreçlerdeki dönüşümlere bağlıdır [92]. Genel olarak sindirim, gıdalardaki besin maddelerinin enerji, büyüme ve hücre onarımı için kullanılmasını sağlayan değişimlerin gerçekleştiği karmaşık bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Süreç, ağızdan başlayıp anüste biten, uzun bir bükülmüş tüpe benzeyen sindirim sisteminde gerçekleşmektedir. Sindirim sistemi, ağız, yemek borusu, mide, ince bağırsak, kalın bağırsak ve anüs olmak üzere birkaç bölüme ayrılmaktadır [93], [94]. Bu bölümlere ek olarak tükürük bezleri, karaciğer, pankreas ve safra kesesi gibi yardımcı organlar da sindirim sürecinde önemli rol oynamaktadırlar.

Doğru sindirim fonksiyonunun, sağlıklı mikrobiyota aktivitesinin yanı sıra uygun bir pH gerektirdiği bilinmektedir. Sindirilmiş gıdalar, enerji ve hücre oluşturma kaynakları olarak işlev gören proteinler, karbonhidratlar ve lipidler gibi önemli besinlerin yanı sıra, hücre korumasından ve yenilenmesinden sorumlu olan diğer madde türlerini de içerirler. Bunların arasında biyolojik aktiviteleri açısından önemli olan çeşitli ikincil bitki metabolitleri (polifenoller, terpenler vd.) bulunmaktadır. Her bileşiğin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığı değişkenlik gösterdiği için tüketilen gıdadaki yüksek biyoaktif madde miktarı ile dokulara

ulaşan miktarlar örtüşmeyebilmektedir [95]. Biyolojik olarak kullanılabilir biyoaktif bileşiklerin miktarının ölçülmesi, bu bileşiklerin gıdalardaki miktarının belirlenmesinden daha önemlidir. Besin öğelerinin biyoyararlılığını ve biyoerişilebilirliğini ölçmek için kullanılan yöntemler, insanlarda, farelerde, domuzlarda ve diğer hayvanlarda araştırma (*in vivo*) veya laboratuvar deneylerinde simülasyon (*in vitro*) şeklinde gerçekleştirilmektedir [96]. En sık kullanılan metodolojilerden ilki *in vitro* sindirimdir, ardından biyoaktif bileşiklerin ince bağırsaktan emilimini simüle etmeyi amaçlayan Caco-2 hücre kültürleri ile yapılan deneyler gelmektedir. Besinlerin emilip biyoyararlanım gösterebilmeleri oldukça zordur ve gıdanın işleme koşullarına, diğer bileşiklerle etkileşimine, besin maddesinin kimyasal durumuna, gıda matrisinden salınımına, gıda bileşiminde bulunan baskılayıcılara veya kofaktörlere bağlı olarak değişmektedir. Gıdada bulunan miktar ile vücutta yararlanılabilecek miktar arasında önemli derecede fark olduğu anlaşıldığından beri çok sayıda çalışma, gıdalardaki bileşiklerin biyoyararlılığını, biyoaktivitesini, biyoerişilebilirliğini belirlemeye yönelmiştir [95].

2.2.1 Biyoyararlılık

Biyoyararlılık terimi, uygulandığı araştırma alanına bağlı olarak çeşitli tanımlara sahiptir. Beslenme aısından biyoyararlılık, vücuda alınan besin ögesi ya da biyoaktif bileşiğin fizyolojik fonksiyonlarda kullanımı için ya da depolanması için yararlanılan kısmını ifade etmektedir [97]. Diğer bir ifadeyle, besin maddesinin sindirilen miktarının ne kadarının yararlı etkilerini hedef dokularda gösterebildiğini ifade etmektedir. Biyoyararlılık, dikkate alınan gıda türünden bağımsız olarak (fonksiyonel olsun ya da olmasın) beslenme etkinliği için anahtar bir kavramdır. Gıdadaki tüm besin öğelerinin ve biyoaktif bileşenlerin sadece belirli miktarları organizma tarafından etkili bir şekilde kullanılabilir [98].

Biyoyararlılık, bileşenleri gıda matrisinden serbest bırakan gastrointestinal sindirim, epitel hücreleri tarafından emilim, metabolizma, dokulara dağılım ve biyoaktiviteden etkilenmektedir. Biyoyararlılık genellikle besin veya fitokimyasalların sindirilen, emilen, metabolize edilen ve sistemik dolaşıma

ulaşan miktarlarının belirlenmesi aracılığıyla *in vivo* yöntemlerle ölçölmektedir. Her besinin biyoyararlılığı farklıdır ve gıdalardaki besin ögesi miktarı ile bunun insan vücudundaki biyoyararlılığı arasında doğrusal bir ilişki yoktur, çünkü biyoyararlılık sindirim stabilitesine, bileşimin gıda matrisinden salınımına (biyoerişilebilirlik) ve transepitelyal geçişin etkinliğine bağlıdır. Bu nedenle *in vivo* biyoyararlılık analizleri ile bileşimin verimli bir şekilde sindirildiği, emildiği ve emildikten sonra insan sağlığı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu doğrulanmalıdır. Ancak bu metodolojiler bazı deneysel ve etik kısıtlamalar ortaya çıkartmaktadır [99], [100]. Dolayısıyla çalışmalar *in vitro* biyoerişilebilirlik analizlerinde yoğunlaşmaktadır. Biyoyararlılık ve biyoerişilebilirlik kavramları sıklıkla birbirini yerine kullanılsa da, biyoyararlılığın biyoaktivite içerdiğini belirtmek önemlidir [98].

2.2.2 Biyoaktivite

Biyoaktivite, belirli bir bileşiğe maruz kalmaya verilen fizyolojik tepkidir. Biyoaktif bileşiklerin dolaşıma girme, taşınma ve belirli dokuya ulaşma şekli, dokulardaki biyomoleküller ile etkileşimi ve neden olduğu fizyolojik tepkiler ile ilişkilidir [101]. Gıda bileşenleri, sindirim sırasında biyoaktif bileşiklerin biyoyararlılığını ve biyoaktivitesini değiştiren çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkilere maruz kalmaktadırlar. Örneğin, bazı fenolikler ince bağırsakta sindirilemez ve bağırsak mikrobiyotasının yapısal değişikliklere neden olduğu ve spesifik metabolitleri oluşturduğu kalın bağırsağa geçerler. Dolayısıyla emilimin ince bağırsakta gerçekteştiği varsayımı ile teorik olarak beklenen biyoaktif etkilerinden farklı etkiye sebep olurlar [102].

2.2.3 Biyoerişilebilirlik

Biyoerişilebilirlik, bir bileşimin mide-bağırsak yolunda gıda matrisinden salınan ve emilim (kan dolaşımına girmesi) için erişilebilir hale gelen miktarı veya kısmı olarak ifade edilmektedir. Bu tanım, gıda matrislerinden bileşiklerin salınmasını ve ilgili bileşiklerin mide-bağırsak ortamındaki stabilitesini içermektedir [99]. Diğer bir deyişle biyoerişilebilirlik, gıdanın sindirim yoluyla vücut tarafından kullanılabilir materyale dönüştürölmesi, bağırsak epitelinin hücrelerine emilmesi ve son olarak, sistemik metabolizma (hem bağırsak hem de karaciğere

ait) sırasında gerçekleşen tüm olay dizisini içermektedir. Özetle sindirimden sonra geri kazanılan besin miktarı söz konusu olduğunda, biyoerişilebilirlik terimi kullanılmaktadır [103].

Biyoerişilebilirlik genellikle *in vitro* sindirim süreçleri kullanılarak mide ve ince bağırsak sindiriminin simüle edilmesi ile belirlenmekte ve bazen Caco-2 hücre yöntemiyle desteklenmektedir [104]. Bir bileşiğin gıda matrisindeki başlangıç konsantrasyonu, matris bileşimi ve mide bağırsak sıvılarının fizikokimyasal özellikleri ve sindirim enzimlerinin varlığı gibi faktörler, bileşiklerin biyolojik olarak erişilebilirliğini etkilemektedir. Besinler teorik olarak biyoerişilebilirdir, ancak gerçekte, sindirim sırasında çok az besin tamamen emilebilir formlara dönüştürülebilir. Besinlerin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığı, fiziksel, kimyasal ve enzimatik sindirim süreçlerini önemli ölçüde etkileyen gıda matrisinin fiziksel özellikleriyle sınırlanmaktadır [95].

2.2.3.1 Polifenollerin Biyoerişilebilirliği

Polifenoller için biyoerişilebilirlik, polifenollerin gıda matrisinden salınmasından, ince bağırsakta, enterositlerde veya kolondaki değişimlerinden, idrar veya safra ile atılımına kadar farklı sindirim süreçlerine bağlı olmaktadır [105]. Farklı polifenollerin biyoerişilebilirliği arasında büyük farklılıklar görülebilmektedir [35]. Örneğin soya izoflavonları bağırsak bariyerinden iyi emilirken, şarap ve kakaodaki proantosiyanidinler neredeyse hiç emilmez. Benzer şekilde, soğandan alınan kuersetin glikozidleri, çay veya elmada bulunan kuersetin glikozidlerden daha verimli bir şekilde emilir [106]. Bu nedenle, bir polifenol için elde edilen sonuçları diğerlerine genellemek mümkün değildir. Bazen, gıdalarda yüksek konsantrasyonda polifenol bulunmasına rağmen bu polifenollerin biyoyararlılıklarının düşük olmasından ötürü gıdanın biyoverimliliği ve sağlık etkisi düşük olabilmektedir. Sonuç olarak, gıdalarda bulunan polifenollerin miktarından ziyade insan organizmasının yararlanabildiği oran önemlidir. Bu nedenle, belirli bir bileşiğin gıdalar ile alımı ve nihai biyolojik aktivitesi arasındaki bağlantıyı daha iyi anlamak için polifenol gruplarının metabolizmasının bazı genel yönlerini dikkate almak önemlidir [35]. İnsan vücudu polifenolleri ksénobiyotik olarak tanır, bu nedenle biyoyararlanımları

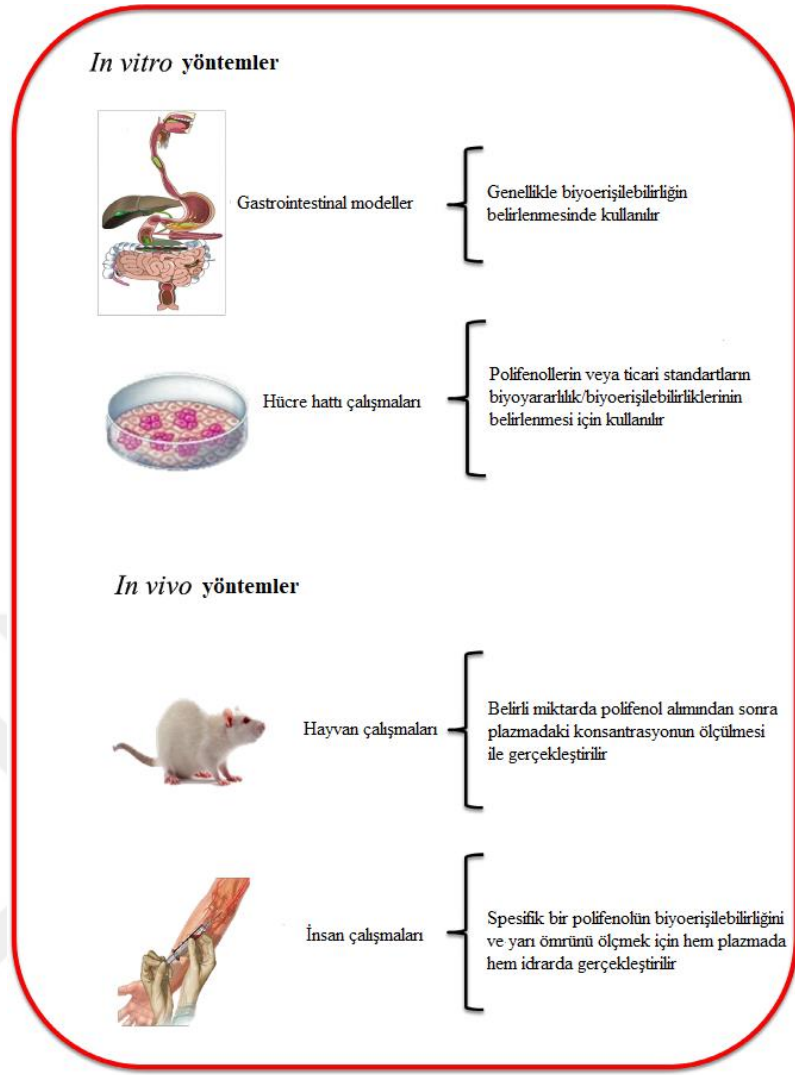
genellikle besinlere kıyasla düşüktür [107]. Polifenollerin biyoerişilebilirliği, bileşiğin kimyasal yapısı, gıda matrisi, diğer bileşenlerle etkileşimler veya baskılayıcıların/kofaktörlerin varlığı gibi birçok faktörden etkilenmektedir [108]. Örneğin, gallik asit, flavonlar, kateşinler, kuersetin ve izoflavonlar gibi düşük molekül ağırlıklı fenolik asitler, bağırsaktan kolayca emilirken, proantosiyanidinler gibi büyük polifenoller zayıf bir şekilde emilmektedir [96].

Fenolik bileşiklerin çoğu gıdalarda absorbe edilemeyen ester, glikozid ve polimer formlarında bulunurlar. Dolayısıyla sindirim sistemi enzimleri veya bağırsak mikroflorası ile hidrolize ihtiyaç duyarlar. Tüm polifenollerin %48'inin mide ve ince bağırsakta, %42'sinin kalın bağırsakta sindirildiği tahmin edilmektedir. %10'u ise sindirilmez ve gıda matrisinde bozulmadan kalır. Yalnızca aglikonlar, yüksek oranda lipofilik oldukları için biyolojik membranlardan geçebilirler [109].

Bohn'a [105] göre, polifenollerin biyoerişilebilirliği yedi ana sindirim sürecini içermektedir: (1) polifenollerin gıda matrisinden salınması; (2) mide ve ince bağırsak sindirim koşulları sırasında polifenollerde değişiklikler; (3) aglikonların ve polifenollerin konjuge formlarının hücresel alımı; (4) mikrobiyal metabolizma ürünleri veya konjuge edilmemiş polifenoller; (5) faz I (oksidasyon, indirgeme, hidroliz)/Faz II (konjugasyon) metabolizması ve polifenol modifikasyonları; (6) kan akışı ile taşınma ve doku dağılımı; (7) böbrek atılımı veya safra ve pankreas suları aracılığıyla bağırsağa yeniden atılım. Polifenollerin yapılarında büyük farklılıklar olduğu göz önüne alındığında, mevcut çok çeşitli metabolik yollar ile insan organizmasında üretilen tüm önemli metabolitleri belirlemeye yönelik araştırmalar devam etmelidir. Bu doğrultuda biyoerişilebilirliği belirlemeye yönelik uygun metotlar kullanılmalıdır [110].

2.2.3.2 Biyoerişilebilirliği Belirleme Yöntemleri

Biyoerişilebilirlik ve biyoyararlılık çalışmaları, *in vitro* ve *in vivo* olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.2'de bu yöntemler ana hatları ile ifade edilmektedir [110].



Şekil 2.2 *In vitro* ve *in vivo* yöntemlerin temel prensipleri [110]

In vivo yöntemler, birçok gıdanın biyoyararlılığını belirlemek ve doğrudan sonuç elde etmek için kullanılan yöntemlerdir [95]. Canlı müdahale çalışmaları olan *in vivo* deneylerden elde edilen veriler referans standardını oluşturur ve bir besin veya biyoaktif bileşiğin biyoyararlılığına ilişkin en yüksek bilimsel kanıt sunmaktadır [111]. Bu yöntemlerde, saf besin maddesi insan veya hayvan tarafından tüketildikten sonra oluşan yanıt, plazmada ölçülür ve bu değer, model gıdada bulunan toplam besin içeriği ile karşılaştırılır. En yaygın *in vivo* deney, belirli bir polifenolün belirli dozlarının kullanılması ve ardından plazmadaki konsantrasyon değişiminin zamanla ölçülmesidir. Ölçülen değerler bileşiğin absorpsiyon oranı hakkında fikir vermektedir [106]. Deneysel tasarımdaki katı prosedürler, bireylerin fizyolojik farklılıkları, veri

yorumlamadaki zorluklar, yüksek ekipman ve işçilik maliyeti ve etik kısıtlamalar gibi bir dizi dezavantaj, gıdalardaki biyoaktif bileşiklerin biyoyararlılığını taramak adına *in vivo* yöntemlerin kullanımını sınırlamaktadır [112].

In vitro gastrointestinal modeller ise uygun maliyet, tekrarlanabilirlik ve etik kısıtlamaların bulunmayışı gibi sebeplerle biyoaktif bileşiklerin biyoyararlılığını ve biyoerişilebilirliğini belirlemek için son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan hızlı yöntemlerdir [110]. Gastrointestinal modeller, ağızdan mideye, ince bağırsak ve kalın bağırsağa kadar tüm gastrointestinal sistemdeki fizyolojik koşulları yeniden oluşturmaya dayalıdır. *In vitro* sindirim modeli, statik ve dinamik olmak üzere iki tipte olabilmektedir. Statik modeller, sindirim ürünlerinin tüm süreç boyunca hareketsiz olduğu modellerdir [108]. Fiziksel ve mekanik süreçleri içeren dinamik modeller ise sindirim işlemi sırasında meydana gelen değişikliklerin yanı sıra farklı fizyolojik koşulların (boyut küçültme, enzimlerdeki, asitlikteki, viskozitedeki değişiklikler gibi) dikkate alındığı modellerdir. Statik *in vitro* sindirim modelleri, fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirlik ve biyoyararlılık analizi için meyvelerle yapılan çalışmalarda en yaygın kullanılan modellerdir. Bununla birlikte, potansiyellerine ve geniş uygulanabilirliklerine rağmen, özellikle hormonal sistem ve sinir sistemi kontrolü, geribildirim mekanizmaları, mukozal hücre aktivitesi, peristaltik hareketlerin karmaşıklığı ve lokal immün sistemin katılımı olmak üzere *in vivo* meydana gelen genel süreçleri tam olarak taklit etmezler. Dolayısıyla, çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için *in vivo* koşullara daha benzer yapıya sahip *in vitro* yöntemlerin geliştirilmesine ve standardizasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır [111]. *In vitro* modeller, hücre kültürlerinin dahil edilmesiyle iyileştirilmiştir. Caco-2 hücre modeli olarak adlandırılan uygulama, en yaygın kullanılan doğrulanmış bağırsak epitel hücre modelidir. Köken olarak kolonik olmasına rağmen, Caco-2 hücreleri, farklılaşma özelliği ile insan enterositlerinin işlevsel ve morfolojik özelliklerinin birçoğunu gösterebilmektedir. Bu testte, ekstraktlarda bulunan biyoaktif bileşiklerin Caco-2 hücreleri ile temasının ardından, hücrede ölçülen biyoaktif madde konsantrasyonu, biyoerişilebilir miktar olarak kabul edilmektedir [113].

***In vitro* Sindirim Modeli**

Minekus vd. [114] tarafından INFOGEST Network (gastrointestinal sistemdeki gıda üzerine yapılacak ortak çalışmalar amacı ile kurulmuş uluslararası bir ağ) ile fikir birliğinde olan, insan gastrointestinal fizyolojisini baz alan, uyumlu bir statik *in vitro* sindirim modeli önerilmiştir. Bu modelde sindirim sisteminin 4 aşaması da simüle edilmektedir.

- ***Ağız Aşaması***

Ağız içinde yiyecekler çok sayıda kimyasal, biyokimyasal ve mekanik işleme tabi tutulmaktadır. Bu aşamada gıdanın bileşenlerini değişime uğratan etmenler; pH, iyonik kuvvet, sıcaklık, çeşitli sindirim enzimlerinin etkisi (özellikle lingual lipaz, amilaz, proteaz); tükürükteki biyopolimerlerle (müsin) etkileşimler; dil ve ağız duysal reseptörleri ile etkileşimler ve çiğneme yoluyla partikül boyutunun azaltılmasıdır. Bunlar, *in vitro* sindirim deneyi tasarlarken dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir [115]. Ağız aşaması için simüle edilmiş tükürük ve test edilen gıdanın 1:1 oranında karıştırılması önerilmektedir. Çoğu zaman, *in vitro* yöntemler pH 7'de amilaz kullanılarak başlatılmaktadır. Oral enzimlerin gıda ile kısa etkileşimi nedeniyle karbonhidrat bakımından zengin gıdalar için ağız sindirim aşaması özellikle önerilmektedir. Alternatif olarak, küçük boyutlu (50 ila 1000 μm) parçacığa sahip ürünler de çiğneme sonrası oluşan parçacık boyutunu simüle edecekleri için uygun olmaktadır [114].

- ***Mide Aşaması***

Gıda bileşenlerinin midede parçalanmasına ilişkin doğru veri elde etmek, hem statik hem de dinamik yöntemler ile fitokimyasalların biyerişilebilirliğini değerlendirmek adına oldukça önemlidir. Mide sindirim aşaması, mekanik eylemleri ve mide sıvılarının aktivitesini içeren karmaşık bir süreçtir. Mide sıvısı hidroklorik asit, pepsinojenler, lipaz, mukus, elektrolitler ve su içerir. Mide sıvısının salgılanma hızı, açlık koşullarında yaklaşık 1 ila 4 mL/dk arasında, gıda alımından sonra ise 1 ila 10 mL/dk arasında değişmektedir. Hidroklorik asit, proteinlerin denatürasyonuna katkıda bulunur ve pepsini aktive eder. Midede oluşan peristaltik hareketler, katı yiyeceklerin boyutunun 1 ila 2 mm'ye kadar küçültülmesine etki eder. Midenin boşalması, sindirim sürecinde kritik bir

adımdır. Hacim, viskozite ve pH dahil olmak üzere yiyeceklerin ve sıvıların mideden boşaltılmasını etkileyen çok çeşitli faktörler bulunmaktadır. Fiziksel özelliklere bağlı olarak 3 ila 4 saat sürmektedir [116]. Sağlıklı bireylerde açlık durumunda mide pH'ı 1,3 ile 2,5 arasındadır. Bir öğün tüketimi, gıdanın tamponlama kapasitesine bağlı olarak genellikle pH'ı 4,5'in üzerine çıkartır. Statik *in vitro* çalışmalarının çoğu, gerçek gıda sindiriminden çok insanın açlık durumuyla ilişkili bir pH olan 2,5'in altındaki bir pH'da gerçekleştirilmiştir ve mide pH'ındaki değişiklikler sadece dinamik modellerde dikkate alınmıştır [117]. Pepsin, çoğu *in vitro* mide sindirim modeline entegre edilmiştir ve pepsin miktarı, protein ağırlığı başına enzimatik aktivite olarak değerlendirilmelidir. Mide lipazı genellikle ihmal edilmektedir [118].

- *İnce Bağırsak Aşaması*

Gıdanın *in vitro* ince bağırsak sindirimi, elektrolitler, safra tuzları ve enzimler dahil olmak üzere pH, sıcaklık, zaman ve pankreas suyunun simüle edilmesini içermektedir. Beslenme durumunda pH duodenumda 5,4-7,5 jejunumda 5,3-8,1 ve ileumda 7,0-7,5 arasında değişebilmektedir. Proteazlar, amilazlar ve lipazlar dahil olmak üzere pankreas enzimleri, yiyeceklerin parçalanmasında diğer sindirim enzimleriyle (maltaz, laktaz, dekstrinaz ve peptidazlar) birlikte hareket etmektedirler. Yöntemler arasındaki başlıca farklılıklar, kullanılan enzimlerin (pankreatin veya tek tek enzimler) ve safra asitlerinin (safra tuzu karışımları, gerçek taze safra veya tek tek safra tuzları) çeşitleridir. Bağırsak aşamasının fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğine katkısı çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Örneğin, bağırsak enzimlerinin kalıntı gıda matriksi üzerindeki etkisi fenolik içeriği artırabilmektedir. Dahası polifenoller, nötre yakın koşullarda kimyasal olarak reaktiftir ve bozunmaları veya izomerizasyonları, oksijen ve/veya geçiş metal iyonlarının varlığıyla katalizlenebilmektedir. Ayrıca, ince bağırsakta pasif difüzyon veya aktif taşıma yoluyla polifenollerin absorpsiyonu gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle, *in vitro* sindirim yöntemleri fenolik bileşiklerin seviyelerini olduğundan fazla tahmin edebilir. Oksijen seviyelerinin sınırlandırılması, glukosidaz aktivitelerinin dahil edilmesi, yeterli safra tuzu konsantrasyonu ve spesifik besin sindirimi için lipolitik, amilolitik ve proteolitik enzimlerin varlığı, fitokimyasalların optimal salınımı için önemlidir. Kalan

trigliseridler yağda çözünen fitokimyasalları tutabilirken, tamamen sindirilmemiş proteinler ve polisakkaritler suda çözünebilen fitokimyasallara bağlanarak onları ince bağırsakta kullanılamaz hale getirebilmektedir [119]. Bağırsak sindirimi aşamasında gıdaların biyoerişilebilir fraksiyonlarını simüle etmenin farklı yolları bulunmaktadır. En kolay yaklaşım, tüm bağırsak fraksiyonunun son içeriğinden çözünebilen materyali (sindirim için uygun kısım) ayırmak için filtre edip analiz etmektir. Diyaliz ve santrifüj, gıda ve ekstraktların biyoerişilebilir kısmını simüle etmek için kullanılan iki yaygın tekniktir. Diyaliz modelinde diyaliz edilebilir fraksiyon, yarı geçirgen membrandan geçen ve absorpsiyon için uygun olan numuneyi temsil ederken; diyaliz membranının dışındaki fraksiyon ise emilemeyen numuneyi temsil etmektedir. Sindirilmemiş bileşikler kolloidal dispersiyonlar oluşturduğunda, diyaliz daha iyi bir seçim olabilir çünkü santrifüjleme yöntemi ile yalnızca yeterli yoğunluktaki çözünmeyen sindirilmemiş materyal ayrılabilir olduğundan, kolloidal dispersiyonların olduğu durumlarda yeterli ayırım sağlanamamaktadır. Ayrıca, diyaliz uygulaması, fazladan saflaştırma adımı olmaksızın diyaliz edilebilir fraksiyonu hücre hatları (Caco-2 hücreleri) ile birleştirmek için daha elverişli olmaktadır [120].

- *Kolon Aşaması*

Kolon, üst gastrointestinal kanalda sindirilemeyen gıda bileşenlerini fermente edebilen karmaşık bir mikrobiyal ekosistem içermektedir. Bazı sindirilmemiş gıda bileşenleri, örneğin bazı polifenoller, kolondaki bakteri topluluğu için substrat olmaktadır [121]. Ayrıca, mikrobiyal biyodönüşümden elde edilen ürünler bağırsak ekosistemine ve ana bileşiklerin biyoyararlılığına etki edebilmektedir. *In vitro* kolonik modeller, ince bağırsak veya karaciğer tarafından metabolik biyodönüşümün temsidir ve metilasyonu, sülfasyonu ve glukuronidasyonu içermektedir. Fenolik bileşiklerin kolonik metabolizması, aglikonların geçici olarak ortaya çıkması ve ardından hidroksillenmiş aromatik bileşiklerin ve fenolik asitlerin oluşumu ile başlar. Flavonlar, flavanonlar, flavanoller, proantosiyanidinler ve fenolik asitlerin parçalanmasıyla hidroksifenilpropiyonik asit metabolitleri açığa çıkarken, flavonoller ve ferulik asit dimerlerinden ise hidroksillenmiş fenilasetik asit metabolitleri oluşmaktadır. Antosiyaninlerden ise benzoik asit türevleri, hidroksillenmiş benzaldehitler ve

asetaldehitler meydana gelmektedir. Bitki lignanlarından veya elajitaninlerden oluşan laktonlar gibi kompleks metabolitler kolonda yeniden emilerek tekrar karaciğer metabolizmasına tabi tutulur ve konjugat (eşlenik) türevleri idrar yoluyla atılır. Bu nedenle, plazmadaki miktarları ve idrar atılımları polifenollerin hem karaciğere hem de kolona ait metabolizmasını yansıtmaktadır [119].

2.2.3.3 Biyoerişilebilirliği Etkileyen Temel Faktörler

Biyoerişilebilirlik, bir gıdanın biyoyararlanımı için ilk adımdır. Bu adımda, besin ögesi, gıda matrisinden serbest bırakılmakta ve bağırsak hücrelerine bağlanıp girebilen veya aralarından geçebilen kimyasal bir forma dönüşmektedir. Çiğneme, ağızdaki gıdanın enzimatik sindirimi, mide suyunda asit ve enzimlerle karıştırılması ve ince bağırsağa salınması, besinlerin biyoerişilebilir hale geldiği temel işlemlerdir. İnce bağırsak, besin ögesi emiliminin ana bölgesidir ve bu bölgede pankreas suyunun enzimleri gıda matrisini parçalamaya devam etmektedir [35].

Gıda matrisinden salınan fenolik bileşiklerin miktarı, gıdanın bileşimine, işleme şekline ve fitokimyasalların diğer gıda bileşenleri ile etkileşimine göre değişmektedir. Yapılan araştırmalara göre biyoerişilebilirliği etkileyen temel faktörler dört ana kategori altında toplanmıştır: (1) bileşik ile ilgili faktörler (kimyasal yapı, moleküler bağlantı, gıdadaki konsantrasyonu, diğer maddelerle etkileşimi); (2) gıda ile ilgili faktörler (matris özellikleri, işleme, yağ, protein, lif, lesitin gibi emilimi olumlu yönde etkileyen maddelerin varlığı); (3) birey ile ilgili faktörler (enzim aktivitesi, genetik, yaş ve cinsiyet, beslenme ve antioksidan durumu) (4) dış faktörler (gıda güvencesi, iklim gibi çevresel faktörler) [97].

Günümüzde gıdaların tüketilebilirliğini sağlamak amacı ile çeşitli işlemlere tabi tutulması kaçınılmazdır. Kurutma bu işlemlerden en yaygın kullanılanlardandır. Gıda ürünlerinin işlenmesi, biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirlikleri üzerinde tıpkı gastrointestinal faktörler gibi olumlu veya olumsuz etkilere sahip olabilmektedir. Gıda işlemenin biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirlikleri üzerindeki etkisinin basit bir neden-sonuç ilişkisi olmadığı belirtilmiştir [112]. Isıl işlem, bitki dokusunu bozarak polifenol-polisakkarit komplekslerinin denatürasyonunu sağlaması nedeniyle polifenol biyoerişilebilirliğini

artırabilmektedir. Ancak ısıtma işlemi aynı zamanda fenolik bileşiklerin termal degradasyonuna da neden olabilmektedir [122].

2.3 Kurutma

Meyve ve sebzeleri taze bir şekilde mevsiminde tüketmek besin öğelerinin, lezzet ve görünüşlerinin korunması bakımından en iyi seçenektir. Ancak yüksek su içerikleri (%75-95) sebebiyle meyve ve sebzeler birçok mikroorganizma için elverişli bir ortam oluşturmakta ve çok hızlı bir şekilde bozulmaya başlamaktadırlar. Ayrıca meyve ve sebzelerin içerdiği besin maddeleri insan beslenmesi için olduğu kadar mikroorganizmaların gelişmesi açısından da bulunmaz bir kaynaktır. Dolayısıyla meyve ve sebzeler, çok uzun yıllardır çeşitli yöntemlerle dayanıklı hale getirilmeye çalışılmakta, çeşitli ürünlere işlenmektedirler [13]. Bu yöntemlerden biri olan kurutma, gıdalardan belirli bir seviyeye kadar su uzaklaştırma şeklinde uygulanan bir muhafaza yöntemidir [123].

