MİKROALG (*Dunaliella salina*) İLAVESİYLE FONKSİYONELLİĞİ ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KOCAYEMİŞ (*Arbutus unedo* L.) CİPSİNİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ İLE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Ersin YETAN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROALG (*Dunaliella salina*) İLAVESİYLE FONKSİYONELLİĞİ ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KOCAYEMİŞ (*Arbutus unedo* L.) CİPSİNİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ İLE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Ersin YETAN
(0000-0001-9489-740X)

DANIŞMAN

Prof. Dr. Arzu AKPINAR BAYİZİT

II. DANIŞMAN

Doç. Dr. Azime ÖZKAN KARABACAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2024

Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Mikroalg (*Dunaliella salina*) ilavesiyle fonksiyonelliği zenginleştirilmiş kocayemiş (*Arbutus unedo* L.) cipsinin kuruma karakteristikleri ile kalite parametrelerinin belirlenmesi

Ersin YETAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Arzu AKPINAR BAYİZİT

II. Danışman: Doç. Dr. Azime ÖZKAN KARABACAK

Bu çalışmada ilk defa *Dunaliella salina* ilaveli kocayemiş (*Arbutus unedo* L.) cipsi üretilmiştir. *Dunaliella salina* mikroalg biyokütlesi, ürünün fonksiyonel ve besleyici özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla farklı oranlarda (%0, %1, %3 ve %5) ilave edilmiştir. Cips örnekleri enerji verimliliği yüksek ve çevre dostu bir teknoloji olan ısı pompalı kurutma sistemi ile iki farklı sıcaklık (40 ve 45 °C) ve iki farklı hava hızında (2 ve 3 m/s) kurutulmuştur. *Dunaliella salina* ilaveli kocayemiş cipsinin kurutma karakteristiklerini tanımlayan en uygun ince tabaka kurutma modeli belirlenerek; toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde, antioksidan kapasite, renk, tekstür ve duyusal analizleri gerçekleştirilmiştir. Meyve cipsinde bulunan toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde ve antioksidan kapasitenin *in vitro* biyoerişilebilirliği ortaya konulmuştur. Cips örneklerinin kurutma karakteristiklerini en iyi tanımlayan kurutma modelleri Difüzyon Yaklaşımı, Verma vd., Logaritmik, Page ve İki Terimli modelleri olarak belirlenmiştir. Örneklerdeki toplam fenolik madde miktarı 754,62-1019,90 mg GAE/ 100 g km arasında değişkenlik göstermiştir. Toplam flavonoid miktarları 299,11-406,00 mg RE/100g km, toplam antioksidan kapasite; DPPH: 270,63-452,76; CUPRAC: 57,38-79,32; FRAP: 24,66-32,51 µmol TE/g km olarak bulunmuştur. Kurutma işlemi sonucunda toplam fenolik madde miktarında %63,49-%165 oranında; toplam flavonoid madde miktarında %159,10-321,65 oranında artış gözlenmiştir. Toplam antioksidan kapasite değeri DPPH; %17,55-%155,96 oranında; CUPRAC %76,88-%262,61 oranında; FRAP %81,86-%161,33 oranında artış göstermiştir. Sindirim sonrası örneklerin toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde ve antioksidan kapasite biyoerişilebilirliğinde azalma görülmüştür. Tüm ürün formülasyonlarında *L**, *a**, *b**, değerleri kurutma ile artış göstermekte olup, alg içermeyen cips karışımlarında *a** değeri kurutma ile azalmıştır. Cips örneklerinin tekstürel özelliklerinde (tokluk ve kayma parametreleri) istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$). Duyusal özellikler bakımından tüketiciler tarafından en çok tercih edilen örnek, alg içermeyen ve 45°C'de kurutulan olmuştur. Alg içeren örnekler arasında ise en çok beğenileni %1 alg içeren ve 45°C 2 m/s hava hızı ile kurutulan ürün olmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Arbutus unedo* L., *Dunaliella salina*, Isı pompalı kurutma sistemi, Meyve cipsi

2024, XII+99 Sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

Determination of Drying Characteristics and Quality Parameters of Arberry (*Arbutus unedo* L.) Chips with Enhanced Functionality with the Addition of Microalgae (*Dunaliella salina*)

Ersin YETAN

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Arzu AKPINAR BAYIZIT

Vice Supervisor: Associate Prof. Dr. Azime ÖZKAN KARABACAK

In this study, for the first time, strawberry tree fruit (*Arbutus unedo* L.) chips fortified with *Dunaliella salina* were produced. The microalgal biomass of *Dunaliella salina* was added in various rates (0%, 1%, 3%, and 5%) to improve the functional and nutritional properties of the product. The chips samples were dried using a high energy-efficient and environmentally friendly technology, a heat pump drying system, at two different temperatures (40 and 45 °C) and two different air speeds (2 and 3 m/s). The most suitable thin-layer drying model that describes the drying characteristics of *Dunaliella salina* fortified strawberry tree fruit chips was determined; analyses of total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant capacity, color, texture, and sensory were performed. The *in vitro* bioaccessibility of total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant capacity present in the fruit chips was demonstrated. The drying models that best described the drying characteristics of the chips samples were identified as the Diffusion Approach, Verma et al., Logarithmic, Page, and Two-Term models. The total phenolic content in the samples varied between 754.62 and 1019.90 mg GAE/100g dry matter (dm). Total flavonoid contents ranged from 299.11 to 406.00 mg RE/100g dm, total antioxidant capacity; DPPH: 270.63-452.76; CUPRAC: 57.38-79.32; FRAP: 24.66-32.51 μmol TE/g dm. As a result of the drying process, an increase of 63.49% - 165% in the amount of total phenolic content and 159.10% - 321.65% in the amount of total flavonoid content was observed. The total antioxidant capacity increased by 17.55%-155.96% for DPPH, 76.88%-262.61% for CUPRAC, and 81.86%-161.33% for FRAP. The bioaccessibility of total phenolic content, total flavonoid content and antioxidant capacity of the samples decreased after digestion. In all product formulations, *L**, *a**, *b**, values increased with drying, while *a** value decreased with drying in algae-free chips mixtures. Statistically significant differences were found in the textural properties (Toughness and Work of shear parameters) of the chips samples ($P<0.05$). In terms of sensory characteristics, the most preferred sample by consumers was the one without algae and dried at 45°C. Among the samples containing algae, the product containing 1% algae and dried at 45°C and 2 m/s air speed was the most popular.

Key Words: *Arbutus unedo* L, *Dunaliella salina*, Heat pump drying system, Microalgae, Fruit chips

2024, XII +99 Pages

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca bana yol gösterici olan ve desteklerini esirgemeyen danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Arzu AKPINAR BAYİZİT ve Doç. Dr. Azime ÖZKAN KARABACAK'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Değerli bilgi, destek ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Canan Ece TAMER ve Doç. Dr. Cüneyt TUNÇKAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olduğunu hissettiğim, benim bu günlere gelmemde büyük emek veren en büyük destekçilerim sevgili annem Vesile YETAN ve sevgili babam Şahsi YETAN'a beni yüreklendirdikleri için çok teşekkür ederim.

Tüm laboratuvar çalışmalarında ve tezimin yazım aşamasında bana destek olan, bilgilerini benimle paylaşarak yol gösterici olan değerli çalışma arkadaşım Yağmur Eda ÖZBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın gerçekleşmesi için laboratuvar imkanlarından ve bilgilerinden yararlandığım BUÜ Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi akademik personeline teşekkür ederim.

Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne finansal desteklerinden dolayı teşekkür ederim. (Proje No: FGA-2023-1407)

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. Kocayemiş Meyvesi 5
2.2. Dunaliella salina 7
2.3. Hindistan Cevizi Unu 12
2.4. Elma Suyu Konsantresi 13
2.5. Hindistan Cevizi Yağı 14
2.5. Kurutma 15
3. MATERYAL ve YÖNTEM 22
3.1. Materyal 22
3.1.1. Kocayemiş meyvesi 22
3.1.2. Dunaliella salina 22
3.1.3. Hindistan Cevizi Unu 22
3.1.4. Hindistan Cevizi Yağı 23
3.1.5. Elma Suyu Konsantresi 23
3.2 Cips Üretimi 23
3.2.1 Üretim akış şeması 26
3.3. Kurutma İşlemi 26
3.4. Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellemesi 28
3.5. Efektif Nem Difüzyon Katsayısı 29
3.6. Numune Hazırlığı 31
3.7. Analizler 31
3.7.1. Sindirilmemiş numunelerin ekstraksiyonu 31
3.7.2. In vitro gastrointestinal sindirim 32
3.7.3. Toplam fenolik madde tayini 34
3.7.4. Toplam flavonoid madde tayini 34
3.7.5. Toplam antioksidan kapasite analizleri 35
3.7.6. Renk analizi 37
3.7.7. Tekstür analizi 38
3.7.8. Duyusal analiz 38

3.7.9. İstatistiksel analiz 39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 40
4.1. Nem İçeriğinin Değişimi 40
4.2. Kurutma Hızı 42
4.3. Efektif Nem Difüzyon Katsayısı 47
4.4. Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellemesi 50
4.5.Toplam Fenolik Madde İçeriği 58
4.6.Toplam Flavonoid Analizi 63
4.7. Toplam Antioksidan Kapasitenin Değişimi 66
4.7.1. DPPH Yöntemiyle Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi 67
4.7.2. CUPRAC yöntemiyle antioksidan kapasitenin belirlenmesi 70
4.7.3. FRAP yöntemiyle antioksidan kapasitenin belirlenmesi 74
4.8. Renk Özelliği 78
4.9. Tekstür 81
4.10. Duyusal Özellikler 83
5. SONUÇ 88
6.KAYNAKLAR 91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
µL	Mikrolitre
mL	Mililitre
µmol	Mikromol
mM	Milimolar
µm	Mikrometre
nm	Nanometre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
m	Metre
mg	Miligram
g	Gram
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
kW	Kilowatt
s	Saniye
dk	Dakika
m/s	Metre Bölü Saniye
pH	Hidrojen Potansiyeli
rpm	Dakikada Devir Sayısı
Pa	Pascal
R^2	Korelasyon Katsayısı
χ^2	Ki-kare
IR	İnfrared

Kısaltmalar	Açıklama
ABTS	2,2-azinobis (3-etilbenzothiazollin-6-sulfonik asit)
ANFIS	Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
AESA	Aktif Elektronik Taramalı Dizi Radarı
COP	Performans katsayısı
FDA	Gıda ve İlaç Dairesi
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asidi
TKIP	Geçici Anahtar Bütünlüğü Protokolü
TPTZ	2,4,6-tripiridil-s-triazin
CO_2	Karbondioksit
CUPRAC	Bakır indirgeyici antioksidan kapasite
DPPH	1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine
FRAP	Demir indirgeyici antioksidan güç (Ferric reducing antioxidant power)
HP	Yüksek performans
LP	Düşük performans
Km	Kuru madde
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
TE	Trolox Eşdeğeri
RE	Rutin Eşdeğeri
RMSE	Hataların ortalama karekökü
Trolox	6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit
UV	Ultraviyole Işık
HMF	Hidroksimetil Furfural
Km	Kuru madde
dm	drymatter

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1	Alglerden elde edilen bileşiklerin biyolojik aktiviteleri.....	9
Şekil 2.2.	Kurutulmuş *Dunaliella salina* biyokütlesi.....	10
Şekil 3.1.	Kocayemiş meyvesi.....	22
Şekil 3.2.	Kocayemiş cipsi üretimi için kurutma öncesi hazırlık.....	25
Şekil 3.3.	Kocayemiş cipsi üretimi için kurutma öncesi karışımın hazırlanması.....	25
Şekil 3.4.	Mikroalg ilaveli cips üretimi akış şeması.....	26
Şekil 3.5.	Isı pompalı kurutma sistemi.....	27
Şekil 3.6.	Kurutma kabini ve kontrol paneli.....	28
Şekil 3.7.	Kurutma sonrası cipslerin öğütülmesi.....	31
Şekil 3.8.	Ekstraksiyon işlemi.....	32
Şekil 3.9.	*In vitro* biyoerişilebilirlik.....	33
Şekil 3.10.	Folin-Ciocalteu çözeltisinin hazırlanması.....	34
Şekil 3.11.	Toplam flavonoid madde miktarı analizi.....	35
Şekil 3.12.	DPPH yöntemi ile antioksidan kapasite analizi.....	36
Şekil 3.13.	FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasite analizi.....	37
Şekil 3.14.	Duyusal analiz.....	38
Şekil 3.15.	Duyusal analiz değerlendirmesi için kurutulmuş meyve cipsi örnekleri.....	39
Şekil 4.1.	%0 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.....	40
Şekil 4.2.	%1 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.....	41
Şekil 4.3.	%3 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.....	41
Şekil 4.4.	%5 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.....	42
Şekil 4.5.	%0 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı..	43
Şekil 4.6.	%1 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı..	44
Şekil 4.7.	%3 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı..	45
Şekil 4.8.	%5 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı..	46
Şekil 4.9.	%0 Alg içeren cips örneklerinde ENDK.....	48
Şekil 4.10.	%1 Alg içeren cips örneklerinde ENDK.....	48
Şekil 4.11.	%3 Alg içeren cips örneklerinde ENDK.....	49
Şekil 4.12.	%5 Alg içeren cips örneklerinde ENDK.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1.	Kocayemiş cipsi içeriği (Kontrol, %0 Alg).....	24
Çizelge 3.2.	%1 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi içeriği.....	24
Çizelge 3.3.	%3 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi içeriği.....	24
Çizelge 3.4.	%5 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi içeriği.....	24
Çizelge 3.5.	Kocayemiş cipsi örneklerinde uygulanan kurutma modelleri	29
Çizelge 3.6.	Ağız, mide ve ince bağırsak elektrolit solüsyonları.....	33
Çizelge 4.1.	%0 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri	50
Çizelge 4.2.	%1 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri	52
Çizelge 4.3.	%3 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri	53
Çizelge 4.4.	%5 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri	55
Çizelge 4.5.	Kurutma kinetiği modellemeleri	57
Çizelge 4.6.	*In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde toplam fenolik madde içeriklerinde meydana gelen değişimler (mg GAE / 100 g km)	59
Çizelge 4.7.	*Dunaliella salina* ekstraktı için toplam fenolik madde içeriği sonucu.....	61
Çizelge 4.8.	Kocayemiş meyvesi için *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde toplam fenolik madde içeriklerinde meydana gelen değişimler (mg GAE / 100 g km)	62
Çizelge 4.9.	*In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde toplam flavonoid içeriklerinde meydana gelen değişimler (mg RE/100 g km)	64
Çizelge 4.10.	Kocayemiş meyvesi için *in vitro* sindirim sonuçları.....	64
Çizelge 4.11.	*Dunaliella salina* ekstraktı için toplam flavonoid içeriği sonucu.....	65
Çizelge 4.12.	*In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite içeriklerinde meydana gelen değişimler (µmol TE/g km) ...	67
Çizelge 4.13.	Kocayemiş meyvesi için *in vitro* sindirim DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite sonuçları.....	68
Çizelge 4.14.	*Dunaliella salina* için DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite miktarı.....	68
Çizelge 4.15.	*In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde CUPRAC yöntemi ile toplam antioksidan kapasite içeriklerinde meydana gelen değişimler (µmol TE/g km) ...	71
Çizelge 4.16.	Kocayemiş meyvesi için *in vitro* CUPRAC yöntemi ile toplam antioksidan kapasite sindirim sonuçları.....	71
Çizelge 4.17.	*Dunaliella salina* ekstraktı için CUPRAC yöntemi ile	

toplam antioksidan kapasite miktarı..... 71
Çizelge 4.18. *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasite içeriklerinde meydana gelen değişimler (µmol TE/g km) ... 74
Çizelge 4.19. Kocayemiş meyvesi için *in vitro* FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasite sindirim sonuçları..... 74
Çizelge 4.20. Kurutma işlemi ile kocayemiş cipsi örneklerindeki renk değişimi..... 78
Çizelge 4.21. Kocayemiş cipsi örneklerinde tekstür değerleri..... 82
Çizelge 4.22. %0 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal analiz değerlendirmesi..... 84
Çizelge 4.23. %1 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal analiz değerlendirmesi..... 85
Çizelge 4.24. %3 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal analiz değerlendirmesi..... 86
Çizelge 4.25. %5 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal analiz değerlendirmesi..... 87

1. GİRİŞ

Kocayemiş (*Arbutus unedo* L.) veya diğer bir ifade ile dağ çileği bitkisi, yaprak dökmeyen, genellikle 5 m'den küçük, bodur bir çalı türüdür. *Ericaceae* familyasına ait olan bu bitki Akdeniz bölgesine özgüdür. Lübnan, Yunanistan, Güney Avrupa Bölgesi, İrlanda ve Anadolu'da da yetişmektedir (Kerse ve Okcu, 2020). Kocayemiş ağacı, kuraklık, düşük sıcaklık ve ağır veya kötü toprak koşulları gibi zorlu çevre koşullarına karşı yüksek direnç göstermektedir. Ayrıca orman yangınlarından sonra da hızlı yenilenme özelliğine sahiptir. Kocayemiş ağacının zorlu çevre koşullarına karşı yüksek direnci, bölge hayvanlarının çeşitliliği ve toprak erozyonunun önlenmesi açısından özellikle önemlidir (Morgado vd., 2018).

Bitkinin 1,5 – 2 cm çapa kadar büyüyebilen meyveleri, sonbaharda olgunlaştıklarında küre şeklinde ve yüzeyi konik yapılarla çevrelenmiş olup turuncu-kırmızı bir renge sahiptir. Tamamen olgunlaşan meyvenin rengi koyu kırmızıya döner. Ağaç, olgun meyveleri ve çiçekleri aynı anda taşır, çünkü meyvelerin olgunlaşması bütün bir yılı alır (Çakmak vd., 2016). Meyveler, olgunlaştıklarında taze halde tüketilebiliyor olsa da, sıklıkla reçel, jöle ve marmelat olarak işlendikten sonra ya da pasta süslemesi veya dolgusu olarak tercih edilir (Aksil vd., 2019). 'Unedo' adının Pliny tarafından unum edo' dan ("bir tane yerim") türetilmiş olduğu söylenmektedir. Bunun sebebinin de olgunlaşmış meyvelerin alkol içeriği ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Bazı ülkelerde bu meyveler, şarap, likör veya distilat gibi alkollü içeceklerin üretiminde kullanılmaktadır (Delgado-Pelayo vd., 2016).

Üzümsü meyveler (berry meyveleri), başta kalsiyum, fosfor ve potasyum olmak üzere çok sayıda mineral açısından zengin oldukları için birçok endüstriyel ürünün imalatı için kullanılabilir. Kocayemiş meyvesi diyet lifi açısından zengindir ve fonksiyonel gıdalar için önemli olan biyoaktif bileşenlerin doğal kaynağıdır (Aktas vd., 2013). Kocayemiş meyvesinde karakterize edilen biyoaktif bileşikler arasında terpenoidler, C vitamini, organik asitler, tokoferoller, karotenoidler ve flavonoidler (antosiyaninler, proantosiyanidinler ve flavonoller) ve fenolik asitler gibi fenolik bileşikler bulunur. Çeşitli biyofarmasötikler tarafından sağlanan harika bir savunma sistemine sahip olan

kocayemiş meyvesinin, antiseptik, idrar söktürücü ve müshil etkilerinin yanı sıra kardiyovasküler ve kanser patolojilerine karşı halk hekimliğinde kullanıldığı bilinmektedir (Aksil vd., 2019).

Tamamen olgun kocayemiş meyvelerinin dış kırmızı rengi, antosiyaninlerin varlığı ile ilişkilendirilirken (Guimarães vd., 2013; Pawlowska vd., 2006), olgunlaşmamış meyvelerin sarı rengi ve olgun meyvelerin yoğun turuncu rengi ise karotenoid içeriği ile ilişkilendirilmiştir. Toplam karotenoid içeriğine göre (340 µg/g km üzerinde) (km:kuru madde) , olgun kocayemiş meyveleri karotenoid içeriği çok yüksek (>20 µg/g km) meyveler olarak sınıflandırılabilir. Kocayemiş meyvesinde yer alan başlıca karotenoidler, violaxanthin, neoxanthin, antheraxanthin, lutein, zeaksantin ve β-karoten' dir (Delgado-Pelayo vd., 2016).

Arbutin (p-hidroksifenil-β-D-glukopiranosid), alfa-arbutin (4-hidroksifenil-α-glukopiranosid) ve β-arbutin (4-hidroksifenil-β-glukopiranosid) dahil olmak üzere iki izomere sahip, *Lamiaceae, Ericaceae, Saxifragaceae* ve *Rosaceae* familyalarındaki bitkilerden saflaştırılan biyoaktif bir hidrofilik polifenoldür (Kim vd., 2016). *Ericaceae* familyasından olan kocayemiş (*Arbutus unedo* L.) meyvesi latince isminden de anlaşılacağı üzere önemli miktarda arbutin içermektedir (Gökce vd., 2016). Arbutin, insan derisinden melazma ve çiller gibi pigmentasyonun giderilmesinde mükemmel etkinlik gösterdiğinden, cilt aydınlatma maddesi olarak kozmetik endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptir.

Takwa vd., (2018), dağ çileği meyvesinden elde edilen ekstraktların antioksidan ve antimikrobiyal potansiyeli ile toksik olmaması nedeniyle gıda endüstrisi için doğal koruyucu olarak kullanılmasına izin verildiğini ifade etmiştir. Öte yandan Ulloa vd., (2015), Portekiz dağ çileği balının diğer bal türleri ile karşılaştırıldığında en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu ve ticari değerinin artırabileceğini bildirmiştir.

İnsan beslenmesinde uzun yıllardır kullanılmakta olan mikroalgler, nutrasötik ve tedavi edici özellikleri nedeniyle, her geçen gün daha da merak uyandırmaktadır. Önemli protein ve biyoaktif bileşen kaynağı olmaları bakımından önemli terapötik etkilere sahiptir.

Dunaliella, 2-8 nm genişlik x 5-15 µm uzunluk aralığında, genellikle armut şeklinde, bazal tarafta daha geniş ve ön flagella tepesinde dar oval bir hücre hacmi ile karakterize edilir. Büyük miktarda karotenoid oluşturma yeteneğinden dolayı antioksidan aktivitesiyle bilinir. Serbest radikal temizleyici olarak daha iyi kalitede ve daha çözünür olan trans/cis-β-karotenin açık havada üretimini sağlar (Singh vd., 2005). *Dunaliella*, okyanuslar, tuzlu su gölleri, tuzlu bataklıklar ve denize yakın tuzlu su hendekleri gibi çok çeşitli deniz habitatlarında, özellikle de 2,0 M'dan fazla tuz ve yüksek seviyede magnezyum içeren su kütlelerinde bulunur. Deniz ortamlarında turuncu-kırmızı alg çoğalmasının görünümü öncelikle *Dunaliella*'nın ve ardından halofilik bakterilerin birleşik sıralı büyümesine dayanır. Genellikle İsrail'deki Ölü Deniz, Batı Avustralya'daki Pembe Göl ve ABD'nin Utah kentindeki Büyük Tuz Gölü gibi yoğun tuzlu göllerde bulunur (Oren, 2005).

Gıda endüstrisinde kurutma işlemi pek çok yöntemle yapılmaktadır. Bunlar; güneş enerjisiyle kurutma, dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, sprey kurutma ve konvektif ısı pompasıyla kurutma gibi çeşitli kurutma teknikleri en yaygın olanlarıdır. Bu teknikler arasında ısı pompalı kurutma, düşük enerji tüketimi ve çevre dostu özellikleri nedeniyle ön plana çıkmıştır (Rahman vd., 1997). Isı pompalı kurutma sistemleri, geleneksel sıcak havalı kurutuculardan farklı olarak daha düşük enerji tüketimiyle çalışır ve atmosfere zararlı gazlar yaymaz. Ayrıca araştırmalar, ısı pompalı kurutma sistemleriyle kurutulan tarım ürünlerinin daha iyi renk ve aroma kalitesi sergilediğini göstermiştir (Strømmen ve Kramer, 1994; Liu vd., 2018). Isı pompalı kurutma sistemlerinde kurutma odası hava sıcaklığının kontrolü ürün özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Buna bağlı olarak kuruma süresi, cihazın çalışma süreleri ve enerji tüketim değerleri buna göre değişmektedir (Zhan vd., 2022).

Bu tez çalışması kapsamında, ilk defa kocayemiş cipsi üretimi ve *Dunaliella salina* mikroalginin cips üretiminde kullanımı gerçekleştirilmiştir. Üretilen cips yenilikçi bir fonksiyonel üründür. *Dunaliella salina* mikroalg biyokütlesi, ürünün fonksiyonel ve besleyici özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla farklı oranlarda ilave edilmiştir. Elde edilen cips karışımları ince tabaka halinde kalıplara dökülerek, enerji verimliliği yüksek ve çevre dostu bir teknoloji olan ısı pompalı kurutma sistemi ile iki farklı sıcaklık (40 ve

45 °C) ve iki farklı hava hızında (2 ve 3 m/s) kurutulmuştur. Yapılan çalışmanın amacı fonksiyonel değeri olan sağlıklı bir ürün tasarlamak ve tasarlanan ürünün etkinliğini belirlemektir. Bu bağlamda kullanılan ısı pompalı kurutucu düşük sıcaklıklarda etkin kurutma sağlayabilmesiyle önemli bir seçenek olurken, stres koşulları altında yüksek ß-karoten üreten ve bunu bünyesinde barındırabilen *Dunaliella salina* iyi tercihler olmuşlardır. Ürün bileşiminde kullanılan meyve olan kocayemiş ise benzer şekilde içerdiği ß-karoten, C vitamini, antioksidan ve fenolik bileşenler sayesinde tercih sebebi olmuştur. Kurutma sonrası elde edilen cips örnekleri; toplam fenolik madde miktarı, toplam flavonoid miktarı, toplam antioksidan aktivite (DPPH, CUPRAC, FRAP), in vitro sindirim, renk analizi, tekstür analizi ve duyusal analizlere tabi tutulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kocayemiş Meyvesi

Kocayemiş meyvesinin kurutulması ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcut olup, bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Aksil vd. (2019) yaptıkları çalışmada, *Arbutus unedo* L. meyvesini dondurarak kurutmuş (−64 °C' de 4.5 Pa vakum altında) ve liyofilize meyve tozu üretmişlerdir. Elde edilen meyve tozunun su adsorpsiyonu ve termodinamik parametrelerini belirlemişlerdir. Deneysel verilere en uygun modelin Halsey modeli olduğunu tespit etmişlerdir. Clausius-Clapeyron denklemi, çalışılan sıcaklık aralığında Halsey modeli aracılığıyla su adsorpsiyonunun net izosterik ısısını değerlendirmek için kullanılmıştır. Elde edilen bulgular izosterik ısı ve diferansiyel entropi değerlerinin, sırasıyla 6.771 ile 52.337 kJ mol^{-1} ve 18.942 ile 151.4 kJ mol^{-1} arasında değişen nem içeriği arttıkça güçlü bir şekilde azaldığını ortaya koymuştur. Gibbs serbest enerji değeri −1.251 kJ mol^{-1} olarak bulunmuştur. Bu bulguların, liyofilize meyve tozunun uygun saklama koşullarının seçilmesi için fayda sağlayacağı bildirilmiştir.

Diğer bir çalışmada, dağ çileği meyvesine vakum kurutucuda kurutmadan önce etil oleat uygulaması ve su ile haşlama ön işlemleri uygulanmıştır. Yaş ve kuru meyvelerde askorbik asit, indirgen şeker, mineral, renk, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite, β-karoten ağartma aktivitesi ve hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumu incelenmiştir. Etil oleat uygulaması, kurutma süresini suda haşlamaya göre daha fazla kısaltmıştır. Aynı zamanda etil oleat uygulaması daha fazla β-karoten ağartma aktivitesi, daha düşük HMF ve daha yüksek L^* ve b^* renk değeri vermiştir. Araştırma sonucunda dağ çileği meyvesinin, zengin besin bileşenleri, antioksidan aktivitesi ve ilgi çekici rengi bakımından, vakumda kurutularak gıda endüstrisinde değerlendirilebilir olduğu sonucuna varılmıştır (Orak vd. 2011).

Aynı araştırmacı grubu, dağ çileği meyvesinin antioksidan kapasitesi, renk ve bazı besin değerleri üzerine sıcak havada ve dondurarak kurutma yöntemlerinin etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar meyveye etil oleat ve suda haşlama olmak üzere yine aynı

iki ön işlemi uygulamışlardır. Meyvenin çözeltiye direkt daldırılması ile yüzeyde mumsu kütikül tabakasının parçalandığı ve meyve kabuğundaki nem kaybına karşı direnci azaltan bir kaplamanın edildiği etil oleat ön işleminin kurutma süresini kısalttığını bir kez daha gözlemlemişlerdir. Dondurarak kurutma uygulamasının dağ çileklerinin antioksidan aktivitesi, renk, askorbik asit, β-karoten, mineral içeriği gibi besin özelliklerini daha iyi korudoğunu, bununa birlikte sıcak havada kurutulan dağ çileklerinde daha yüksek kayıpların meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu sonuçlara dayanarak dondurarak kurutma yönteminin dağ çileğinin antioksidan aktivitesini ve besin değerini koruyan en iyi yöntem olduğunu vurgulamışlardır (Orak vd., 2012).

Aktas vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı kurutma yöntemlerinin kocayemiş meyvesinin (*Arbutus unedo* L.) kuruma kinetiği ve renk özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Kocayemiş meyvelerine etil oleat uygulanarak ön işlem yapılmış ve ön işlemsiz numunelerle karşılaştırılmıştır. Ön işlemli ve ön işlemsiz örnekler 80 ºC' de sıcak su ile 1 dakika süresince haşlanmıştır. Ardından kocayemiş meyveleri sıcak havada (50, 60 ve 70 ºC) ve vakum (60, 70 ve 80 ºC) kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Daha önce yapılan çalışma ile paralel olarak, etil oleat uygulamasının hem sıcak havalı hem de vakum kurutma işlemlerinin sürelerini kısaltması bakımından etkili bir uygulama olduğu saptanmıştır. Öte yandan, kurutma öncesi uygulanan haşlama işlemi ile kocayemiş meyvelerinin renk özelliklerinin daha iyi korunduğu belirtilmiştir. Sıcak havalı kurutma, vakum kurutmaya göre renk özelliklerini daha iyi koruyarak daha kısa sürede tamamlanmıştır. Araştırmacılar, çalışma sonucunda kocayemiş meyvesinin kurutulmasında kurutma kinetikleri, renk ve HMF değerleri bakımından, 60 ºC'de sıcak hava yöntemini önermişlerdir.

Yıldız (2014) *Arbutus unedo* L. meyvesinin bileşimi, fiziko-kimyasal özellikleri, fenolik bileşenleri ve antioksidan aktivite özelliklerini incelemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre kocayemiş meyvesinin antioksidan kapasite, fenolik madde ve C vitamini içeriğiyle sağlık üzerinde olumlu etkileri olduğunu belirtmiştir.

Çakmak vd. (2016), dağ çileği meyvesine dondurarak kurutma ve tepsili kurutucuda kurutma yöntemlerini uygulayıp kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Dağ çileğinin

kurutma karakteristiklerini en iyi tanımlayan modelin Page modeli olduğunu gözlemlemişlerdir. Kurutma işlemiyle meyvenin C vitamini, fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesinde azalma görülmüştür. Ancak, bu değerler bakımından dondurarak kurutulmuş örnekler tepsili kurutucuda kurutulanlara göre daha yüksek sonuç vermiştir. Dondurarak kurutulmuş dağ çileklerinde L^* ve b^* renk değerlerinin taze örneklere göre daha yüksek olduğu, tepsili kurutucuda kurutulan meyvelerde ise a^* değerinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada kocayemiş meyvesinden pestil üretilmiştir. Bu amaçla iki farklı nişasta konsantrasyonu (%5, %8) ve üç farklı kurutma yöntemi (etüv, mikrodalga ve güneşte kurutma) uygulanmıştır. Pestil örnekleri yaş kocayemiş meyvesine göre daha yüksek askorbik asit, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite göstermiştir. %8 nişasta konsantrasyonu ile üretilen pestilde HMF dışındaki diğer tüm analiz değerleri yüksek bulunmuştur. Kurutma işlemlerine göre incelendiğinde güneşte kurutulan pestillerin toplam kuru madde, briks, toplam şeker, invert şeker, sakaroz, askorbik asit ve antioksidan kapasite (ABTS yöntemi ile) değerleri yüksek bulunurken, mikrodalga ile kurutulan pestillerde ise kül, toplam fenolik madde, DPPH ve HMF miktarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Duyusal analiz sonuçlarında ise, panelistler tarafından en çok beğenilen ürün 60 °C'de kurutulan pestil olurken, en az beğenilen ise mikrodalgada kurutulan pestil olmuştur (Kerse ve Okcu, 2020).

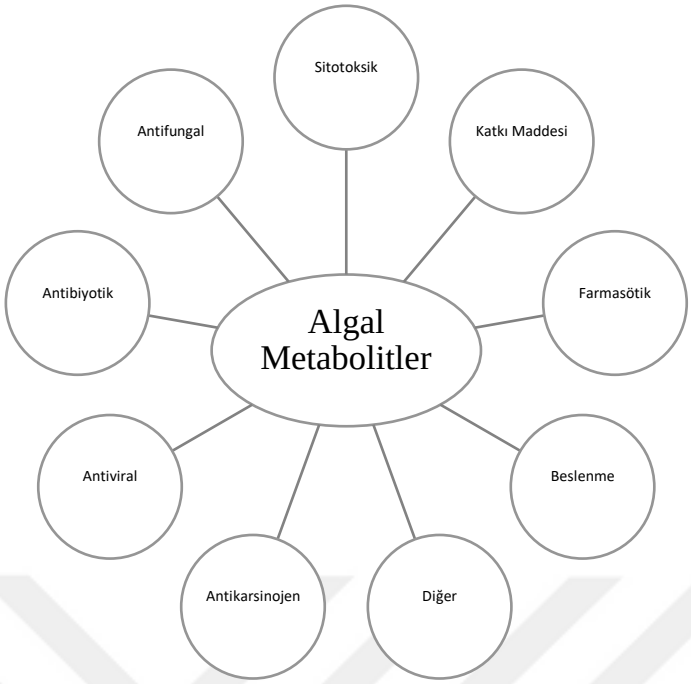
2.2. *Dunaliella salina*

Latince "deniz otu" anlamına gelen algler, su ortamında primer üretici canlılardır. Birçok sucul canlıya besin kaynağı oluşturmakla birlikte, taşıdıkları pigmentler sayesinde fotosentez yaparak karbondioksiti karbonhidratlara çevirme yeteneğine sahiptirler. Bu özellikleri ile tüm dünyada ihtiyaç duyulan fotosentetik karbon ihtiyacının üçte ikisini üretmeleri ve tüm ekosistemin bütünlüğünün korunması açısından oldukça önemlidirler. Ekolojik olarak algler her ne kadar yeryüzünün her yerinde yaşamlarını sürdürebilseler de, %70'inin asıl yaşam alanı sulardır. Çok soğuk buzullarda yaşayabildikleri gibi, 70 °C ya da daha yüksek sıcaklıktaki kaynak sularında dahi aktivite gösterebilmektedirler (Cebeci, 2015). Ayrıca mikroalgler, ekilebilir tarım arazisine ihtiyaç duymadıkları ve

besin kaynağı olarak atıkları kullanabildikleri için bitkiler ile rekabet halinde değildir (da Silva Vaz vd., 2016).

Mikroalgler, insan ve hayvan beslenmesinde uzun yıllardır kullanılmaktadır ve nutrasötik ve tedavi edici özellikleri nedeniyle, bunlara olan ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Algler, farklı besinlerin birincil kaynağıdır. Alglerden elde edilen önemli bileşikler; çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), polisakkaritler, protein, pigment, sterol, karotenoid, vitamin ve diğer bileşiklerdir. Elde edilen bu bileşikler antioksidan, antitümör, antiviral, antikoagülan, antiinflamatuar gibi bağışıklık düzenleyici bileşenler içermektedirler (Şekil 1). Bu özelliklerinden dolayı diyabet, oksidasyon, iltihaplanma ve yüksek kolesterolün önüne geçtiği bildirilmektedir (Akyıl vd., 2016). Algler; hayvan yemi, gübre, doğal gıda boyası, gıda katkı maddesi, atık su arıtma, kozmetik sanayii gibi farklı alanlarda kullanılabilmektedirler (Alçay vd., 2017; Güneş, 2009). Algler en fazla tıp, eczacılık ve kozmetik, gıda, tarım ve endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Toprağın az, nüfusun fazla olduğu Uzakdoğu ülkelerinde alglerin 17.yy'dan beri önemli gıda kaynağı olarak görüldüğü bilinmektedir (Aktar & Cebe, 2010; Arslan, 2018; Cebeci, 2015). Öte yandan, mikroalg yetiştiriciliği, insanlar için bir gelir kaynağı sağlamakla birlikte mikroalglerin karbondioksit (CO_2) biyolojik fiksasyon kapasitesi nedeniyle sera etkisinin azaltılmasına da önemli ölçüde katkı sağladığı bilinmektedir (da Silva Vaz vd., 2016).

Son yıllarda, işlenmiş gıdaların tüketimine ilişkin, sağlık ve güvenlik bakımından tüketicilerin endişeleri artmıştır. Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), Avrupa'daki Avrupa Gıda Güvenliği Kurumu (AESA) ve dünyadaki diğer ulusal otoriteler, sentetik boyaların kanser hastalıklarına ve alerjik reaksiyonlara sebep olması nedeniyle gıdalarda kullanımını kısıtlamıştır. Bu nedenle, gıda endüstrisindeki doğal katkı maddelerinin kullanımına yönelik eğilim artmıştır ve bu doğrultuda mikroalglerin kullanımı önem kazanmıştır (Martelli vd., 2014).



Şekil 2.1. Alglerden elde edilen bileşiklerin biyolojik aktiviteleri

Küresel mikroalg üretimine ilişkin veriler sınırlı olmasına rağmen tüketimde Çin, Japonya ve Hindistan'ın önde gelen ülkeler olduğu görülmektedir. Türkiye'de alg tüketimi ne yazık ki yeterli düzeyde olmadığı için, ülkemizde alglerin kullanımına ilişkin ilgili bakanlıklar tarafından yayımlanmış bir tebliğ bulunmamaktadır (Muslu & Gökçay, 2020). Ancak Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'nde kurutulmuş deniz yosunu parçaları ve pulları bitki ve baharat karışımları/çeşniler ve tatlandırıcı soslar kategorisinde, deniz yosunu bazlı preparatlar ise meyve ve sebzeler kategorisinde yer almaktadır (Anonim 2013).

Ayrıca çeşitli kırmızı alg türlerinden elde edilen sülfatlanmış bir polisakkarit olan karragenan (Pacheco-Quito vd., 2020), 22 Eylül 2017 tarihli Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'te E407a koduyla gıda katkı maddesi olarak listelenmiştir (Anonim 2017).

Yüksek besin değerine sahip mikroalg ürünleri ekstrakt, tablet veya kapsül olarak saf halde aynı zamanda, şekerleme, zamklar, makarnalar ve içecekler gibi çeşitli gıda ürünlerine katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Liang vd., 2004). Çeşitli mikroalglerin

zengin biyokimyasal bileşimine rağmen, *Chlorella, Dunaliella, Spirulina* ve *Nostoc* dahil olmak üzere sadece birkaç cins, tüketim için ticari olarak mevcuttur (Pulz & Gross, 2004). *Spiruluna* ve *Chlorella* klorofil, *Dunaliella* ise karotenoid kaynağı olması bakımından gıdalara katkı olarak kullanılmaktadır. Kurutulmuş *Dunaliella salina* biyokütlesi Şekil 2.2.' de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Kurutulmuş *Dunaliella salina* biyokütlesi

Dunaliella salina ve *Dunaliella bardawil* doğal β-karoten kaynağı olmaları bakımından ticari değere sahip türlerdir (Borowitzka & Borowitzka, 1988; González vd., 2019). Çeşitli stres koşulları altında, kuru ağırlıklarının %10-14 arası β-karoten biriktirebilirler (Ören, 2005). Ayrıca gliserol ve protein de bu algin, diğer önemli ana ürünleridir. Son yıllarda ağırlıklı olarak karotenoidler için yetiştirilmektedir. *Dunaliella salina*, ideal koşullar altında ~400 mg β-karoten/m^2 yetiştirme alanı verebilir. Vücutta Vitamin-A sentezinin öncüsü olmasının yanı sıra, β-karotenin iyi bir antioksidan aktiviteye sahip olduğu da bilinmektedir (Murthy vd., 2005).

Alglerin ayrıca önemli bir vitamin, mineral, antioksidan ve doğal renklendirici kaynağı oldukları düşüldüğünde, renk özelliklerini iyileştirmek, besin değerini artırmak, dokuyu iyileştirmek veya oksidasyona karşı direnci geliştirmek için gıdalara ilave

edilebilmektedir (Kovač vd., 2013; Oniszczuk ve Podgórski, 2015; Oniszczuk ve Olech, 2016).

Ekmeğin besin değerini artırmak için mineraller ve amino asitler açısından zengin alg ürünleri kullanma olasılığı ilk olarak Medvedeva vd. (1969) tarafından incelenmiştir.

Başka bir çalışmada, eklenen balık unu ve yeşil alg (*Scenedesmus obliquus*) içeren formüllerden hazırlanan baladi ekmeğinin protein kalitesini değerlendirmek amaçlanmıştır (Arafah vd., 1980). *Dunaliella* algleri beyaz buğday tava ekmeğinde protein takviyesi olarak kullanılmıştır (Finney vd., 1984). Kurutulmuş mavi yeşil alg tozlarının ekmek yapımındaki uygulamaları için *Oscillatoria amfibi* ve *Spirulina platensis* türleri kullanılmıştır. *Spirulina*'nın farklı konsantrasyonlarda (%2, 2,5 ve %3) una eklendiği başka çalışmalar da literatürde mevcuttur (Dinu vd., 2012). *Spirulina* içermeyen kontrol ekmeğine kıyasla son ürünün protein ve mineral içeriğinde artış gözlemlendiği belirtilmiştir. Achour vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, *Spirulina*'nın %1 ve %3 kuru biyokütlesi ile zenginleştirilmiş ekmek üretimi gerçekleştirilmiştir. Spirulina ile zenginleştirmenin, ekmeğin besin kalitesini (protein ve kül) iyileştirdiği bildirilmiştir. Duyusal olarak, *Spirulina* ile zenginleştirilmiş bütün ekmeklerin genel kabul edilebilirliği yüksek bulunmuştur.

Literatürde glutensiz ekmek üretimi ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bir çalışmada ürünün protein içeriğini artırmak için ürünlere %2 – 5 oranında (un bazında) kurutulmuş *S. platensis* eklenmiştir (Figueira vd., 2011). *Spirulina*'nın glutensiz ekmeğe eklenmesi ile mikroalg ilavesi olmayan ekmeğe kıyasla, besin kalitesi iyileştirilmiş ürünler elde edilmiştir. Ürünlerin protein ve bazı temel amino asit (treonin, metionin, izolösin ve lösin) içeriğinde önemli artışlar gözlenmiştir. Araştırmacılar ayrıca hacim, doku ve ekmek kabuğu renginde de önemli değişiklikler gözlemlemiştir. *Spirulina* ununun veya onun protein özütünün, su tutma, yağ emme, emülsifikasyon kapasitesi ve köpürme kapasitesi bakımından önemli fonksiyonel özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Nirmala vd., 1992).

Yapılan başka bir çalışmada, *Dunaliella salina* tozunun irmik ile karıştırılmasının makarna kalitesine üzerine etkisi araştırılmıştır. *Dunaliella salina'*nın irmikle (%1 – 3) karıştırılması sonucunda makarnanın besin değerinin arttığı belirtilmiştir. *D. salina*'nın mineraller açısından zengin olduğu ve %3 alg ilaveli makarnanın sırasıyla 66,60, 7,72, 23,80 ve 100,34 mg/100g' a kadar kalsiyum, demir, magnezyum ve potasyum içerdiği saptanmıştır. %1 oranında *D. salina*'nın irmik ile karıştırılması, makarnadaki klorofil a, klorofil b ve karoten içeriğini sırasıyla 1,183, 0,866 ve 0,143 mg/g' a kadar artırmıştır. Buna ilave olarak, *D. salina*'nın kayda değer miktarda doymamış yağ asidi (%17,51) içerdiği tespit edilmiştir (El-Baz vd., 2017).

Şahin (2020) yaptığı çalışmada, *Spirulina platensis* ve *Dunaliella salina* biyokütlelerinin ilavesinin (%1 ve %2 oranında) kurabiyelerin özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, *Spirulina* ilave edilen kurabiyelerin kontrol örneklerine göre önemli ölçüde daha sert ve daha koyu renkli olduğunu ve *Dunaliella* ilavesinin protein içeriğini *Spirulina* ilavesi kadar etkilemediğini göstermiştir. Ayrıca, *Dunaliella* ile zenginleştirilmiş kurabiyelerin daha yüksek toplam fenolik madde ve antioksidan kapasiteye sahip oldukları da bildirilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, *Dunaliella* ile zenginleştirilmiş kurabiyeler tüketiciler tarafından daha kabul edilebilir bulunmuştur.

Costa vd. (2016) ısı pompalı kurutucu ile kurutulan *Spirulina sp.* mikroalginde (50 ºC, 5 mm kalınlık), fikosiyanin (%84,74) ve askorbik asit (%88,70) içeriğinin iyi bir şekilde korunmasını düşük kurutma sıcaklığına ve orta derecede nem seviyesine dayandırmıştır.

2.3. Hindistan Cevizi Unu

Cocus nucifera adlı ağaçtan elde edilen Hindistan cevizi tropik ülkelerce binlerce yıldır kullanılmaktadır. Hindistan cevizi %65 – 70 yağ içeren bir meyvedir. Bu nedenle, sıklıkla yağ eldesi için kullanılmaktadır. Yağı alınan meyveden kalan kısım ise Hindistan cevizi unu olarak değerlendirilmektedir. Hindistan cevizi unu, globülin amino asitleri ve yüksek oranda diyet lifi içermektedir. Gıda endüstrisinde sıklıkla fiziksel, kimyasal ve besinsel öğelerin geliştirilmesi amacı ile çeşitli gıdalarda değerlendirilmektedir (Doğan, 2023).

Hindistan cevizi unu, Düşük karbonhidratlı olduğu için ketojenik beslenenler tarafından tercih edilebilmektedir. Hindistan cevizi unu iyi bir lif (%10,45) ve protein (%21,65) kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bitkisel protein kaynağı olarak vegan beslenmesi için güçlü bir alternatif sunmaktadır. Glutensiz içeriği sayesinde çölyak hastaları ile buğday alerjisi ve gluten hassasiyeti olan kişiler için uygun tüketim sağlamaktadır. Hindistan cevizi yağının soğuk presten çıkarılmasından sonra kalan beyazımsı kalıntı öğütülerek un haline getirilebilir.

Trinidad vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada Hindistan cevizi unu ve Hindistan cevizi unu ilaveli gıdaları incelemişlerdir. Hindistan cevizinin diyet lifi içeriğini 60±1 g/100 g olarak saptamışlardır. Çözünmeyen diyet lifi miktarı %56 bulunurken, çözünen diyet lif miktarı ise %4 olarak ifade edilmiştir. Araştırmacılar, ilave edilen un miktarının artması ile diyet lifi miktarının arttığını, buna bağlı olarak gıdaların glisemik indeksinin düştüğünü ve Hindistan cevizi ununun fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde rol oynayabileceğini belirtmişlerdir.

Afoakwah vd. (2019), Hindistan cevizi unu, buğday unu ve ve buğday-Hindistan cevizi unu kullanılarak zenginleştirilen keklerin özelliklerini incelemişlerdir. Sırası ile nem miktarının 10,01 g/100 g, 4,13 g/100g, 12,5 g/100 g; protein miktarının 16,30 g/100g, 11,13 g/100 g, 19,40 g/100 g ve karbonhidrat miktarının ise 20,40 g/100 g, 52,47 g/100 g; 63,05 g/100 g olduğunu belirlemişlerdir. Hindistan cevizi-buğday unu karışımı ile hazırlanan keklerin, görünüş, tekstür ve aroma açısından daha çok beğenildiğini ifade etmişlerdir. Çalışma sonucunda Hindistan cevizi unu içeren gıda ürünlerinin artması ile yaygın kronik hastalıkların önlenebileceği ve katma değeri yüksek ürünlerin üretimi açısından önemli bir bileşen olduğu ifade edilmiştir.

2.4. Elma Suyu Konsantresi

Günümüzde tüketiciler bilgiye erişimin artması ile bilinçlenmiş, sağlıklı ve doğal gıdalar ile beslenmeye önem vermiştir. Sağlıklı atıştırmalıkların üretilmesinde besleyicilik, gıdanın koruyucu içermemesi ve şeker miktarının minimum olması önemli

hedeflerdendir. Elma suyu konsantresi günümüzde yaygın bir şekilde tatlandırıcı bileşen olarak kullanılmaktadır. Elma suyu konsantresinin gıdalarda kullanımı ile rafine şeker tüketimi azaltılmakta ve besinsel değeri yüksek doğal içerikler ile beslenme sağlanmaktadır.

Telatar (1985) yapmış olduğu çalışmada, üç farklı elma çeşidi ile üretilen elma suyu konsantrelerinde asitlik, indirgen şeker, toplam şeker, HMF analizlerinde bulunmuştur. Hüryemez, Golden ve Amasya çeşitlerinde çalışan araştırmacı, en yüksek asitliği sırası ile Hüryemez, Golden ve Amasya çeşitlerinde bulmuştur. İndirgen şeker ve toplam şeker miktarı en yüksek örnekler ise sırası ile Amasya Golden ve Hüryemez olarak tespit etmiştir. Konsantre için gerçekleştirilen evaporasyon 40 °C, 50 °C ve 60 °C'de gerçekleştirilmiş, HMF değeri tüm çeşitlerde sıcaklık arttıkça artış göstermiştir.

Artık ve Murakkami (1997) Türk elma suyu konsantrelerinin fenolik madde bileşimi HPLC ile incelemiş ve 6 farklı elma suyu konsantresi örneğinde 14 farklı fenolik bileşen tespit etmişlerdir. Karadeniz ve Ekşi (2001) elma suyunda fenolik madde dağılımı üzerinde yapmış oldukları araştırmada Amasya Golden ve Starking çeşitlerinde 45 farklı örnekte araştırma yapmışlardır. Elma suları içeriğinde tespit edilen fenolik bileşikler çoktan aza doğru; klorojenik asit, epikateşin, floretinglikozit, floridzin ve p-kumarik asit olmuştur. Karaca vd. (2017) dokuz çeşit (armut, elma, kayısı, ahududu, portakal, böğürtlen, vişne, çilek, kırmızı yaban mersini) meyve suyu konsantresini püskürtmeli kurutucu ile kurutarak kurutma işleminin toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite üzerine etkilerini incelemiştir. Portakal suyu hariç tüm örneklerde toplam fenolik maddede artış gözlemleyen araştırmacı, antioksidan aktivite analizleri için DPPH ve ABTS metotlarını kullanmıştır. Araştırmacı her iki metotla tüm meyve suyu konsantrelerinde püskürtmeli kurutma işlemi ile antioksidan aktivitenin arttığını belirtmiştir.

2.5. Hindistan Cevizi Yağı

Saf Hindistan cevizi yağı, dünyada son zamanlarda ortaya çıkan ve oldukça talep gören bir üründür ve Hindistan cevizi çekirdeğinden düşük sıcaklıkta saf Hindistan cevizi yağının ekstraksiyonu için çeşitli soğuk pres türleri kullanılmaktadır. Doğal bir enerji

kaynağı görevi üstlenen Hindistan cevizi yağı vücudun ihtiyacı olan ve kolay emilebilen yağ asitlerinin yanında C, E, K vitaminlerini ve çeşitli mineralleri de içermektedir. Hindistan cevizi yağı harici kullanımda ise cilde, saçlara ve dişlere bakım yapmaktadır. Ayrıca saç ve cilt üzerinde güneşin zararlı UV ışınlarına karşı koruyucu etki sağlamaktadır. Vegan beslenenler için hayvansal yağlara etkili bir alternatif oluşturmaktadır. Ayrıca, kozmetik endüstrisinde de kullanımı yaygındır. Cilt kuruluğunu gidermek amacıyla nemlendirici olarak değerlendirilmektedir. Saç yıpranmalarında etkili bir saç nemlendiricisi olma özelliği de taşımaktadır.