Kurutma, gıdaların korunmasında sahip olduğu birçok avantaj ile yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Enerji tasarrufu sağlaması, hacimsel küçülmeye bağlı olarak paketlenme, depolama ve taşıma masraflarının azalması, raf ömrünün uzaması ve su miktarının azalmasına bağlı olarak daha yoğun besin içeriği sağlaması kurutmayı diğer muhafaza yöntemlerine göre avantajlı kılan özelliklerdir [124]. Bu yöntemle gıdadaki su, ürünün mikrobiyal stabilitesini sağlayan ve depolama sırasında kimyasal ve fiziksel değişikliklerini en aza indiren nihai bir konsantrasyona getirilmektedir. Çoğu kurutma işleminde su, sıcak hava ile ısıtılarak verildiği konvektif buharlaştırma ile uzaklaştırılmaktadır. Her gıda işleme sürecinde olduğu gibi kurutma işleminde de uygulanan ısıtmanın etkisi ile gıdada bir takım kayıplar meydana gelebilmektedir [125]. Gıda kurutma tekniklerinden kaynaklanan termal hasarın derecesi, maruz kalma sıcaklığı ve yönü ile doğru orantılıdır. Örneğin geleneksel sıcak havayla kurutma için gereken yüksek sıcaklık ve uzun süre, ürünün rengini, dokusunu, lezzetini ve besin değerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [126]. Son yıllarda kurutma sırasında meydana gelen bazı kimyasal ve biyokimyasal değişiklikleri anlamak ve

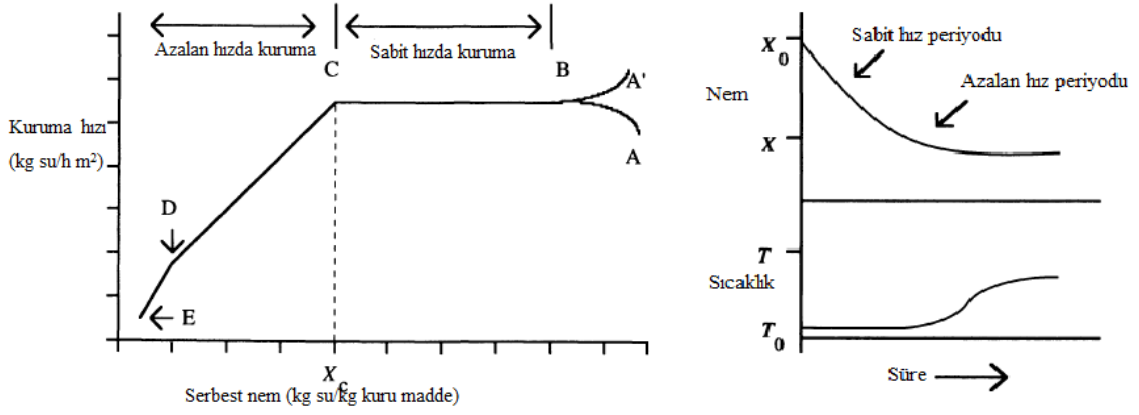
istenmeyen kalite kayıplarını önleyebilecek yöntemler geliştirmek adına gıdaların kuruma davranışlarını dikkate alarak önemli çabalar sarf edilmektedir.

2.3.1 Kuruma Eğrileri

Kuruma eğrisi ürünün kuruma hızının, kuruma süresi veya nem içeriğine karşı değişimini göstermektedir. Kuruma eğrisinde üç ana kuruma aşaması gözlemlenebilmektedir (Şekil 2.3).

1. Ürünün yüzey denge nemine kadar ısındığı geçici erken aşama (geçici dönem; A- A'). Bu süre çok kısa olduğundan genellikle ihmal edilmektedir.
2. Nemin uzaklaştırılmasının nispeten daha kolay olduğu sabit hızda kuruma aşaması (B-C).
3. Nemin katı matris içinde bağlı olduğu ve kuruma hızının azaldığı düşen hız (azalan hız) periyodu (C-D ve D-E).

Tipik kuruma hızı eğrileri Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Sabit hız periyodundan azalan hızda kuruma periyoduna geçişin meydana geldiği nem içeriği (C noktasında), kritik nem içeriği olarak adlandırılmaktadır. Hem higroskopik hem de higroskopik olmayan katılar için iki aşamada azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmektedir. İlk azalan hızda kuruma periyodunun hem iç hem de dış kütle transfer oranlarına bağlı olduğu ve materyalin iç kısmında yer alan suyun difüzyon ile yüzeye taşındığı varsayılmaktadır. Kuruma hızının çok fazla azaldığı ikinci azalan hızda kuruma periyodunun materyalin iç kütle transfer direncine bağlı olduğu varsayılmaktadır. Gıda maddelerinin kuruma davranışları gözeneklilik, homojenlik ve higroskopik özelliklere bağlıdır [127].



Şekil 2.3 Tipik kuruma eğrileri [128]

2.3.2 Kurutma Yöntemleri

İlk çağlardan bu yana doğal kurutma olarak da adlandırılan güneşte kurutma işlemi kullanılmaktadır. Bu işlemin uzun zaman alması, nihai ürünün kalitesinin hava şartlarına bağlı olması ve hijyenik koşulların sağlanmasındaki güçlükleri nedeniyle yapay kurutma olarak adlandırılan çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [123]. Bu amaçla kullanılan kurutma yöntemleri arasında, dondurarak kurutma, vakumla kurutma, ozmotik kurutma, kabin kurutucularda kurutma, konveyör kurutucularda kurutma, ohmik ısıtma ile vakum kurutma, mikrodalga kurutma ve bunların kombinasyonları bulunmaktadır [129]. Kullanılacak kurutma yönteminin seçimi, ürün tipi, kurutucunun elverişliliği, maliyet ve kurutulan ürünün kalitesi gibi bazı faktörlere bağlıdır. Özellikle enerji tüketimi ve son ürünün kalitesi, kurutma yönteminin seçiminde kritik parametrelerdir. Fosil yakıt kullanımını azaltabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının (elektrik enerjisi, hidroelektrik veya rüzgar enerjisi gibi) kullanılması, kurutma uygulamaları için önemli bir alternatif oluşturur [130]. Çalışmada kullanılan kurutma yöntemlerine devam eden kısımda değinilmiştir.

2.3.2.1 Sıcak Hava ile Kurutma

Günümüzde halen kurutulmuş meyve ve sebzelerin çoğu, çeşitli kurutma yöntemleri arasında en basit ve ekonomik olan sıcak hava ile kurutma (SHK) tekniği kullanılarak üretilmektedir. Atmosferik bir sıcak hava kurutucusunun temel konfigürasyonu, yiyeceğin yerleştirildiği tepsi şeklinde bir bölmeden, ısı kanallarından ve sıcak havanın gıdanın çevresinde dolaşmasını sağlayan bir fandan oluşmaktadır. Hava, ısı değiştiriciler vasıtasıyla kurutucuya girerken

ısıtılır. Kurutucudaki gıdalar, ürünü ısıtıp su buharını uzaklaştırması için doğrudan sıcak hava akımına maruz bırakılır [128]. Kurutma genellikle 50°C ile 110°C arasındaki sıcaklıklarla gerçekleştirilmektedir. Ürüne uygulanan sıcak hava hızı ise 0,1-5,0 m/s arasında değişmektedir [131]. Kuruma hızını etkileyen faktörler sıcaklık, nem, hava hızı ve dağılım şekli, hava değişimi, ürün özellikleri ve ürün kalınlığıdır. İyi bir hava sirkülasyonu sağlamak için ürün genellikle tek kat halinde tepsilere yerleştirilir veya bir ip ile kurutucu içerisine asılır. Hava sirkülasyonu yatay veya dikey olabilmektedir. Ürünün yağ içeriği gibi yapısı ve bileşimi kuruma oranını etkilemektedir. Teorik olarak, hava sıcaklığı ne kadar yüksekse, kuruma hızı o kadar yüksektir; benzer şekilde, hava akış hızı ne kadar yüksekse, kuruma hızı da o kadar yüksek olmaktadır. Ayrıca hava nemi ne kadar düşükse, kuruma oranı da o kadar yüksek olmaktadır. Kurutucuda nem birikimini önlemek için içerideki hava etkin bir şekilde dışarı atılmalı, sisteme yeni daha düşük nemli havanın girmesi sağlanmalıdır [127]. Sıcak hava ile kurutma işlemi güneşte kurutma yöntemine göre kısa sürede gerçekleştirilebilirken yeni kurutma yöntemlerine göre süre uzun kalabilmektedir [131]. Modern kurutma teknikleriyle karşılaştırıldığında, sıcak hava ile kurutmada uygulanan yüksek sıcaklıklar ve uzun işlem süresi gıdalardaki biyoaktif bileşenleri önemli derecede kayba uğratabilmekte, antioksidan kapasitesini düşürebilmekte ve istenmeyen tat oluşturabilmektedir [132].

2.3.2.2 Dondurarak Kurutma

Liyofilizasyon olarak da adlandırılan dondurarak kurutma (DK) tekniği, geleneksel kurutma işlemleri sırasında oluşan kalite kaybını engellemek için geliştirilmiştir. Dondurarak kurutma ilk olarak 1940'larda kuru plazma ve kan ürünlerinin büyük ölçekli üretimi için uygulanmıştır. Daha sonra, antibiyotikler ve biyolojik malzemeler dondurarak kurutma yoluyla endüstriyel ölçekte hazırlanmıştır. Dondurarak kurutma işlemi esas olarak iki adımdan oluşmaktadır: (1) ürün dondurulur; (2) ürün içerisinde katı faza geçen su, basınç altında süblimleşme ile uzaklaştırılarak ürün kurutulur. Üründe küçük buz kristalleri ve amorf bir yapı oluşturmak için kurutma işlemi hızlı bir şekilde

gerçekleştirilmelidir [128]. Bu tekniğin en önemli avantajı ürünün doğal haline en yakın kalitede kurutulabilmesidir. Gıdanın duyuşal özellikleri ve besin değeri iyi bir şekilde korunabilmekte, renk, yapı ve görünüşü en az seviyede değişmektedir [133]. Doğru bir şekilde paketlenen dondurulmuş ürünler; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve organoleptik özelliklerinin çoğunu koruyarak neredeyse sınırsız bir süre muhafaza edilebilirler. Bu ürünler, sıvı ilavesiyle orijinal şekillerine ve yapılarına yeniden döndürülebilmektedir. Kurutulmuş ürünün sünger benzeri yapısı hızlı bir rehidrasyon işlemine izin vermektedir. Rehidre olan ürünün özellikleri, taze ürünün özellikleri ile aynıdır. Dondurularak kurutulmuş ürünlerin porozitesi, hava ile kurutulmuş ürünlere kıyasla daha randımanlı ve hızlı bir rehidrasyona izin vermektedir. Dondurarak kurutmanın en büyük dezavantajı ise maliyetli olmasıdır [128]. Sıcak hava kurutma yöntemlerine kıyasla kuruma işlemi için gereken süre oldukça uzundur. Kurutma aşamaları için yüksek enerji sarfiyatının olması, işçilik ve genel masraflar dondurarak kurutma yöntemini pahalı bir kurutma işlemi yapmaktadır [134].

2.3.2.3 Vakum Kurutma

Vakum kurutma, gıda maddelerinin içerisindeki suyun düşük basınç uygulanması ile kaynama noktasının azaltılarak daha düşük sıcaklıklarda buharlaşmasının sağlandığı bir yöntemdir [135]. Gıdanın doğrudan ısıtma ortamına konduğu ve konveksiyon ile kurutulduğu doğrudan sıcak hava kurutma yöntemlerinden farklı olarak vakum kurutucu, dolaylı kuruma sağlamaktadır [14]. Bu yöntemde belirli bir basınçta vakum ortamının yaratılması için buhar enjektörü veya vakum pompası kullanılmaktadır. Ürün içerisindeki su, konveksiyon, kondüksiyon veya radyasyon ile ısıtılarak buharlaştırılır ve uzaklaştırılır. Yöntem, düşük sıcaklıklarda ve kısa sürede kurumayı sağladığı için özellikle ısıya karşı hassas gıdalarda besin değeri ve kalite özelliklerindeki kayıpları en aza indirmek amacıyla tercih edilmektedir [136]. Ayrıca yöntem, oksijensiz ortam oluşturulabilmesi ve bu sayede oksidasyonun önlenmesi nedeniyle biyoaktif madde içeriği yüksek olan gıdaların kurutulmasında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Yanısıra yüksek sıcaklık uygulaması ile yüzeyi çabuk kuruyan ancak ortası nemli kalan ürünler için de vakum kurutmanın

kullanılması önerilmektedir. Vakum kurutma yönteminde sıcaklık daha düşük olacağından, ürünün yüzeyi kabuk oluşturmada iç bölgesinden nem difüzyonu gerçekleşmekte ve ürünün tamamının kuruması sağlanabilmektedir [137]. Vakum kurutma, ısıya duyarlı ürünler için önerilebilir ancak genel olarak tüm gıdaların kurutulması için önerilmez, çünkü yüksek maliyetleri ile pahalı bir işlemdir. Sürekli vakum altında uzun kuruma süreleri enerji tüketimini büyük ölçüde artırmakta ve işlemi atmosferik basınçta kurutmaya kıyasla çok daha pahalı hale getirmektedir. Vakum kurutmanın bir başka dezavantajı, vakum altında ısı transferinin kolay olmamasıdır [13]. Diğer bir deyişle kurutulan ürünün merkezinden yüzeye yeterli nem taşınımını sağlayamaz. Bu nedenle kurutma ürünün yüzey tabakasında dik bir nem eğimine neden olabilmektedir. Sayılan dezavantajlar vakum kurutma yönteminin gıda endüstrisindeki uygulamalarını sınırlandırmıştır. Ancak vakum kurutma, diğer metotlarla ön işlem ya da kombine olarak kullanılabilmekte ve böylece kurutma verimliliği artırılabilir. Vakum kurutma yöntemi, mikrodalga kurutma, dondurarak kurutma, ohmik ısıtma, kızgın buhar ısıtma, sıcak hava ile kurutma veya ultrases dalgalarıyla kurutma yöntemleriyle birleştirilerek kullanılabilir [138].

2.3.2.4 Ultrases Destekli Kurutma

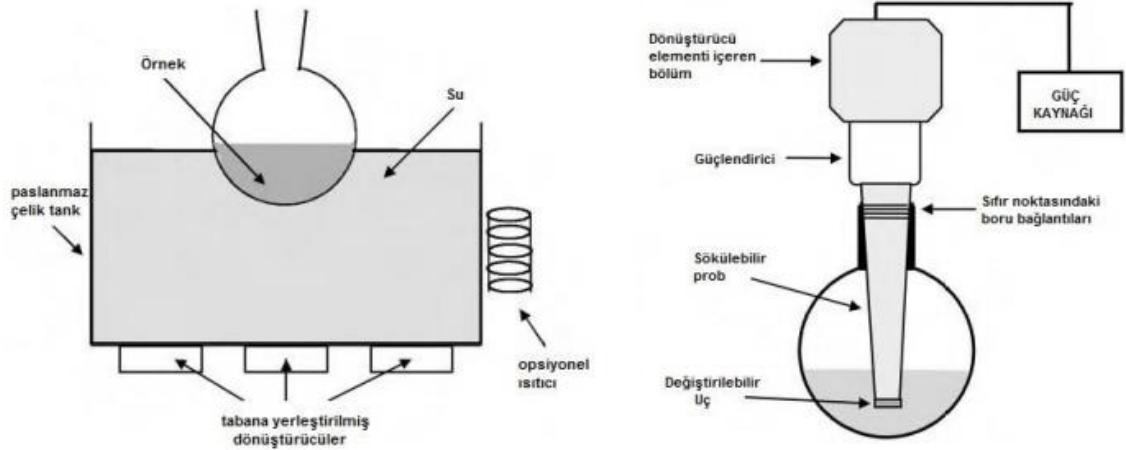
Ultrases, 20 kHz'in üzerinde, insan kulağı tarafından algılanamayacak kadar yüksek frekanstaki ses dalgaları tarafından üretilen bir enerji şeklidir. Kullanılan frekansa ve uygulanan ses dalgası genliğine bağlı olarak, çeşitli uygulamaları mümkün kılan bir dizi fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etki gözlenebilmektedir [139]. Ultrases teknolojisi gıda endüstrisinde enzim inaktivasyonu ve ekstraksiyonu, mikroorganizma inhibisyonu, dondurma, kurutma, filtrasyon, homejenizasyon, emülsifikasyon, tenderizasyon gibi işlemlerde uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır [138], [140]. Ultrases, bir katı-sıvı sistemde uygulandığında, katı ve sıvı arasındaki kütle aktarımına karşı olan hem iç hem de dış direnci etkileyebilecek bir dizi etki üretmektedir. Sıvı sistemlerde, ultrasesin ana mekanik etkileri kavitasyon ile sağlanmaktadır. Kavitasyon, sıvı içinde örneğin suda, yaklaşık 5000 K sıcaklık üreten ve "sıcak noktalar" adı verilen birçok yerel noktada 1000 atm'yi aşan basınç oluşturan kabarcıkların

ortaya çıkması, büyümesi ve patlamasıyla oluşmaktadır. Kaviteasyon gıdanın sıvı fazında meydana gelirse, gıdanın katı fazından ortama nem transferini kolaylaştırabilir. Sistem özelliklerine bağlı olarak, kabarcıklar bazen uygulanan ultrasesle aynı frekansta patlamaz ve titreşmeye devam eder. Bu titreşim aynı zamanda sıvı fazın karışmasına da katkıda bulunur [141]. Patlamayan kabarcıklar stabildir ancak boyutları büyümeye veya küçülmeye devam ederek, difüzyon sınır tabakasını azaltırlar ve kütle transfer oranını artıran mikroajitasyon oluştururlar. Kaviteasyon bağlı suyun uzaklaştırılmasında da etkilidir. Ayrıca ses dalgasının salınım hareketi, kütle transferinin artmasını sağlayan akustik akışa neden olmaktadır [139].

Ultrasonikasyon altında, işlenen malzeme tekrarlanan gerilme ve sıkıştırma ile büzülmeye ve genişlemeye devam etmektedir. Bu olay süngerin sıkılma ve gevşemesine benzediği için "sünger etkisi" olarak adlandırılmaktadır. Bu davranış, katının su moleküllerini ve yüzey molekülleri ile birbirine bağlayan bağların kopmasıyla sonuçlanır, bu da katı yüzeyi aktive etmekte ve ürüne sıkıca bağlanan nemin uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır [142]. Ayrıca sıvı hareketine uygun mikrokanallar oluşturarak sıvının üründen dışarı akışını da sağlamaktadır [141]. Ultrases teknolojisi, farklı sistemlerde farklı etkiler gösterebilmektedir çünkü ultrasonik yoğunluk, frekans, uygulama şekli, basınç/vakum ve sıcaklık gibi işlemi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır [138].

Ultrasonik dalgalar üreten bir sistem jeneratör, dönüştürücü ve uygulama bölümü olmak üzere üç farklı ana bileşenden oluşmaktadır: Ultrasonik alan üretmek için kullanılan yöntemlerin tümü, başka bir tür enerjiyi (elektrik, manyetik, kinetik vb.) akustik enerjiye dönüştürmektedir. Jeneratör, enerjiyi sisteme sağlar ve dönüştürücü, jeneratör tarafından sağlanan enerjinin akustik enerjiye dönüştürülmesinden sorumludur. İyi bir dönüştürücü, yüksek enerji dönüştürme oranı sağlamalıdır. Çünkü enerji kayıpları sistemde sıcaklık artışına sebep olan ısıya dönüştürülmektedir. Uygulama sistemi ise üretilen akustik enerjiyi ürüne iletmektedir. Katı-sıvı sistemler için laboratuvar ve büyük ölçekli uygulamalarda banyo ve prob (sonotrot) sistemleri olmak üzere iki ana tip ultrasonik ekipman kullanılmaktadır (Şekil 2.4). Banyo sistemleri, altına takılı

piezoelektrik dönüştürücülere sahip metal bir kaptan oluşmaktayken, prob sistemleri boru şeklinde bir probun ultrases sinyalinin iletme ve güçlendirme amacı ile dönüştürücüye takılı olduğu düzeneklerdir. Dönüştürücüler titreştiğinde, titreşimlerini tüm kaba aktarırlar ve daha sonra titreşim tankta bulunan sıvı ortama iletilir [141].



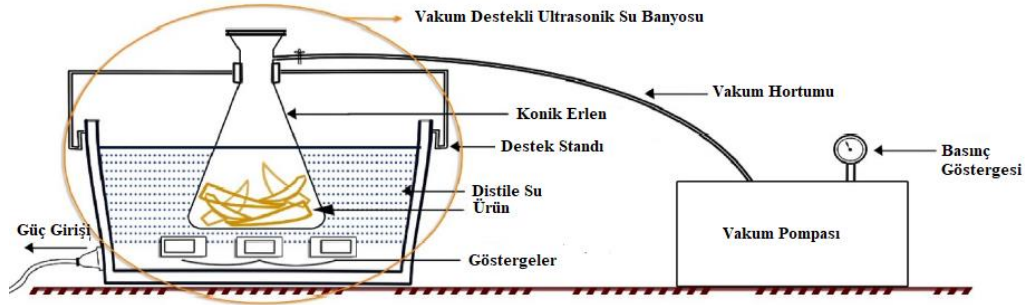
Şekil 2.4 Şematize edilmiş ultrasonik banyo ve prob sistem [143]

Ultrases destekli kurutma yöntemleri, ultrasonik proses ile uygun kurutma tekniklerinin kombinasyonuna dayanmaktadır. Adından da anlaşılacağı üzere ultrases destekli kurutma genellikle diğer kurutma uygulamalarının tamamlayıcısıdır. Ultrases dalgası, kütle transferini güçlü bir şekilde hızlandırır, bu nedenle ultrases tekniği, yüksek bir kuruma oranı sağlar ve böylece gıda kalitesini koruyarak dehidrasyona yardımcı olur [138]. Ultrases destekli kurutma, kurutmanın genel etkinliği artırmak amacıyla sıcak hava [9], [144], [145], ozmotik [146]–[148], vakum [9], [17], [149] ve dondurarak [150], [151] kurutma dahil olmak üzere diğer kurutma yöntemleriyle birleştirilerek uygulanmıştır. Tüm bu işlemlerde ultrasesin kullanım amacı, kurutma oranını artırmak ve/veya kurutma sıcaklığını düşürmektir [138].

2.3.2.5 Ultrases Destekli Vakum Kurutma

Ultrases destekli vakum kurutma (USVK), vakum kurutma ve ultrases dalgalarını birleştiren bir yöntemdir. Şekil 2.5’de USVK uygulamasının şematize edilmiş görseli bulunmaktadır. USVK kurutma tekniği hem vakum kurutma hem de

ultrases uygulamasının avantajlarına sahiptir. Bu yeni teknik, kısa kurutma süresi, yüksek rehidrasyon oranı, orjinaline yakın duyusal özellikler ve besleyicilik gibi avantajlarının yanı sıra gıda kalitesini ve görünümünü iyileştirmek için üstün bir yöntemdir. Ultrases uygulaması, vakum sayesinde düşük atmosferik basınçta (<101.330 kPa) ve düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesinin yanı sıra ultrases etkisi ile gıdaların merkezinden kütle transferini hızlandırarak ve gıda matrisindeki mikrokanaalları genişleterek sıvı atımını kolaylaştırması ile vakum kurutmanın eksikliklerinin üstesinden gelme potansiyeline sahiptir. Ultrases uygulaması ile oluşan kavitasyon sayesinde katı faza güçlü bir şekilde bağlanan nemin neredeyse tamamen uzaklaştırılabilmesi sağlanır [138], [152]. Sonuç olarak, USVK kurutma yeni bir kurutma teknolojisi olmasına rağmen kısa kurutma süresi, düşük enerji tüketimi ve uygulama prensibi sayesinde ürün kalitesini koruyucu proses olarak kabul edilmesi nedeniyle endüstri için umut vadetmektedir [138].



Şekil 2.5 Şematize edilmiş ultrases destekli vakum kurutma düzeneği [153]

3.1 Materyal

Mersin'in Silifke yöresinde yetiştirilen ve 33 N16 olarak tescillenmiş olan Keben narı (*Punica granatum* L.) kullanılmıştır (Şekil 3.1). Keben narı ekşi-tatlı olarak sınıflandırılan, sofralık değeri yüksek bir çeşittir [154]. Kurutulmuş nar tanelerinin doğrudan tüketilebilirliğinde narın ekşiliği ve tatlılığının etkili bir nitelik olması nedeniyle çalışmada Keben narı tercih edilmiştir. Mersin, Silifke'den tedarik edilen narlar hasar görmeden termobox kutularla +4 °C'de laboratuvara getirilmiş ve kurutma işlemleri tamamlanana kadar en fazla 5 gün +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Kullanılan tüm kimyasallar Merck (Darmstadt, Germany) markasından temin edilmiştir.



Şekil 3.1 Taze nar

3.1.1 Bitkisel Materyalin Hazırlanması

Narın kabuğu su ile yıkanıp kurulandıktan sonra bir mutfak bıçağı ile kesilerek taneler el ile ayrılmıştır. Tane yapısının bozulmaması ve nem kaybı olmaması için taneleme işlemi titizlikle gerçekleştirilmiştir. Meyve hazırlama işlemi her kurutma prosesinden önce taze olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2 Yöntem

Çalışmada nar taneleri sıcak hava kurutma (SHK), vakum kurutma (VK), ultrases destekli vakum kurutma (USVK) ve dondurarak kurutma (DK) olmak üzere 4

farklı yöntem kullanılarak meyve ve sebzelerin sıklıkla kurutulduğu 55°C, 65°C ve 75°C sıcaklıklarda ön deneme amaçlı kurutulmuştur [1], [155]. Kurutulan nar tanelerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına göre optimum değerler 55°C sıcaklıkta elde edilmiştir. Nar tanelerinin 55°C sıcaklıktaki kurutma işlemi tekrarlanmıştır. Her bir kurutma işlemi için 60g örnek tartılmıştır. Örneklerin kuru bazda nem içeriği $20 \pm 0,1$ değerine ulaşınca kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Bu sayede kurutulmuş ürünün dayanıklılığını sağlayan su aktivitesi değerine (0,6) ulaşılacaktır [131], [156]. Dondurarak kurutma yöntemi hariç kurutulmakta olan ürünlerden her 15 dk'da bir numune alınarak $\pm 0,1$ mg olarak tartım yapılmış (Shimadzu, TW-423, Kyoto, Japonya) ve ağırlık değişimi incelenmiştir. Tartım işlemi nem değerinin etkilenmemesi için ortalama 10 saniyede tamamlanmıştır. Kurutulan örnekler ekstraksiyon işlemine kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir. Taze nar tanelerinin başlangıçta içerdiği nem miktarı, AOAC [157]'da belirtilen metoda uygun şekilde etüvde (Memmert UF110, Münih, Almanya) 105°C'de 5 saat kurutulup sabit ağırlığa geldikten sonra tartılarak hesaplanmıştır. Kurutulan nar tanelerinde farklı kurutma metotları ve farklı sıcaklıkların toplam antosiyanin miktarı, flavonoid miktarı, fenolik madde içeriği, antioksidan kapasitesi, hücre yapısı, renk değişimi ve *in vitro* biyoerişilebilirlik üzerine olan etkileri incelenmiştir.

3.2.1 Kurutma İşlemleri

3.2.1.1 Sıcak Hava ile Kurutma

Sıcak hava ile kurutma (SHK) işlemi, Şekil 3.2'de gösterilen kabin fırında (Memmert UF110, Münih, Almanya) 55°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kabin fırının hava hızı 1,3 m/s değerine ayarlanmıştır. Kurutucu, istenilen sıcaklığa gelene kadar 15 dakika süreyle boş bir şekilde çalıştırılmış daha sonra nar taneleri Şekil 3.1'deki gibi tek sıra halinde olacak şekilde cam petri kabına konularak kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Nar tanelerinin kuru bazda $20 \pm 0,1$ 'lik nem oranına 950 dakikada ulaşılmıştır.



Şekil 3.2 (A) Kabin fırın; (B) Kabin fırında sıcak hava ile kurutulacak nar taneleri

3.2.1.2 Vakum Kurutma

Vakum kurutma (VK) işlemi için ultrasonik su banyosu (Daihan, WUC-D10H, Güney Kore) ile vakum pompasının (KNF N838.3KT.45.18, Almanya) birleştirilmesi ile oluşturulan bir kurutma sistemi kullanılmıştır. Kurutma işleminde sistemin ultrasans üretme özelliği kapalı tutulmuştur. Su banyosunun hacmi 10 L olup; vakum pompasının basıncı 15 mbar ve hızı 22 L/dk'dır (Şekil 3.3). Meyveler vakum pompası takılı nuçe erlenine koyulup tıpası kapatılarak su banyosuna konulmuştur. Erlenin tabanı su banyosunun tabanından 3 cm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Su banyosunun sıcaklığı termometre (k-type, Omega Engineering, Inc., Amerika Birleşik Devletleri) ile ölçülerek teyit edilmiştir [158]. Nar tanelerinin kuru bazda $20 \pm 0,1$ 'lik nem oranına 650 dakikada ulaşmıştır.



Şekil 3.3 Vakum kurutma ve ultrasans destekli vakum kurutma düzeneği

3.2.1.3 Ultrases Destekli Vakum Kurutma

Ultrases destekli vakum kurutma (USVK) tekniği için de Şekil 3.3’de gösterilen ultrasonik su banyosu (Daihan, WUC-D10H, Güney Kore) ile vakum pompasının (KNF N838.3KT.45.18, Almanya) birleştirilerek oluşturulduğu kurutma sistemi kullanılmıştır. Ultrasonik su banyosunun genliği %100, güç yoğunluğu ~1 W/cm², hacmi 10 L; vakum pompasının basıncı 15 mbar ve hızı 22 L/dk’dır. Meyveler vakum pompası takılı nuçe erlenine koyulup ağız tıpa ile kapatılarak 40 kHz de ultrasonik su banyosuna konulmuştur. Erlenin tabanı su banyosunun tabanından 3 cm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Su banyosunun sıcaklığı, ses dalgalarının etkisi ile değişim halinde olabildiği için termometre (k-type, Omega Engineering, Inc., Amerika Birleşik Devletleri) ile ölçülerek kontrol edilmiştir [158]. Nar tanelerinin kuru bazda %20±0,1’lik nem oranına 510 dakikada ulaşılmıştır.

3.2.1.4 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma (DK) işlemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi için hazır hale getirilmiş olan örnekler ilk aşamada -80°C’de 12 saat dondurulmuş, sonrasında ikinci aşamada standard programı olan laboratuvar ölçekli liyofilizatörde (Martin Christ, Beta 1-8 LSCplus, İngiltere) -55°C’de ve 1 hPa basınçta, %20 nem içeriğine ulaşınca kadar 57 saat boyunca kurutulmuştur.