Yüksek oranda doymuş yağ asidi içeren Hindistan cevizi yağı, hafif ve hoş tadı, kolay sindirilebilirliği olması sebebi ile farklı gıda ürünlerinde fonksiyonel bileşen olarak kullanılmaktadır. İçeriğindeki doymuş yağ asitlerinin yüksek olması sebebi ile oksidasyona ve polimerizasyona karşı dayanıklıdır. Kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser başta olmak üzere çeşitli kronik hastalıklara karşı koruyucu veya koruma potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir (Boateng vd., 2016). Yılmazer vd. (2021), farklı oranlarda Hindistan cevizi yağı içerikli Türk kahvesinin duyusal özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, tüketiciler tarafından beğenilen Hindistan cevizi yağı katkılı Türk kahvesinin yeni bir ürün olarak geliştirilme potansiyelinin olduğunu belirtilmişlerdir. Assunçao vd.(2009), Hindistan cevizi yağı tüketiminin kan lipitleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma için katılımcılara izokalorik bir diyet uygulanmıştır. Katılımcılar gün içerisinde 30 mL Hindistan cevizi yağı ya da 50 mL soya yağı tüketerek 50 dk yürüyüş yapmışlardır. Günde 30 mL hindistan cevizi yağı tüketen grubun HDL kolesterol seviyelerinde azalma gözlemlenirken, soya yağı tüketen grupta LDL düzeyinde artma gözlemlenmiştir.

2.5. Kurutma

Gıdadaki nem içeriğinin suyun uzaklaştırılması ile düşürülmesi prensibine dayanan kurutma, en yaygın kullanılan gıda muhafaza yöntemlerinden birisidir. Kurutma işlemi ile ortamın su aktivitesi (a_w) azaltılarak, kalite özellikleri korunmakta ve ürün mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal yönden dayanıklı hale getirilmektedir (Kaya vd., 2014). Böylece gıdalar, aroma ve besin değerlerini kaybetmeden uzun süre depolanabilmekte, kurutulan gıdalarda nem kaybından ötürü ağırlık azalmakta, gıdaların

taşınması kolaylaşmakta ve depolama maliyetleri azalmaktadır (Karaaslan, 2012; Aktaş vd., 2013; Compaore vd., 2019; Demirtaş, 2023).

Kurutma işlemi güneşte (doğal) ve yapay (suni) kurutuculardа olmak üzere iki yöntemle yapılabilmektedir (Cemeroğlu, 2004). Güneş ısısından faydalanılarak ürün içindeki su miktarının azaltıldığı yönteme doğal kurutma adı verilmektedir. Gıda maddelerinden bazıları güneşte kurutmaya uygun değildir. Ürünlerin güneşte kurutulması için geniş alanlara gereksinim duyulması, kuruma süresinin uzun oluşu, açıkta kurutulan ürünlerin tozlanması, kuş, böcek vb. canlılarca zarara uğratılmaları doğal kurutma yönteminin dezavantajlarındandır. Yapay kurutma yönteminde ise kurutma işlemi kontrollü şartlarda ve kapalı ortamlarda gerçekleştirilerek güneşte kurutma yönteminde görülen olumsuzluklar minimize edilebilmektedir.

Kurutma işleminde esas, kurutulacak maddenin içerisindeki suyun önce buhar haline getirilmesi daha sonra da bu buharın uzaklaştırılmasıdır. Bu amaçla gerekli ısının gıdaya taşınması için, kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşınım) ve radyasyon (ışınım) gibi klasik ısı transfer yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Kondüksiyon kurutma yönteminde suyun buharlaştırılması için gerekli ısı, gıda maddesinin temas ettiği sıcak yüzeyden sağlanırken konvektif kurutma işleminde taşıyıcı bir gaz kullanılmaktadır. Radyasyondan faydalanılan kurutma yönteminde ise ısı radyasyon kaynağı (mikrodalga, infrared vb.) ile gıdaya ulaşmaktadır (Mirza, 2006).

Kurumanın kinetik yönden incelenmesinde, madde ile maddeyi çevreleyen hava arasında nem alışverişi ve kuruma süreci boyunca geçen zaman da dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Bir ürünün kuruma kinetiklerinde, ürünün nem miktarı, kuruma süresi, kuruma hızı ve ürünün sıcaklığı arasındaki farklı kombinasyonların ilişkileri incelenmektedir. Kuruma işleminin gerçekleşmesi sırasında ısınma, sabit hız kuruma ve azalan hız kuruma periyodu olarak ifade edilen üç farklı evrenin olduğu görülmektedir. Bu evreler irdelenirken kurutma süresine karşı kurutma hızının değişim grafiğinden yararlanılmaktadır. Gıdaların kuruma karakteristiklerinin belirlenebilmesi amacıyla ince tabaka kurutma modellerinden yararlanılmaktadır (Panchariya vd., 2002; Gupta ve Alam, 2014). Kurutma kinetiğinin değerlendirilmesi; en uygun kurutma koşulunun

belirlenmesine ve kurutma ön görüsünün yapılmasına yardımcı olmaktadır. Gıda maddelerinin kurutulmasında kurutucu dizayn ederken de kurutma modelleri göz önünde bulundurulmaktadır. Kurutma işleminin şekillenmesi tam kapasiteli işletmelerde yapılarak belirlenirse zaman kaybına ve ciddi maddi kayba neden olacağından modelleme ile belirlemek büyük bir avantajdır (Günhan vd., 2005; Compaore vd., 2019).

Enerji ve çevre problemleri göz önüne alındığında, etkili ısıl enerji kullanımı önem arz etmekte ve ekolojik olarak çevreyle dost yeni ısıl enerji kullanma sistemlerinin geliştirilmesi gündeme gelmektedir. Kurutma işlemi enerji yoğun bir işlem olduğundan, etkin enerji kullanımına sahip kurutma süreçlerinin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşılmaktadır. Geleneksel tip kurutuculardа yüksek sıcaklıklardaki kurutma havası dışarı atılmakta yani atmosfere bırakılmaktadır; bu durumda nemli havanın içerdiği buharlaşma gizli ısısı ile duyulur ısıdan yararlanılamaz ve yüksek düzeyde enerji kaybı meydana gelmektedir. Bu enerji ısı pompalı kurutucu kullanılmasıyla geri kazanılabilir. Geleneksel tip kurutuculardan çıkan atık enerjiyi tekrar kullanan bu sistemler performans katsayılarının yüksek olması ve düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi gibi avantajları sebebiyle tercih edilmektedir. Ayrıca, düşük sıcaklıklardaki kurutma işlemi kurutulan ürünün kalitesini arttırmaktadır (Deng vd., 2014).

Isı pompaları en basit tanımı ile ekonomik değeri olmayan düşük kaynaklı bir bölgedeki ısıyı, ısıtılması düşünülen bölgeye pompalayan ve bu işi yapmak için çok az enerji harcayan (yaklaşık % 20-25) bir sistemdir. Isı pompalı kurutma, sıcaklık ve hava neminin kontrol altında tutulabildiği, soğutma sistemli geliştirilmiş bir konveksiyon kurutucudan oluşan bir ısı pompalı kurutucuda gerçekleştirilmektedir (Minea, 2015). Enerji açısından verimli ve çevre dostu olarak nitelendirilen ısı pompalı kurutma, endüstriyel ölçekte süt ürünleri, tahıllar, deniz ürünleri, bitkiler, meyve ve sebzelerin kurutulması için kullanılmıştır (Alves-Filho vd., 2007).

Strømmen vd. (2002), ısı pompalı kurutucuların aynı sıcaklıktaki kurutma işlemi için geleneksel konveksiyonel kurutuculara göre %60 ile %80 daha az enerji tükettiğini bildirmiştir.

Adapa ve Schoenau (2005), kapalı tip ısı pompası destekli kurutma sisteminde 30–35 ˚C sıcaklıklarda kurutulması gereken bazı bitkisel ürünleri ve tıbbi bitkileri (kaba yonca, kırmızı yonca, karahindiba ve ginseng gibi) kurutmuşlardır. Elektrik ısıtıcılı (fırın) geleneksel sistem ile ısı pompası destekli kurutma sistemini karşılaştırmışlar ve ısı pompası destekli sistemde kurutma süresinin %65 düştüğünü, tüketilen enerjinin ise %22 azaldığını tespit etmişlerdir.

Pal vd. (2008), ısı pompalı kurutma (30, 35, 40 ºC) ve sıcak havayla kurutma (45 ºC) yöntemleri ile kurutulan yeşil tatlı biberlerin kalitesini karşılaştırmıştır. Sonuçlar, ısı pompalı kurutucu ile kurutulan (40 °C) biberlerin, sıcak havayla kurutmaya göre daha yüksek toplam klorofil ve askorbik asit içeriğine, daha yüksek kurutma hızı ve rehidrasyon kapasitesine ve duyusal puanlara sahip olduğunu göstermiştir.

Phoungchandang ve Saentaweesuk (2011), tepsili kurutma sonrası 40 °C'de ısı pompalı kurutucu ile kurutulan zencefillerin kuruma süresinin %59.32 oranında kısaldığını ve kuru zencefilin 6-gingerol içeriğinin %6 oranında arttığını bildirmiştir. Tepsi kurutmaya göre ısı pompalı kurutmanın rehidrasyon oranı, renk değişimi ve 6-gingerol içeriği bakımından ürün kalitesini koruduğu tespit edilmiştir.

Ozcan vd. (2013), güneş enerjili, iki kademeli evaporatörlü ve ısı pompalı kurutma sistemleri için ekserji analizi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada ekserji yıkımları kompresör 0,135 kW, kondenser 1,32 kW, alt soğutucu-I 0,105 kW, alt soğutucu-II 0,0625 kW, HP evaporatör 0,229 kW, LP evaporatör 0,3749, genleşme valfleri 0,133 kW, güneş panelleri 0,76 kW ve kurutucu 0,35 kW olarak bulunmuştur.

Başka bir çalışmada ise ısı pompalı kurutmanın (35 ve 37 ºC) nane yapraklarının askorbik asit içeriğini %70,11 oranında koruduğu bildirilmiştir (Venkatachalam vd., 2020). Ayrıca ısı pompalı kurutucu (50 ºC) ile kurutulan *Moringa oleifera* yapraklarının kuersetin ve kaempferol içeriği sıcak hava ve mikrodalga yöntemleriyle kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur (Potisate vd., 2014).

Özdemir ve Özkaya (2015), düşey tip toprak kaynaklı bir ısı pompası sistemi kurarak 20,7 m^3 hacmindeki bir odanın ısıtılması ve soğutulması için gerekli enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Isıtma sistemi için, ısı pompası katsayısı ($COP_{ıp}$) 3,85; performans katsayısı (COP_{sis}) ise 3,45 olarak saptanmıştır. Soğutma sisteminde ise ise ısı pompası katsayısı ($COP_{ıp}$) 3,12, performans katsayısı (COP_{sis}) 2,81 olarak hesaplanmıştır. Isıtma ve soğutma sisteminin ekserji verimleri sırası ile %71 ve %70,8 olarak hesaplanmıştır.

Erbay vd. (2013), gıda kurutma için farklı sıcaklıklarda ısı pompalı kurutma sistemi kullanılarak ekserji analizi gerçekleştirmiştir. Enerji verimliliği kompresör için %51,6-%60,3 arasında; kondersör için %63,3-%74,4 arasında saptanmıştır. Kurutma sıcaklığının 45 °C'den 55 °C'ye arttırılması ile ekserji verimliliğinde %65,94' ten %91,95' e artış gözlenmiştir.

Gürel vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, ısı pompalı kurutucu tasarlanmış ve üretilmiştir. Çalışmada, ısı pompalı kurutucuda 40 °C sıcaklıkta tüm sistem performans katsayısı (COP_{sis}) ortalama 1,91 olarak tespit edilmiştir. Ortalama ekserji kayıpları ısı pompalı akışkan yataklı kurutucu için 203,97 J/kg; parabolik oluklu kurutucu için 32,08 J/kg olarak hesaplanmıştır. Isı pompalı akışkan yataklı kurutucu için ortalama ekserji verimi %31,1 olarak hesaplanırken, parabolik oluklu kurutucu için bu değer %63,37 olarak hesaplanmıştır. Maksimum ekserji verimi ısı pompalı kurutucu için %70 olarak hesaplanırken; ısı pompalı akışkan yataklı kurutucu için ortalama ekserji verimi % 31,1 olarak tespit edilmiştir.

Erbay vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, toprak kaynaklı bir ısı pompalı gıda kurutucusunun eksergoekonomik analizi yapılmıştır. Kondanserin düşük ekserji verimi %48 olarak hesaplanmıştır. Sistemdeki en yüksek ekserji kaybı % 20,2 ile kompresöre aittir.

Yapıcı (2017), yapmış olduğu çalışmada radyo frekans yöntemi kullanımının elma cipsi üretimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada sıcak hava kurucu ve kombine kurutma (sıcak hava kurutucu ve radyo frekans uygulaması) ile kurutma işlemini gerçekleştirmiştir. 4,5 ve 6 mm kalınlığındaki elmaları 50, 60 ve 70 °C'lerde kurutarak

yapılan kurutma yöntemlerini karşılaştırmıştır. Toplam fenolik madde yönünden değerlendirilen örneklerde 5 mm elma dilimleri daha yüksek sonuç vermekle birlikte, sıcaklık artışı ile fenolik madde miktarının arttığını gözlemlemiştir. Kombine kurutma yöntemi ile 5012-8730 mg GAE/kg km toplam fenolik madde içeriği gözlemlerken, sadece hava kurutucu kullandığı örneklerde 3351-6180 mg GAE/kg km toplam fenolik madde içeriği tespit etmiştir. Kombine kurutma yönteminin geleneksel kurutma yöntemine göre daha etkili olduğunu belirtmiştir.

Abbaspour-Gilandeh vd. (2020) çalışmalarında ayva dilimlerinin kurutma kinetiği, enerji kullanım oranı, ekserji kaybı ve ekserji verimliliğinin sıcak hava kurutucusunda yapay sinir ağları ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak tahmin edilmesini ele almışlardır. Deneyler 50-60-70 °C hava sıcaklıklarında ve 0,6–1,2–1,8 m/s hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. En yüksek ekserji kaybı ve ekserji verimi sırasıyla 0,879 kJ/s ve % 44 bulunurken en düşük ekserji kaybı ve ekserji verimi sırasıyla 0,344 kJ/s ve % 88 olarak hesaplanmıştır.

Bayrakdar (2020), yapmış olduğu çalışmada fonksiyonel meyve cipsinin fizikokimyasal ve duyusal özelliklerini araştırmıştır. Kayısı ve şeftali, vişne ve çilek meyvelerini birlikte kullanarak bir takım ilave bileşenler ile homojen bir cips karışımı oluşturmuştur. Elde ettiği karışımları vakum tipi kurutucuda 75 °C'de 400 milibarda kurutmuştur. Kurutma işleminin toplam fenolik madde miktarını azalttığını tespit etmiş, toplam antioksidan kapasite açısından değerlendirdiğinde ise kurutma ile DPPH ve FRAP sonuçlarında azalma, CUPRAC sonuçlarında ise artış gözlemiştir.

Singh vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kapalı tip ısı pompalı kurutucu ile güneş destekli ısı pompalı kurutucularda muz ve patates cipsi üretilmiştir. Cipslere açık ve kapalı çevrim kurutma uygulanarak, enerji ve ekserji performansları ile kurutma kinetiği incelenmiştir. Muz için performans katsayısı (COP) değerleri 3,89 ile 3,09 arasında, patates cipsi için 3,93 ile 2,85 arasında saptanarak, açık çevrim için elde edilen performans katsayısı değerlerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Günümüzde tüketicilerin doğal, sağlıklı gıda ürünlerine olan talebi artmıştır. Bu bakımdan mikroalglerin gıda takviyesi olarak kullanılması ile gıdaların besin içeriğinin geliştirilebileceği ve dolayısıyla besin bileşimleri nedeniyle insan sağlığını olumlu yönde etkileyeceği bilinmektedir. Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere ısı pompalı kurutma, hem yüksek enerji verimliliğinden dolayı hem de düşük sıcaklıklarda uygulanabiliyor olmasından dolayı ürünün kalite ve besin değerlerini iyi koruduğu için mikroalg ilaveli kocayemiş cipsinin kurutulmasına tercih edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Mikroalg ilavesiyle zenginleştirilmiş kocayemiş cipsi üretiminde kullanılan hammaddeler aşağıdaki gibidir.

3.1.1. Kocayemiş meyvesi

Çalışma için kullanılacak kocayemiş meyveleri (Şekil 3.1) Yalova ilinde bulunan Kutup Konserve ve Dondurulmuş Gıda Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nden donmuş olarak temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Kocayemiş meyvesi.

3.1.2. *Dunaliella salina*

Ürün formülüzasyonunda kullanılan mikroalg *Dunaliella salina* (Menşei, Polonya) toz formunda olup, Green Heart Store online mağazasından ithal edilmiştir.

3.1.3. Hindistan Cevizi Unu

Kocayemiş cipsi karışımında kullanılan Hindistan cevizi unu Bursa ilinde yerel marketten temin edilmiştir.

3.1.4. Hindistan Cevizi Yağı

Üründe kullanılan Hindistan cevizi yağı Bursa ilinde yerel marketten temin edilmiştir.

3.1.5. Elma Suyu Konsantresi

Kocayemiş cipsi ürününde tüm cips formülasyonlarında aynı oranda kullanılan 70,36 briks değerine sahip konsantre elma suyu AROMA Bursa Meyve Suları ve Gıda Sanayi A.Ş'den temin edilmiştir. Elma suyu konsantresi tatlandırma amacı ile şeker ikamesi olarak formülasyonda kullanılmıştır.

3.2 Cips Üretimi

Donmuş haldeki kocayemiş meyveler, öğütücü (WARING 8011EG, ABD) ile öğütüldükten sonra formulasyona uygun ağırlıklarda tartılarak karışım kabına eklenmiştir (Şekil 3.2). Daha sonra diğer cips bileşenleri olan mikroalg (*Dunaliella salina*), hindistan cevizi unu, hindistan cevizi yağı ve elma suyu konsantresi Çizelge 3.1 – 3.4' te verilen miktarlarda tartılarak karışım kabına eklenmiştir. Karışımlarda bulunan alg oranları, toplam ağırlıkta alg hariç tutularak karışım ağırlığının %5'i %3'ü %1'i olarak ayarlanmıştır. Karışım homojen hale gelene kadar karıştırma işlemi sürdürülmüştür (Şekil 3.3). Hazırlanan karışımı iki yağlı kağıt arasında 0,5±0,05 mm kalınlığında ince tabaka haline getirilmiştir. Cips şekli verilmesi amacıyla 35 mm çapında dairesel bir kalıp kullanılmıştır. Şekil verme işlemi sonrasında üst kısımdaki yağlı kağıt alınarak ısı pompalı kurutucuya ait tepsilere yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi ağırlık kaybı izlenerek k hedeflenen nem (%2) oranına ulaşıncaya kadar sürdürülmüştür. Kurutma işlemi sonrasında örnekler tepsilerden alınarak oda sıcaklığına (24±0,5 °C) kadar soğutulduktan sonra cam kavanozlara alınmıştır. Cam kavanozlara alınan cips örnekleri analiz edilinceye kadar 4±0,5 °C'de buzdolabında saklanmıştır (Şekil 3.4).

Çizelge 3.1. Kocayemiş Cipsi İçeriği (Kontrol, %0 Alg)

Bileşenler	Miktar
Kocayemiş (%63,09)	315,45 g
Hindistan Cevizi Unu (%15,77)	78,85 g
Elma Suyu Konsantresi (%14,83)	74,15 g
Hindistan Cevizi Yağı (%6,31)	31,55 g
Alg *(Dunaliella salina)*	0

Çizelge 3.2. %1 Alg İçeriğine Sahip Kocayemiş Cipsi İçeriği

Bileşenler	Miktar
Kocayemiş (%63,09)	315,45 g
Hindistan Cevizi Unu (%15,77)	78,85 g
Elma Suyu Konsantresi (%14,83)	74,15 g
Hindistan Cevizi Yağı (%6,31)	31,55 g
Alg *(Dunaliella salina)*	5 g

Çizelge 3.3. %3 Alg İçeriğine Sahip Kocayemiş Cipsi İçeriği

Bileşenler	Miktar
Kocayemiş (%63,09)	315,45 g
Hindistan Cevizi Unu (%15,77)	78,85 g
Elma Suyu Konsantresi (%14,83)	74,15 g
Hindistan Cevizi Yağı (%6,31)	31,55 g
Alg *(Dunaliella salina)*	15 g

Çizelge 3.4. %5 Alg İçeriğine Sahip Kocayemiş Cipsi İçeriği

Bileşenler	Miktar
Kocayemiş (%63,09)	315,45 g
Hindistan Cevizi Unu (%15,77)	78,85 g
Elma Suyu Konsantresi (%14,83)	74,15 g
Hindistan Cevizi Yağı (%6,31)	31,55 g
Alg *(Dunaliella salina)*	25 g

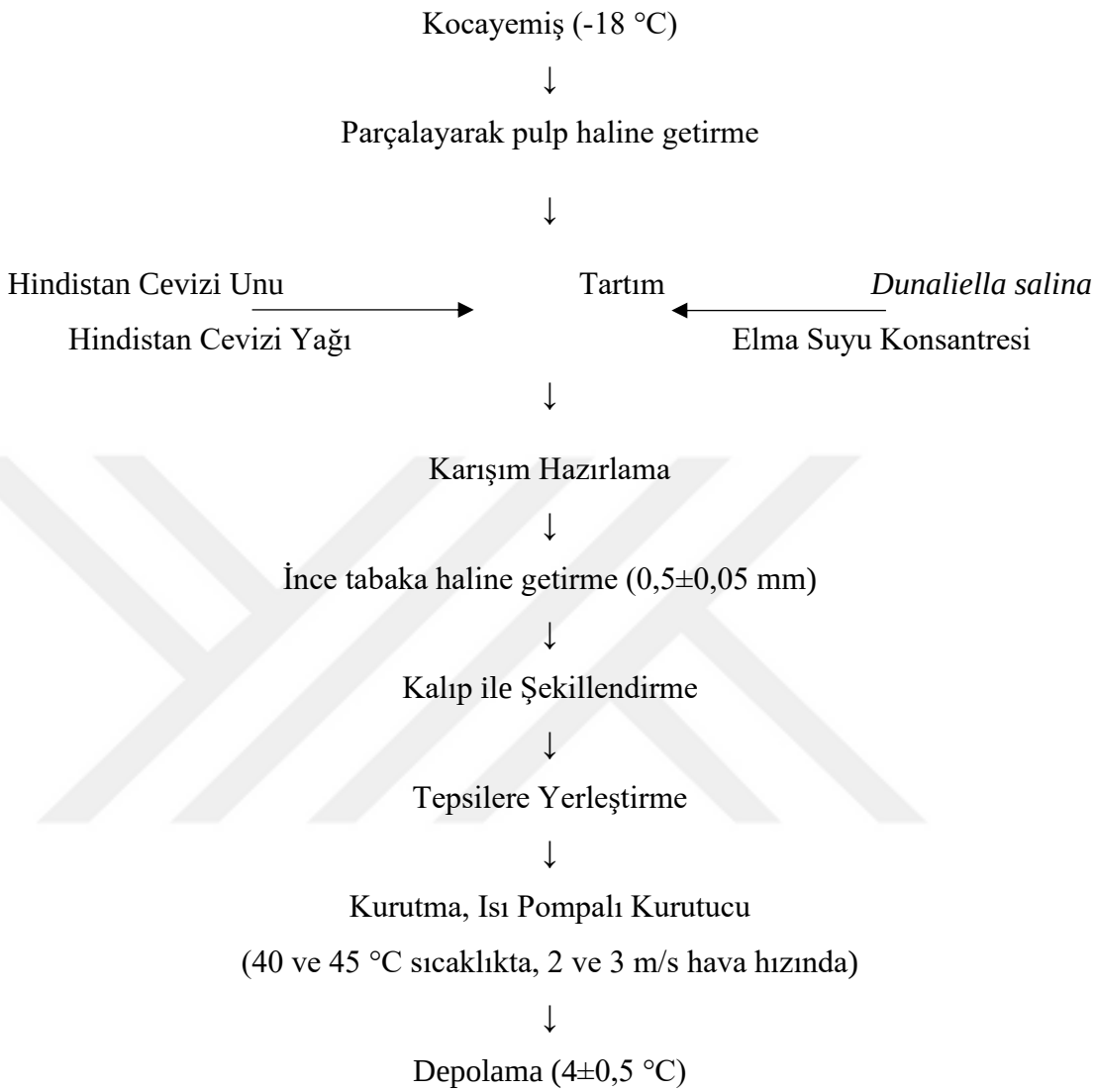


Şekil 3.2. Kocayemiş cipsi üretimi için kurutma öncesi hazırlık.



Şekil 3.3. Kocayemiş cipsi üretimi için kurutma öncesi karışımın hazırlanması.

3.2.1 Üretim akış şeması



Şekil 3.4. Mikroalg ilaveli cips üretimi akım şeması

3.3. Kurutma İşlemi

Kurutma işlemi ısı pompalı kurutma cihazında yapılmıştır (Şekil 3.4). Yapılan kurutma işlemi 40 ve 45°C'de gerçekleştirilmiştir. Kurutucu havanın hızı ise 2 m/s ve 3 m/s olarak belirlenmiştir. Seçilen sıcaklık, hava hızıve son ürün nemi verileri; ön denemeler ve bu denemelerin duyusal değerlendirmeleri ve kurutma cihazı kapasitesi kapsamında belirlenmiştir. Başlangıç nem miktarı %38,87 olan örnekler %2-3 nem oranına sahip

olacak şekilde kurutulmuştur. Kurutma süreci load cell yardımı ile sistemde ısı kaybı olmadan ağırlık azalması ile takip edilmiştir. Kurutma işlemi süresince, kurutma kabin sıcaklığı, ortam nemi, ortam sıcaklığı, kondenser giriş ve çıkış sıcaklıkları, genleşme valfi çıkış sıcaklıkları, kompresör giriş ve çıkış basınçları, hava hızı, kompresör elektrik tüketimi, toplam elektrik tüketimi verileri ilgili sensör ve göstergelerden okuma yapılarak düzenli olarak kayıt altında tutulmuştur (Şekil 3.5).

Cips hamuru karışımları önceden sistem kabini içerisinde bekletilerek ısıtılmış tepsilere yerleştirilmiştir (yaklaşık 30 – 45 dk.). Tepsilerdeki ürünler yerleştirildikten sonra load cell'den ilk ağırlık verisi alınıp kaydedilmiştir. Karışımlardan alınan örneklerin başlangıç nem içerikleri (%38,87) kızılötesi nem tayin cihazında (SHIMADZU MOC63, Japonya) ölçülmüştür. Ölçüm cihazında dara alındıktan sonra 5 g'a kadar tartılan örnekler cihazın ölçüm kabına eşit bir şekilde yaydırılarak eklenmiştir. Sonuçlar % nem olarak kaydedilmiştir. Kızılötesi nem tayin cihazından alınan bu sonuç, kurutma sistemine giren ürün kütlesi ile birlikte hesaplanmış, kurutma sonrası istenilen son nem seviyesine (%2 – 3) ulaşması gerektiği ağırlık hesaplanmıştır. Böylelikle load cell'den alınan verilere bağlı olarak sistem istenilen ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutma işlemi devam ettirilmiştir.