3.2.2 Fiziksel Analizler

3.2.2.1 Nem Oranı

Örneklerin nem oranı (MR) Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır;

$$MR = (M - M_e)/(M_0 - M_e) \quad (3.1)$$

M : Tanenin herhangi bir andaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

M_0 : Tanenin başlangıç nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

M_e : Denge nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

Ürünün denge nem içeriği oldukça küçük olduğundan dolayı eşitlik 3.1 aşağıdaki forma dönüşmüştür;

$$MR = M/M_0 \quad (3.2)$$

3.2.2.2 Renk Analizi

Taze ve farklı yöntemlerle kurutulmuş nar tanelerinin renk parametreleri bir renk ölçer (CR-400 Konica, Minolta, Tokyo, Japonya) ile oda sıcaklığında ölçülmüştür. Ölçüm işlemi yapılmadan önce cihaz, beyaz plakaya karşı kalibre edilmiştir. Örneklerin L* (beyazlık/siyahlık; 100, 0), a* (kırmızılık/yeşillik; +, -) ve b* (sarılık/mavilik; +, -) renk değerleri her bir numunenin yüzeyinde beş farklı noktadan ölçülmüştür ve sonuçların ortalaması alınarak ortalama değerler elde edilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen değerler ile toplam renk farklılığı indeksi (ΔE) Eşitlik 3.3 ile kuru bazda hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır [155].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.3)$$

3.2.2.3 Mikroyapı Analizi

Kurutulmuş nar tanelerinin mikroyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Zeiss EVO LS 10, Almanya) kullanılarak incelenmiştir. Elektron ışını için yansıtıcı bir yüzey sağlamak amacıyla kurutulmuş nar taneleri altın kaplama ile kaplanmıştır. Sonrasında altın kaplanmış örnekler 15 kV'lık bir mikroskop altında görüntülenmiştir [159].

3.2.3 Kimyasal Analizler

3.2.3.1 Ekstrakt Hazırlama

Taze ve kurutulmuş örneklerden 5'er gram tartılarak 20 mL metanol:su (50:50) çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışım ultra-turax (Daihan, 230 V, 50/60 Hz, 280W, Güney Kore) ile 10000 rpm'de 3 dk boyunca homojenize edilmiştir. Elde edilen homojen çözeltiler, 2 saat boyunca oda sıcaklığında (25°C) çalkalayıcıda çalkalanarak inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon periyodundan sonra filtre kağıdı yardımıyla süzülen çözeltiler, 6000 rpm'de 10 dakika boyunca

santrifüjlenmiş (Hettich 320R, Tuttlingen, Almanya) ve tekrar filtre edilmiştir. Son olarak supernatantlar 0,45 µm'lik filtrelerden geçirilerek ekstraksiyon tamamlanmıştır. Analizler gerçekleştirilene kadar ekstraktlar -20°C'de muhafaza edilmiştir [17].

3.2.3.2 Toplam Fenolik Madde Tayini

Ekstraktların toplam fenolik madde (TFM) Folin-Ciocalteu kolorimetrik metodu ile belirlenmiştir. Singleton ve Rossi [160] tarafından belirlenen yöntemle göre; ekstrakte edilmiş her bir ekstraktan 0,5 mL alınarak test tüplerine konmuş ve tüplere 2,5 mL Folin-Ciocalteu fenol çözeltisi (0,2 N) ilave edilmiştir. 3 dakika beklendikten sonra reaksiyon tüpüne 2 mL %7,5 (w/v) Na₂CO₃ ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım karanlıkta ve oda sıcaklığında (25°C) 30 dakika bekletildikten sonra, örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) kullanılarak 760 nm'de ölçülmüştür. Sonuçlar, mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g kuru madde (KM) olarak ifade edilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplam fenolik içeriğinin hesaplanmasında kullanılan gallik asit kalibrasyon eğrisi Ek A (Şekil A.1)'da verilmiştir.

3.2.3.3 Toplam Flavonoid Tayini

Toplam flavonoid (TF) konsantrasyonu Zhishen vd. [161]'nin uyguladığı metoda göre belirlenmiştir. 10 mL hacimli deney tüpüne 1 mL ekstrakt konulmuş ve üzerine 4 mL saf su ilave edilmiştir. Sıfırıncı dakikada 0,3 mL NaNO₂ (%5), 5. dakikada 0,3 mL AlCl₃ (%10) ve 6. dakikada 2 mL 1 M NaOH ilave edilmiş ve sonrasında 2,4 mL saf su eklenerek toplam hacim 10 mL'ye tamamlanmış ve vorteks ile karıştırılmıştır. Karışımın absorbans değeri spektrofotometre ile (Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre, Japonya) 510 nm'de ölçülmüştür. Sonuçlar, mg kateşin eşdeğeri (CE)/g KM olarak ifade edilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplam fenolik içeriğinin hesaplanmasında kullanılan kateşin kalibrasyon eğrisi Ek A (Şekil A.2)'da verilmiştir.

3.2.3.4 Toplam Antosiyanin Tayini

Ekstraktların toplam antosiyanin (TA) miktarı pH diferansiyel metoduna göre tespit edilmiştir. Giusti ve Wrolstad [162]'in bildirdiği metodun ilkesi,

monomerik antosiyaninlerin pH 1,0'de renkli oksonium formunda, pH 4,5'da ise renksiz hemiketal formunda bulunmasına dayanmaktadır. Buna göre ortam pH'sı 1,0 ve 4,5 olduğu zaman ölçülen absorbans değerlerinin farkı, doğrudan antosiyanin konsantrasyonu ile orantılı olmaktadır.

0,025 M potasyum klorür çözeltisi (KCl) (pH=1,0) ve 0,4 M sodyum asetat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) çözeltisi (pH=4,5) saf su ile hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH'ı 1,0 ve pH 4,5'a ayarlanması için %37 lik HCl asit kullanılmıştır. 0,5 mL ekstrakta, ilk deney setinde 4,5 mL potasyum klorür, ikinci deney setinde ise 4,5 mL sodyum asetat çözeltisi ilave edilmiştir. Karışımlar 30 dakika oda sıcaklığında (25°C) ve karanlıkta bekletildikten sonra absorbansları 510 ve 700 nm'de spektrofotometre (Shimadzu, UV-1800, Japonya) ile ölçülmüştür. TA kuru bazda aşağıdaki eşitlikler (3.4 ve 3.5) kullanılarak hesaplanmış ve mg siyanidin 3-glikozid/100g KM olarak verilmiştir;

$$A [\text{absorbans}] = [A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}}] \text{ pH } 1.0 - [A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}}] \text{ pH } 4.5 \quad (3.4)$$

$$TA = A \times MA \times Sf \times 1000 / \epsilon \times L \quad (3.5)$$

A: absorbansı, A_{510} : örneğin 510 nm'de absorbansını, A_{700} : örneğin 700 nm'de absorbansını, MA: siyanidin 3-glikozid'in molekül ağırlığını (449,2 g/mol), Sf: seyreltme faktörünü, ϵ : molar soğurma katsayısını (26900), L: küvet optik yolu uzunluğunu (1 cm) ifade etmektedir [162].

3.2.3.5 Antioksidan Kapasite Tayini

- *DPPH Serbest Radikal Süpürme Kapasitesi Metodu*

DPPH (1,1-difenil-2-pikril hidrazil) metodu Singh vd. [163]'nin bildirdiği, ekstraktların DPPH serbest radikalini indirgeme esasına dayanılarak uygulanmıştır. DPPH radikali antioksidan bileşiklerle reaksiyona girer ve hidrojen açığa çıkartarak indirgenir.



DPPH molekülü, bu reaksiyon esnasında koyu mor renkten renksiz bir bileşik olan DPPH indirgenmiş molekülüne dönüşmektedir. Reaksiyonun 517 nm'deki absorbansının ölçülmesi ile bileşiğin antioksidan kapasitesi tayin edilmektedir [163]. Bu doğrultuda elde edilen her bir ekstraktan 0,1 mL alınmış, 4,9 mL 0,1

mM DPPH solüsyonuna eklenerek vorteksle karıştırılmıştır. 30 dakika oda sıcaklığında (25°C) ve karanlıkta bekletildikten sonra absorbanslar 517 nm’de spektrofotometre (Shimadzu, UV-1800, Japonya) ile ölçülmüştür. Sonuçlar Eşitlik 3.6’ya göre % inhibisyon oranı olarak verilmiştir.

$$\text{DPPH (\% inhibisyon)} = [(A_k - A_0) / A_k] \times 100 \quad (3.6)$$

A_k : körün absorbans değeri

A_0 : örneğin absorbans değeri

- *ABTS Radikal Süpürme Kapasitesi Metodu*

ABTS radikal süpürme kapasitesi (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)) Arnao vd. [164]’nin açıkladığı metot baz alınarak uygulanmıştır. 7 mM ABTS çözeltisi 2,45 mM potasyum persülfat çözeltisi ile vortekte karıştırılmıştır. Karışım daha sonra oda sıcaklığında 16 saat boyunca koyu mavi renk oluşana kadar bekletilmiştir. Koyu mavi renkte olan bu çözeltinin absorbansı 734 nm’de 0,7 ölçülene kadar saf su ile seyreltilmiştir. Ardından 0,1 mL ekstrakta 2 mL ABTS çözeltisi eklendikten sonra 6 dk karanlıkta bekletilip spektrofotometre (Shimadzu, UV-1800, Japonya) ile 734 nm’de absorbanslar ölçülmüştür. Çalışma kapsamında ABTS yöntemi için hazırlanan troloks kalibrasyon eğrisi Ek A (Şekil A.3)’da yer almaktadır. Sonuçlar μmol Troloks eşdeğeri (TE)/g KM olarak verilmiştir.

- *CUPRAC Metodu (Bakır İndirgeyici Antioksidan Kapasitesi)*

CUPRAC analizi Apak vd. [165]’nin yöntemine göre uygulanmıştır. 0,1 mL ekstrakt deney tüpüne konulmuş ve ardından sırasıyla, 1 mL 10 mM $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi, 1 mL 7,5 mM Neocuproine çözeltisi ve 1 mL 1 M amonyum asetat (pH=7) çözeltisi ile karıştırılmıştır. Son hacim 4,1 mL olacak şekilde 1 mL saf su ilave edilmiş ve oda sıcaklığında 1 saat inkübasyondan sonra spektrofotometre (Shimadzu UV-1800 spektrofotometre, Japonya) kullanılarak 450 nm’de absorbanslar ölçülmüştür. Çalışma kapsamında yöntem için hazırlanan troloks kalibrasyon eğrisi Ek A (Şekil A.4)’da yer almaktadır. Sonuçlar, μmol Troloks eşdeğeri (TE)/g KM olarak verilmiştir.

3.2.3.6 Fenolik Madde Profili Tayini

Fenolik profil analizi taze ve kurutulmuş nar tanelerinde HPLC cihazı (HPLC-DAD, Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya)'nda, diode array dedector (SPDM20A DAD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pompa olarak LC-20AD, otomatik örnek alıcı SIL-20A HT autosampler, CTO-10ASVP kolon fırını, DGU-20A5R gaz uzaklaştırıcı ve CMB-20A iletişim modülü (Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) kullanılmıştır. 250 mm × 4.6 mm uzunluk, 5 µm partikül boyutu olan ters-faz kolonu (Inertsil® ODS C-18, GL Sciences, Tokyo, Japonya) ile 40°C' de fenolik bileşiklerin ayrımı sağlanmıştır. Mobil faz olarak A solventi için %0,1 (v/v)'lik asetik asit içeren saf su ve B solventi için % 0,1 (v/v)'lik asetik asit içeren asetronitril çözeltisi hazırlanmıştır. Metot programlaması 1 ml/dk akış hızında gradiyent elüsyon kullanılarak şu şekilde ayarlanmıştır; %10 B (0-2dk), %10-%30 B (2-27dk), %30-%90 B (27-50dk) ve %90-%100 B (51-60dk). Örneklerin kromatogramları 254-356 nm arasında alınmıştır. Oluşan pik spektrumları, standart maddelerinki ile karşılaştırılarak tanımlama ve miktar belirleme gerçekleştirilmiştir [8].

3.2.3.7 *In Vitro* Gastrointestinal Sindirilebilirlik Analizi

Kurutulmuş örneklerin biyoerişilebilirliğinin tayini, Minekus vd. [114]'nin metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Sindirim enzimler tarafından yapılmış ve absorpsiyon, diyaliz poşeti kullanılarak simüle edilmiştir. Yöntem üç farklı sindirim aşamasını içermektedir: Ağız, mide ve ince barsak fazları. Tablo 3.1'de bileşimleri yer alan ve her bir sindirim aşamasını simüle eden farklı stok çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözeltilerin hepsi önden 37°C'ye ısıtılmıştır.

Tablo 3.1 Simüle edilmiş sindirim sıvılarının stok çözeltilerinin bileşimi [114]

	STS	SMS	SBS
	pH 7	pH 3	pH 7
Bileşenler	mL	mL	mL
KCl	15,10	6,9	6,8
KH ₂ PO ₄	3,70	0,9	0,8
NaHCO ₃	6,8	12,5	42,5
NaCl	—	11,8	96
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0,5	0,4	1,1
(NH ₄) ₂ CO ₃	0,06	0,5	—
pH Ayarlaması			
NaOH	—	—	—
HCl	0,09	1,3	0,7

STS: Simüle tükürük sıvısı, SMS: Simüle mide sıvısı, SBS: Simüle bağırsak sıvısı

- *Ağız fazı*

İnce bir şekilde öğütülen 5 g kurutulmuş ve taze nar numuneleri, 3,5 mL simüle tükürük stok çözeltisi 0,5 mL α -amilaz çözeltisi, 25 μ L CaCl₂ çözeltisi ve 975 μ L saf su içerisinde çözdürülmüştür. Simüle tükürük sıvısı (STS) ile gıda oranı 50:50 (v/v) olacak şekilde ayarlanmıştır. Karışım 37°C'lik su banyosunda 150 rpm'de 2 dakika çalkalanarak inkübe edilmiştir.

- *Mide fazı*

Mide koşulları için hazırlanan mide stok çözeltisi kullanılmıştır. Ağız fazı örneği ile simüle mide sıvısı (SMS) oranı 50:50 (v/v) olacak şekilde, 5 birim ağız fazı örneği 4 birim gastrik çözelti ile karıştırılmış ve karışıma pepsin solüsyonu (son karışımda 2000 U/mL), CaCl₂ (son karışımda 0,075 mM) ilave edilmiştir. Mide ortamının pH'sını sağlamak için (pH=3) 1 M HCl ve saf su eklenmiştir. Hazırlanan karışım 37°C'lik su banyosunda 150 rpm'de 2 saat çalkalandıktan sonra mide örneği olarak alınmıştır.

- *İnce bağırsak fazı*

İnce bağırsak koşulları için beherlerin içerisine diyaliz poşetleri yerleştirilmiştir [166]. Hazırlanmış olan bağırsak stok çözeltisinden (SBS) 4 birim, mide örneğinden 5 birim alınarak karıştırılmıştır. Bağırsak çözeltisi-mide örneği karışım oranı 50:50 (v/v) olacak şekilde pankreatin (son karışımda 100 U/mL), hazır safra solüsyonu (son karışımda 10 mM) ve CaCl₂ (son karışımda 0,3 mM)

ilave edilmiştir. Karışımın pH'sını 7.0'ye ayarlamak için 1 M NaOH ve saf su ilave edilmiştir. Sindirimi durdurmak amacı ile diyaliz poşetlerinin içine 0,1 M NaHCO₃ çözeltisi eklenmiştir. 37°C'lik su banyosunda 150 rpm'de 2 saat çalkalanmıştır. Süre sonunda diyaliz poşetinin üst kısmı kesilmiş ve içerisindeki solüsyon IN (seruma geçen materyalleri temsil eder) örneği olarak alınmıştır. Poşetin dışındaki sıvı ise OUT (gastrointestinal sistemde kalan materyalleri temsil eder) örneği olarak alınmıştır. Örnekler 4 °C'de 20 dakika 4000 rpm'de santrifüjlenerek üstteki faz alınmıştır. Alınan tüm örnekler liyofilizatörde kurutulup analiz gününde kullanılmak üzere -20°C'de muhafaza edilmiştir. *In vitro* gastrointestinal sindirilebilirlik analizinde her fazda alınan örnekler ile toplam flavonoid, toplam fenolik, toplam antosiyanin madde miktarı, ABTS radikal süpürme kapasitesi tayini ve CUPRAC analizi gerçekleştirilmiştir. Aynı analizler gıda örneği konulmadan aynı kimyasallar ile aynı koşullarda hazırlanan kör numune için de yapılmıştır. Fenolik bileşiklerin *in vitro* biyoerişilebilirliği, üç paralelli gerçekleştirilmiştir. Sindirim sonucu geri kazanım oranı (%) Eşitlik 3.8'de verilen formülle hesaplanmıştır [114], [166];

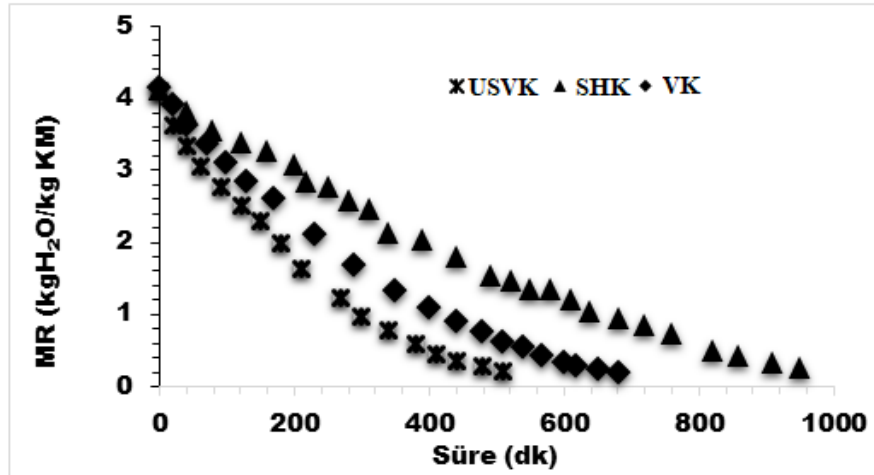
$$\% \text{ Geri kazanım oranı} = \text{IN} / (\text{IN} + \text{OUT}) \quad (3.8)$$

3.2.3.8 İstatiksel Analiz

İstatistiksel analizler, “JMP yazılım programının 9. Sürümü” kullanılarak (SAS Institute, Inc.) gerçekleştirilmiştir. Örneklerle ait ortalamalar standart sapma değerleriyle birlikte verilmiştir. Ortalamalar arasındaki farkı belirlemek için tek yönlü Varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Ortalamaların istatistiksel değerlendirmesi Duncan çoklu karşılaştırma testi ile 0,05 anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilmiştir.

4.1 Kuruma Eğrisi

Nar tanelerinin ortalama nem miktarı kuru madde üzerinden $77,6 \pm 1$ olarak belirlenmiştir. Bu oran, %75 ile %78 arasında değişen değerlerin saptandığı çeşitli nar meyvesi çalışmaları ile benzerdir [21], [22], [167]. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan nar tanelerinin kuruma davranışları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Kuruma süresinin artmasıyla birlikte tanelerin nem içeriğinin sürekli olarak azaldığı görülmektedir. Tüm kurutma yöntemlerinde başlangıçta hızlı nem kaybı gerçekleşirken, kurutma işleminin sonuna doğru nem transfer hızında düşüş gözlenmiştir. Kurutma sonunda nem transfer hızındaki bu düşüş, sabit hızda kuruma periyodunun yerini difüzyonlu kuruma periyoduna bırakması ile meydana gelmektedir [168]. Kurutma, kütle transferinin moleküler difüzyon ile gerçekleştiği azalan hızda kuruma periyodunda tamamlanmıştır. Benzer bir trend narda [155], [168], [169] ve taflan [9], çilek [170] gibi farklı meyvelerle yapılan çeşitli çalışmalarda da tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Nar tanelerinin farklı kurutma yöntemleri ile kuruma özellikleri (SHK: Sıcak Hava ile kurutma, USVK: Ultrases destekli vakum kurutma, VK: Vakum kurutma)

Kuruma eğrileri incelendiğinde, difüzyon süresinin SHK yönteminde, VK ve USVK yöntemlerine göre daha uzun olduğu görülmüştür. Kuruma süreleri SHK, VK ve USVK yöntemleri için sırasıyla 950, 650 ve 510 dk olarak belirlenmiştir. Sıcak hava ile gerçekleştirilen kurutmada tanelerin buharlaşma sıcaklığına kadar ısınması için gereken sürenin uzun olması, tanelerin ısıl iletkenliğinin düşük olmasından kaynaklanabilmektedir. Ayrıca kurumunun dış yüzeyden başlaması, tanelerin sertleşmesine ve dolayısıyla geçirgenliğin azalmasına yol açabilmektedir [171]. Sertleşen katman nem difüzyonuna engel olmakta ve taneden nemin atılma süresini uzatmaktadır. Elde edilen bu sonuç, çeşitli sıcak hava kurutma çalışmalarında bildirilenler ile örtüşmektedir [172]–[174].

Vakum kurutmada SHK işlemine göre azalan kuruma süresi; uygulanan vakum ile birlikte basıncın düşmesi ve dolayısıyla materyal ile çevre arasındaki buhar basıncı gradiyentinin de artarak kütle transferinin hızlanmasını sağlamasıyla açıklanabilmektedir [8]. Vakum uygulaması ile kuruma süresinin azaldığı yapılan diğer çalışmalarda da gösterilmiştir [153], [175].

Ultrases destekli vakum kurutma yöntemi nar tanelerinin kurutulmasında SHK yönteminden yaklaşık 2 kat daha az kuruma süresi sergilemiştir. VK yöntemine göre ise %21,5’lik süre azalması sağlamıştır. USVK işleminde kuruma süresindeki bu azalma, VK yönteminde de gözlemlenen vakum etkisi ile ultrases işleminin kombinasyonu ile açıklanabilmektedir. Ultrases işleminden kaynaklanan kompresyon genişlemesi, gıda matrisinde mikrokapillerin oluşmasına neden olan sünger etkisini meydana getirmektedir. Ultrases uygulamasında oluşan kavitasyon, suyun bitki hücresi matrisindeki bu mikrokapillerden yüzeye doğru daha kolay ve hızlı bir şekilde difüze olmasını sağlamıştır. Sonuç olarak ultrases uygulamasının, süngerimsi yapı oluşturma ve kavitasyon etkisine bağlı olarak difüzyon hızında önemli bir artışa neden olduğu düşünülmektedir [17], [176]. Ultrases uygulamasının benzer etkileri daha önce yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir. Nar tanelerinin ozmotik kurutulmasında uygulanan ultrases ön işleminin 2 ila 2,7 kat su kaybı artışı [172]; taflan meyvesi ve Trabzon hurması ile yürütülen çalışmalarda ultrases destekli vakum kurutmanın sıcak hava kurutmaya göre kuruma süresinde sırasıyla yaklaşık %50’lik ve %58’lik azalma [8], [9]; sarımsak dilimlerinin ve bir elma türünün kurutulmasında vakum

kurutmaya göre ultrases destekli vakum kurutmanın sırasıyla %18 oranında ve %20,6 oranında süre azalması [11], [153] sağladığı tespit edilmiştir.

Nar taneleri gibi ısıya duyarlı biyoaktif bileşenler bakımından zengin meyvelerin fonksiyonel özelliklerinin korunabilmesi açısından kuruma sürelerinin kısaltılması çok önemlidir [163]. Çalışmada elde edilen sonuçlar, nar tanelerinin kuruma süresinin kısaltılması açısından ultrases ve vakumun kombine uygulamasının geleneksel yöntemle alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

4.2 Fiziksel Analiz Sonuçları

4.2.1 Kurutma İşlemlerinin Renk Üzerindeki Etkisi

Renk, tüketici tercihini ve ürün kalitesini etkileyen önemli bir parametredir. Ürün renginin korunma durumu, ısıtılma işleminden kaynaklanan bozulma düzeyini belirlemek için iyi bir kalite indikatörü olabilmektedir [177]. Kurutulmuş meyvelerin rengini etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır: meyve çeşidi, olgunluğu, kurutma işlemi ve kuruma süresi bunlardan birkaçıdır [21]. Maskan vd. [178], mevcut pazarlarda bulunan kurutulmuş nar tanelerinin genellikle kahverengimsi bir renge sahip olduğunu, bunun antosiyaninlerin kurutma işlemi sebebiyle bozulduğu için meydana geldiğini ve bu durumun tüketiciler için çekici olmayabileceğini bildirmişlerdir.

Kurutma yöntemlerinin nar tanelerinin renk değerlerine etkisini belirlemek amacıyla kurutma işleminden önce ve sonra L^* , a^* ve b^* değerleri ölçülmüştür. Meyve ve sebze ürünlerinin ısıtılma işlemi sırasında renk değişimlerini tanımlamak için Hunter renk parametreleri L^* , a^* , b^* yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurutma yöntemlerine göre taze ve kurutulmuş nar tanesi örneklerinin L^* , a^* , b^* renk parametreleri ve algılanabilir farkı gözlemlemek adına her kurutma yöntemi için hesaplanan ΔE değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucu örneklerin L^* , a^* ve b^* değerleri üzerinde kurutma yönteminin ağırlıklı olarak anlamlı etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Çeşitli kurutma çalışmalarında narın yanı sıra taflan, Trabzon hurması gibi farklı meyveler için de benzer bulgular elde edilmiştir [8], [9], [19], [149].

Tablo 4.1 Kurutma işlemi sırasında nar tanelerinin renk parametrelerindeki değişimler

Renk Parametresi	Taze Nar Taneleri	Kurutulmuş Nar Taneleri			
		USVK	VK	SHK	DK
L^*	$32,7 \pm 1,13^b$	$29,2 \pm 0,71^c$	$32,7 \pm 0,43^b$	$26,1 \pm 0,70^d$	$41,9 \pm 0,79^a$
a^*	$12,9 \pm 1,79^c$	$13,0 \pm 1,30^c$	$12,1 \pm 1,28^c$	$15,0 \pm 1,41^b$	$18,7 \pm 0,98^a$
b^*	$4,8 \pm 1,00^a$	$2,9 \pm 1,62^{ab}$	$2,1 \pm 0,30^b$	$5,6 \pm 1,52^a$	$1,9 \pm 0,28^b$
ΔE		$4,16 \pm 0,22^c$	$2,82 \pm 0,10^d$	$6,97 \pm 0,18^b$	$11,25 \pm 1,00^a$

* Aynı satırda yer alan farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan örnekler arasındaki farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$). L^* : beyazlık-siyahlık, a^* : kırmızılık-yeşillik, b^* : sarılık-mavilik, ΔE : toplam renk farklılığı ifade etmektedir. SHK: sıcak hava ile kurutma, VK: vakum kurutma, USVK: ultrases destekli vakum kurutma, DK: dondurarak kurutma.

Örneklerin L^* değerleri 26 ile 41 arasında değişmektedir. L^* değeri VK yönteminde anlamlı olarak değişmezken, USVK ve SHK yöntemleri ile kurutmada önemli ölçüde azalmıştır. DK yönteminde ise L^* değeri istatistiksel açıdan anlamlı olarak artmıştır ($p < 0,05$). a^* değeri, ürünün kırmızılığı hakkında fikir vermektedir ve ürünün antosiyanin içeriği ile yakından ilişkilidir [179]. Örneklerin a^* değeri 12,1 ile 18,7 arasında değişmektedir. SHK ve DK'de a^* değeri istatistiksel olarak anlamlı bir artış göstermişken ($p < 0,05$), USVK ve VK'de önemli bir değişiklik gözlenmemiştir ($p > 0,05$). SHK ile kurutulmuş numunelerin a^* değerinin artmasının ve L^* değerinin azalmasının nedeni uzun süreli kurutma işlemi esnasında gerçekleşen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile açıklanabilmektedir [180]. Çalışmada kullanılan sıcaklıkta gerçekleşen en önemli enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu maillard reaksiyonudur. Protein türevlerinin amino grupları ile indirgen şekerlerin karbonil grupları arasında sıcaklığın etkisi ile meydana gelen bu reaksiyon, bazı gıdalar için renk ve aroma gelişimi açısından olumlu karşılanmaktayken, özellikle kurutulmuş meyve gibi ürünlerde renk esmerleşmesine sebep olduğu için kalite kaybı olarak değerlendirilir. Maillard reaksiyonu ile oluşan yüksek molekül ağırlıklı melanoidin pigmenti renkteki koyulaşmadan sorumludur [181]. Dolayısıyla sıcak hava ile oksijen varlığında uzun sürede gerçekleşen kurutma işlemi sonucu nar tanelerinin L^* ve a^* değerlerindeki değişim meydana gelmiştir. DK yöntemi ile kurutulmuş numuneler için elde edilen yüksek L^* ve a^* değerleri, bu yöntemdeki düşük kurutma sıcaklığı ve vakum ortamı ile ilişkilidir [156]. Bu sayede enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları gerçekleşmemiştir. Yanı sıra

kuruma ile birlikte artan antosiyanin konsantrasyonuna rağmen antosiyanin yıkımı meydana gelmemiş olduğu için DK yönteminde a^* değerinde artış görülmüştür. DK'de gözlemlenen daha yüksek L^* değerinin bir diğer sebebinin ise örneklerin parlaklığı üzerine önemli etkisi olan mikroyapısal özelliklerin bu yöntem ile iyi bir şekilde korunması olarak düşünülmektedir. DK yönteminde kurumayla birlikte üründe oluşan gözenekli yapı, ışığın daha fazla yansımaya neden olmaktadır [182]. USVK ve VK yöntemleri oksijensiz bir ortam ve düşük kuruma süreleri sağladığından, renk pigmentlerinin daha az bozunmuş olabileceği ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının minimal seviyede gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir [8], [183]. Bu nedenle, SHK ile kıyaslandığında USVK ve VK'de a^* değerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir değişim meydana gelmemiş olabilir. Krishnan vd. [153]'nin bir elma türü ile gerçekleştirdiği çalışmada da vakum kurutma ile ultrases destekli vakum kurutmanın renk üzerine etkisi benzer bulunmuştur. Kurutulmuş nar tanelerinin 1,9 ile 5,6 arasında değişen b^* değerleri arasında yöntemle göre anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Yöntemler arasında b^* değeri azalan sıra ile SHK, USVK, VK ve DK şeklinde gerçekleşmiştir. VK ve DK yöntemleri ile USVK arasında fark saptanmazken ($p>0,05$), SHK ile VK ve DK kurutulan örnekler arasında anlamlı bir farklılık görülmüştür ($p<0,05$). Gölükçü [167]'nin nar tanelerini kuruttuğu çalışmasında da en yüksek b^* değeri sıcak hava kurutma yönteminde saptanmış, onu vakum kurutma ve dondurarak kurutma izlemiştir.

Toplam renk farklılığını karşılaştırmak için hesaplanan ΔE değerleri 2,82 ile 11,25 arasında değişmektedir. ΔE değeri; "fark edilemez" (0–0,5), "biraz fark edilebilir" (0,5–1,5), "fark edilebilir" (1,5–3,0), "iyi görünür" (3,0–6,0) ve "çok iyi görünür" (6,0–12,0) şeklinde sınıflara ayrılarak değerlendirilebilmektedir [184]. En düşük ve en yüksek ΔE değerleri sırasıyla VK ve DK uygulamalarında gözlenmiştir. SHK ve DK uygulamalarında saptanan yüksek ΔE değerleri 5. kategoride yer almakta ve taze numuneden algılanabilir seviyede bir fark olduğunu göstermektedir. Benzer trendler narın sıcak hava ile kurutulduğu başka bir çalışmada da görülmüştür [19]. Ayrıca, Chen vd. [11]'nin sarımsak dilimleri, Silva vd.[185]'nin nektarin ile gerçekleştirdikleri çalışmalarda da vakum kurutma ve ultrases destekli vakum kurutma yöntemleri ile kurutulmuş

örneklerin en düşük ΔE değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Uygulanan basınç sayesinde ortamda oksijen bulunmamasının enzimatik esmerleşmeyi engellediğini ve kısa kurutma süreleri sayesinde pigment kaybının azaldığını bildirmişlerdir.

Şekil 4.2’de taze ve kurutulmuş nar tanelerinin görüntüleri yer almaktadır. Şekilden de anlaşılabileceği üzere VK ve USVK yöntemleri ile elde edilen örnekler taze örneğe yakın bir görüntüye sahipken, DK ve SHK yöntemleri ile elde edilenler taze örnekten farklı görüntülere sahiptir. DK örneği, taze örneğe kıyasla daha açık bir görüntü sergilerken, SHK örneği ise daha koyu bir görüntü sergilemektedir. Bu sonuçlar, ΔE değerinin SHK, USVK ve VK örneklerinin karşılaştırılmasında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ancak DK ve diğer yöntemlerin renk farklılıklarının değerlendirilmesinde tek faktör olarak düşünülmemesi gerektiğini ortaya koymuştur.

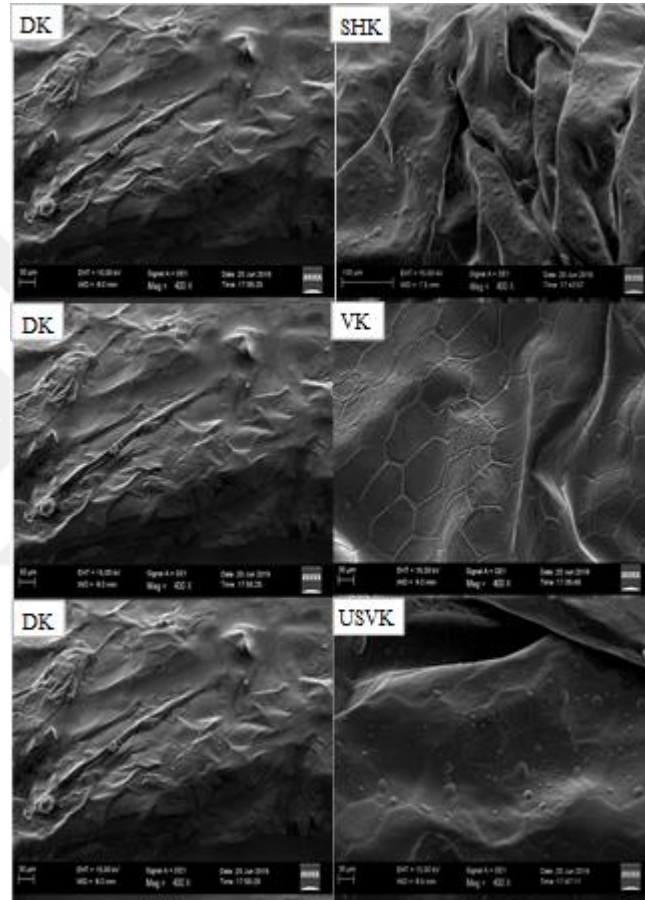


Şekil 4.2 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin görüntüleri

4.2.2 Kurutma İşlemlerinin Nar Tanelerinin Mikroyapısına Etkisi

Meyve ve sebzelerin kurutulması, ısı ve kütle transferinin aynı anda ve hacim azalmasıyla birlikte gerçekleştiği karmaşık bir süreçtir. Kurutulmuş gıda maddelerinin fiziksel kalitesi büyük ölçüde kurutma sırasındaki deformasyonun derecesine bağlıdır [186]. Çalışmada farklı yöntemlerle kurutulan örneklerin

yüzey özellikleri SEM görüntüleri ile belirlenmiştir (Şekil 4.3). Kurutma yönteminin nar tanelerinin mikroyapısına etkisi gözle görülür hücre yapısı ile karakterize edilmiştir. Şekilden anlaşılabileceği üzere DK ile kurutulan örnekler büzülme göstermezken en yüksek SHK’da olmak üzere diğer yöntemlerle kurutulan numunelerde büzülme tespit edilmiştir. SHK uygulamasının üründe daha fazla büzülmeye sebep olduğu daha önce yapılan çalışmalar ile de raporlanmıştır [9], [187].



Şekil 4.3 Kurutulmuş nar tanelerinin SEM görüntüleri

Kurutma işlemi ile gıda matrisinden nem uzaklaştırıldığında, su dolu gözeneklerin duvarı, katı matrisi sürükleyerek büzülmeye neden olan bir basınç yol açar. Gıda içindeki nem ve sıcaklık gradyanı tarafından indüklenen bu basınç stresi de yapısal deformasyona neden olur. Büzülme, kurutulmuş ürünün rehidrasyon kapasitesi, tekstürü ve yüzey özellikleri gibi kalite unsurlarını etkileyen önemli bir faktördür. Ayrıca büzülme, tüketici tercihi de olumsuz etkilemektedir [186], [188], [189].

SHK yönteminde gerçekleşen uzun kuruma süresi ve özellikle azalan hızda kuruma aşamasındaki üniform olmayan kuruma sebebiyle daha fazla büzülmenin olduğu düşünülebilir. Kurutmanın son aşamasında, gıdanın hücre içi boşluklarında ve hücre duvarı gözeneklerinde çok az miktarda kalan bağlı su uzaklaştırılır. Bu suyun uzaklaştırılması SHK yönteminde olduğu gibi kuruma süresinin artmasına ve büzülmeyle birlikte hacim azalmasına sebep olur [186], [188]. Şekil 4.2'den de görüldüğü üzere SHK ile kurutulan nar tanelerinde belirgin bir hacim azalması oluşmuştur. Benzer şekilde Calín-Sánchez vd. [190] farklı kurutma metotlarını kıyasladıkları çalışmalarında, 60°C'de gerçekleştirdikleri sıcak hava kurutma işleminin uzun sürede tamamlanmasının aronya meyvelerinde daha fazla büzülmeye sebep olduğunu bildirmişlerdir.

USVK uygulanmış nar tanelerindeki büzülme, ultrases etkisiyle meydana gelen kavitasyonun sonucunda hücre parçalanması ve hücrelerin uzayıp yassı bir hal alması ile açıklanmaktadır [146]. Garcia-Perez vd. [191] kurutma işlemi sırasında açığa çıkan kavitasyon etkisinin hücreler üzerinde yüksek bir stres yarattığını ve bunun da tipik hücre yapısının çökmesine neden olduğunu bildirmiştir. Güçlendirilmiş akustik dalga, hücre üzerinde sürekli hareket ederek hem hücreden suyun salınmasını kolaylaştırmakta hem de hücresel yapıyı etkilemektedir. Ayrıca uygulanan vakum ile ürün ve ortam arasında oluşan basınç farkından ötürü mikroyapısal stres oluşmakta ve büzülme meydana gelebilmektedir [192]. Dolayısıyla USVK ile vakum kurutma uygulanan örneklerin SEM görüntüleri arasında belirgin bir fark gözlenmezken SHK uygulanan örnekler ile USVK arasında kurutma süresi ile ilişkilendirilebilecek belirgin bir farklılık saptanmıştır. Benzer sonuçlar Feng vd. [193] tarafından sarımsak dilimlerinde, Tüfekçi ve Özkal tarafından bamyada [194], Fernandes vd. tarafından kavun [195] ve ananasta [146] bildirilmiştir.

Kurutma sırasında, çoğu gıda ürünü kısmen veya tamamen amorf durumdadır ve camsı geçiş sıcaklığı (T_g) olarak bilinen bir sıcaklıkta ikinci derece faz geçişi olarak katı bir camsı durumdan, viskoz bir sıvı benzeri kauçuk duruma geçebilmektedir [196], [197]. T_g'nin altındaki sıcaklıklarda, gıda ürünlerinin stabil olduğu kabul edilir ve fizikokimyasal/biyolojik niteliklerinde değişiklik görülmez. T_g'nin üzerinde gıda matrisi, elastik veya zayıf akış özelliklerine sahip

kauçuk benzeri bir malzeme haline gelir. Kurutulan ürünün camsı geçiş sıcaklığını aşması, büzülme ve membran bütünlüğünün kaybı gibi hücresel yapı değişiklikleriyle ilişkilendirilmiştir [198]. Dolayısıyla DK yönteminde camsı geçiş sıcaklığının altında gerçekleşen kuruma sonucu diğer yöntemlerin aksine büzülme meydana gelmemiştir. Ayrıca dondurarak kurutma işleminde suyun süblimasyon ile uzaklaştırılması da büzülmenin minimumda kalarak ürünün doğala yakın formunu korumasını sağlamaktadır [192]. Yapılan bir çalışmada küp şeklinde doğranmış elmaların dondurarak kurutulması sonucu büzülme gözlenmemiş olup [199], başka bir çalışmada da vakum kurutma uygulanmış elma dilimlerinde dondurarak kurutma uygulananlara göre daha fazla hücre çökmesi meydana gelmiştir [200]. Farklı gıdalarla gerçekleştirilen çalışmalarda da benzer şekilde, dondurularak kurutulan örneklerde en az büzülme gözlemlenmiştir [9], [159], [192], [201].

4.3 Kimyasal Analiz Sonuçları

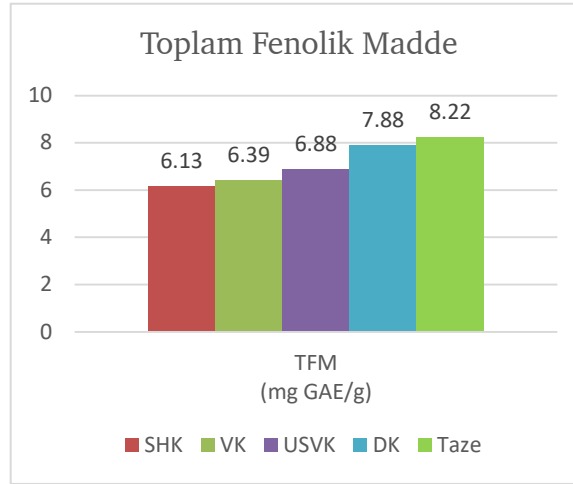
4.3.1 Nar Meyvesinin Biyoaktif Bileşenleri Üzerinde Kurutma İşlemlerinin Etkisi

Taze ve kurutma işlemi uygulanan nar taneleri ekstrakte edilerek TFM, TF, TA, DPPH, ABTS ve CUPRAC analizlerine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir. Farklı kurutma yöntemleri, toplam biyoaktif bileşik miktarını istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilemiştir ($p < 0,05$).

Tablo 4.2 Kurutma işlemi sırasında nar tanelerinin biyoaktif özelliklerinde meydana gelen değişimler

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Kurutma süresi (dk)	TFM (mg GAE/g KM)	TF (mg CE/g KM)	TA (mg siyanidin-3-glukozid/100 g KM)	ABTS (μmol TE/g KM)	CUPRAC (μmol TE/g KM)	DPPH (%)
Taze			8,22±0,01 ^a	0,49±0,06 ^a	92,87±0,88 ^b	56,11±2,10 ^b	59,87±0,05 ^b	87,246±1,216 ^b
SHK	55 °C	950	6,13±0,20 ^e	0,33±0,01 ^d	41,48±0,57 ^e	34,53±0,28 ^e	29,70±0,38 ^e	64,821±4,531 ^e
VK	55 °C	650	6,39±0,25 ^d	0,39±0,03 ^c	59,31±0,06 ^d	41,71±2,05 ^c	33,11±0,95 ^d	75,715±4,291 ^d
USVK	55 °C	510	6,88±0,27 ^c	0,47±0,01 ^b	71,28±0,62 ^c	37,75±1,94 ^d	49,45±1,84 ^c	84,510±0,640 ^c
DK	-50°C	3420	7,88±0,01 ^b	0,49±0,04 ^a	101,75±0,58 ^a	63,7±14,32 ^a	61,61±0,63 ^a	93,695±0,640 ^a

* Aynı satırda yer alan farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan örnekler arasındaki farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$). SHK: sıcak hava ile kurutma, VK: vakum kurutma, USVK: ultrases destekli vakum kurutma, DK: dondurarak kurutma.



Şekil 4.4 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin toplam fenolik madde miktarları

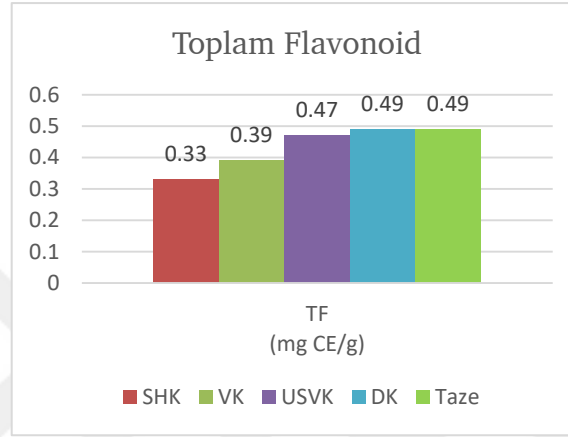
Taze nar tanelerinin toplam fenolik madde (TFM) değeri $8,22 \pm 0,01$ mg GAE/g KM olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Elde edilen bu sonuç Calín-Sánchez vd. [4] 7,57 mg GAE/g KM tarafından bildirilen değer ile benzerlik gösterirken, Ali vd. [202]'nin belirlediği 14,9 mg GAE/g KM'lik sonuç ile örtüşmemektedir. Literatürde çok çeşitli sonuçlara rastlamak mümkündür. Türk narlarının antiproliferatif ve antioksidan aktivitelerinin incelendiği bir çalışmada TFM değerleri 178-337,4 mg/100g arasında değişen miktarlarda bulunurken [203], 76 çeşit Türk narının incelendiği farklı bir çalışmada TFM değerlerinin 112-944,9 mg/100g aralığında olduğu görülmüştür [204]. İran narlarının incelendiği bir başka çalışmada ise toplam fenolik madde içeriğinin 295,79-985,32 mg/100g arasında değiştiği rapor edilmiştir [205]. Benzer şekilde elma gibi farklı meyveler ile yapılan çalışmalarda da geniş aralıkta değişim gösteren fenolik bileşen miktarları (110-600 mg/100g) bildirilmiştir [62]. Referanslar arasında gözlenen fenolik bileşen miktarlarındaki önemli farklılıklar, çeşide, yetiştirme bölgesine, olgunluğa, yetiştirme uygulamasına, iklime ve saklama koşullarına bağlı olarak meyvelerin çeşitli kimyasal bileşimlerinden kaynaklanmaktadır [3].

Kurutulmuş meyvelerin TFM değerleri 6,13-7,88 mg GAE/g KM arasında değişmektedir. En yüksek ve en düşük toplam fenolik miktarları sırasıyla DK ve SHK yöntemleri ile kurutulan örneklerden elde edilmiştir. USVK ve VK ile kurutulan örneklerin TFM değerleri SHK ile kurutulan örneklerden yüksek

bulunmuştur ($p<0,05$). Benzer şekilde çeşitli çalışmalarda da diğer kurutma yöntemlerine göre DK ile kurutulmuş numunelerin toplam fenolik madde miktarının daha fazla olduğu Gölükcü [167] tarafından nar, Chen vd. [182] tarafından safran, Türkmen vd. [9] tarafından taflan, Sogi vd. [206] tarafından mango için bildirilmiştir. Dondurarak kurutulan numunelerdeki yüksek TFM değeri, düşük kurutma sıcaklığı ve vakum koşulları ile açıklanabilmektedir [182]. Bir diğer sebep de DK işlemi sonucu ürün dokusu daha yumuşak olduğu için ekstraksiyon esnasında solventin hücrelere daha iyi nüfuz etmesidir [22]. Enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar nar tanelerindeki fenolik bileşiklerin azalmasından sorumlu olabilmektedir. Fenolik bileşikler, polifenol oksidaz enzimi için substrattır [207]. Düşük sıcaklıklarda kurutulan meyvelerde fenolik bileşiklerin kaybı, polifenol oksidaz (PPO) enziminin optimum sıcaklığına (40°C) yakın bir sıcaklıkta hammaddenin daha uzun kalma süresiyle açıklanmıştır [208]. Dolayısıyla bu çalışmada SHK ile kurutulan örneklerdeki düşük TFM değeri, uzun kuruma süresi boyunca fenolik bileşiklerin daha fazla bozunması ile ilişkilendirilmiştir. VK ve USVK yöntemlerinde kurumanın SHK'a göre önemli ölçüde kısa sürede gerçekleşmesi ve yöntemlerdeki oksijensiz ortam sebebiyle, SHK yöntemine göre fenolik bileşiklerde daha az bozunma meydana gelmiş olabilir. Fenolik maddelerin sıcaklıktan ve ortamdaki oksijenden negatif yönde etkilendiği bilinmektedir [209]. Çalışmada SHK uygulaması sonucu taze nar tanelerine göre TFM değerinde %25'lik bir azalma tespit edilmiştir. Süfer ve Palazoğlu [19] ise 55°C 'de uyguladıkları sıcak hava kurutma sonucu nar tanelerinin toplam fenolik madde miktarında %52'lik bir kayıp gözlemlemişlerdir. Bchir vd. [207]'nin ozmotik ön işlemlili kurutma ve sıcak hava (60°C) kurutma işlemlerinin etkisini inceledikleri çalışmalarında sıcak hava uygulaması sonucu nar tanelerinin toplam fenolik madde miktarı başlangıç değerlerine göre %40 azalmıştır. Sıcaklık etkisi ile meydana gelen kayıplardaki farklı oranlar meyveden kaynaklı bileşim farklılıkları ile ilişkilendirilebilir.

VK yöntemi USVK yöntemi ile karşılaştırıldığında, USVK ile elde edilen nar tanelerinin fenolik bileşik miktarının VK ile elde edilenlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). USVK işlemindeki kavitasyon etkisi, bitki matrisine daha fazla zarar vermiş ve matrise bağlanan fenolik bileşiklerin

kolaylıkla ayrılmasını sağlamış olabilir. Ek olarak ultrases, matraste mikro kılcal damarların oluşmasına ve dolayısıyla fenolik bileşiklerin kolaylıkla ekstrakte edilmesine neden olmuş olabilir [158]. Ultrasesin ekstraksiyon etkinliğini %6-35 oranında geliştirdiği daha önce rapor edilmiştir [141]. SHK ile karşılaştırıldığında, ultrases destekli teknikle kurutulmuş ürünlerin daha yüksek fenolik bileşik içeriğine sahip olduğu diğer çalışmalarda da bildirilmiştir [8], [9], [15], [158], [210].

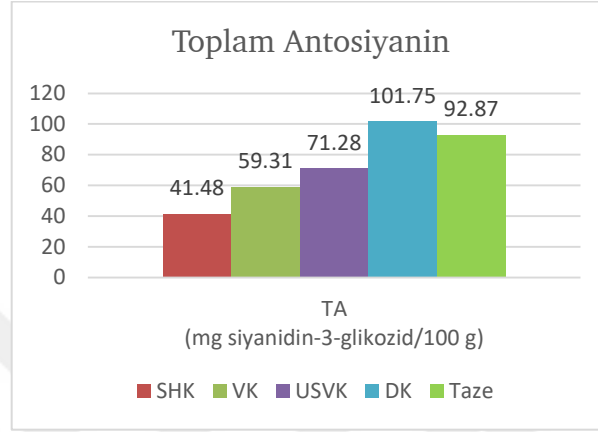


Şekil 4.5 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin toplam flavonoid miktarları

Taze örneğin toplam flavonoid miktarı (TF) 0,49 mg CE/g olarak belirlenmiştir (Şekil 4.5). Thakur vd. [211] tarafından benzer bir sonuç (0,39 mg Kuersetin/g) bildirilmiş, Hasan vd. [212]'tarafından ise daha yüksek bir değer (1,09 mg Rutin/g) rapor edilmiştir. Güney Afrika'da yetişen 3 farklı nar türünün (Arakta, Bhagwa ve Ruby) incelendiği bir çalışmada da toplam flavonoid içerikleri anlamlı olarak farklı bulunmuştur ($p < 0,05$). En çok flavonoid içeren tür ile en az içeren arasında 1,6 kat fark olduğu tespit edilmiştir [5]. Benzer farklılıklar daha önce farklı meyveler ile yapılan çalışmalarda da bulunmaktadır, Zhishen vd. [161]'nin yaptığı çalışmada, 19 dut varyetesinin flavonoid içeriği spektrofometrik olarak rutin eşdeğeri cinsinden 9,84-29,6 mg/g KM arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında ve literatürde incelenen narlardaki flavonoid miktarı farklılıklarına tür, iklim, yetiştirme koşulları gibi fenolik madde içeriğini etkileyen bir çok faktörün sebep olduğu söylenebilmektedir.

Kurutma yöntemine göre TF değerlerindeki değişimin TFM'ninkine benzer olduğu gözlenmiştir. Bu trend narda bulunan fenolik bileşiklerin çoğunun

flavonoidlerden oluşması ile açıklanabilmektedir [2]. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Trabzon hurmasının farklı yöntemlerle kurutulduğu bir çalışmada TF değerlerinde taze örneğe göre anlamlı azalmalar saptanmıştır. Taze örneğe en yakın TF değeri DK ile kurutulan örnekte belirlenirken, en düşük TF değeri SHK yöntemi ile kurutulan örnekte tespit edilmiştir [8].



Şekil 4.6 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin toplam antosiyanin miktarları

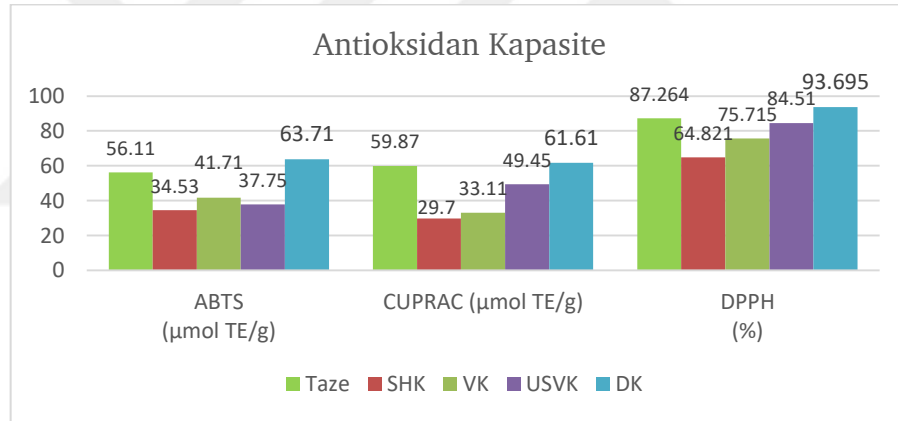
Flavonoidlerin en geniş grubunu oluşturan antosiyaninlerin taze nar tanelerindeki miktarı 92,87 mg siyanidin 3-glikozid/100g olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6). Elde edilen TA miktarı İran [205] ve Tunus'ta [213] yetişen narlarda saptanan miktarlara göre yüksek iken, Akdeniz bölgesinde yetişen iki nar çeşidinden düşük bulunmuştur [214]. Hatay bölgesinde yetişen 76 nar çeşidinin incelendiği bir başka araştırma sonuçlarına göre ise hem benzer hem farklı sonuçlar olduğu gözlenmiştir [204]. Nar meyvesinin önemli fenolik bileşenlerinden olan antosiyaninlerdeki bu farklılıklar da daha önce belirtildiği gibi büyük oranda çeşit, olgunlaşma derecesi, yetiştirilme bölgesi ve iklim koşullarına bağlıdır [215]. Antosiyaninler üzerine iklimin etkisinin incelendiği bir çalışmada yüksek sıcaklıklarda olgunlaşan narların, ılıman iklim koşullarındakilere göre daha soluk dış ve iç renge sahip oldukları ve daha az antosiyanin içerdikleri belirlenmiştir [61]. Çalışmada kullanılan ve Silifke yöresinde yetişen Keben narının hasat yılına ilişkin iklim verileri Ek B'de verilmiştir [216].

Dondurarak kurutulmuş nar taneleri dışındaki tüm kurutulmuş örneklerde taze örneğe göre antosiyanin miktarlarında azalma meydana gelmiştir (41,48-71,28 mg siyanidin 3-glikozid/100g). DK örneklerin antosiyanin içeriği en yüksek bulunmuştur (101,75 mg/100g). Gölükcü [167]'nün bulguları da, dondurarak kurutma dışındaki örneklerin antosiyanin içeriğinin, kuru madde bazında taze örneğe göre azaldığını göstermiştir. Benzer trend Adetoro vd. [217], Singh vd. [218] ve Yılmaz vd. [219] tarafından da rapor edilmiştir. Böğürtlen [220] ve yaban mersini [221] gibi farklı meyveler ile yapılan çalışmalarda da DK kurutmanın en yüksek antosiyanin miktarı sağladığı görülmüştür. Dondurarak kurutma işlemi sırasında kullanılan düşük sıcaklıkla birlikte uygulanan vakum basıncının, ortam koşullarına çok duyarlı olan antosiyaninleri oksidasyondan koruduğu düşünülmektedir [220], [221]. Ayrıca dondurma işlemi esnasında oluşan buz kristallerinin hücre matrisi içerisinde daha fazla bozunmaya yol açarak solventin daha iyi nüfuz etmesini ve böylece ekstraksiyonun etkinliğini artırdığı düşünülmektedir [217]. Benzer şekilde, VK ve USVK yöntemlerinde de kullanılan vakum ortamı sayesinde SHK yöntemine göre daha yüksek antosiyanin içerikleri saptanmıştır. Gölükcü'de [167] dondurarak kuruttuğu tanelerden sonra en yüksek antosiyanin miktarının vakum kurutma uyguladığı tanelerde olduğunu bildirmiştir. Süfer vd. [19]'de çalışmasında nar tanelerine uyguladıkları farklı kurutma yöntemleri içerisinde en fazla antosiyanin kaybının (%59) 55°C'de gerçekleştirilen SHK yönteminde olduğunu belirtmişlerdir.

Antosiyanidinler doğası gereği kararsızdırlar ve bozunmaya esas olarak ısı işlemi sebebiyle oksidasyon reaksiyonları neden olmaktadır. Antosiyaninin olası bozunma mekanizması, flavylium halkasının 3. pozisyonundaki şeker kısmının hidrolizine bağlı olarak β -halkasının kaybı ile bir kumarin glikozid türevine dönüşen renksiz fenolik aglikonların (kalkon) oluşumuna yol açmasıdır [222]. Kurutma sonucu elde edilen antosiyanin miktarları ile Tablo 4.1'de verilen renk ölçüm sonuçları paralellik göstermektedir. Biyoaktif bileşenleri substrat olarak kullanan PPO enziminin de, özellikle 55°C'de sıcak hava kurutma işlemi esnasında TA değerinde gözlenen azalma sebeplerinden olduğu düşünülmektedir. Jaiswal vd. [223] tarafından güneşte kurutma (32-43°C) ve sıcak hava kurutma yöntemleri (90°C, 70°C, 50°C) ile üretilen anardana (kurutulmuş nar tanesi) ürününün

içerdiği antosiyanin miktarları incelenmiş ve kurutma esnasında PPO enziminin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulanan yöntemler kıyaslandığında, güneşte kurutulan örneklerin PPO enziminin aktivitesini daha uzun süre koruduğu sıcaklıklara maruz kalmaları sebebiyle bu örneklerde daha fazla antosiyanin kaybı gerçekleştiği tespit edilmiştir. Wojdyło vd. [10], mikrodalga ile kurutma uyguladıkları vişnelerde en uzun süre işlem gören örneğin daha fazla ısındığı için daha yüksek antosiyanin kaybına uğradığını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında da SHK uygulanan nar tanelerinin uzun süreli ısı işlem maruziyeti sonucu daha düşük antosiyanin miktarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Dondurarak kurutmadan sonra en iyi sonuçların elde edildiği USVK ile VK yöntemleri arasındaki fark ise ultrases işlemi sayesinde kısa kurutma süresinin gerçekleşmesi ve ekstrakte edilebilir pigmentlerin matrisden daha çok salınması ile ilişkilendirilmiştir [158].



Şekil 4.7 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin farklı yöntemlerle elde edilen antioksidan kapasiteleri

Nar meyvesi, antosiyanin ve fenolik içerikleri ile yakından ilgili olan antioksidan aktivitesi sayesinde fonksiyonel gıda olarak kabul edilmektedir. Gıda matrislerinin yapısal karmaşıklığı sebebiyle tek bir yöntem uygulanarak antioksidan kapasitesinin belirlenmesi etkin bir uygulama değildir. Yanı sıra antioksidan özellikteki maddelerin farklı redoks potansiyellerine, birden çok reaksiyon mekanizmasına ve reaksiyon fazına sahip olmaları sebebiyle her yönteme farklı yanıt verebilmeleri de birden çok antioksidan kapasite ölçme metodunun uygulanması gerekçelerindendir [224]. Bu çalışmada antioksidan kapasite, DPPH ve ABTS radikallerine karşı süpürme kapasitesinin ve CUPRAC

metodu ile Cu(II)'nin Cu(I)'e indirgenme yeteneğinin ölçülmesiyle değerlendirilmiştir. Her bir yöntem farklı bir kimyasal sisteme ve/veya reaksiyona dayandığından, gerçekleştirilen spesifik analize bağlı olarak farklı antioksidan aktivite sonuçları gözlenmiştir (Tablo 4.2). Nar tanelerinin kurutma öncesi antioksidan kapasiteleri ABTS, CUPRAC yöntemleri sonucu ve DPPH inhibisyon oranı sırasıyla; 56,11 $\mu\text{mol TE/g}$, 59,87 $\mu\text{mol TE/g}$ ve %87,24 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Kullanılan metoda göre çeşitli çalışmalarla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak biyoaktif bileşenlerin analizlerinde de değinildiği gibi farklı araştırmacıların antioksidan kapasitesi tayinine yönelik bulguları aynı meyve dahi olsa tür, olgunluk düzeyi, çevresel şartlar, işleme, hasat, depolama, analiz metodu, ekstraksiyon yöntemi gibi çok çeşitli etmenler sebebiyle karşılaştırılabilir olmayabilmektedir [62]. Karaaslan vd. [203]'ye göre 4 farklı nar türünün ABTS radikal süpürme kapasitesi değerleri 267,3-381,2 mg TE/100g; başka bir çalışmada incelenen Keben ve Wonderful nar türlerinin antioksidan kapasiteleri sırasıyla %64,94 ve %89,82 (DPPH % inhibisyon); Hasan vd. [212]'nin yaptığı çalışmada % 83,24 (DPPH); Zivzik, Hacı Nesin, Ali Ağa ve Raşidu narları ile yapılan araştırmada sırasıyla %86, %88, %87 ve %87 (DPPH) [225]; Kaur vd. [226]'nin Hindistan'da yetişen 6 farklı nar türünü inceledikleri çalışmada ise 7,87–16,24 $\mu\text{mol TE/g}$ (CUPRAC) arasında değişen değerlerde antioksidan kapasiteleri bildirilmiştir.

Toplam biyoaktif madde miktarları ile benzer şekilde, dondurarak kurutma haricindeki kurutma işlemleri, tüm antioksidan kapasite belirleme yöntemlerine göre antioksidan kapasitede azalmaya sebep olmuştur ($p < 0,05$). Kurutma sırasında oluşan genel kaybın antioksidan aktivite sağlayan çeşitli bileşiklerin (askorbik asit, flavanoidler, fenolik asitler vb.) sıcaklık etkisiyle kimyasal, enzimatik veya termal bozunması sonucu meydana geldiği düşünülmektedir [207], [227]. Benzer şekilde hünnap meyvesinin kurutulduğu bir çalışmada da toplam fenolik, toplam flavonoid miktarının kurutma ile birlikte azalması sonucunda antioksidan aktivitenin de azaldığı bildirilmiştir [228].