Şekil 3.5. Isı pompalı kurutma sistemi.



Şekil 3.6. Kurutma kabini ve kontrol paneli.

3.4. Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellemesi

Mikroalg ilavesi ile zenginleştirilmiş kocayemiş cipsi örneklerindeki kurutma karakteristiklerini en iyi tanımlayan modeli belirlemek için on farklı ince tabaka kurutma modeli uygulanmıştır. Örneklere ait ayrılabilir nem oranı (MR) aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad \textbf{(1)}$$

$$KH = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad \textbf{(2)}$$

Denklemlerdeki semboller M, M_e, M_i, M_t ve M_{t+dt} sırasıyla belli bir zamandaki nem içeriğini (g su/g km), denge nem içeriğini (g su/g km), başlangıç nem içeriğini (g su/g km), belli bir t ve t+dt (dk) anlarındaki nem içeriğini (g su/g km)ifade etmektedir. M_e, bileşenin ortam nemi ile dengelendiği değer için tanımlanan veridir. Bir gıda materyali belirli düzeyde nem içeren bir ortamda kaldığında ortamdaki nemden daha düşük nem içeriğine sahip ise nem çeker; eğer ortama göre daha yüksek nem içeriğine sahipse ortama nem salınımı yapar.

Çizelge 3.5. Kocayemiş cipsi örneklerinde uygulanan kurutma modelleri

Model No	Model Adı	Eşitlik
1	Page	$MR=\exp(-kt^n)$
2	Lewis	$MR=\exp(-kt)$
3	Logaritmik	$MR=a\exp(-kt)+c$
4	Henderson ve Pabis	$MR=a\exp(-kt)$
5	İki Terimli	$MR=a\exp(-k_0t)+b\exp(-k_1t)$
6	İki Terimli eksponansiyel	$MR=a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kat)$
7	Wang ve Singh	$MR=1+at+bt^2$
8	Difüzyon Yaklaşımı	$MR=a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kbt)$
9	Verma vd.	$MR=a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-gt)$
10	Midilli vd.	$MR=a\exp(-kt^n)+bt$

RMSE (hataların ortalama karekökü), deneysel ve tahmini veriler arasındaki sapmayı göstermektedir. Kocayemiş cipsi örneklerinin kurutulmasında en yüksek korelasyon katsayısına (R^2) ve en düşük RMSE ve ki-kare ($\chi 2$) değerine sahip olan model en uygun model olarak belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2\right]^{1/2} \quad \textbf{(3)}$$

$$\chi 2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad \textbf{(4)}$$

Burada, $MR_{exp,i}$ deneysel boyutsuz nem oranını, $MR_{est,i}$ tahmini boyutsuz nem oranını, N gözlem sayısını, n ise modeldeki sabitlerin sayısını temsil etmektedir (Avhad ve Marchetti, 2016).

3.5. Efektif Nem Difüzyon Katsayısı

Efektif nem difüzyon katsayısı (ENDK), ürünün nem içeriğine ve sıcaklığına bağlı olarak meyve ve sebzelerin kurutma sürecinin modellenmesinde önemli bir parametredir. Fick'in ikinci difüzyon yasası, gıdanın kurutulmasında yer alan ısı ve kütle transferini tanımlamak için kullanılmaktadır. Uzun kuruma süreleri için ENDK, Fick'in ikinci yasası

(denklem (5)) kullanılarak aşağıdaki varsayımlarla hesaplanmıştır: (i) Ürün boyutları homojen kabul edilmiştir; (ii) ürün özellikleri sabit olup, büzülme etkisi ihmal edilmiştir; (iii) buharlaşma yalnızca ürün yüzeyinde gerçekleşmiştir; (iv) nem dağılımı homojen olarak varsayılmıştır; (v) kütle transferi, homojen nem dağılımı sayesinde simetrik olmuştur ve (vi) kuruma sonunda ürün yüzeyindeki nem dengeye ulaşmıştır (Crank, 1979). Silindir geometrisi için Fick yasasının matematiksel çözümleri aşağıdaki denklemlerde verilmiştir:

$$\mathrm{MR} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\mu_n^2} \exp\left(\frac{-\mu_n^2 ENDK}{r^2}\right) \quad \textbf{(5)}$$

$$\mathrm{MR} = \frac{4}{\mu_1^2} \exp - \left(\frac{\mu_n^2 ENDK}{r^2}\right) \quad \textbf{(6)}$$

Burada ENDK, efektif nem difüzyon katsayısını (m^2/s), r dilimin yarıçapını (m), n pozitif terimlerin sayısını, μ Bessel fonksiyonunu ve t zamanı (s) ifade etmektedir. Denklem (6) doğrusal bir forma dönüştürülmüş ve ENDK (denklem (7)), denklem (8)'in eğimi (K) kullanılarak ln(MR) ile zaman arasındaki grafiğin çizilmesiyle elde edilmiştir. Denklem (7), ilişkili ifadenin (denklem (9)) kesişim noktası (y_0) olarak kullanılmış ve μ değerini belirlemek için kullanılmıştır (Mota vd., 2010).

$$\ln(MR) = ln\left(\frac{4}{\mu_1^1}\right) + \left[-ENDK\left(\frac{\mu_1^2}{r^2}\right)\right] t \quad \textbf{(7)}$$

$$K = \frac{\mu_1^2 ENDK}{r^2} \quad \textbf{(8)}$$

$$y_0 = ln\left(\frac{4}{\mu_1^2}\right) \quad \textbf{(9)}$$

Burada, $MR_{exp,i}$ deneysel boyutsuz nem oranını, $MR_{est,i}$ tahmini boyutsuz nem oranını, N gözlem sayısını, n ise modeldeki sabitlerin sayısını temsil etmektedir (Avhad ve Marchetti, 2016).

3.6. Numune Hazırlığı

Kurutma işlemi sonrasında cam kavanozlarda 4±0,5 °C'de muhafaza edilen cips örnekleri nem çekmeden kahve ve baharat öğütücüde toz haline getirilip depolanmak üzere numune kaplarına alınmıştır (Şekil 3.6). Numuneler -18 °C'de analiz edilene kadar muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.7. Kurutma sonrası cipslerin öğütülmesi.

3.7. Analizler

3.7.1 Sindirilmemiş numunelerin ekstraksiyonu

2 g örnek üzerine 5 mL ekstraksiyon çözeltisi (%75 metanol, %0,1 formik asit içeren sulu çözelti) eklendikten sonra 3-5 saniye vorteksleme (LAB COMPANION VM-96B, Kore) işlemi yapılan örnekler ultrasonik su banyosunda (ISOLAB, Almanya) 4 °C'de 15 dakika bekletilmiştir. Ultrasonik su banyosundan çıkan örnekler 2700 rpm'de 10 dakika 4 °C'de santrifüj (HITACHI CF15RN, Japonya) edilmiştir (Şekil 3.7). Santrifüjden çıkan örneklerdeki sıvı üst faz alınarak altta kalan katı faz üzerine tekrar ekstraksiyon çözeltisi eklenip aynı işleme tabi tutulmuştur. Yapılan bu işlem 2 defa tekrar edilmiştir. Üst faz

0,22 mikron (µm) şırınga filtresi kullanılarak filtre edilmiştir (Kamiloglu ve Capanoglu, 2015).



Şekil 3.7. Ekstraksiyon işlemi

3.7.2. *In vitro* gastrointestinal sindirim

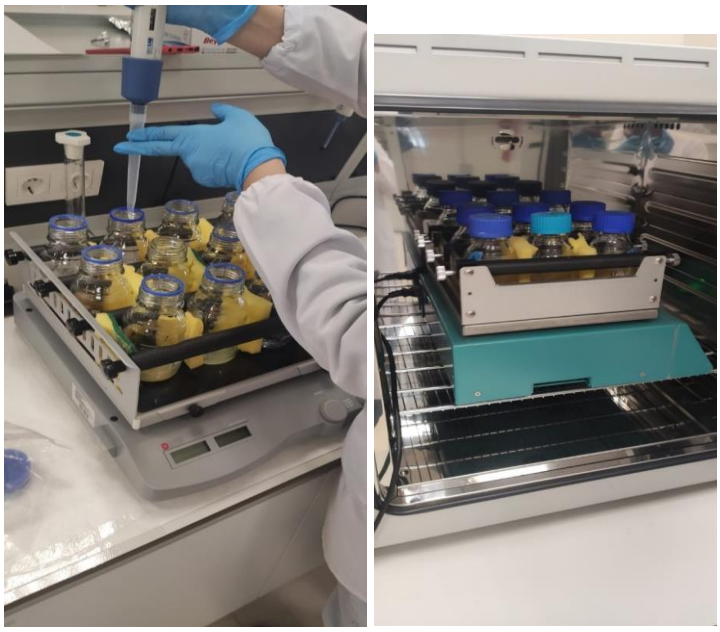
Biyoerileşebilirlik analizleri için fizyolojik koşullar revize edilerek standartlaştırılmış *in vitro* sindirim modeli uygulanmıştır. Sindirim modeliyle mide ve ince bağırsak ortamları simüle edilmiştir (Minekus vd., 2014). Biyoerileşebilirlik analizlerinin ilk basamağı olan, ağızdaki sindirim atlanarak diğer aşamalara geçilmiştir. Bu amaçla homojen hale getirilmiş cips örneklerinden 2±0,006 g katı örnek üzerine sırasıyla 8 mL ultra saf su, 8 mL ağız elektrolit solüsyonu, 0,050 mL kalsiyum klorür, 1,950 mL ultra saf su eklenerek 37 °C'deki etüvde (BINDER ED 115, Almanya) bulunan çalkalayıcıda (DLAB, SK-0330 PRO) 2700 rpm'de 2 dakika çalkalanmıştır. Örneklere daha sonra 15 mL mide elektrolit solüsyonu, 3,2 mL pepsin (Sigma, P7012, 25000 U/mL), 0,01 mL kalsiyum klorür, 0,4 mL 1 M hidroklorik asit, 1,39 mL ultra saf su eklenerek 37 °C'deki etüvde bulunan çalkalayıcıda 2700 rpm'de 2 saat boyunca inkübasyona alınmıştır. Mide simülasyonu sonrasında 4 mL örnek analizler için ayrılarak 22 mikronluk şırınga fitresinden geçirilmiştir. Bağırsak simülasyonuna geçmek üzere numunelerin üzerine 19,8 mL ince bağırsak elektrolit solüsyonu, 9 mL pankreatin (Sigma, P7545, 800 U/mL), 4,5 mL safra sıvısı (Sigma, B8631), 0,072 mL kalsiyum klorür, 0,27 mL sodyum hidroksit, 2,358 mL ultra saf su eklenmiştir. Örnekler 37 °C de 240 rpm'de 2 saat çalkalanmıştır (Şekil 3.8). İşlem sonrası örnekler yüksek hızlı soğutmalı mikro santrifüj (HITACHI CF 15RN, Japonya) ile 2700 rpm de 4 °C'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Üst faz alınarak 22

mikronluk şırınga fitresinden geçirilmiştir. Elde edilen ekstraktlar analiz edilene kadar -18 °C'de depolanmıştır. İşlem boyunca kullanılan *in vitro* sindirim elektrolit solüsyonları Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ağız, mide ve ince bağırsak elektrolit solüsyonları

Ağız, Mide ve İnce Bağırsak Elektrolit Solüsyonları				
Bileşenler	**Bileşen Konsantrasyonu (mol/L)**	**Stok Hacmi (mL)**		
		Ağız Elektrolit Solüsyonu	**Mide Elektrolit Solüsyonu**	**İnce Bağırsak Elektrolit Solüsyonu**
KCl	0,5	15,1	6,9	6,8
KH_2PO_4	0,5	3,7	0,9	0,8
$NaHCO_3$	1	6,8	12,5	42,5
NaCl	2	-	11,8	9,6
$MgCl_2(H_2O)_6$	0,15	0,5	0,4	1,1
$(NH_4)_2CO_3$	0,5	0,06	0,5	-
HCl	6	0,09	1,3	0,7

Mikroalg ilaveli kocayemiş cipsi örnekleri için sindirim sistemi simüle edildikten sonra mide ve ince bağırsak ekstraktlarına toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde ve antioksidan kapasite (DPPH, FRAP ve CUPRAC) analizleri uygulanmıştır.

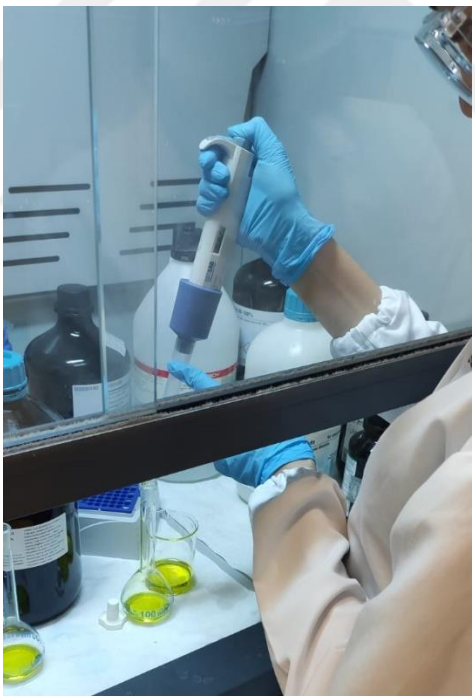


Şekil 3.9. *In vitro* biyoerişilebilirlik.

3.7.3. Toplam fenolik madde tayini

100 µL'lik ekstrakt üzerine %10'luk 0,75 mL Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiştir (Şekil 3.9). 5 dakika bekletildikten sonra bu karışıma 0,75 mL (%6'lık) sodyum karbonat çözeltisi ilave edildikten sonra vorteks ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım oda sıcaklığında 90 dakika karanlıkta bekletildikten sonra oluşan rengin absorbansı spektrofotometrede (SHIMADZU UV-1700, Japonya) 725 nm'de okunmuştur (Rice-Evans vd., 1997; Rice-Evans vd., 1996; Velioglu vd., 1998).

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan gallik asit (10 – 800 ppm) varlığında absorbansın ölçülmesiyle bir gallik asit kalibrasyon eğrisi (R^2=0,9999) elde edilmiştir. Sonuçlar "mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g kuru madde (km)" olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.10. Folin-Ciocalteu çözeltisinin hazırlanması.

3.7.4. Toplam flavonoid madde tayini

15 mL santrifüj tüpü içerisine 1 mL ekstrakt aktarılmıştır. 0,3 mL $NaNO_2$ eklenip 5 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra $AlCl_3$ eklenerek 1 dk inkübasyona alınmıştır. 2 mL

NaOH ve akabinde 2,4 mL saf su eklenmiştir (Şekil 3.10). Elde edilen sıvı santrifüj edilerek mikro küvete boşaltılmıştır. Spektrofotometrede (SHIMADZU UV-1700, Japonya) 510 nm' de okuma yapılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan rutin (10 – 800 ppm) varlığında absorbansın ölçülmesiyle bir rutin kalibrasyon eğrisi (R^2=0,9958) elde edilmiştir. Sonuçlar "mg rutin eşdeğeri (RE)/100 g km" olarak ifade edilmiştir (Zhishen vd., 1999; Kim vd., 2003)

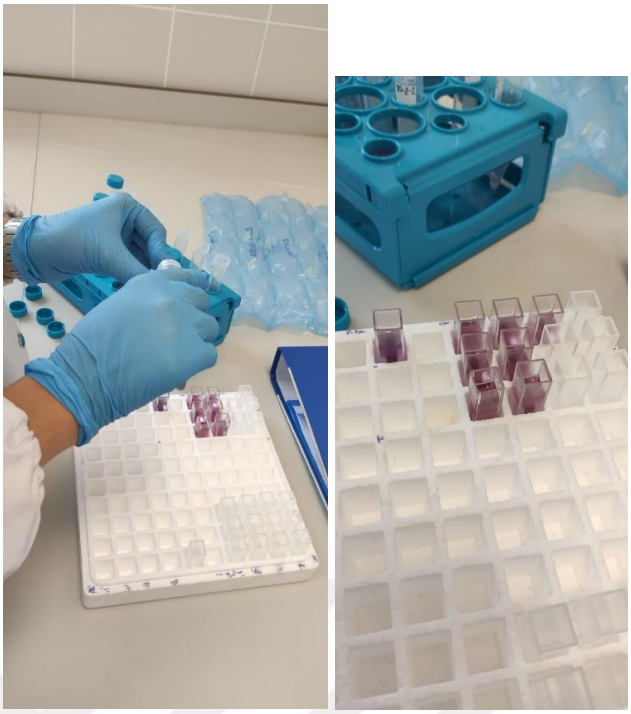


Şekil 3.11. Toplam flavonoid madde miktarı analizi.

3.7.5. Toplam antioksidan kapasite analizleri

DPPH (2,2–difenil–1–pikrilhidrazil) yöntemi

100 µL ekstrakt 2 mL 0,1 mM DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine) reaktifi ile karıştırılmış, tüplerin kapakları kapatılarak 30 dakika karanlık ortamda bekletilmiş ve 30 dakika inkübasyona bırakılmıştır (Şekil 3.11). İnkübasyondan sonra numunelerin 517 nm'de spektrofotometrede (SHIMADZU UV-1700, Japonya) ~~(Agillent, Cary 60)~~ absorbans ölçümü yapılmıştır. Farklı derişimlerde hazırlanan trolox (6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit) (10 – 800 ppm) varlığında DPPH çözeltisinin absorbansındaki değişimin ölçülmesiyle bir trolox kalibrasyon eğrisi (R^2=0,9923) elde edilmiştir. Sonuçlar "µmol trolox eşdeğeri (TE)/g km" olarak belirlenmiştir (Kumaran ve Karunakaran, 2006).



Şekil 3.12. DPPH yöntemi ile antioksidan kapasite analizi.

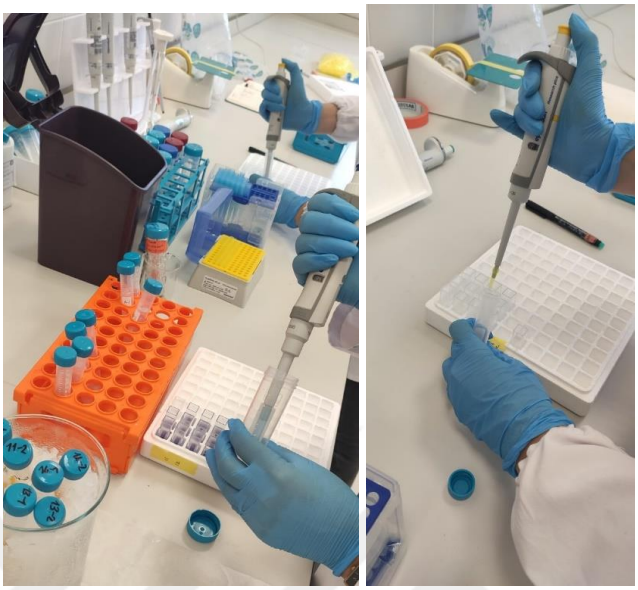
CUPRAC (Bakır (II) İyonu İndirgenme Antioksidan Kapasitesi) Yöntemi

100 µL ekstrakt tüpe konulmuş, daha sonra tüp içeriğine sırasıyla 1 mL 10 mM $CuCl_2$, 1 mL 7,5 mM neokuproin,1 mL 1 M amonyum asetat ($NH_4C_2H_3O_2$) çözeltisi ve 1 mL distile su ilave edilmiştir. 30 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra spektrofotometre (Shimadzu UV-1700, Tokyo, Japonya) ile 450 nm'de absorbans ölçülmüştür. Farklı derişimlerde hazırlanan trolox (10 – 800 ppm) varlığında CUPRAC çözeltisinin absorbansındaki değişimin ölçülmesiyle bir trolox kalibrasyon eğrisi (R^2=0,9993) elde edilmiş ve sonuçlar "µmol TE/g km" olarak belirlenmiştir (Apak vd., 2007; Apak vd., 2004; Uzunboy vd., 2017).

FRAP (Demir İyonu İndirgeyici Antioksidan Güç) Yöntemi

900 µL FRAP reaktifi (10:1:1 asetat tamponu (pH 3,6), 10 mM 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ) solüsyonu ve 20 mM $FeCl_3$ karışımı), 100 µL ekstrakt ile karıştırılmıştır. Karışımın absorbansı 4 dakika sonra 595 nm'de okunmuştur (Şekil 3.12). Örneklerden

alınan absorbanslar trolox ile çizilen kalibrasyon eğrisinden (R^2=0,9931), "µmol TE/g km" olacak şekilde hesaplanmıştır (Apak vd., 2008).



Şekil 3.13. FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasite analizi.

3.7.6. Renk analizi

Cips örneklerinin renk ölçümleri CR-5 Konika Minolta (Osaka, Japan) renk tayin cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Ölçülen değerlerden L^* değeri açıklık (+) veya koyuluğu (-), a^* parametresi kırmızılık (+) veya yeşilliği (-), b^* parametresi sarılık (+) veya maviliği (-) temsil etmektedir. *Kroma* (C^*) değeri skaladaki renk yoğunluğunu, *Hue* açısı ($h°$) ise ışık yoğunluğunu temsil etmektedir. *Hue* açısı 0° ve 90° arasında ise pozitif a^* ve b^* değerleri, 90° ve 180° arasında ise pozitif b^* ve negatif a^* değeri, 180° ve 270° arasında ise negatif a^* ve b^* değeri ve son olarak 270° ve 360° arasında ise negatif b^* ve pozitif a^* değerine sahip olur (Cemeroğlu, 2007). Ölçülen bileşene ait iki farklı renk arasındaki fark ise Delta E (ΔE) olarak tanımlanır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu tarafından oluşturulan standart bir hesaplama yöntemi olan ΔE, ölçülen iki farklı renkteki L^*, a^* ve b^* değerlerin farklarının karelerin toplamının karekökünü eşittir:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2} \quad \textbf{(10)}$$

3.7.7. Tekstür analizi

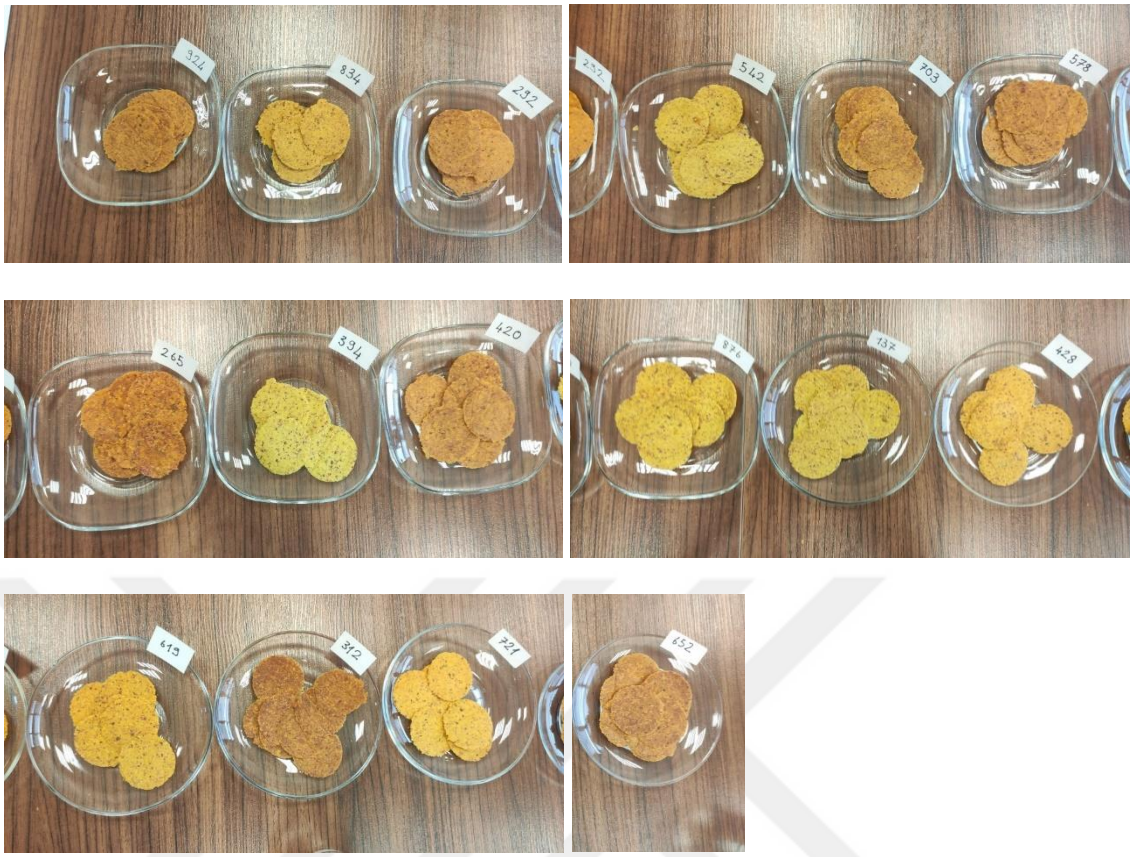
Mikroalg ilaveli kocayemiş cipsi örneklerinin tekstür özellikleri TA-XT Plus (STABLE MICRO SYSTEMS, Birleşik Krallık) tekstür analiz cihazı yardımıyla Craft Knife (A/CKB) bıçağı kullanılarak uygulanmıştır (Baltacıoğlu ve Ülker, 2017; Jovanov vd., 2021). Tekstür profil analizinin gerçekleştiği koşullar ön deneme sonuçlarına bağlı olarak şu şekilde belirlenmiştir; test hızı: 5mm/s, test sonrası hızı: 10mm/s, mesafe: 50 mm. Akabinde Toughness (Tokluk) ve Work of shear (Kayma) parametreleri hesaplanmıştır.

3.7.8. Duyusal analiz

Mikroalg ile fonksiyonelliği zenginleştirilmiş cips örneklerinin duyusal analizleri Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Erkek ve kadınlardan olmak üzere altı adet eğitimli panelist seçilmiştir. Üretilen cips örnekleri 35 mm çapında dairesel şekildedir. Her bir paneliste 16 farklı cips örneği cam tabaklar ve içme suyu ile birlikte sunulmuştur (Şekil 3.13 ve 3.14). Duyusal panel öncesi cips örnekleri buzdolabı koşullarında (+4±0,5 °C) bekletilmiştir. Cips örneklerinde renk, görünüş, koku, tat, tekstür/ağız hissi (kırılganlık, gevreklik, sertlik, yapışkanlık, pürüzlülük, yağlılık) parametreleri test edilmiştir. Bu doğrultuda dokuz noktalı hedonik test skalası (''9'' çok beğendim, ''1'' hiç beğenmedim) kullanılmıştır. Panelistler ürüne özgü renk, görünüş, koku, tat, tekstür/ağız hissindeki beğenilerine göre puanlandırmıştır (Halil vd., 2020).