Dondurarak kurutulan nar tanelerinin antioksidan kapasitesi üç metoda göre de taze örnekten anlamlı olarak fazla bulunmuştur ($p < 0,05$). Gölükcü [167], nar tanelerini kuruttuğu çalışmasında en yüksek antioksidan kapasiteye sahip

örneklerin dondurarak kurutulanlar olduğunu ve bunu sırasıyla, vakum kurutma, sıcak hava kurutma ve güneşte kurutma uygulanan örneklerin takip ettiğini bildirmiştir. Dondurularak kurutulmuş ahududu ve yaban mersininin antioksidan aktivitesinde sırasıyla %13–82 ve %1–36 artış olduğu Sablani vd. [229] tarafından tespit edilmiştir. Kırmızı guava [230], misk kavunu, karpuz [231] ve tatlı patates [232] gibi farklı meyve ve sebzelerle yapılan diğer kurutma çalışmalarında da benzer şekilde artış gözlenmiştir. Kurutma sonrası meyve ve sebzelerde antioksidan aktivitenin artışı, kısmen oksitlenmiş polifenollerin oksitlenmemiş polifenollerden daha fazla antioksidan aktiviteye sahip olması ile ilişkili olabileceği ileri sürülmektedir [230].

En düşük antioksidan kapasite değerleri ABTS, DPPH, CUPRAC metotlarının hepsinde SHK ile kurutulmuş örnekten elde edilmiştir. Bu durum, SHK yönteminde uzun kuruma süresi ve oksijen varlığı sebebiyle antioksidan kapasitesine sahip fenolik bileşiklerin bozunması ile açıklanabilmektedir [233]. Nar tanelerinin 55, 65 ve 75°C olmak üzere üç farklı sıcak hava uygulaması ile kurutulduğu bir çalışmada, sıcaklık farketmeksizin artan kuruma süresiyle birlikte antioksidan aktivitenin azaldığı bildirilmiştir [155]. Bir başka çalışmada başlangıç antioksidan kapasitesi %77,42 (DPPH) olan nar tanelerine uygulanan sıcak hava kurutma (55 °C) sonucu DPPH değeri %23,96'ya düşmüştür [19]. Trabzon hurması ile yapılan bir çalışmada da 55 °C'de uygulanan sıcak hava kurutma sonucu CUPRAC ve DPPH metotları ile ölçülen antioksidan değerlerinin sırasıyla %65,49 ve %66,2 azaldığı tespit edilmiştir [8].

CUPRAC ve DPPH yönteminde, DK'den sonra en yüksek antioksidan kapasite değeri USVK'dan, ABTS yönteminde ise DK'den sonra en yüksek değer VK'den elde edilmiştir. Bu sonuç, antioksidan kapasite değerlerinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi gerekliliğini desteklemektedir. Tüm fenolik bileşiklerin uygulanan antioksidan kapasite yöntemlerinde kullanılan farklı radikallere verdiği yanıt aynı olmayabilmektedir [217]. Dolayısıyla fenolik bileşenden zengin örneklerin antioksidan kapasite açısından karşılaştırılması, uygulanan test yöntemine göre yapısal ve aktiviteye dayalı farklılıklar nedeniyle farklı sonuçlar verebilmektedir [234], [235]. Sogi vd. [206] 4 farklı yöntem kullanarak (dondurarak, vakum, sıcak hava ve infrared) kuruttukları mango çekirdeklerinin

antioksidan kapasitelerini TEAC yöntemi ile incelediklerinde en düşük değeri infrared kurutmada saptarken, DPPH yöntemi sonucuna göre sıcak hava kurutma yönteminin en düşük değere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bulgu tez çalışması ile paralellik göstermektedir.

Vakum kurutma işlemi esnasında ortamda oksijen bulunmaması SHK yöntemine göre antioksidan kapasitenin yüksek olması ile ilişkilendirilebilir. Karaaslan vd. [1] Farklı sıcaklıklarda en yüksek antioksidan kapasitesi değerini 55°C’de vakum kurutma uygulanan nar tanelerinde (%47 DPPH inhibisyon) tespit etmiştir. Bu tez çalışmasında ise aynı sıcaklıkta gerçekleştirilen vakum kurutma işlemi sonucu DPPH metodu ile saptanan inhibisyon değeri %75,715’tir. Benzer şekilde, USVK yöntemi ile nar tanelerinin antioksidan kapasitelerinde daha az kayıp meydana gelmiş olmasında vakum uygulamasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Yanı sıra biyoaktif bileşen içeriklerinde olduğu gibi ultrases etkisi ile kuruma işleminin hızlanması ve bitki matrisinden biyoaktif bileşenlerin daha fazla ayrılmasının sağlanması taze örneğe yakın antioksidan kapasite sonuçlarını açıklamaktadır. Ultrases ile birlikte vakum uygulanan örneklerin CUPRAC ve DPPH metotlarına göre antioksidan kapasiteleri, DK örneklerden sonra en yüksek bulunmuştur. Bu sonucu destekler şekilde, Türkmen vd. [9]’nin taflan meyvesini farklı yöntem ve sıcaklıklarda kuruttukları çalışmalarında en yüksek antioksidan kapasite değerinin (DPPH) dondurarak kurutma işleminin ardından, ultrases destekli vakum kurutma ile elde edilen örneklerde olduğu bildirilmiştir. Trabzon hurmasının kurutulduğu bir diğer çalışmada da DPPH ve CUPRAC sonuçlarına göre dondurarak kurutma işleminin ardından en yüksek değerler ultrases destekli vakum kurutma ile elde edilmiştir [8].

Biyoaktif özellikler birarada değerlendirildiğinde nar tanelerinin toplam fenolik bileşikleri ile antioksidan kapasitesinin (Tablo 4.2) kurutma yöntemlerinden benzer şekilde etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle, biyoaktif bileşen miktarının kurutulmuş nar tanelerinin antioksidan aktivitesinden sorumlu olduğu sonucuna varılabilir. Benzer etki daha önce yapılmış olan çalışmalarda da bildirilmiştir [4], [10].

Taze ve kurutulmuş nar tanelerine ait fenolik profil analiz sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir. Çalışmada kafeik, gallik ve klorojenik asit majör olarak tespit edilen fenolik bileşenlerdir. Birçok araştırma, HPLC analizi ile nar meyvelerinde farklı fenolik bileşiklerin varlığını göstermiştir. Sami vd. [202] nar sularında gallik, klorojenik, kafeik, ferulik, elajik asit, kateşin, epikateşin, phloridzin, kersetin ve rutin varlığını bildirmiştir. Meyve suyu ve nar tanesinin incelendiği bir çalışmada gallik asit yüksek miktarda tespit edilmiştir ($\sim 1037 \mu\text{g}/100\text{g KM}$). Bunun dışında değişen miktarlarda sekiz farklı flavonoid; kateşin, dihidroksigallokateşin, naringenin hekzosid, kuersitrin-3-O-ramnozid, kersetin hekzosid, kaempferol-3-O-glikozid ve cis- ve trans dihidrokaempferol-hekzosid belirlenmiştir [87].

Kurutma yöntemlerinin fenolik bileşen üzerine etkileri önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Dondurarak kurutma yöntemi dışında tüm yöntemlerde fenolik bileşen değerlerinde azalma gözlenmiştir. Kafeik asit için sıcak hava kurutmada % 40, 01, vakum kurutmada %30,32 ve ultrases destekli vakum kurutmada ise %17,74 oranında kayıp gözlenmiştir. USVK ile kurutulan örneklerde VK ve SHK ya göre daha az fenolik bileşen kaybı olduğu belirlenmiştir. John vd.[236]’nin nar tanelerini sıcak hava ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kuruttukları çalışmalarında punikalajin ve ellajik asit hakim fenolik asitler olarak tespit edilmiştir. Sıcak hava ile kurutmanın fenolik bileşim üzerine anlamlı etkisi olduğu bildirmişlerdir. Farklı yöntemlerin (dondurarak, sıcak hava, vakum-mikrodalga) uygulandığı bir başka kurutma çalışmasında nar tanesinde punikalajinler ve gallik asit major fenolikler olarak belirlenmiş ve fenolik bileşiklerin kurutma işleminden anlamlı olarak etkilendiği bildirilmiştir. Dondurarak kurutulan nar tanelerinin en yüksek punikalajin içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu da fenolik bileşiklerin oksijensiz ortamda ve düşük sıcaklıklarda daha düşük bozunmaya uğramaları ile ilişkilendirilmiştir [4]. Benzer şekilde, üzüksü bir meyve olan makuinin vakum ortamında kurutulması ile elde edilen örneklerin, sıcak havada kurutulanlardan daha yüksek fenolik asit içerdiği bildirilmiştir [237]. Taflan meyvesine uygulanan sıcak hava ve ultrases destekli vakum kurutuma işlemleri sonucu fenolik bileşenlerde belirgin azalma görüldüğü rapor edilmiştir. Dondurarak kurutulan taflan meyvelerinde ise diğer

yöntemlerle kurutulanlara kıyasla daha düşük azalma olduğu görülmüştür [9]. Çalışmamızda uygulanan sıcak hava kurutma sıcaklığı polifenoloksidaz enziminin çalışma sıcaklığına yakın olduğu için oksijen varlığında uzun sürede gerçekleşen bu işlem sonucu daha fazla fenolik asit kaybı meydana gelmiştir. Vakum kurutma ve ultrases destekli vakum kurutma işlemlerinde ise oksijensiz ortam ve kısa kurutma süresi sayesinde kayıp azalmış, ayrıca USVK işleminde kavitasyon etkisi ile artan ekstraksiyon verimliliği ile fenolik bileşenler daha yüksek oranda tespit edilmiştir [8], [9].

Elde edilen tüm bu sonuçlar, toplam biyoaktif bileşiklerin ve antioksidan aktivitenin korunması açısından ultrases destekli vakum kurutmanın dondurarak kurutmaya alternatif bir yöntem olarak tercih edilebileceğini göstermiştir.

Tablo 4.3 Kurutma yöntemlerinin nar tanesinin fenolik profiline etkisi

Metot	Gallik asit	Protokateşik asit	4-hidroksibenzoik asit	Kafeik asit	Şirinjik asit	Trans-4-hidroksisınamik asit	Rutin	Klorojenik asit	Kuersetin
TAZE	124.18±1.24 ^a	95.86±1.63 ^b	25.00±0.47 ^b	155.09±2.42 ^b	21.12±0.73 ^a	9.57±0.34 ^b	94.13±0.62 ^b	129.66±0.44 ^b	126.37±0.91 ^a
DK	121.99±1.82 ^a	98.74±0.82 ^a	27.28±0.76 ^a	170.11±1.03 ^a	23.19±0.83 ^a	11.44±0.95 ^a	98.84±0.75 ^a	134.00±0.98 ^a	123.18±0.72 ^b
SHK	71.38±2.32 ^d	59.38±0.92 ^e	16.20±0.45 ^d	93.21±0.98 ^e	8.48±0.55 ^d	4.78±0.92 ^d	56.93±0.55 ^e	88.49±0.74 ^e	75.23±0.34 ^e
VK	85.49±0.94 ^e	64.72±0.93 ^d	21.04±0.65 ^e	108.88±1.76 ^d	12.93±0.83 ^e	7.60±0.81 ^e	75.83±0.51 ^d	94.53±0.97 ^d	85.54±0.73 ^d
USVK	101.66±0.93 ^b	87.15±0.56 ^e	21.88±0.37 ^e	127.57±0.92 ^e	17.86±0.54 ^b	9.17±0.25 ^b	87.80±0.89 ^e	102.00±1.32 ^e	95.89±0.75 ^e

* Aynı satırda yer alan farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan örnekler arasındaki farklılıkları göstermektedir (p<0,05). SHK: sıcak hava ile kurutma, VK: vakum kurutma, USVK: ultrases destekli vakum kurutma, DK: dondurarak kurutma.

4.3.2 Nar Tanelerinin *In Vitro* Gastrointestinal Sindirilebilirliği

Kurutulmuş meyveler, yüksek besleyicilikleri ve farmasötik değeri nedeniyle oldukça popülerdir. Bununla birlikte, kurutulmuş meyvelerin biyoaktif bileşenlerinin insanda emilimi, dağılımı, metabolizması ve atılımı hakkında sınırlı bilgi bulunmaktadır. Özellikle kurutulmuş meyvelerde yüksek antioksidan özellik gösteren polifenollerin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlanımı hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır [238]. Bu tez çalışmasında *in vitro* sindirimin taze, SHK, VK, USVK ve DK yöntemleri ile kurutulan nar tanelerinin toplam fenolik, toplam flavonoid, toplam antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivite üzerindeki etkisi incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4.4'de verilmiştir. *In vitro* sindirim sonucunda TFM, TF, TA miktarlarında ve antioksidan kapasitelerde meydana gelen değışiklikler, narda bulunan biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

Tablo 4.4 *In vitro* gastrointestinal sindirim analizi sonuçlar

TFM (mg GAE/g)					
	TAZE	SHK	VK	USVK	DK
Sindirilmemiş	8,22±0,01 ^e	6,13±0,20 ^c	6,39±0,25 ^d	6,88±0,27 ^e	7,88±0,01 ^c
Ağız	2,84±0,12 ^c	4,51±0,54 ^b	5,63±0,12 ^c	3,95±0,02 ^b	4,80±0,25 ^b
Mide	1,65±0,26 ^b	3,72±0,52 ^b	5,11±0,29 ^c	5,10±0,22 ^c	9,24±1,41 ^d
Bağırsak OUT	3,94±0,41 ^d	3,50±0,64 ^b	4,09±0,27 ^b	6,03±0,04 ^d	5,32±0,88 ^{bc}
IN	0,22±0,05 ^a	0,47±0,08 ^a	0,66±0,04 ^a	0,66±0,06 ^a	0,23±0,02 ^a
Geri kazanım (%)	2,67	7,68	10,32	9,59	2,92
TF (mg CE/g)					
	TAZE	SHK	VK	USVK	DK
Sindirilmemiş	0,39±0,06 ^c	0,33±0,01 ^b	0,39±0,03 ^{bc}	0,47±0,01 ^c	0,49±0,04 ^b
Ağız	0,41±0,02 ^c	0,41±0,02 ^b	0,92±0,19 ^d	0,44±0,04 ^c	0,43±0,11 ^b
Mide	0,68±0,04 ^d	0,60±0,080 ^c	0,66±0,10 ^{cd}	0,41±0,07 ^c	0,86±0,10 ^c
Bağırsak OUT	0,28±0,01 ^b	0,71±0,04 ^c	0,29±0,06 ^b	0,26±0,03 ^b	0,31±0,06 ^b
IN	ND	ND	ND	ND	ND
Geri kazanım (%)	-	-	-	-	-
TA (mg siyanidin-3-glikozid/100 g)					
	TAZE	SHK	VK	USVK	DK
Sindirilmemiş	62,87±0,88 ^c	41,48±0,57 ^d	59,31±0,06 ^d	71,28±0,62 ^d	101,75±0,58 ^d
Ağız	41,97±1,11 ^b	1,41±0,36 ^b	3,80±0,34 ^b	7,99±0,11 ^b	8,26±2,36 ^b
Mide	42,09±8,13 ^b	4,17±0,61 ^c	5,73±0,75 ^c	12,03±1,00 ^c	65,17±1,04 ^c
Bağırsak OUT	ND	ND	ND	ND	ND
IN	ND	ND	ND	ND	ND
Geri kazanım (%)	-	-	-	-	-
ABTS (μmol TE/g)					
	TAZE	SHK	VK	USVK	DK
Sindirilmemiş	56,11±2,10 ^c	34,53±0,28 ^b	41,71±2,05 ^b	37,75±1,94 ^b	63,71±4,32 ^b
Ağız	21,87±5,06 ^a	64,03±6,28 ^c	101,64±1,40 ^c	67,27±4,96 ^c	71,71±9,15 ^b
Mide	27,92±3,29 ^a	8,14±0,08 ^a	11,81±1,44 ^a	12,81±0,95 ^a	9,51±0,80 ^a
Bağırsak OUT	44,06±3,67 ^b	118,33±10,23 ^d	140,32±3,13 ^d	116,94±2,50 ^d	129,25±32,06 ^c
IN	23,12±0,86 ^a	5,57±0,38 ^a	7,02±0,03 ^a	8,69±0,67 ^a	3,90±0,10 ^a
Geri kazanım (%)	41,2	16,13	16,83	23,01	6,12
CUPRAC (μmol TE/g)					
	TAZE	SHK	VK	USVK	DK
Sindirilmemiş	29,87±0,05 ^b	29,70±0,38 ^b	33,11±0,95 ^b	49,45±1,84 ^b	61,61±0,63 ^b
Ağız	32,15±1,79 ^b	75,46±6,84 ^c	88,65±5,08 ^c	61,66±7,84 ^b	65,16±4,77 ^b
Mide	29,62±2,84 ^b	72,68±4,69 ^c	95,86±5,92 ^c	127,83±6,47 ^d	152,12±9,70 ^c
Bağırsak OUT	48,96±1,45 ^c	132,52±3,39 ^d	139,46±2,67 ^d	109,78±5,00 ^c	165,00±12,84 ^c
IN	6,39±0,53 ^a	5,52±0,81 ^a	7,84±1,42 ^a	24,91±1,58 ^a	23,94±2,26 ^a
Geri kazanım (%)	21,39	18,58	23,67	50,37	38,85

* Aynı satırda yer alan farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan örnekler arasındaki farklılıkları göstermektedir (p<0,05).

Toplam fenolik madde içerikleri ağız fazında 2,84-5,63 mg GAE/g arasında değişmekte olup tüm kurutma yöntemlerinde ve taze örnekte sindirilmemiş numuneye kıyasla düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Bu durumun fenolik maddelerin tükürük sıvısındaki çözünürlüğünün zayıf olması ve ağız fazının kısa sürmesi (2 dk) nedeniyle enzimle kısa süreli temas sonucu meydana geldiği düşünülmektedir [239], [240]. Mide fazındaki TFM içerikleri 1,65-9,24 mg GAE/g arasında değişim göstermiştir. Ağız fazı ile karşılaştırıldığında, SHK ve VK örnekler dışında, diğer kurutulmuş nar tanelerinin TFM içeriği mide fazında önemli miktarda artmıştır ($p<0,05$) ve en belirgin artış ise 4,80'den 9,24 mg GAE/g'ye olan yükselme ile dondurarak kurutulmuş örneklerde gözlemlenmiştir. Bu durum, mide asidinin etkisi ile pH'nin artması sonucu fenolik bileşenlerin parçalanarak açığa çıkması ile açıklanabilmektedir [241]. Fenolik bileşiklerin suda veya su içeren organik çözücülerde çözünabilen ve çözünemeyen türleri bulunmaktadır. Çözünemeyen fenolik bileşikler asidik yada alkali koşullarda veya enzim etkisi ile çözünabilmektedir [44]. Daha önce yapılan çeşitli çalışmalarda narın fenolik bileşenlerinin sindirim simülasyonunun mide aşamasında fazla olduğu bildirilmiştir [241], [242]. Sıcak hava ve vakum ile kurutulmuş örneklerdeki, ağız ve mide fazı arasındaki TFM farkı anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$).

Bağırsak sindirim fazında tüm örneklerde mide fazına kıyasla TFM içeriğinde anlamlı bir azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$). IN örneklerinin TFM içeriği OUT örneklerindeki kadar düşük olduğu belirlenmiştir. Fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliği, kimyasal yapıları ile alakalı olduğu kadar sindirim koşullarından da önemli derecede etkilenmektedir [243]. Fenolikler alkali bağırsak koşullarına duyarlıdır ve burada yapısal dönüşüme uğradıkları için mide fazından sonra miktarlarının azaldığı düşünülmektedir [244]. Koşullar asidikten alkaliye döndüğünde, pH değişikliği fenolik bileşiklerin kimyasal yapısını, moleküler ağırlığını veya kimyasal bileşimini değiştirebilmektedir [243]. Bu durum literatürde yer alan çalışmalarda da gösterilmiştir. Bektaş üzümlerinde TFM içeriğinin mide aşamasında arttığı, ancak bağırsak aşamasından sonra azaldığı tespit edilmiştir [245]. Tagliazucchi vd. [246] üzüm

fenoliklerinin mide ortamının asidik pH'ında stabil olduğunu, ancak hafif alkali bağırsak ortamında bozunduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada ise yaban mersinin TFM içeriğinin intestinal sindirim aşamasında %42 oranında azaldığı görülmüştür [247]. Örneklerdeki TFM geri kazanım oranı %2,58 (taze nar) ile %10,32 (vakum kurutulmuş nar) arasında değişmektedir. Meyve morfolojisinin/yapısının en çok korunduğu dondurarak kurutulmuş nar taneleri için TFM' nin geri kazanımının (%2,62), taze örneklerle en yakın taneler olduğu belirlenmiştir. Biyoerişilebilirliğin sağlanması için öncelikle biyoaktif maddeler gıda matrisinden salınmalıdır. Dolayısıyla polifenollerin biyoerişilebilirliğini etkileyen temel faktörlerden biri gıda matrisinin özellikleridir [248]. Kurutma yöntemi, bitki matrisinin bozunmasına yol açtığı ve fenolik bileşiklerin salınımını artırdığı zaman fenolik bileşiklerin biyolojik olarak erişilebilirliği artmaktadır [243]. Benzer şekilde, Trabzon hurması ile yapılan bir çalışmada fenoliklerin biyoerişilebilirliğinin uygulanan kurutma yönteminden etkilendiği ve en düşük fenolik geri kazanımının taze meyvelerde, ardından dondurularak kurutulmuş örneklerde ve en yüksek geri kazanımın sıcak hava kurutma sonucu elde edildiği bildirilmiştir [8]. Dalmau vd. [249], elmanın *in vitro* sindirimi üzerinde konvektif kurutma, dondurarak kurutma ve dondurma işlemlerinin etkilerini araştırmışlar ve sadece başlangıç TFM miktarının değil, aynı zamanda gıdanın yapısının da sindirim sırasında besin maddelerinin gıda matrislerinden salınmasında önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Uçar ve Karadağ [239]'ın çalışmasında da benzer bir trend saptanmış ve vakum kurutma ile kurutulmuş istiridye mantarları için simüle edilmiş sindirim sıvılarındaki fenoliklerin ekstrakte edilebilirliği, dondurarak kurutulmuş örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuş ve gıda matrisinin fiziksel yapısının da sindirim sıvılarının difüzyon oranını etkilediği bildirilmiştir. Bitkilerde çözünabilir formlarının yanı sıra matriks içindeki makromoleküllere bağlı olarak da fenolik bileşikler bulunmaktadır ve simüle edilmiş mide sisteminde enzim ve asidik pH etkisi ile salınabilmektedirler. Nar ürünlerinin fenolik bileşiklerinin mide sindiriminden sonra daha yüksek orana sahip oldukları Şengül vd. [241] ve Mosele vd. [102]'nin çalışmalarında da tespit edilmiştir.

Sonuçlar toplam flavonoid içeriği açısından incelendiğinde VK haricinde ağız fazında sindirilmemiş değerlere göre anlamlı farklılıklar saptanmamıştır ($p>0,05$). DK ve SHK yöntemleriyle kurutulmuş örneklerin TF içeriği, ağızdan mide fazına anlamlı bir artış gösterirken ($p<0,05$), diğer örneklerde TF içeriği önemli ölçüde değişmemiştir ($p>0,05$). Bağırsak fazından sonra, TF içeriği IN örneklerinin hiçbirinde belirlenmemiştir. Bağırsak fazı sonucu flavonoid içeriğindeki azalma, Vallejo vd. [250]'nin brokoli ile gerçekleştirdiği *in vitro* sindirim çalışması ile paraleldir.

Bu çalışmanın aksine, nar suyunun *in vitro* sindiriminin incelendiği bir çalışmada bağırsak fazı sonrası toplam flavanoid miktarının %15,8'inin saptanabildiği belirtilmiştir [251]. İstiridye mantarlarının kurutulduğu çalışmada ise %17,1'lik bir flavonoid geri kazanımı olduğu bildirilmiştir [239]. Meyve ve sebzelerdeki toplam flavanoid miktarı çeşit, yetiştirme koşulları, hasat zamanı vb. ile de ilişkili olduğu için ve biyoerişilebilir miktar da bu faktörlerden etkileneceğinden ötürü karşılaştırma yapmak zordur [251]. Ayrıca literatürde kurutmanın fenoliklerin biyoerişilebilirliği üzerine etkisi ile ilgili sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır [8].

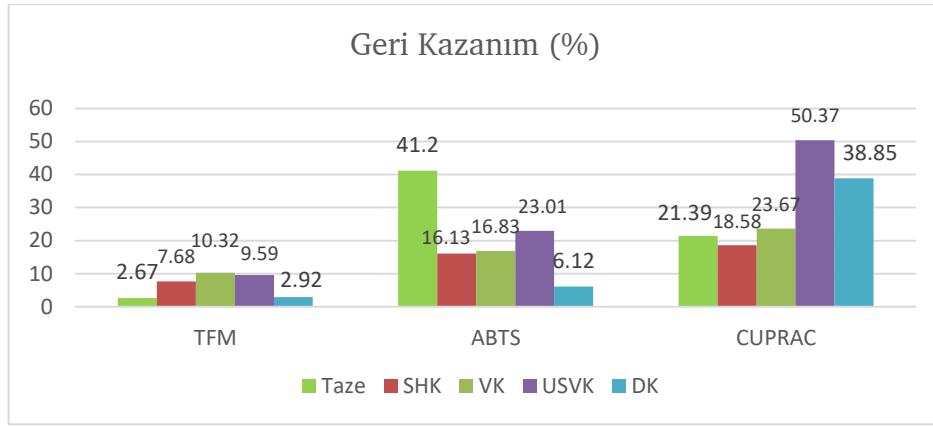
Polifenollerin epitel hücreleri tarafından emilmesi esas olarak hücreden geçebilmelerine bağlıdır. Bununla birlikte, glikozid formdaki flavonoidler oldukça polar moleküllerdir ve hücresel membran boyunca yayılmaları için aglikon formlarına hidrolize olmaları gerekmektedir [243]. Dolayısıyla deglikosilasyon, flavonoid glikozidlerinin emilimi ve metabolizmasında kritik bir adım olarak kabul edilmektedir [252]. Bir flavonoid glikozidi ince bağırsakta emilmezse, kalın bağırsakta salgıladıkları hidrolaz enzimleri ile bileşiği aglikon formuna metabolize edebilen kolonik mikroflora devreye girmektedir [253]. Dolayısıyla çalışmada OUT örneklerde saptanan TF içeriğinin kolonik fermentasyon sonucu biyoyararlanım sağlayabileceği düşünülmektedir.

Toplam antosiyanin içeriği (TA) değerlendirildiğinde, ağız fazında saptanan ve 1,41-41,97 mg siyanidin-3-glikozid/100g arasında değişen antosiyanin miktarları sindirilmemiş örneklere kıyasla anlamlı olarak azalmışken ($p<0,05$), mide sindirim fazının sonunda (4,17-65,17 mg siyanidin-3-glikozid/100g) ağız fazına kıyasla antosiyanin miktarlarında artış tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Antosiyaninlerin stabil formu olan flavylium katyonunun asidik pH ortamında oluşabileceği ve bu nedenle mide aşamasında antosiyaninlerin daha yüksek biyoerişilebilirlik sağladığı varsayılmaktadır [240]. David vd. [254], mide sindiriminden sonra kıvılcık meyvesi ekstraktının toplam antosiyanin içeriğindeki artışın, matrisin parçalanması ve ekstraktta bulunan polimerlerden monomerik antosiyaninlerin salınması ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde DK örnek hariç tüm kurutma yöntemlerinde sindirilmemiş örneklerle kıyasla antosiyanin miktarının yüksek oranda azaldığı görülmüştür. Taze örneğe yapısal olarak en yakın kurutulmuş örnek olan DK örnek hem ağız hem mide fazında daha yüksek antosiyanin içeriğine sahiptir. Antosiyaninlerin kurutma gibi işlemler sırasında stabiliteelerini koruyamaması nedeniyle DK örnekte diğer yöntemlere kıyasla daha düşük azalma meydana geldiği düşünülebilir [255]. Bağırsak fazından sonra IN ve OUT örneklerde TA içeriği belirlenmemiştir. Antosiyaninlerin yüksek pH seviyelerine duyarlılığı nedeniyle bağırsak fazından sonra antosiyanin içeriği saptanamadığı düşünülmektedir. Yüksek antosiyanin kaybının nedeni tam olarak bilinmemekle birlikte metabolik dönüşüm gibi bazı faktörler etkili olabilmektedir. Ayrıca antosiyaninlerin sindirim sırasında renksiz formlara metabolize olmaları, oksidasyona uğramaları ya da sindirim koşullarında tespit edilemeyen diğer kimyasal formlara parçalanmaları şeklinde çeşitli etmenler sayılabilmektedir. Bağırsak sindiriminden sonra hiçbir aglikon oluşmaması da önemli bir etmendir [242]. Mide koşullarındaki düşük pH değerlerinde saptanabilen stabil formdaki antosiyaninler, bağırsak koşullarının yüksek pH'sında stabiliteelerini koruyamamaktadır [255]. Üzümsü meyvelerin antosiyaninlerinin *in vivo* incelendiği çalışmalarda da düşük biyoerişilebilirlik belirlenmiştir [256]. Flavonoid glikozidlerinden farklı olarak antosiyaninler bağırsakta parçalanmış ancak emilmeden idrara geçmiş ve glikozid formda tespit edilmişlerdir [256], [257]. Perez-Vicente vd. [242] tarafından yapılan çalışmada, nar suyunun *in vitro* sindirimi sırasında bağırsak aşamasından sonra antosiyaninlerde önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Şengül vd. [241]'nin nar ekstraktlarını inceledikleri *in vitro* sindirim metodunda mide sindirimi sırasında antosiyanin düzeyleri 1,55-13,24 mg siyanidin-3-glikozid/100g aralığında değişim göstermiştir. Bu sonuçlar

Çalışma ile paralellik göstermiştir ancak araştımacılar bu çalışmadan farklı olarak bağırsak aşamasından sonra antosiyanin içeriğinde geri kazanım tespit etmişlerdir [241]. Çeşitli araştırmalarda değişen miktarlarda antosiyanin kaybı ve geri kazanımı rapor edilmiştir [258]–[260]. Öte yandan, kullanılan hammaddeden uygulanan *in vitro* sindirim prosedürüne kadar olabilecek farklılıklar nedeniyle *in vitro* alışmaların karşılaştırılması kolay değildir [60].