Şekil 3.14. Duyusal analiz.



Şekil 3.15. Duyusal analiz değerlendirmesi için kurutulmuş meyve cipsi örnekleri.

3.7.9. İstatistiksel analiz

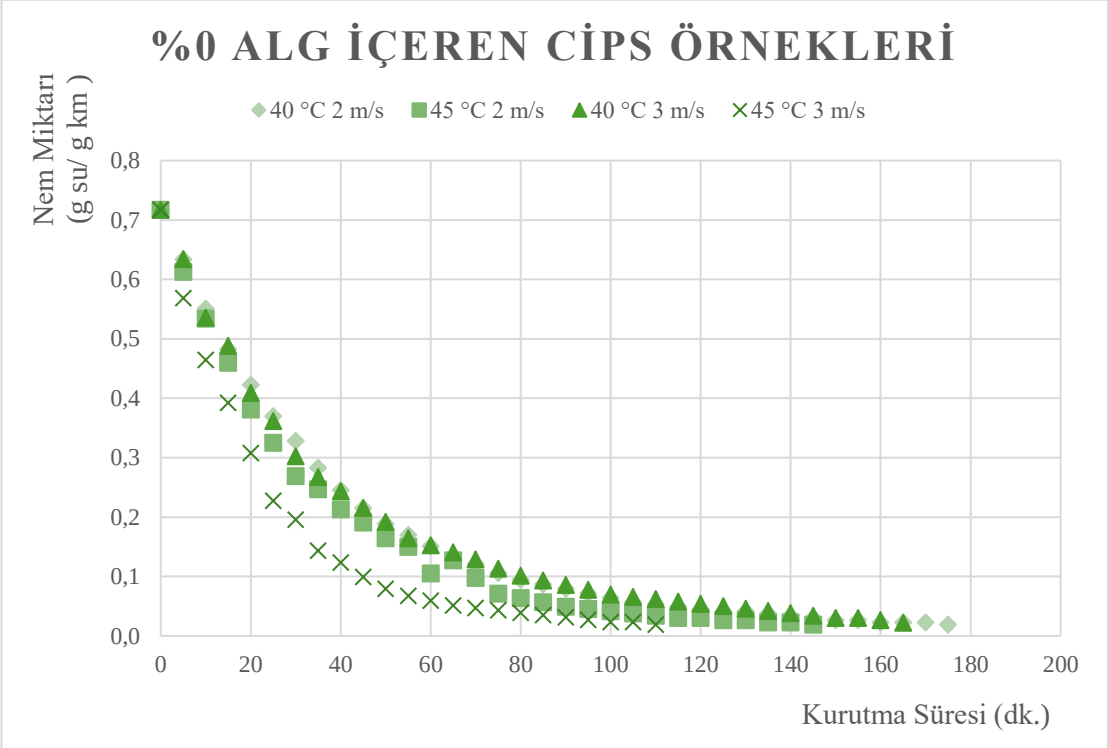
Tüm analizler 3 tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar SPSS 16.0 kullanılarak ANOVA'ya tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki önemli farklılıklar Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir ($P < 0,05$). Elde edilen sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde ifade edilmiştir.

Çalışmamızda, Çizelge 3.5.'de belirtilen on adet deneysel ve yarı deneysel ince tabaka kuruma denklemi uygulanmıştır. Kuruma sabitleri ve katsayılarını tahmin etmek için bu denklemlerin regresyon analizleri MATLAB R2022b ve Curve Fitting Toolbox (MathWorks Inc., MA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

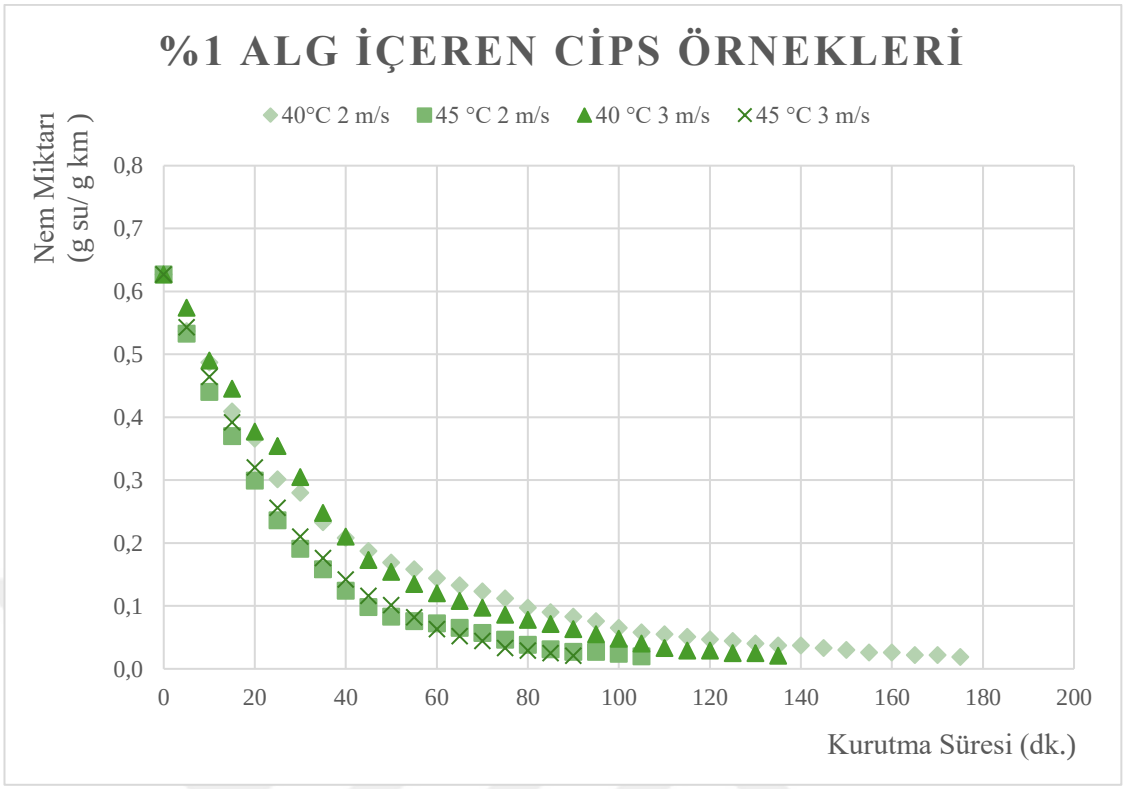
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Nem İçeriğinin Değişimi

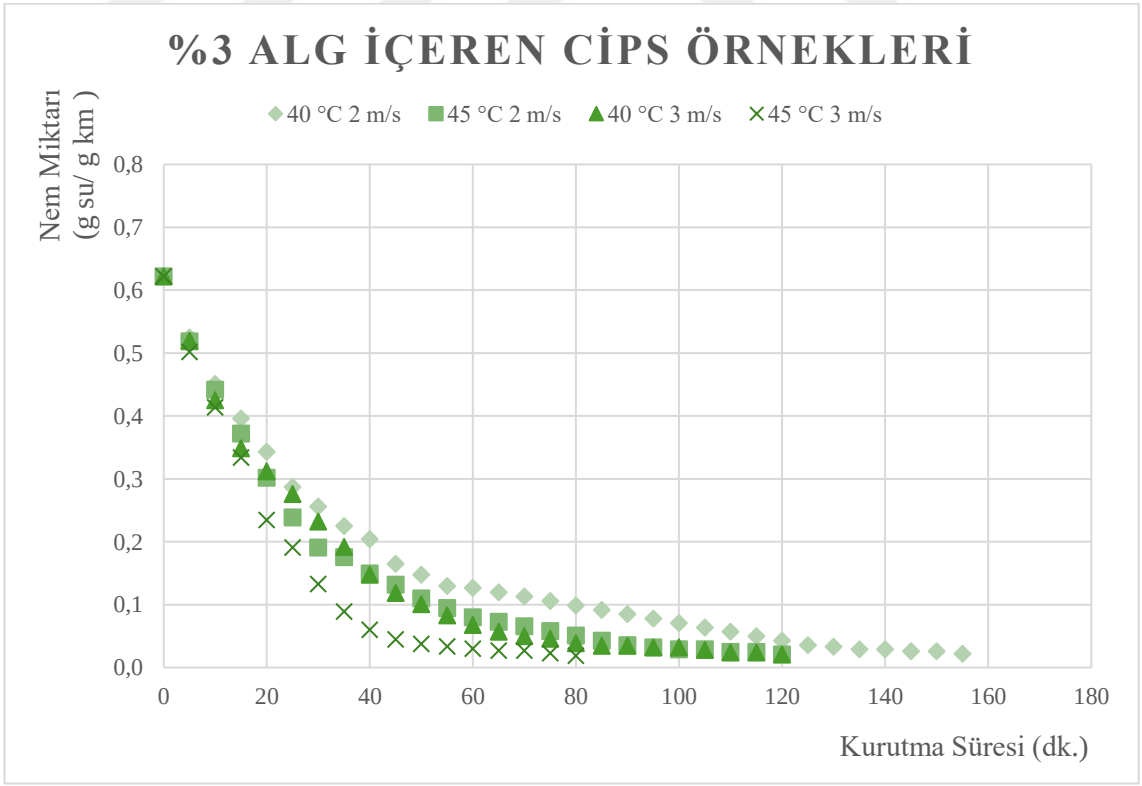
Kurutma işlemi için hazırlanan %0, %1, %3 ve %5 Alg içeren cips karışımlarının kurutma başlangıç nem miktarları sırasıyla 0,717; 0,627; 0,622; 0,636 g su/g km olarak ölçülmüştür. Tüm örnekler 0,02±0,006 g su/g km son nem içeriğine kadar kurutulmuştur. %0, %1, %3 ve %5 alg içeren ve ısı pompalı kurutucuda kurutulan cips örneklerinin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimleri sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3. ve Şekil 4.4' de grafiksel olarak sunulmuştur.



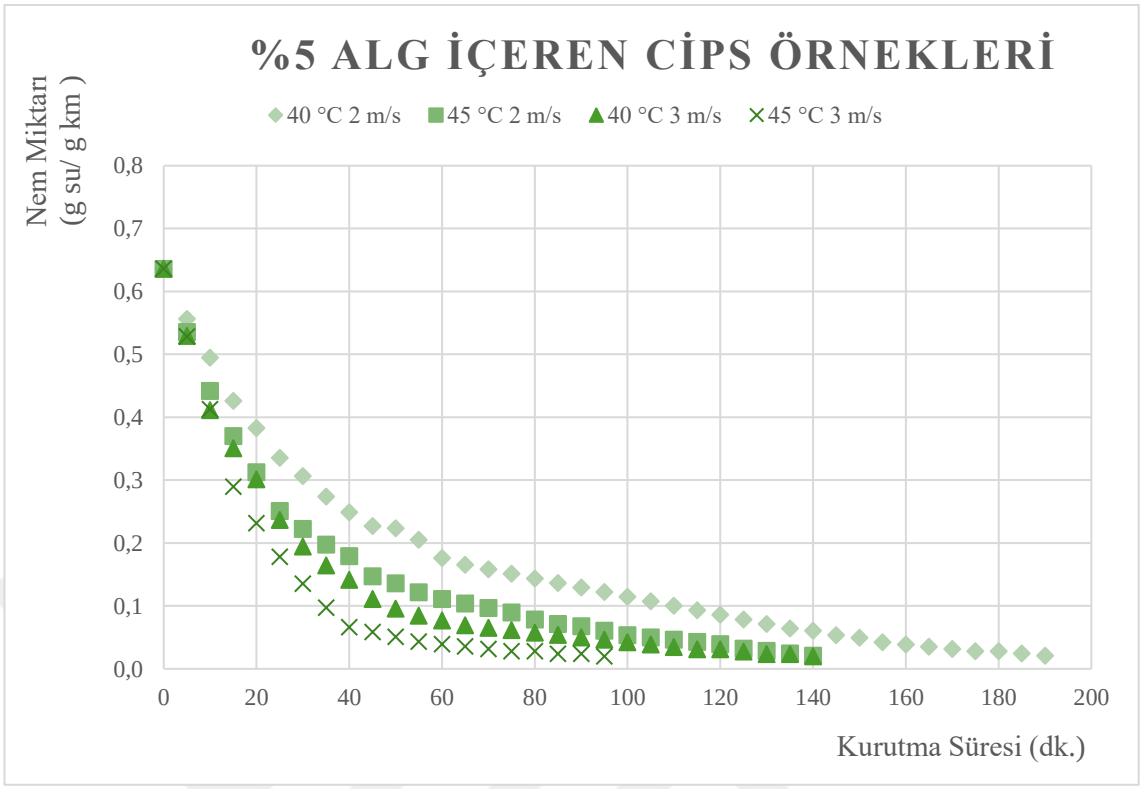
Şekil 4.1. %0 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.



Şekil 4.2. %1 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.



Şekil 4.3. %3 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.

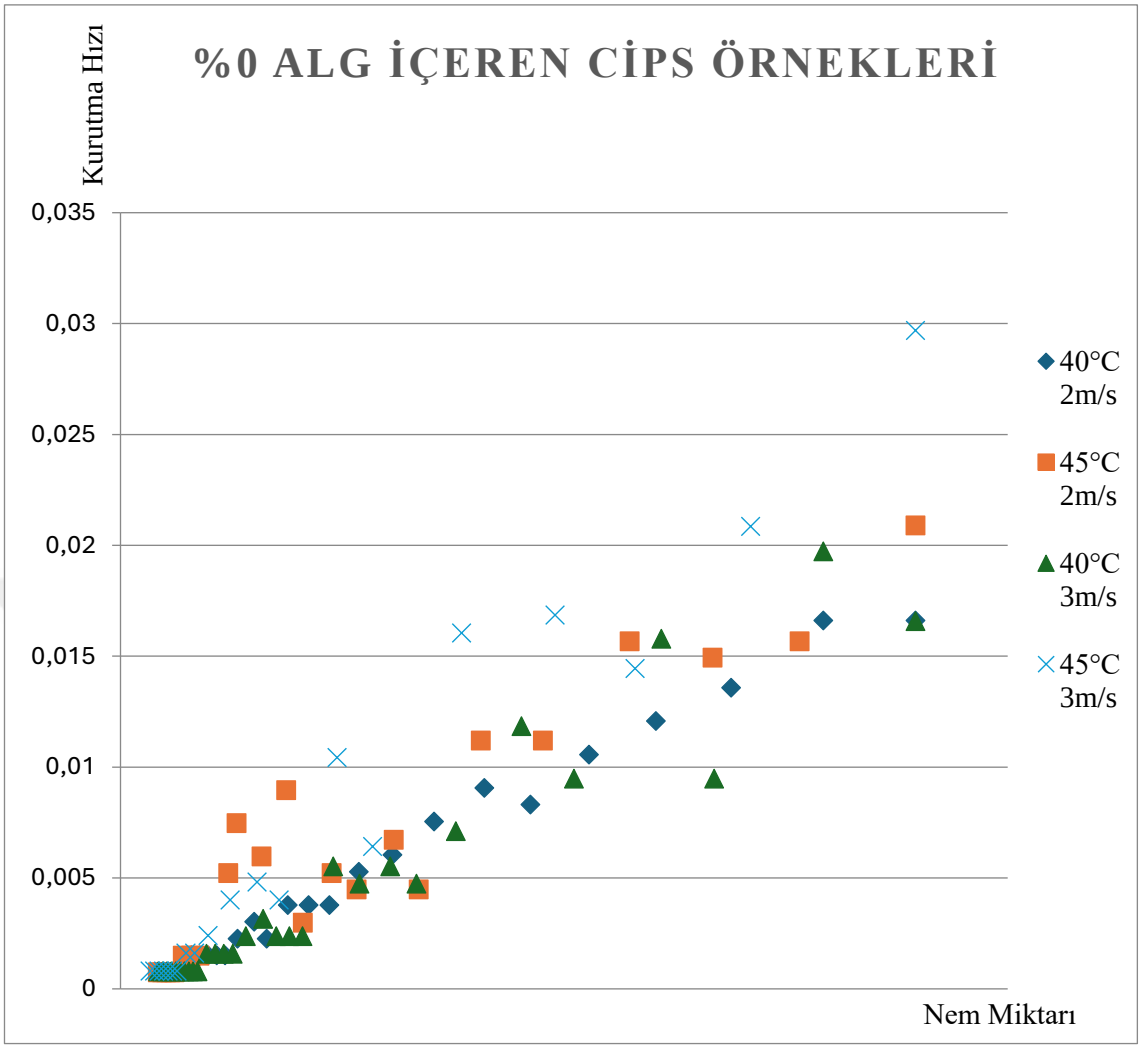


Şekil 4.4. %5 Alg içeren cips örneklerinin nem içeriği değişimi.

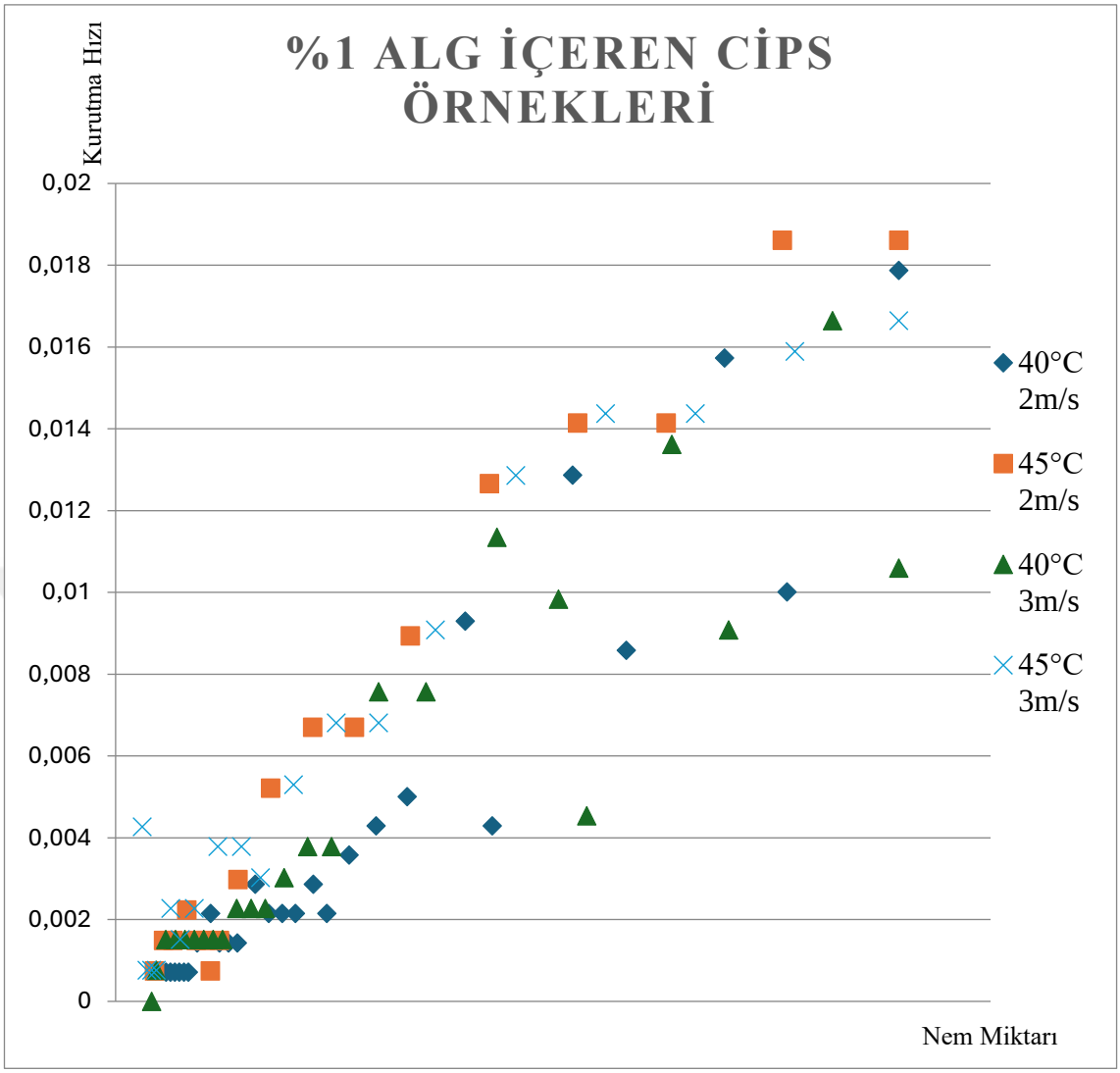
Kurutma süresi sıcaklık ve hava hızına bağlı olarak değişmektedir. Kurutma, 40 °C için ortalama 140-173 dk, 45°C için ortalama 93-127 dk arasında gerçekleşmiştir. Kurutma işlemi süresince hedef nem miktarına en kısa sürede (80 dk.) ulaşan örnek % 3 alg içeren, 3 m/s, hava hızı ve 45 °C'de kurutulan örnek olmuştur. Hedef nem miktarına en uzun sürede (190 dk.) ulaşan örnek ise %5 alg içeren 2 m/s hava hızı ve 40 °C'de kurutulan örnek olmuştur.

4.2. Kurutma Hızı

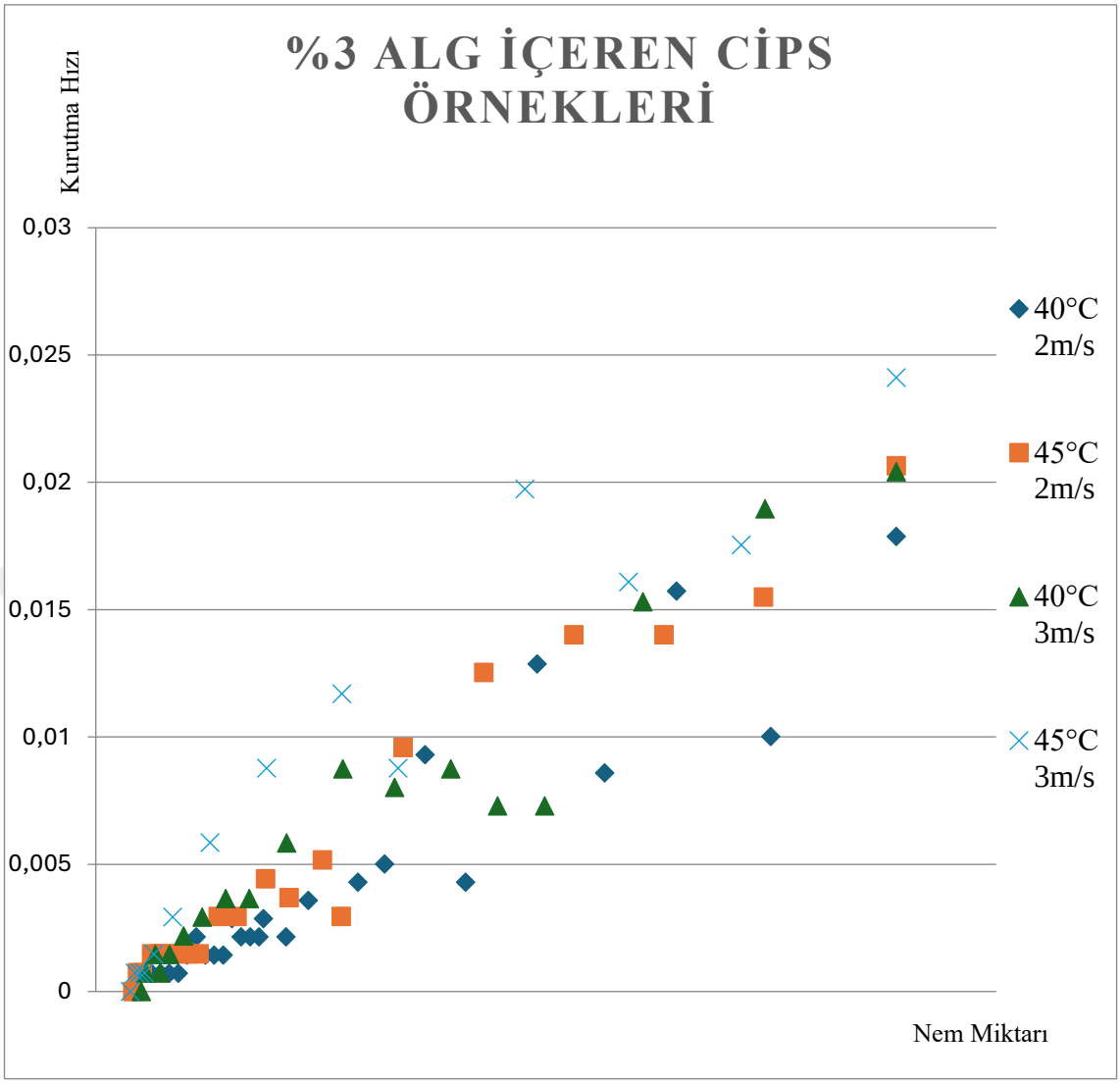
%0, %1, %3 ve %5 alg içeren cips örneklerinin nem içeriğine karşı çizilen kuruma hızı grafikleri sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur.