Nar rneklerinin antioksidan aktivitesi, *in vitro* sindirim sırasında ABTS ve CUPRAC antioksidan testleri ile incelenmiştir. Mevcut çalışmada gerçekleştirildiği gibi güvenilir sonuçlar elde edebilmek için toplam antioksidan kapasite testlerinden en az ikisinin uygulanması önerilmektedir [261]. Kurutulmuş nar örneklerinin sindirim sürecinde ABTS yöntemine göre antioksidan kapasitesi ağız fazına kıyasla mide fazından sonra azalmış ve bağırsak fazında OUT örneklerde artarken ($p < 0,05$), IN örneklerde azalmıştır ($p > 0,05$). Taze örnekte ise mide fazında değişmemiş ($p > 0,05$) ve bağırsak fazından sonra artmıştır ($p < 0,05$). CUPRAC yöntemi ile belirlenen sindirim sürecindeki antioksidan kapasite, ağız fazı sonrası mide fazında artmış ancak sadece USVK ve DK örneklerde artışın anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Bağırsak fazında (OUT) USVK hariç CUPRAC değerlerinde artış gözlenmiştir ($p < 0,05$). IN örneklerde ise anlamlı azalma saptanmıştır ($p < 0,05$). Asidik ortamdan alkali ortama geçişin, bazı fenolik bileşiklerin proton verme yeteneğini geliştirdiği ve bu sayede antioksidan özeliklerinin arttığı düşünülmektedir. Ayrıca kurutma işlemi uygulanan örneklerin sindirilmemiş hallerinin antioksidan kapasiteleri ile bağırsak sindiriminin OUT rnek sonuçları kıyaslandığında ABTS radikali süpürme kapasitesine göre SHK, VK, USVK ve DK yöntemlerinde sırasıyla %70,8, %70,2, %67,7 ve %50,7’lik artış olduğu görülmüştür. Benzer trend CUPRAC testinde de sırasıyla %77,5, %76,2, %54,9 ve %62,6 artış şeklinde gerçekleşmiştir. SHK yönteminin en yüksek artış oranına sahip olması uzun süreli sıcaklık uygulamasının fenolik maddelerin matristen salınımına yardımcı olması veya antioksidan etki gösteren farklı metabolitlerin meydana gelmesi ile açıklanabilmektedir [243], [262].



Şekil 4.8 Taze ve kurutulmuş nar tanelerinin *in vitro* sindirim sonucu elde edilen geri kazanım oranları

Kurutulmuş örnekler geri kazanım oranları açısından değerlendirildiğinde ise uygulanan her iki antioksidan yönteminde de USVK örneklerin geri kazanım oranının en yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.8). Bunun da ultrases işleminin hücrelerde yarattığı mekanik etkiye bağlı olduğu düşünülmektedir. Çalışmalar, ısıl işlemin gıda ürünlerinin biyoerişilebilirliğini etkilediğini göstermiştir. Literatüre göre, ısı ve mekanik işlemler mikro besinlerin bileşimini etkileyebilmekte ve bu nedenle salınımını ve dolayısıyla antioksidanların biyoerişilebilirliğini ve biyoyararlanımını artırdığı düşünülmektedir [112]. Benzer şekilde Uçar ve Karadağ [239]'ın çalışmasında, sindirilmiş mantar örneklerinin bağırsak basamağından sonra ABTS aktivitesi mide basamağına göre daha yüksek bulunmuştur. Bir başka çalışmada sarı renkli bezelye kabuklarının bağırsaktan sindirilmesinden sonra ABTS aktivitesinde önemli bir artış tespit edilmiştir [263].

Chen vd. [264]'nin 33 adet farklı meyvenin *in vitro* sindirimden sonraki toplam fenolik madde miktarını ve antioksidan kapasitesini ölçtükleri çalışmada ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Bazı meyvelerin mide sindirimi sonrası DPPH, ABTS ve FRAP değerleri anlamlı bir artış (10,74 katına kadar) gösterirken diğerlerinde azalma tespit edilmiştir. Bağırsak sindirimi sonrası değerlere bakıldığında ise artış gözlenen meyvelerin çoğunda anlamlı bir azalma gözlenirken, yalnızca 4 meyvenin antioksidan kapasitesinde artış görülmüştür. Çalışmadan anlaşılabileceği üzere meyvelerin biyoaktif bileşenlerinin *in vitro* sindirim sırasındaki davranışının öngörülebilecek genel bir modeli yoktur. Bu değişimler

polifenol bileşiklerin sindirim sırasında hidrolize olarak daha düşük ya da yüksek antioksidan kapasiteye sahip metabolitlere dönüşümü ile ilişkilendirilmektedir [262].

Meyveler genellikle zengin polifenol kaynağı olmalarına rağmen, ince bağırsak ortamında emilim için mevcut olan bileşiklerin miktarının oldukça az olduğunun altını çizmek önemlidir. Kamiloğlu ve Çapanoğlu [265]'nin belirttiği gibi sindirilen fakat çözünmeyen bileşiklerin sağlığın korunmasında hiçbir rolü olmadığı anlamına gelmez, çünkü bu bileşikler ince bağırsakta emilmeseler de, dönüştürülebilecekleri kalın bağırsağa ulaşabilmekte ve kolon mikroflorası tarafından parçalanabilmektedirler.

Elde edilen sonuçlara göre nar tanelerinin toplam fenolik içeriğinin büyük bir kısmı bağırsak sindiriminden sonra OUT fraksiyonunda kalmıştır. ABTS ve CUPRAC antioksidan kapasite sonuçları da bunu desteklemektedir. Daha önce de atıfta bulunulan literatür çalışmalarında da bahsedildiği gibi OUT fraksiyonu, gastrointestinal kanalda kalan materyali temsil eder ve "kolonik mikroflora için uygun" olarak ifade edilir. Kolonun sindirilmeyen bileşenleri parçalayan ve mikrobiyal metabolitlere dönüştüren çok çeşitli bir mikroorganizma ekosistemi içerdiği bilinmektedir. Bu nedenle, OUT fraksiyonunda bulunan fenolik metabolitler, kolondaki mikroorganizmalar topluluğu için substrat olarak düşünülebilir [121]. Mosele vd. [102] 3 farklı nar ürünü (meyve suyu, pulp ve kabuk) ile yaptığı *in vitro* sindirim çalışmasında benzer bir sonuç elde edilmiş ve ince bağırsak fazı sonrası emilmeden kalan fraksiyona kolonik fermantasyon uygulamışlardır. Fermantasyon sonucunda temel mikrobiyal metabolitler olarak biyoaktif özelliğe sahip çeşitli fenolik bileşikler tespit etmişlerdir.

Günümüzde beslenme ve sağlık arasındaki pozitif yönlü ilişkinin kanıtlanmasıyla birlikte gıdaların sağlık yararlarını kaybetmeden tüketilebilir olmasını sağlamak oldukça önemli hale gelmiştir. Bu doğrultuda gıda işleme alanında sürekli yenilikçi prosesler geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle taze meyve ve sebzelerin sahip oldukları yüksek fitokimyasal içerikleri sebebiyle sağlıklı yaşam için tüketimleri önerilmektedir. Ancak günümüzde tüketicilerin gıdadan beklentisi, sağlıklı olmasının yanı sıra uzun raf ömrüne sahip, kolay taşınabilen, yemeye hazır ve farklı olması yönünde değişmiştir. Kurutma teknolojisi bu talepleri karşılamaya en uygun gıdaların üretilmesinde yıllardır kullanılmaktadır. Fakat kurutma işlemi genellikle gıdanın hem duysal hem de fizikokimyasal özelliklerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Özellikle geleneksel kurutma yöntemlerinin gıdanın sağlık yararını yeterince koruyamadığının anlaşılmasıyla birlikte, bu alanda yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. İşleme alanında yapılan çalışmalarda ürüne fonksiyonel özellik sağlayan bileşenlerin miktar açısından korunmasını sağlamak kadar o bileşenlerin tüketim sonrasında vücut yararıslığını sürdürüp sürdürmediğini tespit etmek de oldukça önemlidir. Özellikle yeni işleme tekniklerinde ürünlerin biyoerişilebilirliklerinin de incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla son yıllarda gastrointestinal sindirim mekanizmasını simüle eden hızlı, güvenli ve etik kısıtlamaları olmayan *in vitro* yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi sayesinde sağlık üzerine olumlu etkileri çok sayıda araştırma ile kanıtlanmış olan nar meyvesi farklı yöntemlerle kurutularak çeşitli özellikleri irdelenmiştir. Bu doğrultuda 55°C'de sıcak hava kurutma (SHK), vakum kurutma (VK), ultrases destekli vakum kurutma (USVK) ve dondurarak kurutma (DK) işlemleri uygulanmış ve böylece yeni teknolojiler ile geleneksel yöntem kıyası

yapılabilmiştir. Farklı kurutma yöntemlerinin nar tanelerinin, toplam biyoaktif bileşikleri, biyoaktif bileşiklerin *in vitro* biyoerişilebilirliği, renk ve yüzey özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kurutma yöntemleri, değerlendirilen tüm parametreleri önemli ölçüde etkilemiştir. Ürün kalitesi üzerinde oldukça etkili olan kuruma süresi değerlendirildiğinde USVK yöntemi ile diğer kurutma yöntemlerine kıyasla çok daha kısa sürede kurutma gerçekleştirilmiştir. Yöntemde uygulanan vakuma ilave olarak, ultrases etkisi ile oluşan kavitasyon ve mikrokanaallar nemin üründen daha kolay uzaklaşmasını sağlamıştır.

Kurutulmuş nar tanelerinin fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde; DK yönteminde kurumayla birlikte üründe gözenekli bir yapının oluşması sonucu ışığın daha fazla yansmasıyla taze örneğe göre daha parlak kırmızı bir ürün elde edilmiştir. Ayrıca düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi sebebiyle antosiyanin yıkımı meydana gelmemiş olması da bu duruma etkindir. Nitekim renk ölçümü sonucu en yüksek L^* ve a^* değerleri de DK işlemi ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Ancak renk değişimini ifade eden ΔE sonuçları incelendiğinde USVK ve VK yöntemlerinin daha kabul edilebilir sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla renk ölçüm sonuçlarının tek başına değerlendirilmemesi gereken bir bulgu olduğu sonucuna varılmıştır. Örneklerin yüzey özellikleri karşılaştırıldığında, DK yönteminde süblimleşme ile kuruma sağlanması sayesinde bu yöntemle kurutulmuş örneklerin hücre yapılarının en iyi şekilde korunduğu görülmüştür.

Kurutulmuş nar tanelerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre; dondurarak kurutulmuş örnekler ayrı tutulursa, kurutulmuş örneklerin biyoaktif bileşen miktarı ve antioksidan kapasite analizlerinde taze örneğe göre azalma olduğu belirlenmiştir. Antioksidan kapasitesi tayinlerinde ABTS metodu hariç diğer tüm bulgulara USVK yöntemi ile kurutulmuş tanelerin en yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu da ultrases uygulamasının kurutma süresini kısaltarak biyoaktif bileşenlerin bozunmasını en aza indirmesi ve biyoaktif bileşenlerin hücre matrisinden salınarak daha kolay analiz edilebilir hale gelmesinde önemli bir etkisinin olduğunu düşündürmüştür. DK işlemi ise düşük kurutma sıcaklığı ve oksijensiz ortam sağladığı için TFM ve TF analizlerinde taze örneğe en yakın, diğer analizlerde ise taze örnekten daha yüksek sonuçlar vermiştir. Fenolik bileşiklerdeki değişimler de benzer şekilde etkilenmiştir.

Bununla birlikte biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirlikleri değerlendirildiğinde ise DK ile elde edilen kurutulmuş nar taneleri diğer örneklerle göre daha düşük geri kazanım oranı göstermiştir. Dondurarak kurutulan örneklerin hücre yapısının iyi korunması nedeniyle sindirim esnasında biyoaktif bileşenler yeterince açığa çıkamamış, tersi şekilde ultrases işleminin hücrelerde oluşturduğu etki ile biyoaktif bileşenler açığa çıkmış ve *in vitro* sindirim sonucu USVK örneklerde daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Bu çalışma sonuçları, dondurarak kurutma işlemi ile elde edilen ürünlerin kalite açısından tatmin edici olduğunu göstermiştir. Ancak işlem süresinin uzun ve maliyetinin yüksek olması bu yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Bazı yöntemlerin ön işlem olarak ya da dondurarak kurutma yöntemine kombine edilerek uygulanması kurutma verimini arttırabileceği öngörülmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ultrases destekli vakum kurutma yönteminin sıcak hava kurutma yönteminden daha kısa sürede kurutma gerçekleştirmesi, biyoaktif maddeleri daha iyi koruması, daha iyi yüzey ve renk özellikleri sağlaması; dondurarak kurutma yönteminden ise daha yüksek biyoaktif bileşen geri kazanımı sağlaması ve kurutma maliyeti açısından avantajlı olabilmesi nedenleriyle alternatif bir kurutma yöntemi olarak kullanılması gerektiğini önermektedir. Son yıllarda bir çok üründe çok sayıda biyoerişilebilirlik çalışması yapılmış olsa da *in vitro* gastrointestinal sindirim modelleri yeni birer teknik olarak düşünülmelidir. Bu nedenle gelecekteki araştırmalarda bu çalışmanın bulgularını desteklemek amacıyla Caco-2 gibi hücre kültürü modelleri, kolon fermantasyonu veya *in vivo* biyoerişilebilirlik analizlerinin de gerçekleştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

-
- [1] M. Karaaslan, F. M. Yilmaz, Ö. Cesur, H. Vardin, A. İkinci, ve A. C. Dalgiç, “Drying kinetics and thermal degradation of phenolic compounds and anthocyanins in pomegranate arils dried under vacuum conditions”, *Int. J. Food Sci. Technol.*, c. 49, sayı 2, ss. 595–605, 2014, doi: 10.1111/ijfs.12342.
- [2] N. P. Seeram, R. N. Schulman, ve D. Heber, *Pomegranates: Ancient roots to modern medicine*. New York: CRC Press, 2006.
- [3] Z. Kalaycıoğlu ve F. B. Erim, “Total phenolic contents, antioxidant activities, and bioactive ingredients of juices from pomegranate cultivars worldwide”, *Food Chem.*, c. 221, ss. 496–507, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.084.
- [4] Á. Calín-Sánchez, A. Figiel, F. Hernández, P. Melgarejo, K. Lech, ve Á. A. Carbonell-Barrachina, “Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Sensory Quality of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Arils and Rind as Affected by Drying Method”, *Food Bioprocess Technol.*, c. 6, sayı 7, ss. 1644–1654, 2013, doi: 10.1007/s11947-012-0790-0.
- [5] O. A. Fawole, U. L. Opara, ve K. I. Theron, “Chemical and Phytochemical Properties and Antioxidant Activities of Three Pomegranate Cultivars Grown in South Africa”, *Food Bioprocess Technol.*, c. 5, sayı 7, ss. 2934–2940, 2012, doi: 10.1007/s11947-011-0533-7.
- [6] G. Pande ve A. Casimir C., “Pomegranate Cultivars (*Punica granatum* L.)”, içinde *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, V. R. Preedy ve M. S. J. Simmonds, Ed. London: Academic Press, 2016, ss. 667–686.
- [7] C. Ertekin ve O. Yaldız, “Thin Layer Drying of Sliced Squash by Forced Convection”, içinde *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*, 2010, ss. 1–10.
- [8] S. Kayacan, S. Karasu, P. K. Akman, H. Goktas, I. Doymaz, ve O. Sagdic, “Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, in vitro bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon”, *Lwt*, c. 118, s. 108830, 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108830.
- [9] F. Turkmen, S. Karasu, ve A. Karadag, “Effects of Different Drying Methods and Temperature on the Drying Behavior and Quality Attributes of Cherry Laurel Fruit”, *Processes*, c. 8, sayı 761, ss. 1–15, 2020, doi: doi:10.3390/pr8070761.
- [10] A. Wojdyło, A. Figiel, P. Legua, K. Lech, Á. A. Carbonell-Barrachina, ve F. Hernández, “Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method”, *Food Chem.*, c. 207, ss. 170–179, 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.03.099.
- [11] Y. Chen, M. Li, T. S. K. Dharmasiri, X. Song, F. Liu, ve X. Wang, “Novel ultrasonic-assisted vacuum drying technique for dehydrating garlic slices and predicting the quality properties by low field nuclear magnetic resonance”, *Food Chem.*, c. 306, s. 125625, 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125625.

- [12] L. lue Huang, M. Zhang, W. qiang Yan, A. S. Mujumdar, ve D. feng Sun, "Effect of coating on post-drying of freeze-dried strawberry pieces", *J. Food Eng.*, c. 92, sayı 1, ss. 107–111, 2009, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.10.031.
- [13] X. D. Chen ve A. S. Mujumdar, *Drying technologies in food processing*, 1. baskı. Oxford: Blackwell, 2008.
- [14] D. M. Parikh, "Vacuum Drying: Basics and application", *Chem. Eng. (United States)*, c. 122, sayı 4, ss. 48–54, 2015.
- [15] Z. H. Tekin, M. Başlar, S. Karasu, ve M. Kilicli, "Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters", *J. Food Process. Preserv.*, c. 41, sayı 6, 2017, doi: 10.1111/jfpp.13227.
- [16] M. Mojaharul Islam, M. Zhang, B. Bhandari, ve Z. Guo, "A hybrid vacuum frying process assisted by ultrasound and microwave to enhance the kinetics of moisture loss and quality of fried edamame", *Food Bioprod. Process.*, c. 118, ss. 326–335, 2019, doi: 10.1016/j.fbp.2019.10.004.
- [17] M. Başlar, M. Kiliçli, O. S. Toker, O. Saldıç, ve M. Arici, "Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats", *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, c. 26, ss. 182–190, 2014, doi: 10.1016/j.ifset.2014.06.008.
- [18] M. M. Özcan vd., "Effect of oven drying on antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acid composition and tocopherol contents of pomegranate aril and oils", *J. Food Process. Preserv.*, c. 43, sayı 3, ss. 1–9, 2019, doi: 10.1111/jfpp.13885.
- [19] Ö. Süfer ve T. K. Palazoğlu, "A study on hot-air drying of pomegranate: Kinetics of dehydration, rehydration and effects on bioactive compounds", *J. Therm. Anal. Calorim.*, c. 137, sayı 6, ss. 1981–1990, 2019, doi: 10.1007/s10973-019-08102-1.
- [20] B. Alaei ve R. Amiri Chayjan, "Drying Characteristics of Pomegranate Arils Under Near Infrared-Vacuum Conditions", *J. Food Process. Preserv.*, c. 39, sayı 5, ss. 469–479, 2015, doi: 10.1111/jfpp.12252.
- [21] S. Briki, B. Zitouni, B. Bechaa, ve M. Amiali, "Comparison of convective and infrared heating as means of drying pomegranate arils (*Punica granatum* L.)", *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, c. 55, sayı 11, ss. 3189–3199, 2019, doi: 10.1007/s00231-019-02644-8.
- [22] Ö. Süfer ve T. K. Palazoğlu, "Microwave–vacuum drying of pomegranate arils (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar): Effect on quality and nutrient content", *J. Food Process. Preserv.*, c. 43, sayı 9, ss. 1–12, 2019, doi: 10.1111/jfpp.14085.
- [23] M. Cano-Lamadrid vd., "Influence of osmotic dehydration pre-treatment and combined drying method on physico-chemical and sensory properties of pomegranate arils, cultivar Mollar de Elche", *Food Chem.*, c. 232, ss. 306–315, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.033.
- [24] C. Venkatasamy, L. Zhao, R. Zhang, ve Z. Pan, "Pomegranate", içinde *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*, P. Zhongli, Z. Ruihong, ve Z. Steven, Ed. London: Academic Press, 2019, ss. 181–216.
- [25] Ö. Horzum, S. Akan, ve N. Gunes, "Nar: Kırmızı Sağlık Ajanı", içinde *5th*

International Eurasian Congress on Natural Nutrition, Healthy Life and Sport, 2019, ss. 1529–1536.

- [26] T. Engin, “Kara Kuşburnu (*Rosa pimpinellifolia* L.) ve Karadut (*Morus nigra* L.) Ekstraktları İlavesi ile Nar Reçelinin Renk ve Antioksidan Açısından Zenginleştirilmesi”, Atatürk Üniversitesi, 2019.
- [27] Anonim, “Nar Raporu”, 2019. [Çevrimiçi]. Available at: https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=32164&tipi=38&sube=0.
- [28] Anonim, “Nar İstatistikleri”, *Tarım İstatistikleri*, 2020. <http://tarimsalistik.com/tr-TR/Sayfa/nar-istatistikleri> (erişim Şub. 11, 2020).
- [29] F. L. De Oliveira, T. Y. P. Arruda, R. Da Silva Lima, S. N. Casarotti, ve M. C. Morzelle, “Pomegranate as a natural source of phenolic antioxidants”, *J. Food Bioact.*, c. 9, ss. 10–22, 2020, doi: 10.31665/jfb.2020.9214.
- [30] J. A. Teixeira da Silva, T. S. Rana, D. Narzary, N. Verma, D. T. Meshram, ve S. A. Ranade, “Pomegranate Biology And Biotechnology: A Review”, *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, c. 160, ss. 85–107, 2013, doi: 10.1016/j.scienta.2013.05.017.
- [31] M. Morvaridzadeh, M. Sepidarkish, E. Daneshzad, A. Akbari, G. R. Mobini, ve J. Heshmati, “The effect of pomegranate on oxidative stress parameters: A systematic review and meta-analysis”, *Complement. Ther. Med.*, c. 48, sayı January 2020, ss. 1–18, 2020, doi: 10.1016/j.ctim.2019.102252.
- [32] R. Kohen ve A. Nyska, “Oxidation of Biological Systems: Oxidative Stress Phenomena, Antioxidants, Redox Reactions, and Methods for Their Quantification”, *Toxicol. Pathol.*, c. 30, sayı 6, ss. 620–650, 2002, doi: 10.1080/01926230290166724.
- [33] R. L. Prior ve G. Cao, “Antioxidant Capacity and Polyphenols Components of Teas: Implications for Altering In Vivo Antioxidant Status”, *Exp. Biol. Med.*, c. 220, sayı 4, ss. 255–261, 1999, doi: 10.3181/00379727-220-44376.
- [34] B. Poljsak, D. Šuput, ve I. Milisav, “Achieving the balance between ROS and antioxidants: When to use the synthetic antioxidants”, *Oxid. Med. Cell. Longev.*, c. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/956792.
- [35] C. M. Galanakis, *Nutraceutical and Functional Food Components-Effects of Innovative Processing Techniques*. London: Academic Press, 2017.
- [36] J. H. Yoon ve S. J. Baek, “Molecular targets of dietary polyphenols with anti-inflammatory properties”, *Yonsei Med. J.*, c. 46, sayı 5, ss. 585–596, 2005, doi: 10.3349/ymj.2005.46.5.585.
- [37] J. L. Fleg vd., “Secondary prevention of atherosclerotic cardiovascular disease in older adults: A scientific statement from the American heart association”, *Circulation*, c. 128, sayı 22, ss. 2422–2446, 2013, doi: 10.1161/01.cir.0000436752.99896.22.
- [38] I. Bar-Ya’akov, L. Tian, R. Amir, ve D. Holland, “Primary metabolites, anthocyanins, and hydrolyzable tannins in the pomegranate fruit”, *Front. Plant Sci.*, c. 10, sayı 620, ss. 1–19, 2019, doi: 10.3389/fpls.2019.00620.
- [39] B. L. Halvorsen vd., “A systematic screening of total antioxidants in dietary plants”, *J. Nutr.*, c. 132, sayı 3, ss. 461–471, 2002, doi: 10.1093/jn/132.3.461.

- [40] N. P. Seeram *vd.*, “Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 56, sayı 4, ss. 1415–1422, 2008, doi: 10.1021/jf073035s.
- [41] Y. Noda, T. Kaneyuki, A. Mori, ve L. Packer, “Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: Delphinidin, cyanidin, and pelargonidin”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 50, sayı 1, ss. 166–171, 2002, doi: 10.1021/jf0108765.
- [42] N. P. Seeram, R. Lee, ve D. Heber, “Bioavailability of ellagic acid in human plasma after consumption of ellagitannins from pomegranate (*Punica granatum* L.) juice”, *Clin. Chim. Acta*, c. 348, sayı 1–2, ss. 63–68, 2004, doi: 10.1016/j.cccn.2004.04.029.
- [43] N. M. Nizamlioğlu ve S. Nas, “Meyve ve Sebzelerde Bulunan Fenolik Bileşikler ; Yapıları ve Önemleri”, *Gıda Teknol. Elektronik Derg.*, c. 5, sayı 1, ss. 20–35, 2010.
- [44] M. Naczek ve F. Shahidi, “Extraction and analysis of phenolics in food”, *J. Chromatogr. A*, c. 1054, sayı 1–2, ss. 95–111, 2004, doi: 10.1016/j.chroma.2004.08.059.
- [45] F. Shahidi ve P. Ambigaipalan, “Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review”, *J. Funct. Foods*, c. 18, ss. 820–897, 2015, doi: 10.1016/j.jff.2015.06.018.
- [46] Z. Derakhshan *vd.*, “Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of pomegranate peels, juice and seeds”, *Food Chem. Toxicol.*, c. 114, ss. 108–111, 2018, doi: 10.1016/j.fct.2018.02.023.
- [47] K. N. Chidambara Murthy, G. K. Jayaprakasha, ve R. P. Singh, “Studies on antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel extract using in vivo models”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 50, sayı 17, ss. 4791–4795, 2002, doi: 10.1021/jf0255735.
- [48] W. Elfalleh *vd.*, “Antioxidant Capacities of Phenolic Compounds and Tocopherols from Tunisian Pomegranate (*Punica granatum*) Fruits”, *J. Food Sci.*, c. 76, sayı 5, ss. 707–713, 2011, doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02179.x.
- [49] H. Kelebek ve A. Canbaş, “Hicaz Narı Şirasının Organik Asit Şeker ve Fenol Bileşikleri İçeriği ve Antioksidan Kapasitesi”, *Gıda*, c. 35, sayı 6, ss. 439–444, 2010, [Çevrimiçi]. Available at: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gida/issue/6894/92225>.
- [50] F. Cuyckens ve M. Claeys, “Mass spectrometry in the structural analysis of flavonoids”, *J. Mass Spectrom.*, c. 39, sayı 1, ss. 1–15, 2004, doi: 10.1002/jms.585.
- [51] H. D. Belitz, W. Grosch, ve S. Peter, *Food Chemistry*, 4. baskı. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [52] V. Bendokas *vd.*, “Anthocyanins: From plant pigments to health benefits at mitochondrial level”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, c. 60, sayı 19, ss. 3352–3365, 2020, doi: 10.1080/10408398.2019.1687421.
- [53] A. Castañeda-Ovando, M. de L. Pacheco-Hernández, M. E. Pérez-Hernández, J. A. Rodríguez, ve C. A. Galán-Vidal, “Chemical studies of anthocyanins: A review”, *Food Chem.*, c. 113, sayı 4, ss. 859–871, 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.001.
- [54] G. Mazza ve E. Miniati, *Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains*.

- London: CRC Press, 1993.
- [55] M. N. Clifford, "Anthocyanins - Nature, occurrence and dietary burden", *J. Sci. Food Agric.*, c. 80, sayı 7, ss. 1063–1072, 2000, doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<1063::AID-JSFA605>3.0.CO;2-Q.
 - [56] S. G. Lee, T. M. Vance, T. G. Nam, D. O. Kim, S. I. Koo, ve O. K. Chun, "Contribution of Anthocyanin Composition to Total Antioxidant Capacity of Berries", *Plant Foods Hum. Nutr.*, c. 70, sayı 4, ss. 427–432, 2015, doi: 10.1007/s11130-015-0514-5.
 - [57] D. O. Kim ve C. Y. Lee, "Comprehensive study on vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of various polyphenolics in scavenging a free radical and its structural relationship", *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, c. 44, sayı 4, ss. 253–273, 2004, doi: 10.1080/10408690490464960.
 - [58] H. Matsumoto, H. Inaba, M. Kishi, S. Tominaga, M. Hirayama, ve T. Tsuda, "Orally administered delphinidin 3-rutinoside and cyanidin 3-rutinoside are directly absorbed in rats and humans and appear in the blood as the intact forms", *J. Agric. Food Chem.*, c. 49, sayı 3, ss. 1546–1551, 2001, doi: 10.1021/jf001246q.
 - [59] J. F. Reis *vd.*, "Action mechanism and cardiovascular effect of anthocyanins: A systematic review of animal and human studies", *J. Transl. Med.*, c. 14, sayı 1, ss. 1–16, 2016, doi: 10.1186/s12967-016-1076-5.
 - [60] M. Fazzari, L. Fukumoto, G. Mazza, M. A. Livrea, L. Tesoriere, ve L. Di Marco, "In vitro bioavailability of phenolic compounds from five cultivars of frozen sweet cherries (*Prunus avium* L.)", *J. Agric. Food Chem.*, c. 56, sayı 10, ss. 3561–3568, 2008, doi: 10.1021/jf073506a.
 - [61] H. Borochoy-Neori, N. Lazarovitch, S. Judeinstein, B. S. Patil, ve D. Holland, "Climate and salinity effects on color and health promoting properties in the pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit arils", *ACS Symp. Ser.*, c. 1129, ss. 43–61, 2011, doi: 10.1021/bk-2013-1129.ch003.
 - [62] C. A. Rice-Evans ve L. Packer, *Flavonoids in Health and Disease*, 2. baskı. New York: Marcel Dekker, 2003.
 - [63] E. Poyrazoğlu, V. Gökmen, ve N. Artık, "Organic Acids and Phenolic Compounds in Pomegranates (*Punica granatum* L.) Grown in Turkey", *J. Food Compos. Anal.*, c. 15, sayı 5, ss. 567–575, 2002, doi: 10.1006/jfca.2002.1071.
 - [64] V. Vučić, M. Grabež, A. Trchounian, ve A. Arsić, "Composition and Potential Health Benefits of Pomegranate: A Review", *Curr. Pharm. Des.*, c. 25, sayı 16, ss. 1817–1827, 2019, doi: 10.2174/1381612825666190708183941.
 - [65] P. Aruna, D. Venkataramanamma, A. K. Singh, ve R. P. Singh, "Health Benefits of Punicic Acid: A Review", *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, c. 15, sayı 1, ss. 16–27, 2016, doi: 10.1111/1541-4337.12171.
 - [66] M. Suman ve P. Bhatnagar, "A review on proactive pomegranate one of the healthiest foods", *Int. J. Chem. Stud.*, c. 7, sayı 3, ss. 189–194, 2019.
 - [67] M. Shukla, K. Gupta, Z. Rasheed, K. A. Khan, ve T. M. Haqqi, "Consumption of hydrolyzable tannins-rich pomegranate extract suppresses inflammation and joint damage in rheumatoid arthritis",

- Nutrition*, c. 24, sayı 7–8, ss. 733–743, 2008, doi: 10.1016/j.nut.2008.03.013.
- [68] V. Leone, E. B. Chang, ve S. Devkota, “Diet, microbes, and host genetics: The perfect storm in inflammatory bowel diseases”, *J. Gastroenterol.*, c. 48, sayı 3, ss. 315–321, 2013, doi: 10.1007/s00535-013-0777-2.
- [69] Y. E. Borre, G. W. O’Keeffe, G. Clarke, C. Stanton, T. G. Dinan, ve J. F. Cryan, “Microbiota and neurodevelopmental windows: implications for brain disorders”, *Trends Mol. Med.*, c. 20, sayı 9, ss. 509–518, 2014, doi: 10.1016/j.molmed.2014.05.002.
- [70] T. C. Fung, C. A. Olson, ve E. Y. Hsiao, “Interactions between the microbiota, immune and nervous systems in health and disease”, *Nat. Neurosci.*, c. 20, sayı 2, ss. 145–155, 2017, doi: 10.1038/nn.4476.
- [71] M. Viladomiu, R. Hontecillas, P. Lu, ve J. Bassaganya-Riera, “Preventive and prophylactic mechanisms of action of pomegranate bioactive constituents”, *Evidence-based Complement. Altern. Med.*, c. 2013, ss. 1–18, 2013, doi: 10.1155/2013/789764.
- [72] J. Tan, C. McKenzie, M. Potamitis, A. N. Thorburn, C. R. Mackay, ve L. Macia, “The Role of Short-Chain Fatty Acids in Health and Disease”, *Adv. Immunol.*, c. 121, sayı 2014, ss. 91–119, 2014, doi: 10.1016/B978-0-12-800100-4.00003-9.
- [73] M. Marín, R. María Giner, J. L. Ríos, ve M. Carmen Recio, “Intestinal anti-inflammatory activity of ellagic acid in the acute and chronic dextrane sulfate sodium models of mice colitis”, *J. Ethnopharmacol.*, c. 150, sayı 3, ss. 925–934, 2013, doi: 10.1016/j.jep.2013.09.030.
- [74] M. Larrosa *vd.*, “Anti-inflammatory properties of a pomegranate extract and its metabolite urolithin-A in a colitis rat model and the effect of colon inflammation on phenolic metabolism”, *J. Nutr. Biochem.*, c. 21, sayı 8, ss. 717–725, 2010, doi: 10.1016/j.jnutbio.2009.04.012.
- [75] M. Abid *vd.*, “Antioxidant properties and phenolic profile characterization by LC–MS/MS of selected Tunisian pomegranate peels”, *J. Food Sci. Technol.*, c. 54, sayı 9, ss. 2890–2901, 2017, doi: 10.1007/s13197-017-2727-0.
- [76] K. B. Arun, P. Jayamurthy, C. V. Anusha, S. K. Mahesh, ve P. Nisha, “Studies on Activity Guided Fractionation of Pomegranate Peel Extracts and Its Effect on Antidiabetic and Cardiovascular Protection Properties”, *J. Food Process. Preserv.*, c. 41, sayı 1, ss. 1–12, 2017, doi: 10.1111/jfpp.13108.
- [77] P. Wang *vd.*, “The effects of pomegranate supplementation on biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction: A meta-analysis and systematic review”, *Complement. Ther. Med.*, c. 49, sayı 2020, ss. 1–8, 2020, doi: 10.1016/j.ctim.2020.102358.
- [78] X. Liu *vd.*, “Punicalagin attenuates endothelial dysfunction by activating FoxO1, a pivotal regulating switch of mitochondrial biogenesis”, *Free Radic. Biol. Med.*, c. 135, sayı 2019, ss. 251–260, 2019, doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2019.03.011.
- [79] A. Basu ve K. Penugonda, “Pomegranate juice: A heart-healthy fruit juice”, *Nutr. Rev.*, c. 67, sayı 1, ss. 49–56, 2009, doi: 10.1111/j.1753-4887.2008.00133.x.