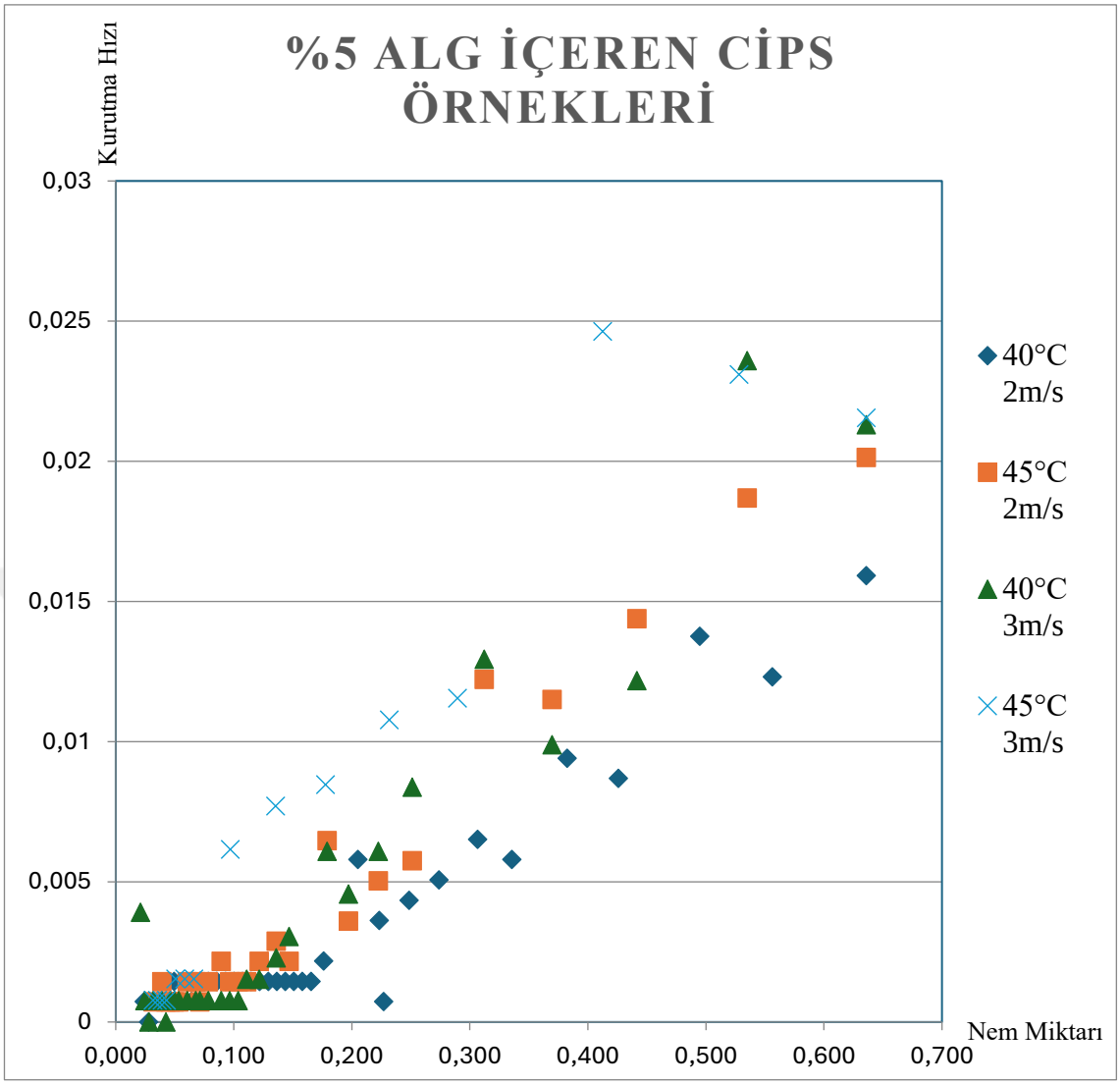
Şekil 4.5. %0 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı



Şekil 4.6. %1 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı



Şekil 4.7. %3 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı



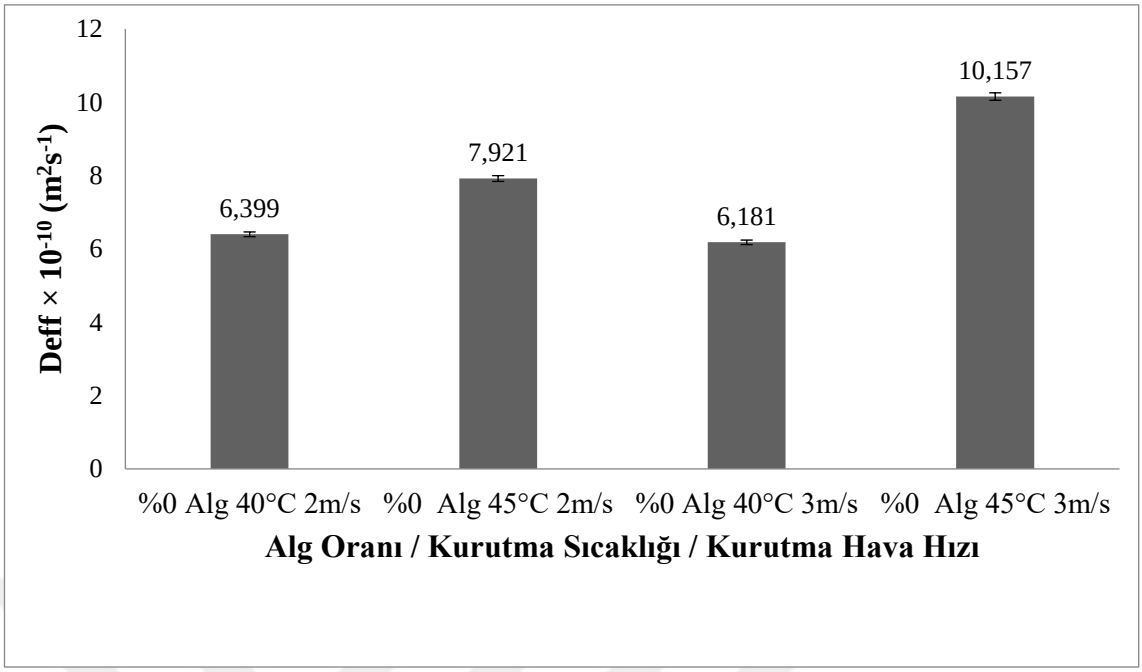
Şekil 4.8. %5 Alg içeren cips örneklerinin kurutma hızı-nem miktarı

Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 incelendiğinde cips örneklerinin ısı pompalı kurutucu ile kurutulmasında genellikle azalan hız kuruma periyodu meydana gelse de, iç ısı üretimi nedeniyle bazen artan kurutma hızları gözlenmiştir. Kurutma hızının, nem içeriğinin en yüksek olduğu kurutma başlangıcında daha yüksek olması cips örneklerinin yüzeyine yakın serbest nemin sürecin başlarında uzaklaştırılması ve ardından nem içeriğinin azalmasıyla kuruma hızının azalmasına dayandırılmaktadır (Malçok vd., 2023). Ayrıca, cips örneklerinin dehidrasyon sırasında sabit bir nem kaynağı sağlamayan ince katmanları nedeniyle sabit bir hız periyoduna sahip olmadığı da bu şekillerden görülebilmektedir. Sadeghi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da kurutma sırasında sabit hız olmadan azalan hız periyodu gözlemlendiği rapor edilmiştir. Alg oranları

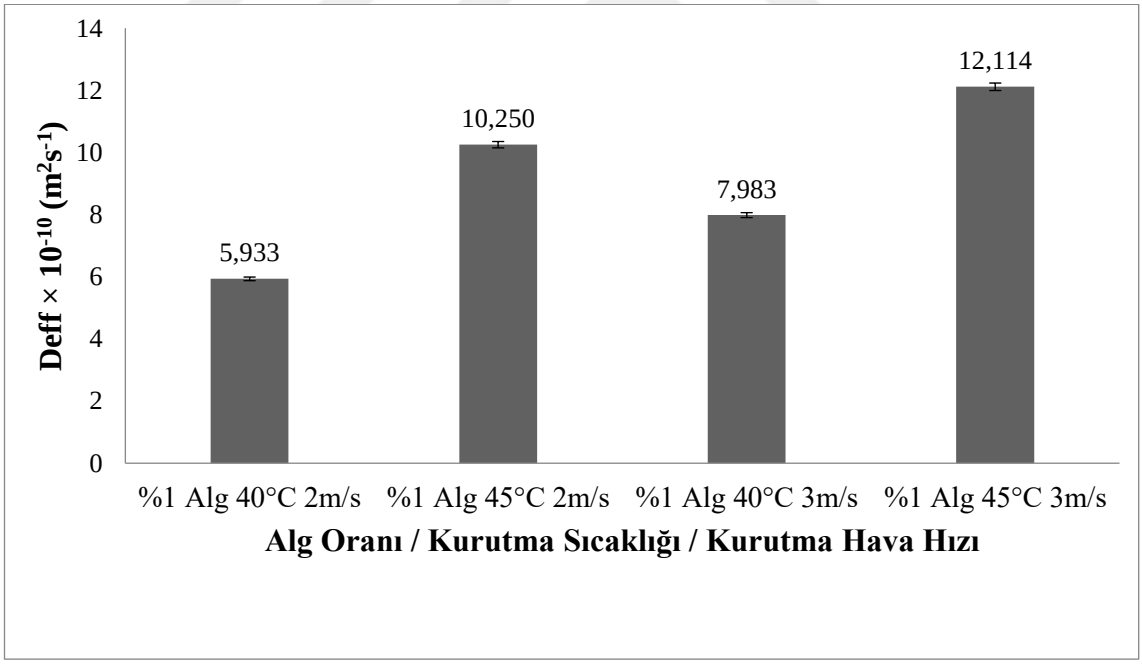
karşılaştırıldığında en kısa sürede kuruması gerçekleşen cips karışımları sırasıyla %0 alg %3 alg %5 alg ve %1 alg içeren örnekler olmuştur. Sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında en hızlı kuruma, aynı hava hızına sahip tüm örnekler için 45 °C'de gerçekleşmiştir. Cips örneklerinde tüm alg oranları için, kurutma sıcaklığı (hava hızı sabitken) arttıkça kuruma hızının arttığı görülmektedir. Hava hızının artması ise tüm örneklerde kurutma süresini kısaltan etmen olmuştur. Hava hızının artması ile üründen ayrılan nem daha hızlı dışarı taşınmış ve kurutmayı hızlandırmıştır. Tunckal vd. (2022) kavun dilimlerini ısı pompalı kurutucuda kurutarak benzer sonuçları elde etmiş, artan hava hızı ve sıcaklık değerlerinde kurutma süresinde azalma tespit etmiştir.

4.3. Efektif Nem Difüzyon Katsayısı

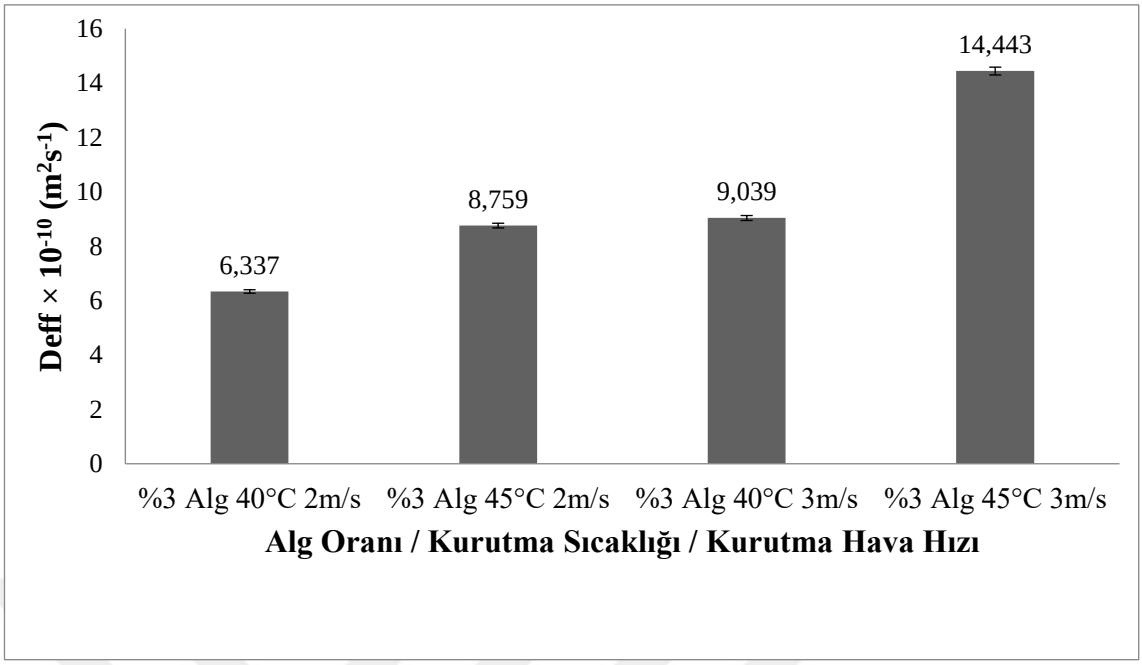
ENDK ürünlerin kurutma işlemi süresince bünyesinde barındığı nemin uzaklaşmasıyla ilgili bir kurutma kinetiği parametresidir. Tüm alg oranları için hesaplanan bu değer $5{,}032 \times 10^{-9}$ ile $14{,}443 \times 10^{-9}$ arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Sıcaklık değerleri incelendiğinde bu değer 45 °C'de 40 °C'ye göre daha yüksek sonuç vermektedir. Özkan Karabacak vd. (2023), benzer sonuçları mikrodalga destekli sıcak hava ile portakal dilimlerinin kurutulması ile elde etmiştir. Kurutma sıcaklığı artışı ile ENDK'daki artış gıdanın içeriğindeki su moleküllerinin kinetik enerjisinin artması ile ilişkilendirilebilir. Bu artış, su moleküllerinin daha hızlı hareket etmesine ve ürünün içinden daha hızlı difüze olmasına neden olur. (Martín-Gómez, J., vd., 2020). Hava hızları karşılaştırıldığında ise 3 m/s hava hızı ile kurutulan örneklerin sonuçları 2 m/s'de kurutulan örneklerin sonuçlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Artan hava hızı üründeki buharlaştırmayı hızlandırmış olup buharlaşan havanın da sistem içerisinden uzaklaştırılmasına etki ederek, efektif nem difüzyon katsayısını arttırmıştır. (Hamid, K., vd., 2022). Alg oranları karşılaştırıldığında 40 °C'de en iyi efektif nem difüzyon katsayısı %3 alg içeren örneklerde saptanırken; 45 °C'de ise efektif nem difüzyon katsayısı değişkenlik göstermekte olup, en yüksek %1 ve %3 alg içeren örneklerde görülmüştür.



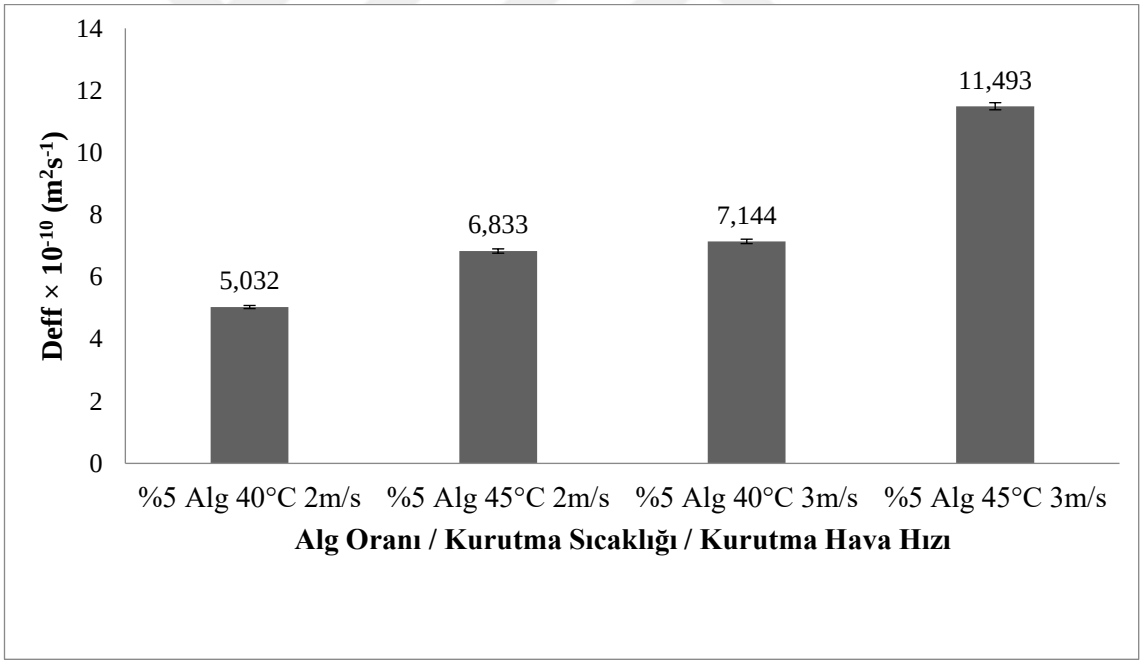
Şekil 4.9. %0 Alg içeren cips örneklerde ENDK



Şekil 4.10. %1 Alg içeren cips örneklerde ENDK



Şekil 4.11. %3 Alg içeren cips örneklerde ENDK



Şekil 4.12. %5 Alg içeren cips örneklerde ENDK

4.4. Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellemesi

Mikroalg ilavesi ile zenginleştirilmiş cips örneklerinde yapılan kurutma kinetiği modellemesi verileri %0, %1, %3 ve %5 alg oranları için sırasıyla Çizelge 4.1.; Çizelge 4.2.; Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. %0 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri

			%0 Alg 2m/s 40°C	**%0 Alg 2m/s 45°C**	**%0 Alg 3m/s 40°C**	**%0 Alg 3m/s 45°C**
Page	Model katsayısı	k	0,03216	0,03561	0,0391	0,04876
		n	0,9415	0,9537	0,8911	0,962
	R^2		0,9985	0,9979	0,9972	0,9969
	RMSE		0,01017	0,01242	0,1384	0,01561
	X^2		0,000109	0,000165	0,000204	0,000267
Lewis	Model katsayısı	k	0,02565	0,02998	0,01587	0,04294
	R^2		0,9974	0,9973	0,9928	0,9965
	RMSE		0,91326	0,01405	0,02193	0,01614
	X^2		0,000181	0,000204	0,000495	0,000272
Logaritmik	Model katsayısı	k	0,02773	0,03153	0,02883	0,04609
		a	0,9803	0,9825	0,9602	0,9833
		c	0,02498	0,01761	0,03925	0,02242
	R^2		0,9998	0,9983	0,9987	0,9985
	RMSE		0,003918	0,0113	0,009745	0,01116
	X^2		0,0000167	0,000142	0,000104	0,000143
Henderson ve Pabis	Model katsayısı	k	0,02533	0,02965	0,0249	0,04262
		a	0,9878	0,02965	0,9713	0,9927
	R^2		0,9976	0,9974	0,9937	0,9966
	RMSE		0,01306	0,01396	0,02084	0,01639
	X^2		0,000181	0,000208	0,000461	0,000294
İki Terimli	Model katsayısı	k_0	0,004689	0,005474	0,02436	0,04219
		k_1	0,02867	0,003224	4,254	6309
		a	0,05352	0,03769	0,9515	0,9827
		b	0,9542	0,9639	0,04851	0,01729
	R^2		0,9998	0,9984	0,9943	0,9966
	RMSE		0,003669	0,01149	0,02042	0,01704
	X^2		0,0000151	0,000152	0,000473	0,000351

Çizelge 4.1. %0 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri (Devamı)

İki Terimli eksponansiyel	Model katsayısı	k	1,204	1	0,9602 (a)	0,05609
		a	0,02084	0,02909	0,02883 (b)	0,564
		c	-	-	0,03925	-
	R^2		0,9977	0,9974	0,9987	0,9974
	RMSE		0,01277	0,01379	0,009745	0,01411
	X^2		0,000173	0,000204	0,000104	0,000218
Wang ve Singh	Model katsayısı	a	-0,0163	-0,01935	-0,01681	-0,0265
		b	0,06542	0,09256	0,07085	0,0001708
	R^2		0,9231	0,9369	0,9172	0,9214
	RMSE		0,07362	0,06858	0,07546	0,07833
	X^2		0,005739	0,005039	0,00605	0,006719
Difüzyon Yaklaşımı	Model katsayısı	k	0,02794	0,02807	0,03363	0,04461
		a	0,9625	0,1824	0,7945	0,9938
		b	0,09857	1,085	0,3187	-0,295
	R^2		0,9998	0,9973	0,9991	0,9986
	RMSE		0,004034	0,0145	0,007782	0,01085
	X^2		0,00001775	0,00234	0,0000664	0,000135
Verma vd.	Model katsayısı	k	0,002792	0,03198	0,01075	0,0005648
		a	0,03771	0,9689	0,2065	0,0217
		g	0,02795	0,004197	0,03366	0,04574
	R^2		0,9998	0,9984	0,9991	0,9984
	RMSE		0,004034	0,01129	0,007782	0,01128
	X^2		0,0000175	0,000142	0,0000664	0,000146
Midilli vd.	Model katsayısı	n	1,275	-6,99	-2,998	2,288
		k	0,1977	-0,568	-3,321	-0,6146
		a	0,6262	0,6242	0,6166	0,4291
		b	-0,004274	-0,005297	-0,004498	-0,006795
		t	0,2265	7,249	9,277	0,7719
	R^2		0,7399	0,7555	0,752	0,713
	RMSE		0,1418	0,1429	0,1372	0,1616
	X^2		0,02335	0,024504	0,022069	0,033368

Çizelge 4.2. %1 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri

			%1 Alg 2m/s 40 °C	%1 Alg 2m/s 45 °C	%1 Alg 3m/s 40 °C	%1 Alg 3m/s 45 °C
Page	Model katsayısı	k	0,04287	0,03572	0,02048	0,02375
		n	0,8618	1,016	1,064	1,117
	R^2		0,9973	0,9967	0,9971	0,9995
	RMSE		0,01337	0,01672	0,01563	0,006743
	X^2		0,000189	0,000308	0,000263	5,08E-05
Lewis	Model katsayısı	k	0,02502	0,03778	0,02611	0,03574
	R^2		0,9896	0,9966	0,996	0,996
	RMSE		0,02571	0,01649	0,01813	0,01899
	X^2		0,000679	0,000285	0,000341	0,000381
Logaritmik	Model katsayısı	k	0,02774	0,04071	0,0271	0,03574
		a	0,945	1	1	1
		c	0,03954	0,02013	0,01058	0,000799
	R^2		0,9972	0,9978	0,9962	0,996
	RMSE		0,0137	0,0141	0,01791	0,01954
	X^2		0,000205	0,00023	0,000359	0,000453
Henderson ve Pabis	Model katsayısı	k	0,0238	0,03834	0,02688	0,03699
		a	0,9548	1015	1,03	1,036
	R^2		0,9919	0,9969	0,9969	0,9975
	RMSE		0,02309	0,01631	0,01611	0,01542
	X^2		0,000565	0,000293	0,000279	0,000266
İki Terimli	Model katsayısı	k0	0,02302	0,03901	0,02746	0,03841
		k1	6,579	6,549	7,554	6,206
		a	0,9254	1,032	1,052	1,075
		b	0,07457	-0,03223	-0,0515	-0,0755
	R2		0,9934	0,9972	0,9976	0,9992
	RMSE		0,02147	0,01641	0,01475	0,009588
	X^2		0,000519	0,000329	0,000254	0,000116
İki Terimli eksponansiyel	Model katsayısı	k	0,05393	0,04282	0,02611	0,03574
		a	0,3437	0,6849	0,9974	0,9973
	R^2		0,9983	0,9968	0,996	0,996
	RMSE		0,0106	0,01656	0,01847	0,01954
	X^2		0,000119	0,000302	0,000367	0,000427
Wang ve Singh	Model katsayısı	a	-0,01602	-0,02566	-0,01869	-0,02623
		b	0,06403	0,0001655	0,08972	0,000179
	R^2		0,8985	0,96	0,9783	0,9913
	RMSE		0,08166	0,05835	0,04292	0,02897
	X^2		0,007061	0,003745	0,001984	0,000938

Çizelge 4.2. %1 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri (Devamı)

Difüzyon Yaklaşımı	Model katsayısı	k	0,04154	0,03843	0,02551	0,03194
		a	0,5688	0,999	1071	1423
		b	0,3555	-0,7431	0,7313	0,7757
	R^2		0,9988	0,9974	0,9961	0,997
	RMSE		0,009192	0,01521	0,01866	0,01739
	X^2		0,0000922	0,000268	0,000389	0,000359
Verma vd.	Model katsayısı	k	0,01475	0,03931	0,02611	0,03574
		a	0,4301	0,9854	0,9979	0,9998
		g	0,0415	0,00001176	0,02614	0,03602
	R^2		0,9988	0,9972	0,996	0,996
	RMSE		0,009192	0,01539	0,01884	0,02014
	X^2		0,0000922	0,000274	0,000398	0,000482
Midilli vd.	Model katsayısı	n	-5,661	8,447	3,228	5,536
		k	-2,144	-6061	-0,4111	-6,71
		a	0,6041	0,6666	0,6834	0,7556
		b	-0,004152	-0,007681	-0,006275	-0,009894
		t	8,236	0,3624	0,4769	0,1134
	R^2		0,7495	0,7672	0,8137	0,8514
	RMSE		0,1343	0,1527	0,1338	0,1319
	X^2		0,020946	0,030175	0,021794	0,023611

Çizelge 4.3. %3 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri

			%3 Alg 2m/s 40°C	**%3 Alg 2m/s 45°C**	**%3 Alg 3m/s 40°C**	**%3 Alg 3m/s 45°C**
Page	Model katsayısı	k	0,05212	0,04421	0,03883	0,02898
		n	0,8257	0,934	0,9706	1,163
	R^2		0,9963	0,9971	0,9969	0,9964
	RMSE		0,01557	0,01491	0,01572	0,01895
	X^2		0,000259	0,000242	0,000269	0,000407
Lewis	Model katsayısı	k	0,02674	0,03499	0,03496	0,0489
	R^2		0,9829	0,9957	0,9966	0,9914
	RMSE		0,03281	0,01774	0,01599	0,02847
	X^2		0,001111	0,000328	0,000266	0,000861
Logaritmik	Model katsayısı	k	0,03048	0,03841	0,03641	0,0489
		a	0,9258	0,9762	0,9835	1
		c	0,05093	0,03017	0,01511	0,007177
	R^2		0,9953	0,9986	-0,9974	0,9914
	RMSE		0,01781	0,01053	0,01472	0,02941
	X^2		0,00035	0,000126	0,000246	0,00105

Çizelge 4.3. %3 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri (Devamı)

Henderson ve Pabis	Model katsayısı	k	0,02494	0,03454	0,03461	0,05052
		a	0,9389	0,9878	0,9901	1035
	R^2		0,9873	0,9959	0,9967	0,9927
	RMSE		0,02872	0,01777	0,01607	0,02706
	X^2		0,000879	0,000343	0,000281	0,000829
İki Terimli	Model katsayısı	k0	0,02373	0,03408	0,03426	0,0534
		k1	4,301	6,184	6,531	6,385
		a	0,8963	0,9749	0,98	1,097
		b	0,1037	0,02508	0,01996	-0,09671
	R^2		0,9906	0,9961	0,9968	0,9949
	RMSE		0,02562	0,0182	0,01654	0,02425
	X^2		0,00075	0,000394	0,000326	0,000769
İki Terimli eksponansiyel	Model katsayısı	k	0,06666	0,05232	0,0419	0,0489
		a	0,3022	0,4851	0,6305	0,9957
	R^2		0,9966	0,9981	0,9969	0,9914
	RMSE		0,01491	0,01205	0,0155	0,02941
	X^2		0,000237	0,000158	0,000261	0,00098
Wang ve Singh	Model katsayısı	a	-0,01758	-0,023	-0,02313	-0,03362
		b	0,07837	0,0001322	0,0001329	0,0002811
	R^2		0,8906	0,9354	0,9526	0,9834
	RMSE		0,08435	0,07036	0,06102	0,04079
	X^2		0,007589	0,005381	0,004047	0,001886
Difüzyon Yaklaşımı	Model katsayısı	k	0,04971	0,03918	0,03543	0,03979
		a	0,542	0,9431	0,9997	2,303
		b	0,3084	0,1513	-1033	0,8592
	R^2		0,9981	0,9986	0,9977	0,9929
	RMSE		0,01142	0,01056	0,01372	0,02759
	X^2		0,000144	0,000127	0,000214	0,000924
Verma vd.	Model katsayısı	k	0,01533	0,005935	0,03407	0,0489
		a	0,458	0,0569	0,9739	0,9928
		g	0,04971	0,03918	0,2919	0,04952
	R^2		0,9981	0,9986	0,9969	0,9914
	RMSE		0,01142	0,01056	0,01607	0,03044
	X^2		0,000144	0,000127	0,000293	0,001212