- [80] F. de Nigris *vd.*, “The influence of pomegranate fruit extract in comparison to regular pomegranate juice and seed oil on nitric oxide and arterial function in obese Zucker rats”, *Nitric Oxide - Biol. Chem.*, c. 17, sayı 1, ss. 50–54, 2007, doi: 10.1016/j.niox.2007.04.005.
- [81] S. K. Middha, T. Usha, ve V. Pande, “Pomegranate peel attenuates hyperglycemic effects of alloxan-induced diabetic rats”, *EXCLI J.*, c. 13, sayı 2008, ss. 223–224, 2014, doi: 10.17877/DE290R-8632.
- [82] A. Sahebkar, C. Ferri, P. Giorgini, S. Bo, P. Nachtigal, ve D. Grassi, “Effects of pomegranate juice on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials”, *Pharmacol. Res.*, c. 115, ss. 149–161, 2017, doi: 10.1016/j.phrs.2016.11.018.
- [83] M. Dushkin *vd.*, “Effects of rhaponticum carthamoides versus glycyrrhiza glabra and punica granatum extracts on metabolic syndrome signs in rats”, *BMC Complement. Altern. Med.*, c. 14, sayı 33, ss. 1–9, 2014, doi: 10.1186/1472-6882-14-33.
- [84] M. Noori, B. Jafari, ve A. Hekmatdoost, “Pomegranate juice prevents development of Nonalcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD) in rats by attenuating Oxidative stress and inflammation”, *J Sci Food Agric*, c. 97, sayı 8, ss. 2327–2332, 2017.
- [85] A. Esmailzadeh, F. Tahbaz, I. Gaieni, H. Alavi-Majd, ve L. Azadbakht, “Concentrated pomegranate juice improves lipid profiles in diabetic patients with hyperlipidemia”, *J. Med. Food*, c. 7, sayı 3, ss. 305–308, 2004, doi: 10.1089/jmf.2004.7.305.
- [86] A. Kerimi, H. Nyambe-Silavwe, J. S. Gauer, F. A. Tomás-Barberán, ve G. Williamson, “Pomegranate juice, but not an extract, confers a lower glycemic response on a high-glycemic index food: Randomized, crossover, controlled trials in healthy subjects”, *Am. J. Clin. Nutr.*, c. 106, sayı 6, ss. 1384–1393, 2017, doi: 10.3945/ajcn.117.161968.
- [87] P. Ambigaipalan, A. C. de Camargo, ve F. Shahidi, “Identification of phenolic antioxidants and bioactives of pomegranate seeds following juice extraction using HPLC-DAD-ESI-MSn”, *Food Chem.*, c. 221, ss. 1883–1894, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.058.
- [88] M. Larrosa, F. A. Tomás-Barberán, ve J. C. Espín, “The dietary hydrolysable tannin punicalagin releases ellagic acid that induces apoptosis in human colon adenocarcinoma Caco-2 cells by using the mitochondrial pathway”, *J. Nutr. Biochem.*, c. 17, sayı 9, ss. 611–625, 2006, doi: 10.1016/j.jnutbio.2005.09.004.
- [89] V. M. Adhami, N. Khan, ve H. Mukhtar, “Cancer chemoprevention by pomegranate: laboratory and clinical evidence.”, *Nutr. Cancer*, c. 61, sayı 6, ss. 811–815, 2009, doi: 10.1080/01635580903285064.
- [90] E. P. Lansky ve R. A. Newman, “Punica granatum (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer”, *J. Ethnopharmacol.*, c. 109, sayı 2, ss. 177–206, 2007, doi: 10.1016/j.jep.2006.09.006.
- [91] R. Barati Boldaji, M. Akhlaghi, M. M. Sagheb, ve Z. Esmaeilinezhad, “Pomegranate juice improves cardiometabolic risk factors, biomarkers of oxidative stress and inflammation in hemodialysis patients: a randomized crossover trial”, *J. Sci. Food Agric.*, c. 100, sayı 2, ss. 846–854, 2020, doi:

- 10.1002/jsfa.10096.
- [92] G. Somaratne *vd.*, “Food material properties as determining factors in nutrient release during human gastric digestion: a review”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, c. 60, sayı 22, ss. 3753–3769, 2020, doi: 10.1080/10408398.2019.1707770.
 - [93] C. Li, W. Yu, P. Wu, ve X. D. Chen, “Current in vitro digestion systems for understanding food digestion in human upper gastrointestinal tract”, *Trends Food Sci. Technol.*, c. 96, sayı 2020, ss. 114–126, 2020, doi: 10.1016/j.tifs.2019.12.015.
 - [94] A. Guerra, L. Etienne-Mesmin, V. Livrelli, S. Denis, S. Blanquet-Diot, ve M. Alric, “Relevance and challenges in modeling human gastric and small intestinal digestion”, *Trends Biotechnol.*, c. 30, sayı 11, ss. 591–600, 2012, doi: 10.1016/j.tibtech.2012.08.001.
 - [95] F. J. Barba, J. M. A. Saraiva, G. Cravotto, ve J. M. Lorenzo, *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019.
 - [96] J. M. Carbonell-Capella, M. Buniowska, F. J. Barba, M. J. Esteve, ve A. Frígola, “Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review”, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, c. 13, sayı 2, ss. 155–171, 2014, doi: 10.1111/1541-4337.12049.
 - [97] M. Porrini ve P. Riso, “Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: A critical appraisal”, *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.*, c. 18, sayı 10, ss. 647–650, 2008, doi: 10.1016/j.numecd.2008.08.004.
 - [98] E. Fernández-García, I. Carvajal-Lérida, ve A. Pérez-Gálvez, “In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency”, *Nutr. Res.*, c. 29, sayı 11, ss. 751–760, 2009, doi: 10.1016/j.nutres.2009.09.016.
 - [99] U. Gawlik-Dziki, “Changes in the antioxidant activities of vegetables as a consequence of interactions between active compounds”, *J. Funct. Foods*, c. 4, sayı 4, ss. 872–882, 2012, doi: 10.1016/j.jff.2012.06.004.
 - [100] A. Gorusupudi ve P. S. Bernstein, “Macular Carotenoids: Human Health Aspects”, *Carotenoids Nutr. Ther. Spectrosc. Technol.*, sayı 3, ss. 59–74, 2016, doi: 10.1002/9781118622223.ch5.
 - [101] C. Cardoso, C. Afonso, H. Lourenço, S. Costa, ve M. L. Nunes, “Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk-benefit evaluation of food”, *Trends Food Sci. Technol.*, c. 41, sayı 1, ss. 5–23, 2015, doi: 10.1016/j.tifs.2014.08.008.
 - [102] J. I. Mosele, A. Macià, M. P. Romero, M. J. Motilva, ve L. Rubió, “Application of in vitro gastrointestinal digestion and colonic fermentation models to pomegranate products (juice, pulp and peel extract) to study the stability and catabolism of phenolic compounds”, *J. Funct. Foods*, c. 14, ss. 529–540, 2015, doi: 10.1016/j.jff.2015.02.026.
 - [103] S. Kamiloglu, D. Boyacioglu, ve E. Capanoglu, “The effect of food processing on bioavailability of tomato antioxidants”, *J. Berry Res.*, c. 3, sayı 2, ss. 65–77, 2013, doi: 10.3233/JBR-130051.
 - [104] J. Courraud, J. Berger, J. P. Cristol, ve S. Avallone, “Stability and

- bioaccessibility of different forms of carotenoids and vitamin A during in vitro digestion”, *Food Chem.*, c. 136, sayı 2, ss. 871–877, 2013, doi: 10.1016/j.foodchem.2012.08.076.
- [105] T. Bohn, “Dietary factors affecting polyphenol bioavailability”, *Nutr. Rev.*, c. 72, sayı 7, ss. 429–452, 2014, doi: 10.1111/nure.12114.
- [106] C. Manach, G. Williamson, C. Morand, A. Scalbert, ve C. Rémésy, “Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies.”, *Am. J. Clin. Nutr.*, c. 81, ss. 230–242, 2005, doi: 10.1093/ajcn/81.1.230s.
- [107] F. Cardona, C. Andrés-Lacueva, S. Tulipani, F. J. Tinahones, ve M. I. Queipo-Ortuño, “Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health”, *J. Nutr. Biochem.*, c. 24, sayı 8, ss. 1415–1422, 2013, doi: 10.1016/j.jnutbio.2013.05.001.
- [108] K. Wojtunik-Kulesza, A. Oniszczuk, T. Oniszczuk, M. Combrzyński, D. Nowakowska, ve A. Matwijczuk, “Influence of in vitro digestion on composition, bioaccessibility and antioxidant activity of food polyphenols—a non-systematic review”, *Nutrients*, c. 12, sayı 5, 2020, doi: 10.3390/nu12051401.
- [109] T. Tarko, A. Duda-Chodak, ve N. Zajac, “Digestion and absorption of phenolic compounds assessed by in vitro simulation methods. A review.”, *Rocz. Państwowego Zakładu Hig.*, c. 64, sayı 2, ss. 79–84, 2013.
- [110] E. M. Yahia, *Fruitand Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2. baskı, c. I–II. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2018.
- [111] A. Cilla, L. Bosch, R. Barberá, ve A. Alegría, “Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds – A review focusing on carotenoids, minerals, ascorbic acid, tocopherols and polyphenols”, *J. Food Compos. Anal.*, c. 68, ss. 3–15, 2018, doi: 10.1016/j.jfca.2017.01.009.
- [112] S. Van Buggenhout *vd.*, “In vitro approaches to estimate the effect of food processing on carotenoid bioavailability need thorough understanding of process induced microstructural changes”, *Trends Food Sci. Technol.*, c. 21, sayı 12, ss. 607–618, 2010, doi: 10.1016/j.tifs.2010.09.010.
- [113] R. P. Glahn, O. A. Lee, A. Yeung, M. I. Goldman, ve D. D. Miller, “Caco-2 cell ferritin formation predicts nonradiolabeled food iron availability in an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model”, *J. Nutr.*, c. 128, sayı 9, ss. 1555–1561, 1998, doi: 10.1093/jn/128.9.1555.
- [114] M. Minekus *vd.*, “A standardised static in vitro digestion method suitable for food—an international consensus”, *Food Funct.*, c. 5, sayı 6, ss. 1113–1124, 2014, doi: 10.1039/c3fo60702j.
- [115] D. J. McClements ve Y. Li, “Review of in vitro digestion models for rapid screening of emulsion-based systems”, *Food Funct.*, c. 1, sayı 1, ss. 32–59, 2010, doi: 10.1039/c0fo00111b.
- [116] K. Schulze, “Imaging and modelling of digestion in the stomach and the duodenum”, *Neurogastroenterol. Motil.*, c. 18, sayı 3, ss. 172–183, 2006, doi: 10.1111/j.1365-2982.2006.00759.x.
- [117] S. Blanquet-Diot, MahaSoufi, M. Rambeau, E. Rock, ve M. Alric, “Digestive stability of xanthophylls exceeds that of carotenes as studied in a dynamic in vitro gastrointestinal system”, *J. Nutr.*, c. 139, sayı 5, ss. 876–883, 2009, doi: 10.3945/jn.108.103655.

- [118] A. Brodkorb *vd.*, “INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion”, *Nat. Protoc.*, c. 14, sayı 4, ss. 991–1014, 2019, doi: 10.1038/s41596-018-0119-1.
- [119] M. Alminger *vd.*, “In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility”, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, c. 13, sayı 4, ss. 413–436, 2014, doi: 10.1111/1541-4337.12081.
- [120] L. Gayoso, A. S. Claerbout, M. I. Calvo, R. Y. Caverro, I. Astiasarán, ve D. Ansorena, “Bioaccessibility of rutin, caffeic acid and rosmarinic acid: Influence of the in vitro gastrointestinal digestion models”, *J. Funct. Foods*, c. 26, ss. 428–438, 2016, doi: 10.1016/j.jff.2016.08.003.
- [121] S. Possemiers, S. Bolca, W. Verstraete, ve A. Heyerick, “The intestinal microbiome: A separate organ inside the body with the metabolic potential to influence the bioactivity of botanicals”, *Fitoterapia*, c. 82, sayı 1, ss. 53–66, 2011, doi: 10.1016/j.fitote.2010.07.012.
- [122] S. A. Aherne, T. Daly, M. A. Jiwan, L. O’Sullivan, ve N. M. O’Brien, “Bioavailability of β -carotene isomers from raw and cooked carrots using an in vitro digestion model coupled with a human intestinal Caco-2 cell model”, *Food Res. Int.*, c. 43, sayı 5, ss. 1449–1454, 2010, doi: 10.1016/j.foodres.2010.04.026.
- [123] İ. Arancioğlu Özay, “Gıda Muhafaza Yöntemleri”, içinde *Gıda Mühendisliğine Giriş*, M. Doğan, Ed. İstanbul: Nobel Kitabevi, 2019.
- [124] B. Erbay ve E. Küçüköner, “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, içinde *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 2008, sayı 1, ss. 1045–1048.
- [125] P. P. Lewicki ve E. Jakubczyk, “Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples”, *J. Food Eng.*, c. 64, sayı 3, ss. 307–314, 2004, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2003.10.014.
- [126] J. Yongsawatdigul ve S. Gunasekaran, “Microwave-vacuum drying of cranberries: Part II. Quality evaluation”, *J. Food Process. Preserv.*, c. 20, sayı 2, ss. 145–156, 1996, doi: 10.1111/j.1745-4549.1996.tb00851.x.
- [127] M. S. Rahman, *Handbook of Food Preservation*, 2. baskı. New York: CRC Press, 2007.
- [128] G. V. Cánovas-Barbosa ve H. Vega-Mercado, *Dehydration of Foods*. London: International Thomson Publishing, 1996.
- [129] S. D. George, S. Cenkowski, ve W. E. Muir, “A review of drying technologies for the preservation of nutritional compounds in waxy skinned fruit”, içinde *North Central ASAE/CSAE Conference*, 2004, ss. 4–104, doi: 31511627.
- [130] G. S. V. Raghavan, T. J. Rennie, P. S. Sunjka, V. Orsat, W. Phaphuangwittayakul, ve P. Terdtoon, “Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects”, *Brazilian J. Chem. Eng.*, c. 22, sayı 2, ss. 195–201, 2005, doi: 10.1590/S0104-66322005000200005.
- [131] B. Nemzer, L. Vargas, X. Xia, M. Sintara, ve H. Feng, “Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods”, *Food Chem.*, c. 262, ss. 242–250, 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.04.047.
- [132] D. B. Singh ve K. Ambrose, “Effect of convective drying on quality of anardana”, *Indian J. Hort.*, c. 65, sayı 4, ss. 413–416, 2008.

- [133] J. P. George ve A. K. Datta, “Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices”, *J. Food Eng.*, c. 52, sayı 1, ss. 89–93, 2002, doi: 10.1016/S0260-8774(01)00091-7.
- [134] H. Sadikoglu, M. Ozdemir, ve M. Seker, “Freeze-drying of pharmaceutical products: Research and development needs”, *Dry. Technol.*, c. 24, sayı 7, ss. 849–861, 2006, doi: 10.1080/07373930600734018.
- [135] A. Menon, V. Stojceska, ve S. A. Tassou, “A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies”, *Trends Food Sci. Technol.*, c. 100, ss. 67–76, 2020, doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.014.
- [136] A. Arévalo-Pinedo ve F. E. X. Murr, “Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage”, *J. Food Eng.*, c. 76, sayı 4, ss. 562–567, 2006, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.06.003.
- [137] F. Hastürk Şahin, “Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması”, Namık Kemal, 2010.
- [138] M. Başlar, Ö. Said Toker, S. Karasu, Z. H. Tekin, ve H. Biranger Yildirim, “Ultrasonic Applications for Food Dehydration”, içinde *Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry*, 1. baskı, M. Ashokkumar, Ed. Singapore: Springer Singapore, 2016, ss. 1–20.
- [139] A. M. Goula, M. Kokolaki, ve E. Daftsiou, “Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes”, *Food Bioprod. Process.*, c. 105, ss. 157–170, 2017, doi: 10.1016/j.fbp.2017.07.008.
- [140] F. Yüksel, “Gıda Teknolojisinde Ultrases Uygulamaları”, *Gıda Teknol. Elektron. Derg.*, c. 8, sayı 2, ss. 29–38, 2013.
- [141] A. Mulet, J. A. Cárcel, J. Vicente García-Pérez, ve E. Riera, “Ultrasound-Assisted Hot Air Drying of Foods”, içinde *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, 1. baskı, F. Hao, G. V. Barbosa-Cánovas, ve J. Weiss, Ed. New York: Springer, 2011, ss. 511–534.
- [142] M. Li, B. Ye, Z. Guan, Y. Ge, J. Li, ve C. M. Ling, “Impact of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pre-treatment on the quality of heat pump dried tilapia fillets”, *Energy Procedia*, c. 123, ss. 243–255, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.257.
- [143] T. J. Mason ve J. P. Lorimer, *Applied Sonochemistry*. Weinheim: Wiley – VCH Verlag GmbH, 2002.
- [144] J. Gamboa-Santos, A. Montilla, J. A. Cárcel, M. Villamiel, ve J. V. Garcia-Perez, “Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry”, *J. Food Eng.*, c. 128, ss. 132–139, 2014, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.12.021.
- [145] S. M. Beck, H. Sabarez, V. Gaukel, ve K. Knoerzer, “Enhancement of convective drying by application of airborne ultrasound - A response surface approach”, *Ultrason. Sonochem.*, c. 21, sayı 6, ss. 2144–2150, 2014, doi: 10.1016/j.ultsonch.2014.02.013.
- [146] F. A. N. Fernandes, M. I. Gallão, ve S. Rodrigues, “Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration”, *J. Food Eng.*, c. 90, sayı 2, ss. 186–190, 2009, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.021.
- [147] J. Garcia-Noguera, F. I. P. Oliveira, M. I. Gallão, C. L. Weller, S. Rodrigues, ve F. A. N. Fernandes, “Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of

- Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency”, *Dry. Technol.*, c. 28, sayı 2, ss. 294–303, 2010, doi: 10.1080/07373930903530402.
- [148] M. Nowacka, U. Tylewicz, L. Laghi, M. Dalla Rosa, ve D. Witrowa-Rajchert, “Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration”, *Food Chem.*, c. 144, ss. 18–25, 2014, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.05.129.
- [149] M. Başlar, M. Kiliçli, ve B. Yalinkiliç, “Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique”, *Ultrason. Sonochem.*, c. 27, ss. 495–502, 2015, doi: 10.1016/j.ultsonch.2015.06.018.
- [150] J. V. Santacatalina, J. A. Cárcel, S. Simal, J. V. Garcia-Perez, ve A. Mulet, “Atmospheric freeze drying assisted by power ultrasound”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, c. 42, sayı 1, 2012, doi: 10.1088/1757-899X/42/1/012021.
- [151] K. Schössler, H. Jäger, ve D. Knorr, “Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bell pepper”, *J. Food Eng.*, c. 108, sayı 1, ss. 103–110, 2012, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.07.018.
- [152] S. R. Patel ve Z. V. P. Murthy, “Ultrasound assisted crystallization for the recovery of lactose in an anti-solvent acetone”, *Cryst. Res. Technol.*, c. 44, sayı 8, ss. 889–896, 2009, doi: 10.1002/crat.200900227.
- [153] K. R. Krishnan, K. Rayaguru, ve P. K. Nayak, “Ultra-sonicated vacuum drying’s effect on antioxidant activity, TPC, TFC and color of elephant apple slices: Drying of elephant apple”, *Food Biosci.*, c. 36, sayı September 2017, s. 100629, 2020, doi: 10.1016/j.fbio.2020.100629.
- [154] Z. Güler ve E. Gül, “Volatile organic compounds in the aril juices and seeds from selected five pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars”, *Int. J. Food Prop.*, c. 20, sayı 2, ss. 281–293, 2017, doi: 10.1080/10942912.2016.1155057.
- [155] M. Başlar, S. Karasu, M. Kiliçli, A. A. Us, ve O. Saldıç, “Degradation kinetics of bioactive compounds and antioxidant activity of pomegranate arils during the drying process”, *Int. J. Food Eng.*, c. 10, sayı 4, ss. 839–848, 2014, doi: 10.1515/ijfe-2014-0080.
- [156] Q. H. Gao, C. Sen Wu, M. Wang, B. N. Xu, ve L. J. Du, “Effect of drying of jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α -tocopherol, β -carotene, and phenolic compounds”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 60, sayı 38, ss. 9642–9648, 2012, doi: 10.1021/jf3026524.
- [157] AOAC, *Official methods of analysis (17th. ed.)*, 17. baskı. Arlington, VA, USA, 2000.
- [158] Z. H. Tekin ve M. Baslar, “The effect of ultrasound-assisted vacuum drying on the drying rate and quality of red peppers”, *J. Therm. Anal. Calorim.*, c. 132, sayı 2, ss. 1131–1143, 2018, doi: 10.1007/s10973-018-6991-7.
- [159] A. Aksoy, S. Karasu, A. Akcicek, ve S. Kayacan, “Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat”, *Foods*, c. 8, sayı 6, 2019, doi: 10.3390/foods8060216.
- [160] V. L. Singleton ve J. A. Rossi, “Colorimetry of Total Phenolics with

- Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents”, *Am. J. Enol. Vitic.*, c. 16, sayı 3, ss. 144–158, 1965.
- [161] J. Zhishen, T. Mengcheng, ve W. Jianming, “The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals”, *Food Chemistry*, c. 64, sayı 4, ss. 555–559, 1999, doi: 10.1016/S0308-8146(98)00102-2.
- [162] M. Mónica Giusti ve R. E. Wrolstad, “Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-visible Spectroscopy”, *Handb. Food Anal. Chem.*, c. 2–2, ss. 19–31, 2005, doi: 10.1002/0471709085.ch18.
- [163] R. P. Singh, K. N. Chidambara Murthy, ve G. K. Jayaprakasha, “Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 50, sayı 1, ss. 81–86, 2002, doi: 10.1021/jf010865b.
- [164] M. B. Arnao, A. Cano, J. F. Alcolea, ve M. Acosta, “Estimation of free radical-quenching activity of leaf pigment extracts”, *Phytochem. Anal.*, c. 12, sayı 2, ss. 138–143, 2001, doi: 10.1002/pca.571.
- [165] R. Apak, K. Güçlü, M. Özyürek, ve S. E. Karademir, “Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 52, sayı 26, ss. 7970–7981, 2004, doi: 10.1021/jf048741x.
- [166] A. M. Dantas, I. M. Mafaldo, P. M. de L. Oliveira, M. dos S. Lima, M. Magnani, ve G. da S. C. Borges, “Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier”, *Food Chem.*, c. 274, ss. 202–214, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.08.099.
- [167] M. Gölükcü, “The Effects of Drying Methods, Packaging Atmosphere and Storage Time on Dried Pomegranate Aril Quality”, *J. Agric. Sci.*, c. 21, sayı 2015, ss. 207–219, 2015.
- [168] A. R. P. Kingsly ve D. B. Singh, “Drying kinetics of pomegranate arils”, *J. Food Eng.*, c. 79, sayı 2, ss. 741–744, 2007, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.02.033.
- [169] A. O. Adetoro, A. A. Tsige, U. L. Opara, ve O. A. Fawole, “Mathematical Modelling of Blanch-Assisted Drying of Pomegranate (*Punica granatum*) Arils in a Hot-Air Drier”, *Processes*, c. 8, sayı 5, ss. 611–630, 2020, doi: 10.3390/pr8050611.
- [170] A. López-Ortiz, L. L. Méndez-Lagunas, C. Delesma, A. Longoria, J. Escobar, ve J. Muñiz, “Understanding the drying kinetics of phenolic compounds in strawberries: An experimental and density functional theory study”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, c. 60, sayı June 2019, s. 102283, 2020, doi: 10.1016/j.ifset.2019.102283.
- [171] M. Maskan, “Production of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate by various heating methods: Colour degradation and kinetics”, *J. Food Eng.*, c. 72, sayı 3, ss. 218–224, 2006, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.11.012.
- [172] Z. Allahdad, M. Nasiri, M. Varidi, ve M. J. Varidi, “Effect of sonication on osmotic dehydration and subsequent air-drying of pomegranate arils”, *J. Food Eng.*, c. 244, ss. 202–211, 2019, doi:

- 10.1016/j.jfoodeng.2018.09.017.
- [173] A. Motevali, S. Minaei, M. H. Khoshtagaza, M. Kazemi, ve A. Mohamad Nikbakht, "Drying of pomegranate arils: Comparison of predictions from mathematical models and neural networks", *Int. J. Food Eng.*, c. 6, sayı 3, 2010, doi: 10.2202/1556-3758.1889.
 - [174] S. P. Kek, N. L. Chin, ve Y. A. Yusof, "Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices", *Food Bioprod. Process.*, c. 91, sayı 4, ss. 495–506, 2013, doi: 10.1016/j.fbp.2013.05.003.
 - [175] A. Motevali, S. Minaei, ve M. H. Khoshtagaza, "Evaluation of energy consumption in different drying methods", *Energy Convers. Manag.*, c. 52, sayı 2, ss. 1192–1199, 2011, doi: 10.1016/j.enconman.2010.09.014.
 - [176] S. Liu, W. Zhu, X. Bai, T. You, ve J. Yan, "Effect of ultrasonic energy density on moisture transfer during ultrasound enhanced vacuum drying of honey", *J. Food Meas. Charact.*, c. 13, sayı 1, ss. 559–570, 2019, doi: 10.1007/s11694-018-9969-z.
 - [177] I. Doymaz ve P. Altiner, "Effect of pretreatment solution on drying and color characteristics of seedless grapes", *Food Sci. Biotechnol.*, c. 21, sayı 1, ss. 43–49, 2012, doi: 10.1007/s10068-012-0006-4.
 - [178] A. Maskan, S. Kaya, ve M. Maskan, "Hot air and sun drying of grape leather (pestil)", *J. Food Eng.*, c. 54, sayı 1, ss. 81–88, 2002, doi: 10.1016/S0260-8774(01)00188-1.
 - [179] U. A. Fischer, R. Carle, ve D. R. Kammerer, "Thermal stability of anthocyanins and colourless phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) juices and model solutions", *Food Chem.*, c. 138, sayı 2–3, ss. 1800–1809, 2013, doi: 10.1016/j.foodchem.2012.10.072.
 - [180] R. P. F. Guiné ve M. J. Barroca, "Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper)", *Food Bioprod. Process.*, c. 90, sayı 1, ss. 58–63, 2012, doi: 10.1016/j.fbp.2011.01.003.
 - [181] C. Perez-Locas ve V. A. Yaylayan, *The Maillard reaction and food quality deterioration*. Woodhead Publishing Limited, 2010.
 - [182] D. Chen vd., "Effects of different drying methods on appearance, microstructure, bioactive compounds and aroma compounds of saffron (*Crocus sativus* L.)", *Lwt*, c. 120, sayı May 2019, s. 108913, 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108913.
 - [183] T. Orikasa vd., "Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices", *J. Food Eng.*, c. 125, sayı 1, ss. 51–58, 2014, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.10.027.
 - [184] Z. Cserhalmi, Á. Sass-Kiss, M. Tóth-Markus, ve N. Lechner, "Study of pulsed electric field treated citrus juices", *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, c. 7, sayı 1–2, ss. 49–54, 2006, doi: 10.1016/j.ifset.2005.07.001.
 - [185] E. Souza da Silva, S. C. Rupert Brandão, A. Lopes da Silva, J. H. Fernandes da Silva, A. C. Duarte Coêlho, ve P. M. Azoubel, "Ultrasound-assisted vacuum drying of nectarine", *J. Food Eng.*, c. 246, ss. 119–124, 2019, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.11.013.
 - [186] M. Mahiuddin, M. I. H. Khan, C. Kumar, M. M. Rahman, ve M. A. Karim, "Shrinkage of Food Materials During Drying: Current Status and Challenges", *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, c. 17, sayı 5, ss. 1113–1126,