Çizelge 4.3. %3 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri (Devamı)

Midilli vd.		n	8,465	8,401	7,998	9,698
		k	-4,931	-6,112	-5,595	-2,29
	Model katsayısı	a	0,583	0,6351	0,5909	0,6854
		b	-0,004671	-0,006393	-0,006497	-0,01068
		t	0,588	0,3153	0,5861	0,5827
	R^2		0,7627	0,7538	0,7594	0,7741
	RMSE		0,131	0,1473	0,1474	0,1682
	X^2		0,020339	0,027122	0,027158	0,040079

Çizelge 4.4. %5 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri

			%5 Alg 2m/s 40 °C	**%5 Alg 2m/s 45 °C**	**%5 Alg 3m/s 40 °C**	**%5 Alg 3m/s 45 °C**
Page	Model katsayısı	k	0,04724	0,06232	0,06175	0,0417
		n	0,7937	0,8106	0,8517	1,056
	R^2		0,9963	0,9956	0,9933	0,9941
	RMSE		0,01496	0,01698	0,02101	0,02274
	X^2		0,000236	0,000309	0,000474	0,000575
Lewis	Model katsayısı	k	0,02019	0,03107	0,03681	0,04972
	R^2		0,9739	0,9801	0,9862	0,9934
	RMSE		0,0393	0,0354	0,02964	0,02326
	X^2		0,001585	0,0012979	0,000909	0,000569
Logaritmik	Model katsayısı	k	0,0225	0,03671	0,04261	0,05425
		a	0,8991	0,9285	0,955	1
		c	0,05319	0,05754	0,04608	0,02306
	R^2		0,9904	0,9959	0,9983	0,9956
	RMSE		0,02449	0,01661	0,01084	0,0196
	X^2		0,000649	0,000308	0,000131	0,000452
Henderson ve Pabis	Model katsayısı	k	0,01825	0,02905	0,03547	0,05103
		a	0,913	0,9415	0,9665	1,027
	R^2		0,9837	0,9841	0,9873	0,9941
	RMSE		0,03147	0,03227	0,02891	0,02257
	X^2		0,001044	0,001118	0,000898	0,000566
İki Terimli	Model katsayısı	k 0	0,01736	0,02735	0,03396	0,05359
		k 1	6902	6503	6627	6596
		a	0,872	0,8908	0,9284	1078
		b	0,128	0,1091	0,0715	-0,07793

Çizelge 4.4. %5 Alg içeriğine sahip kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma modellemeleri (Devamı)

	R^2		0,9887	0,9877	0,9887	0,9954
	RMSE		0,02697	0,02944	0,0284	0,02109
	X^2		0,000811	0,001005	0,000936	0,000556
İki Terimli eksponansiyel	Model katsayısı	k	0,06476	0,07725	0,07127	0,0543
		a	0,2441	0,3025	0,3765	0,7307
	R^2		0,9954	0,9958	0,9945	0,9935
	RMSE		0,0167	0,01667	0,01897	0,0238
	X^2		0,000294	0,000298	0,000387	0,000629
Wang ve Singh	Model katsayısı	a	-0,01376	-0,0199	-0,02141	-0,0309
		b	0,04891	0,09962	0,0001113	0,0002315
	R^2		0,8826	0,8753	0,8499	0,9351
	RMSE		0,08445	0,09031	0,09952	0,07511
	X^2		0,007517	0,00876	0,010638	0,006268
Difüzyon Yaklaşımı	Model katsayısı	k	0,06031	0,0544	0,04548	0,05055
		a	0,3546	0,6221	0,9018	0,9994
		b	0,2271	0,2825	0,1446	-0,8445
	R^2		0,9979	0,9989	0,9986	0,9953
	RMSE		0,01141	0,00861	0,009821	0,02081
	X^2		0,000141	0,000083	0,000108	0,000509
Verma vd.	Model katsayısı	k	0,01369	0,01534	0,00656	0,04972
		a	0,645	0,3769	0,09801	0,9996
		g	0,06024	0,05433	0,04548	0,06378
	R^2		0,9979	0,9989	0,9986	0,9934
	RMSE		0,01141	0,00861	0,009821	0,02459
	X^2		0,000141	0,000083	0,000108	0,000711
Midilli vd.	Model katsayısı	n	-2,028	8,419	0,694	0,1873
		k	-7,541	-5,001	3,198	0,457
		a	0,5216	0,569	2,078	0,9331
		b	-0,003813	-0,005063	-0,004854	-0,00807
		t	6,178	0,587	0,2783	0,601
	R^2		0,7992	0,7366	0,6714	0,6923
	RMSE		0,1152	0,1392	0,1562	0,1791
	X^2		0,015222	0,023413	0,029481	0,042769

Hesaplanan sonuçlara göre en uygun kurutma modelleri seçilmiştir.

Çizelge 4.5. Kurutma kinetiği modellemeleri

	Kurutma kinetiği modellemeleri
%0 Alg 2m/s 40 °C	İki Terimli
%0 Alg 2m/s 45 °C	Verma vd.
%0 Alg 3m/s 40 °C	Difüzyon Yaklaşımı- Verma vd.
%0 Alg 3m/s 45 °C	Difüzyon Yaklaşımı
%1 Alg 2m/s 40 °C	Difüzyon Yaklaşımı- Verma vd.
%1 Alg 2m/s 45 °C	Logaritmik
%1 Alg 3m/s 40 °C	İki Terimli
%1 Alg 3m/s 45 °C	Page
%3 Alg 2m/s 40 °C	Difüzyon Yaklaşımı- Verma vd.
%3 Alg 2m/s 45 °C	Logaritmik
%3 Alg 3m/s 40 °C	Difüzyon Yaklaşımı
%3 Alg 3m/s 45 °C	Page
%5 Alg 2m/s 40 °C	Difüzyon Yaklaşımı- Verma vd.
%5 Alg 2m/s 45 °C	Difüzyon Yaklaşımı- Verma vd.
%5 Alg 3m/s 40 °C	Difüzyon Yaklaşımı- Verma vd.
%5 Alg 3m/s 45 °C	Logaritmik

Kurutma karakteristiklerini en iyi belirleyen örnekleri tespit etmek için en yüksek R^2 değeri (0,6714-0,9998), en düşük $\chi 2$ (0,0000151 – 0,040079) ve en düşük RMSE (0,03669-0,91326) değerine sahip modeller seçilmiştir. Elde edilen bu değerler R^2 için Çizelge 4.17. incelendiğinde cips örneklerinin kurutma karakteristiklerini en iyi belirten kurutma modelleri Difüzyon Yaklaşımı, Verma vd., Logaritmik, Page ve İki Terimli modelleri olarak belirlenmiştir. Karabacak, (2023), kuşburnu pestillerinde pestillerin kurutma karakterlerini en iyi tanımlayan modellerin Page, Modified Page ve Wang ve Singh olduğunu belirtirken bu modellerin ince tabaka kurutma kinetiğini incelemede uygun modeller olduğunu belirtmiştir. IR-ısı pompalı hibrit kurutucuda kurutulan mantar dilimlerinde, Page, Modified Page modellerini kurutma kinetiği incelemede en uygun modeller olduğunu belirtmiştir (Karabacak, 2023; Malçok vd., 2023). Kaya vd. (2015) trabzon hurmasının üç farklı hız (0,5, 1.0 ve 1,5 m/s) ve üç farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 °C) konvektif bir kurutucuda yapmış oldukları kurutma işleminde, kuruma karakteristiğini tanımlamada iki-terimli eksponansiyel modelinin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Kamer vd. (2016) kabak ve patlıcan dilimlerinin hurmasının üç farklı hız (0,5, 1,0 ve 1,5 m/s) ve üç farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 °C) konvektif bir kurutucuda yapmış oldukları kurutma işleminde, kuruma karakteristiğini tanımlamada iki-terimli

eksponansiyel modelinin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Kaya vd. (2014) su kabağının kuruma davranışını 1,4 m/s hızında ve 3 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 °C) konvektif bir kurutucuda incelenmiştir. Elde edilen kuruma eğrileri, iki terimli eksponansiyel modele uygun olduğunu belirtmişlerdir. Doymaz, (2005), güneşte kurutulmuş incirlerde elde edilen kurutma eğrilerinden Verma ve ark.'nın uygulamış olduğu modele uygun olduğunu belirtmiştir. Halil (2019), geliştirdiği yeşil zeytin, yeşil zeytin nohut, yeşil zeytin fasulye cipslerinde sıcak hava kurutma, vakum kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutmuş, kurutma modellerini ise page ve modifiye page olarak bulmuştur. Polat, (2023), sarımsak dilimlerini elektrohidrodinamik (EHD)-sıcak hava kombinasyonu yöntemi kullanılarak 50 ve 55 °C'de farklı gerilim değerleri kullanılarak (15, 20, 25 ve 30 kV) kurutulmuştur. Kurutulmuş sarımsak örneklerini en iyi tanımlayan modellerden birisinin Verma vd. Modeli olduğu belirtilmiştir. Perea-Flores vd., (2012), Hint yağı tohumlarını (*R. communis*) kurutmada, 80 – 110 °C aralığında kurutma havası sıcaklığının ve 7 m/s hava hızı ile kurutmuş ve gerçekleşen kurutmada difüzyon yaklaşımı kurutma modellinin diğer kurutma modellerine göre kurutma kinetiği için en uyumlu model olduğunu belirtmiştir.

4.5.Toplam Fenolik Madde İçeriği

In vitro sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneklerinin toplam fenolik madde miktarında meydana gelen değişimler Çizelge 4.6.' te sunulmuştur.

Cips karışımların kurutma öncesi toplam fenolik madde miktarı %0, %1 %3 ve %5 alg oranları için sırasıyla 461,57; 421,35; 398,36 ve 388,70 mg GAE/100 g km olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde toplam fenolik madde içeriklerinde meydana gelen değişimler (mg GAE/100 g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş		*In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)
		Mide	İnce Bağırsak	
%0 Alg İçeren Cips Hamuru	461,57^{h}	-	-	-
%0 Alg 2m/s 40 °C	838,26±161,91^{A,f}	688,09±31,77^{B,cde}	235,98±16,92^{C,f}	%28,15
%0 Alg 2m/s 45 °C	754,62±47,19^{A,g}	637,36±21,03^{B,fgh}	275,03±9,59^{C,de}	%36,44
%0 Alg 3m/s 40 °C	922,46±39,89^{A,cde}	695,56±56,36^{B,bcd}	296,14±6,65^{C,cd}	32,10
%0 Alg 3m/s 45 °C	898,35±31,15^{A,def}	713,14±30,63^{B,bcd}	302,55±56,62^{C,bcd}	33,68
%1 Alg İçeren Cips Hamuru	421,35^{h}	-	-	-
%1 Alg 2m/s 40 °C	966,85±19,57^{A,abcd}	615,34±38,42^{B,gh}	251,97±29,23^{C,ef}	26,06
%1 Alg 2m/s 45 °C	879,35±26,74^{A,ef}	646,85±24,15^{B,efg}	260±18,94^{C,ef}	29,57
%1 Alg 3m/s 40 °C	836,74±17,34^{A,f}	736,27±27,35^{B,ab}	208,21±17,57^{C,g}	24,88
%1 Alg 3m/s 45 °C	826,02±63,29^{A,f}	680,26±39,36^{B,cdef}	189,24±9,42^{C,g}	22,91
%3 Alg İçeren Cips Hamuru	398,36^{h}	-	-	
%3 Alg 2m/s 40 °C	965,94±51,90^{A,abcd}	770,93±43,88^{B,a}	204,06±14,00^{C,g}	21,13
%3 Alg 2m/s 45 °C	1008,00±80,67^{A,ab}	684,72±14,84^{B,cde}	209,11±14,25^{C,g}	20,75
%3 Alg 3m/s 40 °C	988,34±43,44^{A,abc}	650,84±61,27^{B,efg}	322,64±11,96^{C,abc}	32,64
%3 Alg 3m/s 45 °C	920,20±33,98^{A,cde}	612,41±28,47^{B,gh}	324,27±38,20^{C,abc}	35,24
%5 Alg İçeren Cips Hamuru	388,70^{h}	-	-	-
%5 Alg 2m/s 40 °C	1029,90±67,45^{A,a}	600,12±26,83^{B,h}	329,25±14,85^{C,ab}	31,97
%5 Alg 2m/s 45 °C	939,90±16,29^{A,bcde}	672,27±19,66^{B,def}	333,11±14,84^{C,a}	35,44
%5 Alg 3m/s 40 °C	956,95±43,28^{A,abcde}	721,98±22,18^{B,bc}	317,52±15,26^{C,abc}	33,18
%5 Alg 3m/s 45 °C	956,75±26,80^{A,abcde}	715,66±25,20^{B,bcd}	337,06±21,32^{C,a}	35,23

Aynı sütunda farklı küçük harflerle ve aynı satırda farklı büyük harflerle ifade edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklıdır (P<0,05) (n = 3 ± SD).

Kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma işlemiyle %0, %1, %3 ve %5 alg oranlarının tümünde toplam fenolik madde miktarı istatistiksel olarak artmıştır (P<0,05). Tespit edilen bu artış %0, %1, %3 ve %5 alg oranlarına göre sırası ile %63,49 – 99,85; %96,04 – 129,46; %131,00 – 153,04 ve %141,80 – 165,00 arasında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.6.).

Kurutma sıcaklığı değişiminin toplam fenolik madde içeriğinde istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (P<0,05). Kurutma parametreleri değerlendirildiğinde sıcaklık yönünden 40 °C'de kurutulan örneklerde 45 °C'de kurutulan örneklere göre daha yüksek fenolik madde içeriğine rastlanırken, alg oranı artışı ile de benzer şekilde daha yüksek fenolik madde içeriği tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarındaki kurutma ile gerçekleşen artış, alg içermeyen örneklerde daha azdır. Bu durum *Dunaliella salina*

içeriğindeki fenolik bileşenlerin de benzer şekilde ısıl işlem etkisiyle serbest hale geçmesi ile açıklanabilir. Kurutma sonrası toplam fenolik madde miktarı en yüksek olan örnek %5 alg içeriği ile 2 m/s hava hızı ve 40 °C'de kurutulan örnek olmuştur.

Kerse ve Okcu (2020), yapmış olduğu çalışmada kocayemiş meyvesinden üretmiş olduğu pestilleri etüvde farklı sıcaklıklarda ve aynı zamanda farklı kurutma teknikleri ile kurutmuştur. Düşük ve yüksek sakkaroz içeriğine sahip örneklerde en yüksek toplam fenolik madde içeriği sırasıyla, 60 ve 80 °C sıcaklıklarında etüvde kurutma ile tespit edilmiştir.

Özkan-Karabacak vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, kavun dilimlerinin kurutma işlemi sırasında 35 – 45 °C sıcaklık, 5-9 m/s hava hızı ve 0,5-1 mm meyve kalınlığı kullanılmıştır. Isı pompalı kurutucuyla gerçekleştirilen bu işlem sonucunda, toplam fenolik madde miktarında %165'lik bir artış olduğu belirlenmiştir.

Kurutma işlemi süresince cips örneklerindeki toplam fenolik madde içeriğinde gözlenen artış, ısıl işlem etkisiyle matristen ayrılan fenolik salınımla ilişkilendirilebilir (Kamiloglu vd., 2014; Özkan Karabacak, 2019). Özkan Karabacak vd. (2023) tarafından kızılcık-kapya pestili üzerine yapılan bir çalışmada, kurutma işlemi bazı pestil örneklerinde fenolik madde miktarında azalmaya neden olurken, diğerlerinde artışa sebep olmuştur. Benzer sonuçlar, farklı pestil çalışmalarında da gözlemlenmiştir (Karabacak, 2023; Özkan Karabacak, 2019). Araştırmacılar gözlenen bu farklılığın, ürün bileşimindeki kimyasal yapı, oksidatif enzimlerin aktiviteleri ve ekstraksiyon verimliliklerinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Ayrıca oksidatif enzimlerin aktivitesi, organik asitlerin içeriği, şeker konsantrasyonu ve pH gibi faktörler fenolik madde miktarına bağlı olarak değişmektedir (Malçok vd., 2023). Orak vd. (2011) kocayemiş meyvesini hava kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutmuştur. Taze meyvede fenolik miktarı 15,02 µg GAE/g olarak bulurken hava kurutucu ile bu değer 6,66 µg GAE/g dondurarak kurutma ile 11,67 µg GAE/g olarak tespit etmiştir. Araştırmacılar bu çalışmadan farklı olarak, kullanılan kurutma yöntemleri ile fenolik madde miktarında azalma gözlendiğini belirtmiştir. Halil (2019) üretmiş olduğu yeşil zeytin, yeşil zeytin-nohut, yeşil zeytin-fasulye katkılı cipslerde fenolik madde miktarlarını 125,42 – 208,39 mg/100g GAE

arasında bulmuştur. Araştırmacı fenolik madde miktarının kurutma ile azaldığını belirtirken bu azalmayı artan sıcaklık ile fenolik bileşenlerin degredasyona uğraması ile açıklamıştır.

Kurutma işlemi sırasında meydana gelen olaylar, gıda matrisinin yapısını etkileyerek fenolik madde miktarında değişimlere neden olabilmektedir. Bu etkiler, bazı durumlarda fenolik bileşiklerin salınmasıyla artışa, bazı durumlarda ise bu bileşiklerin kimyasal yapısının bozulmasıyla azalmaya yol açabilmektedir.

Dunaliella salina ekstraktı için toplam fenolik madde miktarı 269,20 mg GAE/100 g km olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7.). Alınan sonuç literatür bulguları ile benzerlik göstermekte olup, (Widowati vd., 2017) tarafından *Dunaliella salina* ekstraktında toplam fenolik madde miktarı 4,672 mg GAE/g olarak bulunmuştur. Öte yandan, Cakmak vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada, *Dunaliella salina*'daki toplam fenolik madde miktarını diklorometan ve hekzan ekstraktları ile sırasıyla 56,45 ve 53,27 mg GAE/g km toplam fenolik madde miktarı tespit etmişlerdir. Bizim çalışmamıza göre daha yüksek sonuç elde etmelerinin sebebinin ekstraksiyon yöntemi ve çözgen farklılığı olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 4.7. *Dunaliella salina* ekstraktı için toplam fenolik madde içeriği sonucu

	Dunaliella salina
Toplam fenolik madde (mg GAE / 100 g km)	269,20

Kocayemiş meyvesinde toplam fenolik madde miktarı sindirilmemiş örnekte 1896,75 mg GAE/100 g km iken, mide sindirimi sonrasında 2076,22 mg GAE/100 g km'ye arttığı ve ince bağırsak sindirimi sonrasında ise 359,04 mg GAE/100 g km değerine düştüğü görülmüştür (Çizelge 4.20.).

Çizelge 4.8. *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş meyvesinin toplam fenolik madde içeriğinde meydana gelen değişimler (mg GAE/100 g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş		*In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)
		Mide	İnce Bağırsak	
Toplam fenolik madde (mg GAE / 100 g km)	1896,75	2076,22	359,04	18,92

Yıldız (2014) farklı bölgelerden topladığı kocayemiş örnekleriyle yapmış olduğu çalışmada ortalama fenolik madde miktarını 257,72 mg GAE/100 g km olarak bulmuştur. Erboğa (2016), kocayemiş meyvesinde toplam fenolik madde miktarını 274,37 mg GAE/g olarak bulmuştur. Kerse ve Okcu (2020), meyvede fenolik madde miktarını 1612,517 mg GAE/100 g km olarak bulmuştur. Uysal (2015), meyvedeki fenolik madde miktarını 7,94 mg GAE/g km olarak belirlemiştir. Umut vd. (2022), farklı bölgelerden elde ettikleri kocayemiş meyvelerinde fenolik madde miktarını 528-968 mg GAE/100g km olarak tespit etmiştir. Ruiz-Rodríguez vd. (2011), farklı bölgelerden farklı yıllarda toplanan meyve örneklerindeki fenolik madde miktarını, 1973,0 (2007 yılı), 1736,4 (2008 yılı), 1351,2 (2009 yılı) mg GAE/100 g km olarak bildirmiştir. Literatür bulguları meyvenin toplandığı bölgeye, mevsime, yıla ve saklama koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Bayrakdar (2020) ise, kiraz, şeftali, vişne ve çilek kullandığı fonksiyonel meyve cipslerinde fenolik madde miktarını 118,25-381,78 mg GAE/100 g km olarak tespit etmiştir.

In vitro biyoerişilebilirlik ile tüm örnek formülasyonlarında mide ve ince bağırsak aşamalarının her ikisinde de toplam fenolik madde miktarlarında azalma görülmüştür ($P<0,05$). Sindirilmemiş ve mide örnekleri karşılaştırıldığında %0 alg içeren örneklerde %15,54 – 24,60 oranında; %1 alg içeren örneklerde %11,98 – 36,36 oranında; %3 alg içeren örneklerde %20,19 – 34,15 oranında ve %5 alg içeren örneklerde %24,55 – 41,73 oranında toplam fenolik madde miktarlarında azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.6.) ($P<0,05$).

Sindirilmemiş ve ince bağırsak örnekleri karşılaştırıldığında ise %0 alg içeren örneklerde %63,55 – 71,86 oranında; %1 alg içeren örneklerde %70,43 – 77.09 oranında; %3 alg içeren örneklerde %64,76 – 79,25 oranında ve %5 alg içeren örneklerde %64,56 – 68,03

arasında toplam fenolik madde miktarında azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.6.) ($P<0,05$). Fenolik bileşenlerin *in vitro* biyoerişilebilirliğindeki bu azalma mide ve bağırsak ortamının pH değişiklikleri ve gıda matrisi ile ilişkili olabilir. Kocayemiş cipsinin içerdiği diğer bileşenler (örneğin, lif, protein, yağ) fenolik bileşenlerin biyoerişilebilirliğini azaltabilir. Ayrıca, sindirim sırasında fenolik bileşenler, mide ve bağırsak enzimleri tarafından parçalanabilir. Bu enzimatik parçalanma, bu bileşenlerin aktif formlarının azalmasına neden olabilir (Lippolis vd., 2023)

İnce bağırsak sindirimi sonrası en yüksek değerler, %5 alg içeriği ile 45 °C de 2 m/s ve 3 m/s hava hızlarında kurutulan örneklerden elde edilmiştir. Ayrıca *in vitro* biyoerişilebilirliği en yüksek örnek % 36,44 oranı ile %0 alg içeren 2m/s hava hızında ve 45 °C'de kurutulan cips örneği olmuştur.

4.6.Toplam Flavonoid Analizi

In vitro sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneklerinin toplam flavonoid miktarlarında meydana gelen değişimler Çizelge 4.9.' da sunulmuştur.
Cips karışımların kurutma öncesi toplam flavonoid miktarları alg oranlarına göre %0, %1, %3 ve %5 için sırasıyla 81,00; 107,63; 81,09; 123,32 µmol RE/100 g km olarak bulunmuştur (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.9. *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde toplam flavonoid madde miktarında meydana gelen değişimler (mg RE/100 g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş	*In Vitro* Biyoerişilebilirlik
		İnce Bağırsak	
%0 Alg İçeren Cips Hamuru	81,00^{j}	-	-
%0 Alg 2m/s 40 °C	332,02±54,49^{efg}	87,51±13,36^{j}	26,36
%0 Alg 2m/s 45 °C	299,11±15,10^{h}	157,26±9,33^{efg}	52,58
%0 Alg 3m/s 40 °C	341,54±5,99^{def}	176,66±21,00	51,72
%0 Alg 3m/s 45 °C	323,29±16,94^{fg}	171,25±36,43^{ef}	52,97
%1 Alg İçeren Cips Hamuru	107,63^{i}	-	-
%1 Alg 2m/s 40 °C	364,57±3,69^{bc}	143,89±31,71^{ghi}	39,47
%1 Alg 2m/s 45 °C	325,60±5,66^{fg}	161,45±6,90^{efg}	49,59
%1 Alg 3m/s 40 °C	329,90±8,59^{efg}	130,17±12,72^{hi}	39,46
%1 Alg 3m/s 45 °C	325,21±29,65^{fg}	121,99±8,09^{i}	37,51
%3 Alg İçeren Cips Hamuru	81,09^{j}	-	-
%3 Alg 2m/s 40 °C	376,86±6,21^{b}	143,54±26,88^{ghi}	38,09
%3 Alg 2m/s 45 °C	350,56±7,55^{cde}	151,42±15,25^{fgh}	43,19
%3 Alg 3m/s 40 °C	322,70±2,66^{fg}	264,79±6,33^{c}	82,05
%3 Alg 3m/s 45 °C	308,56±11,01^{gh}	236,91±18,19^{d}	76,78
%5 Alg İçeren Cips Hamuru	123,32^{i}	-	-
%5 Alg 2m/s 40 °C	406,00±20,85^{a}	340,70±12,50^{a}	83,92
%5 Alg 2m/s 45 °C	357,36±17,45^{bcd}	290,84±19,09^{b}	81,39
%5 Alg 3m/s 40 °C	320,38±5,68^{fgh}	254,94±10,10^{cd}	79,57
%5 Alg 3m/s 45 °C	319,52±16,29^{fgh}	269,86±13,55^{bc}	84,46

Aynı sütunda farklı küçük harflerle ifade edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklıdır (P<0,05) (n = 3 ± SD).