- 2018, doi: 10.1111/1541-4337.12375.
- [187] L. Yao, L. Fan, ve Z. Duan, “Effect of different pretreatments followed by hot-air and far-infrared drying on the bioactive compounds, physicochemical property and microstructure of mango slices”, *Food Chem.*, c. 305, s. 125477, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125477.
- [188] M. I. H. Khan, R. M. Wellard, S. A. Nagy, M. U. H. Joardder, ve M. A. Karim, “Investigation of bound and free water in plant-based food material using NMR T2 relaxometry”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, c. 38, ss. 252–261, 2016, doi: 10.1016/j.ifset.2016.10.015.
- [189] H. Nahimana ve M. Zhang, “Shrinkage and color change during microwave vacuum drying of carrot”, *Dry. Technol.*, c. 29, sayı 7, ss. 836–847, 2011, doi: 10.1080/07373937.2011.573753.
- [190] Á. Calín-Sánchez, A. Kharaghani, K. Lech, A. Figiel, Á. A. Carbonell-Barrachina, ve E. Tsotsas, “Drying Kinetics and Microstructural and Sensory Properties of Black Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) as Affected by Drying Method”, *Food Bioprocess Technol.*, c. 8, sayı 1, ss. 63–74, 2015, doi: 10.1007/s11947-014-1383-x.
- [191] J. V. Garcia-Perez, C. Ortuño, A. Puig, J. A. Carcel, ve I. Perez-Munuera, “Enhancement of Water Transport and Microstructural Changes Induced by High-Intensity Ultrasound Application on Orange Peel Drying”, *Food Bioprocess Technol.*, c. 5, sayı 6, ss. 2256–2265, 2012, doi: 10.1007/s11947-011-0645-0.
- [192] Y. Xu *vd.*, “A comparative evaluation of nutritional properties, antioxidant capacity and physical characteristics of cabbage (*Brassica oleracea* var. Capitata var L.) subjected to different drying methods”, *Food Chem.*, c. 309, 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.06.002.
- [193] Y. Feng *vd.*, “Vacuum pretreatment coupled to ultrasound assisted osmotic dehydration as a novel method for garlic slices dehydration”, *Ultrason. Sonochem.*, c. 50, sayı August 2018, ss. 363–372, 2019, doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.09.038.
- [194] S. Tüfekçi ve S. G. Özal, “Enhancement of drying and rehydration characteristics of okra by ultrasound pre-treatment application”, *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, c. 53, sayı 7, ss. 2279–2286, 2017, doi: 10.1007/s00231-017-1983-x.
- [195] F. A. N. Fernandes, M. I. Gallão, ve S. Rodrigues, “Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration”, *LWT - Food Sci. Technol.*, c. 41, sayı 4, ss. 604–610, 2008, doi: 10.1016/j.lwt.2007.05.007.
- [196] H. I. Ling, J. Birch, ve M. Lim, “The glass transition approach to determination of drying protocols for colour stability in dehydrated pear slices”, *Int. J. Food Sci. Technol.*, c. 40, sayı 9, ss. 921–927, 2005, doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.00996.x.
- [197] Y. Deng ve Y. Zhao, “Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji)”, *LWT - Food Sci. Technol.*, c. 41, sayı 9, ss. 1575–1585, 2008, doi: 10.1016/j.lwt.2007.10.018.
- [198] M. S. Rahman, “Toward prediction of porosity in foods during drying: A

- brief review”, *Dry. Technol.*, c. 19, sayı 1, ss. 1–13, 2001, doi: 10.1081/DRT-100001349.
- [199] P. P. Lewicki ve G. Pawlak, “Effect of Drying on Microstructure of Plant Tissue”, *Dry. Technol.*, c. 21, sayı 4, ss. 657–683, 2003, doi: 10.1081/drt-120019057.
- [200] N. C. Acevedo, V. Briones, P. Buera, ve J. M. Aguilera, “Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs”, *J. Food Eng.*, c. 85, sayı 2, ss. 222–231, 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.06.037.
- [201] D. Witrowa-Rajchert ve M. Rzaca, “Effect of drying method on the microstructure and physical properties of dried apples”, *Dry. Technol.*, c. 27, sayı 7, ss. 903–909, 2009, doi: 10.1080/07373930903017376.
- [202] S. I. Ali, F. K. El-Baz, G. A. E. El-Emary, E. A. Khan, ve A. A. Mohamed, “HPLC-analysis of polyphenolic compounds and free radical scavenging activity of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.)”, *Int. J. Pharm. Clin. Res.*, c. 6, sayı 4, ss. 348–355, 2014.
- [203] M. Karaaslan, H. Vardin, S. Varlikliöz, ve F. M. Yilmaz, “Antiproliferative and antioxidant activities of Turkish pomegranate (*Punica granatum* L.) accessions”, *Int. J. Food Sci. Technol.*, c. 49, sayı 1, ss. 82–90, 2014, doi: 10.1111/ijfs.12278.
- [204] O. Caliskan ve S. Bayazit, “Phytochemical and antioxidant attributes of autochthonous Turkish pomegranates”, *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, c. 147, ss. 81–88, 2012, doi: 10.1016/j.scienta.2012.08.032.
- [205] A. Tehranifar, M. Zarei, Z. Nemati, B. Esfandiyari, ve M. R. Vazifeshenas, “Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars”, *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, c. 126, sayı 2, ss. 180–185, 2010, doi: 10.1016/j.scienta.2010.07.001.
- [206] D. S. Sogi, M. Siddiq, I. Greiby, ve K. D. Dolan, “Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of ‘Tommy Atkins’ mango peel and kernel as affected by drying methods”, *Food Chem.*, c. 141, sayı 3, ss. 2649–2655, 2013, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.05.053.
- [207] B. Bchir, S. Besbes, R. Karoui, H. Attia, M. Paquot, ve C. Blecker, “Effect of Air-Drying Conditions on Physico-chemical Properties of Osmotically Pre-treated Pomegranate Seeds”, *Food Bioprocess Technol.*, c. 5, sayı 5, ss. 1840–1852, 2012, doi: 10.1007/s11947-010-0469-3.
- [208] J. Samoticha, A. Wojdyło, ve K. Lech, “The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries”, *LWT - Food Sci. Technol.*, c. 66, ss. 484–489, 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2015.10.073.
- [209] L. Verbeyst, I. Oey, I. Van der Plancken, M. Hendrickx, ve A. Van Loey, “Kinetic study on the thermal and pressure degradation of anthocyanins in strawberries”, *Food Chem.*, c. 123, sayı 2, ss. 269–274, 2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.04.027.
- [210] J. Kroehnke, J. Szadzińska, M. Stasiak, E. Radziejewska-Kubzdela, R. Biegańska-Marecik, ve G. Musielak, “Ultrasound- and microwave-assisted convective drying of carrots – Process kinetics and product’s quality analysis”, *Ultrason. Sonochem.*, c. 48, ss. 249–258, 2018, doi:

10.1016/j.ultsonch.2018.05.040.

- [211] A. Thakur, N. S. Thakur, Hamid, M. Chauhan, ve C. Sharma, "Comparison of quality of anardana (Dried arils) prepared in mechanical cabinet and solar tunnel drier from wild pomegranate (punica granatum L.) fruits procured from different locations of Himachal Pradesh, India", *J. Appl. Nat. Sci.*, c. 12, sayı 2, ss. 71–78, 2020, doi: 10.31018/jans.v12i2.2247.
- [212] A. M. Hasan, A. A. A. Redha, ve Q. Mandeel, "Phytochemical Determinations of Pomegranate (Punica granatum) Rind and Aril Extracts and their Antioxidant, Antidiabetic and Antibacterial Activity", *Nat. Prod. Chem. Res.*, c. 06, sayı 04, 2018, doi: 10.4172/2329-6836.1000332.
- [213] N. Hasnaoui vd., "Organic acids, sugars, and anthocyanins contents in juices of Tunisian pomegranate fruits", *Int. J. Food Prop.*, c. 14, sayı 4, ss. 741–757, 2011, doi: 10.1080/10942910903383438.
- [214] M. Ozden, "Comparison of Different Coloured Fruits In Terms of Total Anthocyanins Total Phenolics and Total Antioxidant Capacity Farklı Renkteki Meyvelerin Toplam Antosiyanin , Toplam Fenolik Kapsamlarıyla Top lam Antioksidan Kapasitelerinin Karşılaştırılması Compar", *Electron. J. Food Technol.*, c. 9, sayı 2, ss. 1–12, 2014.
- [215] H. Borochoy-Neori vd., "Seasonal and cultivar variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate (Punica granatum L.) fruit", *J. Food Compos. Anal.*, c. 22, sayı 3, ss. 189–195, 2009, doi: 10.1016/j.jfca.2008.10.011.
- [216] Anonim, "İklim verileri", *Climate data*. <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/mersin/silifke-18655/>.
- [217] A. O. Adetoro, U. L. Opara, ve O. A. Fawole, "Effect of hot-air and freeze-drying on the quality attributes of dried pomegranate (Punica granatum L.) arils during long-term cold storage of whole fruit", *Agric.*, c. 10, sayı 11, ss. 1–16, 2020, doi: 10.3390/agriculture10110493.
- [218] D. Singh, M. Chaudhary, M. L. Meena, L. Wangchu, ve H. Dayal, "Drying of pomegranate seeds (Anardana) under different conditions", *Acta Hortic.*, c. 890, ss. 433–440, 2011, doi: 10.17660/actahortic.2011.890.59.
- [219] F. M. Yilmaz, S. Yüksekaya, H. Vardin, ve M. Karaaslan, "The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil)", *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, c. 16, sayı 1, ss. 33–40, 2017, doi: 10.1016/j.jssas.2015.01.003.
- [220] R. Wu, B. Frei, J. A. Kennedy, ve Y. Zhao, "Effects of refrigerated storage and processing technologies on the bioactive compounds and antioxidant capacities of 'Marion' and 'Evergreen' blackberries", *LWT - Food Sci. Technol.*, c. 43, sayı 8, ss. 1253–1264, 2010, doi: 10.1016/j.lwt.2010.04.002.
- [221] E. I. Mejia-Meza vd., "Improving nutritional value of dried blueberries (Vaccinium corymbosum L.) combining microwave-vacuum, hot-air drying and freeze drying technologies", *Int. J. Food Eng.*, c. 4, sayı 5, 2008, doi: 10.2202/1556-3758.1364.
- [222] U. Tiwari ve E. Cummins, "Factors influencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre- and post-harvest food processing operations", *Food Res. Int.*, c. 50, sayı 2, ss. 497–506, 2013, doi: 10.1016/j.foodres.2011.09.007.

- [223] V. Jaiswal, A. DerMarderosian, ve J. R. Porter, “Anthocyanins and polyphenol oxidase from dried arils of pomegranate (*Punica granatum* L.)”, *Food Chem.*, c. 118, sayı 1, ss. 11–16, 2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.095.
- [224] G. Mousavinejad, Z. Emam-Djomeh, K. Rezaei, ve M. H. H. Khodaparast, “Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars”, *Food Chem.*, c. 115, sayı 4, ss. 1274–1278, 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.044.
- [225] A. T. Öz, E. Kafkas, M. Zarifikhosroshahi, ve T. Şahin, “‘Hicaznar’ Çeşidinde Farklı Uygulamaların Soğukta Depolama Süresince Fitokimyasal ve Uçucu Aroma Bileşimine Etkileri”, *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 3, sayı 5, ss. 235–241, 2015.
- [226] C. Kaur *vd.*, “Characterization of antioxidants and hypoglycemic potential of pomegranate grown in India: A preliminary investigation”, *J. Food Biochem.*, c. 38, sayı 4, ss. 397–406, 2014, doi: 10.1111/jfbc.12066.
- [227] S. Kamiloglu, G. Toydemir, D. Boyacioglu, J. Beekwilder, R. D. Hall, ve E. Capanoglu, “A Review on the Effect of Drying on Antioxidant Potential of Fruits and Vegetables”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, c. 56, sayı July, ss. S110–S129, 2016, doi: 10.1080/10408398.2015.1045969.
- [228] R. Wang, S. Ding, D. Zhao, Z. Wang, J. Wu, ve X. Hu, “Effect of dehydration methods on antioxidant activities, phenolic contents, cyclic nucleotides, and volatiles of jujube fruits”, *Food Sci. Biotechnol.*, c. 25, sayı 1, ss. 137–143, 2016, doi: 10.1007/s10068-016-0021-y.
- [229] S. S. Sablani, P. K. Andrews, N. M. Davies, T. Walters, H. Saez, ve L. Bastarrachea, “Effects of Air and Freeze Drying on Phytochemical Content of Conventional and Organic Berries”, *Dry. Technol.*, c. 29, sayı 2, ss. 205–216, 2011, doi: 10.1080/07373937.2010.483047.
- [230] C. D. Nora *vd.*, “Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (*Psidium cattleianum* Sabine) and guabiju (*Myrcianthes pungens*)”, *J. Food Compos. Anal.*, c. 34, sayı 1, ss. 18–25, 2014, doi: 10.1016/j.jfca.2014.01.006.
- [231] N. M. Shofian *vd.*, “Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits”, *Int. J. Mol. Sci.*, c. 12, sayı 7, ss. 4678–4692, 2011, doi: 10.3390/ijms12074678.
- [232] J. Yang, J. F. Chen, Y. Y. Zhao, ve L. C. Mao, “Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes”, *Agric. Sci. China*, c. 9, sayı 10, ss. 1522–1529, 2010, doi: 10.1016/S1671-2927(09)60246-7.
- [233] Hamid, N. S. Thakur, A. Thakur, ve P. Kumar, “Effect of different drying modes on phenolics and antioxidant potential of different parts of wild pomegranate fruits”, *Sci. Hort. (Amsterdam)*, c. 274, sayı March, s. 109656, 2020, doi: 10.1016/j.scienta.2020.109656.
- [234] M. Polumackanycz, T. Sledzinski, E. Goyke, M. Wesolowski, ve A. Viapiana, “A comparative study on the phenolic composition and biological activities of *morus alba* L. Commercial samples”, *Molecules*, c. 24, sayı 17, ss. 1–19, 2019, doi: 10.3390/molecules24173082.
- [235] M. A. Prieto, T. P. Curran, A. Gowen, ve J. A. Vázquez, “An efficient methodology for quantification of synergy and antagonism in single

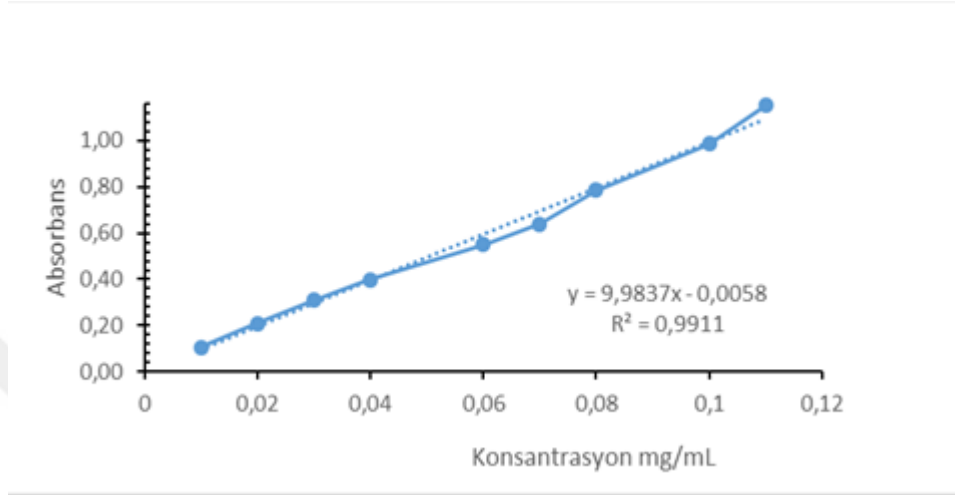
- electron transfer antioxidant assays”, *Food Res. Int.*, c. 67, ss. 284–298, 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2014.11.030.
- [236] K. M. M. John, A. A. Bhagwat, ve D. L. Luthria, “Swarm motility inhibitory and antioxidant activities of pomegranate peel processed under three drying conditions”, *Food Chem.*, c. 235, ss. 145–153, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.143.
- [237] I. Quispe-Fuentes, A. Vega-Gálvez, ve M. Aranda, “Evaluation of phenolic profiles and antioxidant capacity of maqui (*Aristotelia chilensis*) berries and their relationships to drying methods”, *J. Sci. Food Agric.*, c. 98, sayı 11, ss. 4168–4176, 2018, doi: 10.1002/jsfa.8938.
- [238] S. K. Chang, C. Alasalvar, ve F. Shahidi, “Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits”, *J. Funct. Foods*, c. 21, ss. 113–132, 2016, doi: 10.1016/j.jff.2015.11.034.
- [239] T. M. Ucar ve A. Karadag, “The effects of vacuum and freeze-drying on the physicochemical properties and in vitro digestibility of phenolics in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*)”, *J. Food Meas. Charact.*, c. 13, sayı 3, ss. 2298–2309, 2019, doi: 10.1007/s11694-019-00149-w.
- [240] R. Lucas-Gonzalez, S. Navarro-Coves, J. A. Pérez-Álvarez, J. Fernández-López, L. A. Muñoz, ve M. Viuda-Martos, “Assessment of polyphenolic profile stability and changes in the antioxidant potential of maqui berry (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) during in vitro gastrointestinal digestion”, *Ind. Crops Prod.*, c. 94, ss. 774–782, 2016, doi: 10.1016/j.indcrop.2016.09.057.
- [241] H. Sengul, E. Surek, ve D. Nilufer-Erdil, “Investigating the effects of food matrix and food components on bioaccessibility of pomegranate (*Punica granatum*) phenolics and anthocyanins using an in-vitro gastrointestinal digestion model”, *Food Res. Int.*, c. 62, ss. 1069–1079, 2014, doi: 10.1016/j.foodres.2014.05.055.
- [242] A. Pérez-Vicente, A. Gil-Izquierdo, ve C. García-Viguera, “In vitro gastrointestinal digestion study of pomegranate juice phenolic compounds, anthocyanins, and vitamin C”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 50, sayı 8, ss. 2308–2312, 2002, doi: 10.1021/jf0113833.
- [243] S. Ketnawa, F. C. Reginio, T. Sukanya, ve Y. Ogawa, “Changes in bioactive compounds and antioxidant activity of plant-based foods by gastrointestinal digestion: a review”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, c. 0, sayı 0, ss. 1–22, 2021, doi: 10.1080/10408398.2021.1878100.
- [244] G. L. Chen *vd.*, “Antioxidant capacities and total polyphenol content of nine commercially available tea juices measured by an in vitro digestion model”, *Eur. Food Res. Technol.*, c. 236, sayı 2, ss. 303–310, 2013, doi: 10.1007/s00217-012-1897-2.
- [245] C. J. Chiang, H. Kadouh, ve K. Zhou, “Phenolic compounds and antioxidant properties of gooseberry as affected by in vitro digestion”, *LWT - Food Sci. Technol.*, c. 51, sayı 2, ss. 417–422, 2013, doi: 10.1016/j.lwt.2012.11.014.
- [246] D. Tagliazucchi, E. Verzelloni, D. Bertolini, ve A. Conte, “In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols”, *Food Chem.*, c. 120, sayı 2, ss. 599–606, 2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.030.
- [247] Y. Liu *vd.*, “Stability and absorption of anthocyanins from blueberries

- subjected to a simulated digestion process”, *Int. J. Food Sci. Nutr.*, c. 65, sayı 4, ss. 440–448, 2014, doi: 10.3109/09637486.2013.869798.
- [248] F. Giusti, E. Capuano, G. Sagratini, ve N. Pellegrini, “A comprehensive investigation of the behaviour of phenolic compounds in legumes during domestic cooking and in vitro digestion”, *Food Chem.*, c. 285, ss. 458–467, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.148.
- [249] M. E. Dalmau, G. M. Bornhorst, V. Eim, C. Rosselló, ve S. Simal, “Effects of freezing, freeze drying and convective drying on in vitro gastric digestion of apples”, *Food Chem.*, c. 215, ss. 7–16, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.134.
- [250] F. Vallejo, A. Gil-Izquierdo, A. Pérez-Vicente, ve C. García-Viguera, “In Vitro Gastrointestinal Digestion Study of Broccoli Inflorescence Phenolic Compounds, Glucosinolates, and Vitamin C”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 52, sayı 1, ss. 135–138, 2004, doi: 10.1021/jf040108o.
- [251] I. Desseva ve D. Mihaylova, “Influence of in vitro gastrointestinal digestion on phytochemicals in pomegranate juice”, *Food Sci. Technol.*, c. 40, sayı June, ss. 211–216, 2020, doi: 10.1590/fst.07219.
- [252] T. Walle, A. M. Browning, L. L. Steed, S. G. Reed, ve U. K. Walle, “Flavonoid glucosides are hydrolyzed and thus activated in the oral cavity in humans”, *J. Nutr.*, c. 135, sayı 1, ss. 48–52, 2005, doi: 10.1093/jn/135.1.48.
- [253] J. Xiao, “Dietary flavonoid aglycones and their glycosides: Which show better biological significance?”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, c. 57, sayı 9, ss. 1874–1905, 2017, doi: 10.1080/10408398.2015.1032400.
- [254] L. David, V. Danciu, B. Moldovan, ve A. Filip, “Effects of in vitro gastrointestinal digestion on the antioxidant capacity and anthocyanin content of cornelian cherry fruit extract”, *Antioxidants*, c. 8, sayı 5, ss. 1–9, 2019, doi: 10.3390/antiox8050114.
- [255] C. Felgines *vd.*, “Strawberry anthocyanins are recovered in urine as glucuro- and sulfoconjugates in humans”, *J. Nutr.*, c. 133, sayı 5, ss. 1296–1301, 2003, doi: 10.1093/jn/133.5.1296.
- [256] G. J. McDougall, P. Dobson, P. Smith, A. Blake, ve D. Stewart, “Assessing potential bioavailability of raspberry anthocyanins using an in vitro digestion system”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 53, sayı 15, ss. 5896–5904, 2005, doi: 10.1021/jf050131p.
- [257] P. E. Milbury, G. Cao, R. L. Prior, ve J. Blumberg, “Bioavailability of elderberry anthocyanins”, *Mech. Ageing Dev.*, c. 123, sayı 8, ss. 997–1006, 2002, doi: 10.1016/S0047-6374(01)00383-9.
- [258] N. Stanisavljević *vd.*, “Antioxidant and antiproliferative activity of chokeberry juice phenolics during in vitro simulated digestion in the presence of food matrix”, *Food Chem.*, c. 175, ss. 516–522, 2015, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.009.
- [259] F. Marques Peixoto *vd.*, “Simulation of in vitro digestion coupled to gastric and intestinal transport models to estimate absorption of anthocyanins from peel powder of jabuticaba, jamelão and jambo fruits”, *J. Funct. Foods*, c. 24, ss. 373–381, 2016, doi: 10.1016/j.jff.2016.04.021.
- [260] S. Thuengtung, C. Niwat, M. Tamura, ve Y. Ogawa, “In vitro examination of starch digestibility and changes in antioxidant activities of selected

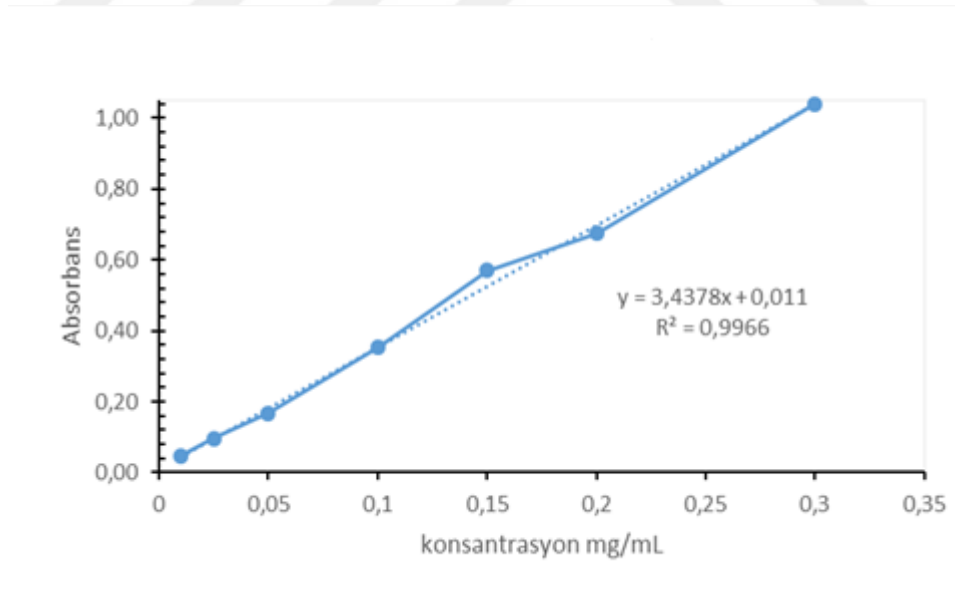
- cooked pigmented rice”, *Food Biosci.*, c. 23, ss. 129–136, 2018, doi: 10.1016/j.fbio.2017.12.014.
- [261] S. Kamiloglu *vd.*, “Bioaccessibility of Polyphenols from Plant-Processing Byproducts of Black Carrot (*Daucus carota* L.)”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 64, sayı 12, ss. 2450–2458, 2016, doi: 10.1021/acs.jafc.5b02640.
- [262] B. Dobroslawa, S. G. Kasimsetty, S. I. Khan, ve F. Daneel, “Urolithins, intestinal microbial metabolites of pomegranate ~ellagitannins, exhibit potent antioxidant activity in a cell-based assay”, *J. Agric. Food Chem.*, c. 57, sayı 21, ss. 10181–10186, 2009, doi: 10.1021/jf9025794.
- [263] Y. Ma, J. Gao, Z. Wei, ve F. Shahidi, “Effect of in vitro digestion on phenolics and antioxidant activity of red and yellow colored pea hulls”, *Food Chem.*, c. 337, s. 127606, 2021, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127606.
- [264] G. L. Chen, S. G. Chen, Y. Y. Zhao, C. X. Luo, J. Li, ve Y. Q. Gao, “Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after in vitro digestion”, *Ind. Crops Prod.*, c. 57, ss. 150–157, 2014, doi: 10.1016/j.indcrop.2014.03.018.
- [265] S. Kamiloglu ve E. Capanoglu, “Investigating the in vitro bioaccessibility of polyphenols in fresh and sun-dried figs (*Ficus carica* L.)”, *Int. J. Food Sci. Technol.*, c. 48, sayı 12, ss. 2621–2629, 2013, doi: 10.1111/ijfs.12258.

A

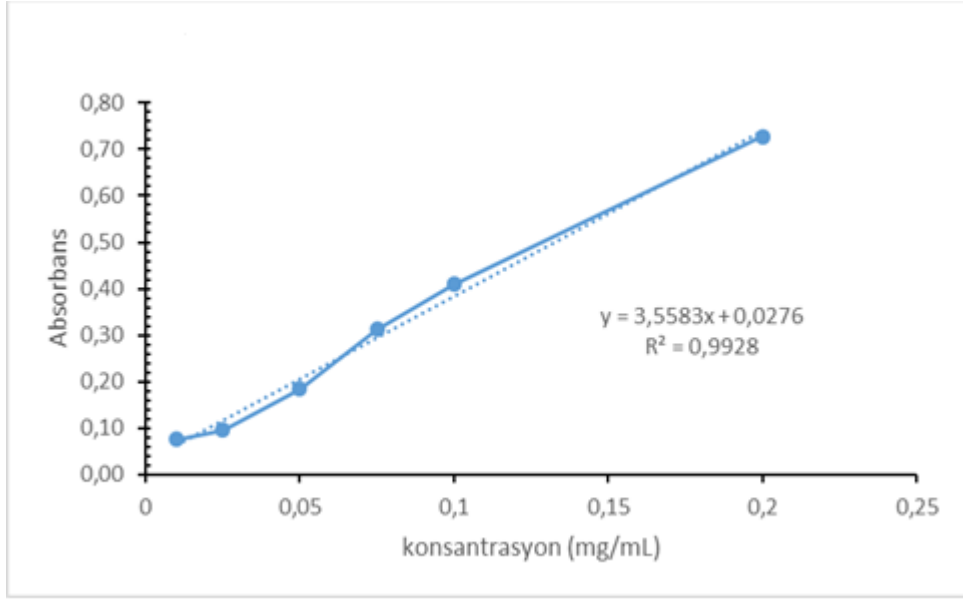
ANALİZLERE AİT KALİBRASYON EĞRİLERİ



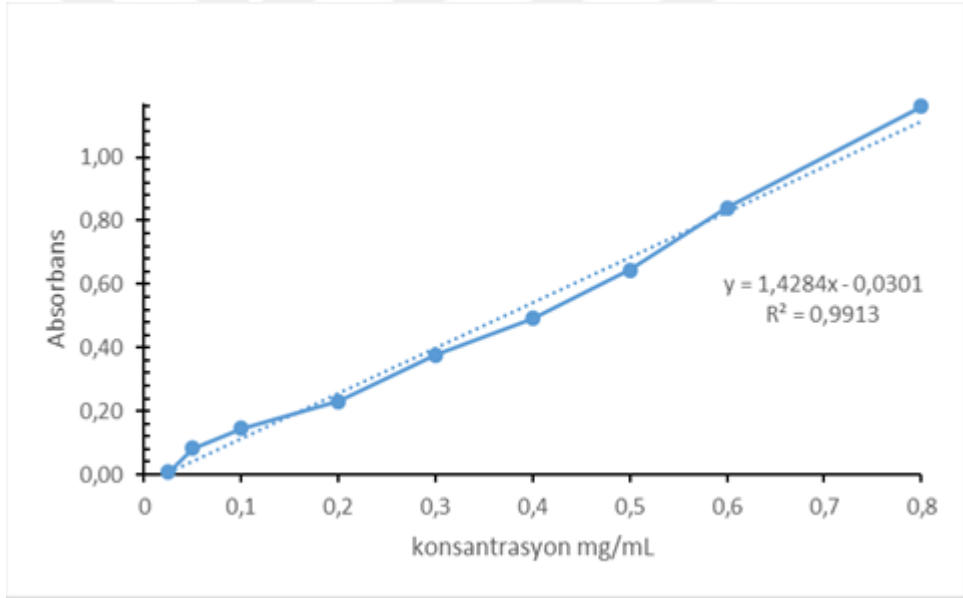
Şekil A.1 Gallik asit kalibrasyon eğrisi



Şekil A.2 Kateşin kalibrasyon eğrisi



Şekil A.3 Troloks cinsinden ABTS radikali kalibrasyon eğrisi



Şekil A.4 Troloks cinsinden CUPRAC radikali kalibrasyon eğrisi

B

İKLİM VERİLERİ

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (° C)	8.2	9.3	12.1	15.6	19.9	24.4	27.6	27.8	24.7	20.2	14.7	10.1
Min. Sıcaklık (° C)	5.1	5.6	7.6	10.7	14.8	19.3	22.4	23.1	19.9	15.8	11	7.1
Maks. Sıcaklık (° C)	11.9	13.5	16.7	20.1	24.2	28.7	32.1	32.4	29.4	25.1	19.2	14
Yağış / Yağış (mm)	96	72	59	52	61	44	21	25	28	40	61	122
Nem(%)	71%	68%	65%	66%	66%	61%	58%	59%	60%	60%	62%	68%
Yağmurlu günler (g.)	7	6	7	7	8	7	4	6	5	4	4	7

Şekil B.1 Silifke yöresine ait yıllık iklim verileri

Makaleler

1. I. Ozay-Arancioğlu, H. Bekiroğlu, A. Karadağ, O. Saroğlu, Z. H. Tekin-Çakmak ve S. Karasu, “Effect of different drying methods on the bioactive, microstructural, and in-vitro bioaccessibility of bioactive compounds of the pomegranate arils,” *Food Sci. Technol, Campinas*, Baskıda, 2021, doi: doi.org/10.1590/fst.06221.

Konferans Bildirileri

1. I. Ozay-Arancioğlu, S. Karasu, A. Karadağ, O. Saroğlu, Z. H. Tekin-Çakmak ve H. Bekiroğlu, “Farklı kurutma yöntemlerinin nar tanelerinin kuruma kinetiği, biyoaktif bileşikleri, mikroyapısı ve fenolik in-vitro biyoerişilebilirliği üzerine etkisi” içinde 4. *Uluslararası Beslenme Obezite ve Toplum Sağlığı Kongresi*, Aralık 2020, İstanbul, ss. 557-558.