Kocayemiş meyvesi (Çizelge 4.10) ve *Dunaliella salina* (Çizelge 4.11) için toplam flavonoid madde miktarları ise sırasıyla 158,12 ve 73,20 mg RE/100g km olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.10. *In vitro* sindirim sonrası kocayemiş meyvesinin toplam flavonoid madde miktarı (mg RE/100 g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş	*In Vitro* Biyoerişilebilirlik
		İnce Bağırsak	
Toplam flavonoid madde miktarı	158,12	468,21	296,11

Çizelge 4.11. *Dunaliella salina* ekstraktının toplam flavonoid içeriği miktarı (mg RE/100 g km)

	***Dunaliella salina* ekstraktı**
Toplam flavonoid madde miktarı	73,2

Kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma işlemiyle %0, %1, %3 ve %5 alg oranlarının tümünde toplam flavonoid madde miktarı istatistiksel olarak artmıştır (P<0,05). Bu durum, kurutma işleminin flavonoid bileşiklerin konsantrasyonunda bir artışa yol açtığını göstermektedir. Kurutma ile ağırlıklı olarak hücre duvarlarına bağlı ve ilişkili olan bileşiklerin salınmasının kolaylaştığı bildirilmiştir (Pashazadeh vd., 2024). Bu bulgular önceki araştırmalarla da uyumludur (Asami vd., 2003; Gao vd., 2012).

Bu tez çalışmasında tespit edilen artış, alg oranı artışına göre sırası ile %269,27 – 321,65; %202,16 – 238,73; %280,52 – 364,74; %159,10 – 229,39 arasında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.9). Kurutma sonrası en yüksek toplam flavonoid madde miktarına sahip örnek %5 alg içeriğine sahip 2 m/s hava hızı ile 40 °C'de kurutulmuş olan cips örneği olmuştur. Kurutma sıcaklığı değişiminin toplam flavonoid madde miktarında istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (P<0,05). Kurutma parametreleri değerlendirildiğinde sıcaklık yönünden 40 °C'de kurutulan örnekler 45°C'de kurutulan örneklerden daha yüksek flavonoid madde miktarına sahip olmuştur. Bu durum ısıya duyarlı olduğu bilinen flavonoidlerin kurutma sıcaklık artışı ile daha hızlı bozunması ile açıklanabilir (Pashazadeh vd., 2024). Benzer şekilde alg oranı artışı ile de toplam flavonoid madde içeriğinde artış tespit edilmiştir (P<0,05). *Dunaliella salina* içeren örneklerde hava hızının artması toplam flavonoid madde miktarında azalmaya sebep olmuştur. Bu durumun sebebinin *Dunaliella salina* içerisinde bulunan flavonoid madde cinsinin uçucu özelliğinin fazla olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

In vitro biyoerişilebilirlik ile tüm örnek formülasyonlarında ince bağırsak aşamasında toplam flavonoid madde miktarında azalma görülmüştür (P<0,05). Sindirilmemiş ve ince bağırsak örnekleri karşılaştırıldığında %0 alg içeren örneklerde %47,03-%73,64 oranında; %1 alg içeren örneklerde %55,81-%62,49 oranında; %3 alg içeren örneklerde %17,95-%61,91 oranında ve %5 alg içeren örneklerde %15,54-%20,43 oranında toplam flavonoid madde miktarlarında azalma gözlenmiştir (P<0,05) (Çizelge 4.9).

Sindirimi simüle edilen örneklerde en yüksek toplam flavonoid madde miktarına sahip örnek %5 alg içeriği ile 2 m/s hava hızında 40°C'de kurutulan örnek olmuştur. Ayrıca toplam flavanoid madde *in vitro* biyoerişilebilirliği %84,46 oranı ile en yüksek olan örnek ise %5 alg içeren 3m/s hava hızında ve 45 °C' de kurutulan cips olmuştur. Bu sonuç *Dunaliella salina* varlığında ürünün flavonoid madde biyoerişilebilirliğin daha iyi korunduğunu göstermektedir.

Kocayemiş meyvesinde toplam flavonoid madde miktarı sindirilmemiş örnekte 158,12 mg RE/100 g km değerinde iken mide ve ince bağırsak sindirim aşamalarından sonra 468,21 mg RE/100 g km değerine artış göstermiştir. *In vitro* sindirim ile flavonoid madde miktarındaki bu artış, sindirim enzimleri ile flavonoid maddelerin meyve matrisinden ortama salınması ile açıklanabilir (Özkan Karabacak vd., 2022). *Dunaliella salina* ekstraktı için toplam flavonoid içeriği 73,20 mg RE/100 g km olarak bulunmuştur.

4.7. Toplam Antioksidan Kapasitenin Değişimi

Fitokimyasal ve oksidatif süreçlerin karmaşık yapısı nedeniyle gıdaların antioksidan kapasite değerlerini tek bir analizle yorumlamak doğru olmadığı için (Apak vd., 2016; Kamiloğlu, 2019; Özkan Karabacak, 2019) cips örneklerinin toplam antioksidan kapasitesi üç farklı yöntem (CUPRAC, DPPH ve FRAP) kullanılarak incelenmiştir. En yüksek toplam antioksidan kapasite verileri CUPRAC yöntemi ile tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla DPPH ve FRAP yöntemleri takip etmiştir. Benzer sonuçlar (Karabacak, 2023) ve (Malçok vd., 2023) tarafından bulunmuştur. Bu durum, CUPRAC yöntemiyle hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidanların, FRAP yöntemiyle sadece hidrofilik antioksidanların, DPPH yöntemiyle ise yalnızca lipofilik antioksidanların ölçülüyor olması ile ilişkilendirilmiştir (Capanoglu vd., 2020).

4.7.1. DPPH Yöntemiyle Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi

In vitro sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneklerinin DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasitelerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.12' te sunulmuştur.

Cips karışımların kurutma öncesi toplam antioksidan kapasiteleri % 0, 1, 3 ve 5 alg oranları için sırasıyla 23,02; 17,95; 17,69; 16,35 µmol TE/g km bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite içeriklerinde meydana gelen değişimler (µmol TE/g km)

	Sindirilmemiş	**Sindirilmiş**		***In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)**
		Mide	**İnce Bağırsak**	
%0 Alg İçeren Cips Hamuru	$23,02^{g}$	-	-	
%0 Alg 2m/s 40 °C	$30,39\pm3,01^{A,g}$	$18,79\pm1,11^{B,f}$	$15,07\pm1,63^{C,e}$	49,61
%0 Alg 2m/s 45 °C	$27,06\pm0,68^{A,e}$	$19,00\pm0,68^{B,f}$	$16,24\pm0,33^{C,d}$	60,01
%0 Alg 3m/s 40 °C	$31,89\pm1,03^{A,g}$	$20,26\pm1,24^{B,de}$	$18,76\pm0,73^{C,c}$	58,87
%0 Alg 3m/s 45 °C	$30,92\pm1,21^{A,g}$	$24,83\pm0,64^{B,a}$	$19,38\pm0,79^{C,abc}$	62,67
%1 Alg İçeren Cips Hamuru	$17,95^{h}$	-	-	-
%1 Alg 2m/s 40 °C	$42,64\pm1,35^{A,ab}$	$21,21\pm0,72^{B,cd}$	$16,61\pm0,71^{C,d}$	38,95
%1 Alg 2m/s 45 °C	$40,67\pm1,26^{A,bc}$	$21,96\pm0,70^{B,bc}$	$16,51\pm0,53^{C,d}$	40,59
%1 Alg 3m/s 40 °C	$38,55\pm2,15^{A,cd}$	$22,80\pm0,49^{B,b}$	$14,87\pm0,54^{C,e}$	38,58
%1 Alg 3m/s 45 °C	$39,98\pm2,25^{A,bcd}$	$20,41\pm1,23^{B,de}$	$13,49\pm0,40^{C,f}$	33,74
%3 Alg İçeren Cips Hamuru	$17,69^{h}$	-	-	-
%3 Alg 2m/s 40 °C	$45,28\pm1,85^{A,a}$	$21,28\pm0,60^{B,cd}$	$13,59\pm1,64^{C,f}$	30,02
%3 Alg 2m/s 45 °C	$44,39\pm1,93^{A,a}$	$24,22\pm0,43^{B,a}$	$13,50\pm0,65^{C,f}$	30,40
%3 Alg 3m/s 40 °C	$39,93\pm1,94^{A,bcd}$	$20,08\pm1,69^{B,e}$	$19,46\pm1,04^{B,abc}$	48,73
%3 Alg 3m/s 45 °C	$40,36\pm2,26^{A,bcd}$	$19,88\pm0,79^{B,ef}$	$20,3\pm1,51^{B,a}$	50,30
%5 Alg İçeren Cips Hamuru	$16,35^{h}$	-	-	-
%5 Alg 2m/s 40 °C	$39,95\pm2,66^{A,bcd}$	$18,94\pm1,03^{B,f}$	$18,70\pm0,62^{B,c}$	46,80
%5 Alg 2m/s 45 °C	$38,69\pm1,72^{A,cd}$	$21,71\pm0,76^{B,c}$	$19,97\pm0,41^{C,ab}$	51,62
%5 Alg 3m/s 40 °C	$37,31\pm3,35^{A,d}$	$20,27\pm0,51^{B,de}$	$18,79\pm0,44^{B,c}$	50,35
%5 Alg 3m/s 45 °C	$37,27\pm2,18^{A,d}$	$10,85\pm0,27^{B,g}$	$18,92\pm0,85^{C,bc}$	50,75

Aynı sütunda farklı küçük harflerle ve aynı satırda farklı büyük harflerle ifade edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklıdır ($P<0,05$) ($n = 3 \pm SD$).

Kocayemiş meyvesi (Çizelge 4.13) ve *Dunaliella salina* (Çizelge 4.14) için DPPH sonuçları 84,23 ve 1,21 µmol TE/g km olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13. *In vitro* sindirim sonrası kocayemiş meyvesi için DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite değerleri (µmol TE/g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş		*In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)
		Mide	İnce Bağırsak	
DPPH	84,23	78,20	51,98	61,71

Çizelge 4.14. *Dunaliella salina* için DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite değeri (µmol TE/g km)

	Dunaliella salina
DPPH	1,93

Kocayemiş cipsi örneklerinde DPPH değerleri, ilave edilen alg oranlarına ve uygulanan kurutma koşullarına göre 27,06 – 45,28 µmol troloks/g km arasında değişim göstermiştir. Cips örneklerine alg ilave etmek DPPH değerini istatistiksel olarak artırmıştır ($P<0,05$). Ayrıca, kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma ile tüm örneklerde toplam antioksidan kapasite istatistiksel olarak artmıştır ($P<0,05$). Tespit edilen bu artış alg oranlarına göre sırası ile %17,55– 38,53; %114,76 – 137,55; %125,72 – 155,96; %127,95 – 144,34 arasındadır (Çizelge 4.12). Orak vd. (2012) kocayemiş meyvesinde 1,84 mg/mL DPPH aktivitesi tespit etmiş olup, bu değerin hava kurutucu ile 6,95 mg/mL'ye yükseldiğini ve ayrıca dondurarak kurutma yöntemi ile de 2,13 mg/mL'ye yükseldiğini belirtmişlerdir.

Antioksidan kapasitede gerçekleşen artışın alg içermeyen örneklerde daha az olduğu gözlemlenmiştir. Kurutma sonrası en yüksek toplam antioksidan kapasite %3 alg içeriği ile 2 m/s hava hızı ve 40 °C'de kurutulan örnek olmuştur. Bayrakdar (2020), kiraz, şeftali, vişne ve çilek kullandığı fonksiyonel meyve cipslerinde toplam antioksidan kapasiteyi DPPH yöntemi ile 3,44 – 11,68 µmol troloks/g km olarak tespit etmiştir. Özkan Karabacak (2023), kuşburnu pestillerinde yapmış olduğu çalışmada 3 farklı kurutma yöntemini karşılaştırmıştır. Bu yöntemlerde DPPH antioksidan kapasite değerlendirildiğinde en iyi sonuç mikrodalga kurutma yöntemi ile tespit edilmiştir. Sıcak havalı kurutucuda en iyi sonuçları 65 °C'de elde ederken, vakum kurutucuda en iyi sonuçları 75 °C'de elde etmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile yüksek Watt gücünde daha olumlu sonuçlar elde etmiştir (Özkan Karabacak, 2019). Özkan Karabacak vd. (2022) başka bir çalışmada ise, kavun dilimlerini ısı pompalı kurutucu ile 35 °C ve 45°C'de 0,5 0,75 ve 1 m/s hava hızları ve farklı kalınlık parametreleri ile kurutmuşlardır.

Taze kavunda DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite değeri 6,45 µmol TE/g km olarak bulunurken kurutma işlemi ile bu değerin 2,09 – 4,13 µmol TE/g km aralığında azaldığı gözlemlenmiştir. DPPH değerlerinde gözlenen bu azalma %35 – 67 arasında değişmiştir. *In vitro* sindirim ile başlangıçta mide aşamasıyla artan antioksidan değerleri bağırsak aşaması ile azalma göstermiştir.

Bu tez çalışmasında, *in vitro* biyoerişilebilirlik ile tüm örnek formülasyonlarında mide ve ince bağırsak aşamalarının her ikisinde de DPPH değerlerinde azalma görülmüştür ($P<0,05$). Sindirilmemiş ve mide örnekleri karşılaştırıldığında alg içermeyen örneklerde %19,70 – 38,17; alg içeren örneklerde ise %40,86 – 70,89 arasında toplam antioksidan kapasite azalmıştır. Sindirilmemiş ve ince bağırsak örnekleri karşılaştırıldığında ise alg içermeyen örnekte %37,32 – 50,41; alg içeren örneklerde ise %49,25 – 69,99 arasında toplam antioksidan kapasite azalmıştır.

Uğurlu (2023), geliştirmiş olduğu elma cipslerinde DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasite değerlerinin kurutma ile arttığını ve *in vitro* biyoerişilebilirliğinin azaldığını tespit etmiştir. Bayrakdar (2020), fonksiyonel meyve cipslerinin DPPH metodu ile toplam antioksidan biyoerişilebilirliğinde azalma olduğunu gözlemlemiştir. Öte yandan, mantar dilimlerinin kızılötesi destekli ısı pompalı kurutucu ile kurutulduğu bir diğer çalışmada ise *in vitro* sindirim sonrası DPPH değerlerinde artış olduğu bildirilmiştir (Malçok vd. 2023). *In vitro* sindirim sonrasında antioksidan kapasitede gözlenen bu değişimler, kurutma işlemi süresince gerçekleşen ısıl süreçlerin gıda matrisi üzerinde etkili olması ve bu etkinin bazı durumlarda fenolik bileşenlerin salınmasıyla fenolik ve antioksidan kapasitede artışların görülmesi, bazı durumlarda ise ısıl süreçlerin fenolik bileşenlerin yapısını bozması ile açıklanmaktadır.

Kocayemiş meyvesinde sindirilmemiş örnekte toplam antioksidan kapasite 84,23 µmol TE/g km olarak bulunurken, sindirim sonrası cips örneklerinde olduğu gibi başlangıçta mide ile bu değer 78,20 µmol TE/g km ye düşerken daha sonra ince bağırsak sindirimi ile 51,98 µmol TE/g km'ye kadar azalmıştır ($P<0,05$). Yıldız (2014), yapmış olduğu çalışmada farklı bölgelerden edinmiş olduğunu kocayemiş meyvesinde antioksidan aktivite değerlerinin 15,59 – 26,21 µg/mg değerleri arasında değişkenlik gösterdiğini

belirtmiştir. Kerse ve Okcu (2020), yapmış olduğu çalışmada kocayemiş meyvesinde DPPH IC_{50} yöntemi ile toplam antioksidan kapasite içerdiğini 0.004±0.001 mg/mL olarak bulmuştur. Umut vd. (2022) farklı bölgelerden elde etmiş oldukları kocayemiş meyvelerinde 2,1 – 15,5 mmol TE/100 g km toplam antioksidan kapasite tespit etmiştir.

Dunaliella salina için yapılan ekstraktlarda bulunan sonuçlar 1,93 µmol TE/g km olarak tespit edilmiştir. (Çizelge 4.14). Elde edilen sonuçlar literatür bulguları ile benzerlik göstermektedir. Vo & Tran, (2014) yaptıkları çalışmada, 8 farklı *Dunaliella salina* suşunun toplam antioksidan kapasite içeriğini DPPH yöntemi ile 8 – 19 µmol TE/g km aralığında tespit etmişlerdir. Widowati vd. (2017), yapmış oldukları çalışmada *Dunaliella salina*'nın etanol ekstraktlarında DPPH yöntemi ile 283±0,09 µg/mL sonucunu elde etmişlerdir.

Sindirimi gerçekleştirilen örneklerde en yüksek antioksidan kapasiteye sahip örnek %3 alg içeriği ile 3m/s hava hızı ve 45 °C'de kurutulan örnek olmuştur. Ayrıca tüm cips örneklerinde *in vitro* biyoerişilebilirliği en yüksek olan %0 alg içeren 3m/s kuruma hızında ve 45 °C' de kurutulan cips örneği olmuştur (%62,67). Kurutma sıcaklığı bakımından değerlendirildiğinde, DPPH yöntemi ile tüm cips örneklerinde 45°C' de kurutulanların 40°C'de kurutulanlara göre daha yüksek *in vitro* biyoerişilebilirlik değeri belirlenmiştir.

4.7.2. CUPRAC yöntemiyle antioksidan kapasitenin belirlenmesi

In vitro sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneklerinin CUPRAC yöntemi ile toplam antioksidan kapasitelerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.15' te sunulmuştur. Cips karışımların kurutma öncesi toplam antioksidan kapasiteleri % 0, 1, 3 ve 5 alg oranları için sırasıyla 32,44; 30,11; 24,91; 21,04 µmol TE/g km olarak bulunmuştur (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde CUPRAC yöntemi ile toplam antioksidan kapasite içeriklerinde meydana gelen değişimler (µmol TE/g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş		*In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)
		Mide	İnce Bağırsak	
%0 Alg İçeren Cips Hamuru	$32,44^{f}$	-	-	-
%0 Alg 2m/s 40 °C	$61,17\pm9,88^{A,de}$	$46,83\pm2,11^{B,bcd}$	$24,60\pm4,17^{C,g}$	40,21
%0 Alg 2m/s 45 °C	$57,38\pm2,19^{A,e}$	$48,25\pm3,69^{B,bc}$	$29,39\pm1,48^{C,ef}$	51,21
%0 Alg 3m/s 40 °C	$63,78\pm2,16^{A,de}$	$48,10\pm3,86^{B,bc}$	$31,31\pm1,25^{C,de}$	49,09
%0 Alg 3m/s 45 °C	$64,21\pm4,27^{A,d}$	$49,98\pm1,97^{B,ab}$	$33,13\pm2,57^{C,cd}$	51,61
%1 Alg İçeren Cips Hamuru	$30,11^{f}$	-	-	-
%1 Alg 2m/s 40 °C	$79,32\pm2,54^{A,a}$	$43,92\pm3,38^{B,d}$	$28,06\pm2,74^{C,f}$	35,38
%1 Alg 2m/s 45 °C	$74,34\pm2,63^{A,abc}$	$45,14\pm1,83^{B,cd}$	$29,22\pm0,91^{C,ef}$	39,31
%1 Alg 3m/s 40 °C	$72,66\pm7,35^{A,abc}$	$52,95\pm3,17^{B,a}$	$24,39\pm2,05^{C,g}$	33,56
%1 Alg 3m/s 45 °C	$71,98\pm6,42^{A,bc}$	$47,93\pm3,79^{B,bcd}$	$23,64\pm1,28^{C,g}$	32,84
%3 Alg İçeren Cips Hamuru	$24,91^{g}$	-	-	-
%3 Alg 2m/s 40 °C	$76,59\pm3,98^{A,ab}$	$48,79\pm1,34^{B,bc}$	$23,23\pm1,16^{C,g}$	30,33
%3 Alg 2m/s 45 °C	$79,24\pm8,76^{A,a}$	$48,57\pm1,80^{B,bc}$	$23,42\pm1,22^{C,g}$	29,55
%3 Alg 3m/s 40 °C	$71,59\pm6,88^{A,bc}$	$45,74\pm5,44^{B,cd}$	$35,72\pm1,61^{C,abc}$	49,90
%3 Alg 3m/s 45 °C	$67,61\pm4,49^{A,cd}$	$44,92\pm3,20^{B,cd}$	$36,20\pm5,10^{C,ab}$	53,54
%5 Alg İçeren Cips Hamuru	$21,05^{g}$	-	-	-
%5 Alg 2m/s 40 °C	$76,33\pm4,99^{A,ab}$	$39,21\pm2,80^{B,e}$	$37,70\pm0,83^{B,a}$	49,40
%5 Alg 2m/s 45 °C	$72,03\pm3,18^{A,bc}$	$46,03\pm1,74^{B,bcd}$	$37,74\pm0,64^{C,a}$	52,40
%5 Alg 3m/s 40 °C	$67,83\pm6,06^{A,cd}$	$48,63\pm0,94^{B,bc}$	$34,02\pm1,70^{C,bc}$	50,15
%5 Alg 3m/s 45 °C	$63,34\pm3,46^{A,de}$	$48,87\pm4,34^{B,bc}$	$35,07\pm1,29^{C,abc}$	55,37

Aynı sütunda farklı küçük harflerle ve aynı satırda farklı büyük harflerle ifade edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklıdır (P<0,05) (n = 3 ± SD).

Kocayemiş meyvesi (Çizelge 4.16) ve *Dunaliella salina* (Çizelge 4.17) için CUPRAC değerleri 139,4 ve 17,85 µmol TE/g km olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.16. *In vitro* sindirim sonrası kocayemiş meyvesi için CUPRAC yöntemi ile toplam antioksidan kapasite değerleri (µmol TE/g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş		*In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)
		Mide	İnce Bağırsak	
CUPRAC	139,4	172,07	70,8	50,79

Çizelge 4.17. *Dunaliella salina* için CUPRAC yöntemi ile toplam antioksidan kapasite değeri (µmol TE/g km)

	***Dunaliella salina* ekstraktı**
CUPRAC	17,85

Kocayemiş meyvesi (Çizelge 4.16) ve *Dunaliella salina* (Çizelge 4.17) için CUPRAC değerleri 139,4 ve 17,85 µmol TE/g km olarak tespit edilmiştir. Uysal (2015), yapmış olduğu çalışmada kocayemiş meyvesinde 4:1 Metanol:su (v/v) ekstraktını kullanarak toplam antioksidan kapasite analizini CUPRAC yöntemi ile 0,24 mmol TE/g km olarak bulmuştur.

Kocayemiş cipsi örneklerinde CUPRAC değerleri, ilave edilen alg oranlarına ve uygulanan kurutma koşullarına göre 57,38 – 79,32 µmol troloks/g km arasında değişim göstermiştir. Kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma sonrası %0, %1, %3 ve %5 alg oranlarının tümünün CUPRAC değerlerinde istatistiksel olarak artış gözlenmiştir ($P<0,05$). Tespit edilen bu artış alg oranlarına göre sırası ile %76,88 – 97,93, %139,06 – 163,43, %171,42 – 218,11 ve %200,90 – 262,61 aralıklarında gerçekleşmiştir. (Çizelge 4.15). Kurutma sonrası CUPRAC değerlerindeki artışın alg içermeyen örneklerde daha az olduğu gözlemlenmiştir. Kurutma sonrası istatistiksel olarak en yüksek CUPRAC değeri %1 alg oranına sahip 2m/s hava hızı ve 40 °C'de kurutulan örnek ve %3 alg içeren 2m/s hava hızı ve 45 °C'de kurutulan örnek olmuştur ($P<0,05$). Bayrakdar (2020), kiraz, şeftali, vişne ve çilek kullandığı fonksiyonel meyve cipslerinde toplam antioksidan kapasiteyi CUPRAC yöntemi ile 2,31 – 13,71 µmol troloks/g km olarak bulmuştur. Özkan Karabacak (2023), kuşburnu pestillerinde CUPRAC antioksidan kapasite değerlendirmesinde en iyi sonuçları, sıcak hava kurutucu ile 55 °C'de, vakum kurutucu ile 75 °C'de, mikrodalgada kurutma yöntemi ile ise 180 W gücünde elde etmiştir. Kurutma yöntemleri karşılaştırıldığında en yüksek CUPRAC toplam antioksidan miktarını mikrodalgada kurutma yöntemi ile elde etmiştir. Özkan Karabacak vd. (2022) çalışmasında, bizim sonuçlarımızın aksine, kavun dilimlerinde kurutma işlemi sonucunda CUPRAC değerlerinde %3 ile %30 arasında azalma kaydedilirken, bazı örneklerde ise %1 ile %30 arasında artış tespit edilmiştir.

Cips örneklerine alg ilave etmek CUPRAC değerinde genel anlamda istatistiksel olarak artışa sebep olmuştur ($P<0,05$). Benzer şekilde, Şahin (2020) yapmış olduğu çalışmada %1 ve %2 *Dunaliella salina* içeriği bulunan kurabiye örneklerinde antioksidan kapasiteyi değerlendirdiğinde artan alg oranının antioksidan kapasiteyi arttırdığını belirtmiştir.

In vitro biyoerişilebilirlik ile tüm örnek formülasyonlarında mide ve ince bağırsak aşamalarının her ikisinde de CUPRAC değerlerinde azalma görülmüştür (P<0,05). Bayrakdar (2020), fonksiyonel meyve cipslerinin CUPRAC metodu ile toplam antioksidan biyoerişilebilirliğinde azalma gözlemlemiştir. Sindirilmemiş ve mide örnekleri karşılaştırıldığında %0 alg içeren örneklerde %15,91 – %24,58 oranında; %1 alg içeren örneklerde %27,13 – 44,62 oranında; %3 alg içeren örneklerde %33,56 – 38,71 oranında ve %5 alg içeren örneklerde %22,84 – 48,63 oranında toplam antioksidan kapasite değerlerinde azalma gözlenmiştir (P<0,05).

Sindirilmemiş ve ince bağırsak örnekleri karşılaştırıldığında ise %0 alg içeren örneklerde %48,40 – 59,78 oranında; %1 alg içeren örneklerde %60,83 – 67,16 oranında; %3 alg içeren örneklerde %46,46 – 70,38 oranında ve %5 alg içeren örneklerde %44,63 – 50,61 arasında toplam antioksidan kapasite değerlerinde azalma gözlenmiştir (P<0,05). Sindirimi gerçekleştirilen örneklerde en yüksek CUPRAC değerine sahip örnek %3 alg içeriği ile 3 m/s hava hızı, 40 ve 45 °C'de kurutulan örnekler ve %5 alg içeriğine sahip 2 m/s hava hızı ile kurutulan 40 ve 45 °C'de kurutulan örnekler olmuştur. Ayrıca tüm cips örneklerinde *in vitro* biyoerişilebilirliği en yüksek olan, %5 alg içeren 3m/s kuruma hızında ve 45 °C'de kurutulan cips örneği olmuştur (%55,37).

Kocayemiş meyvesinde sindirilmemiş örnekte CUPRAC değeri 139,40 µmol TE/g km olarak bulunurken, sindirim aşamasında başlangıçta mide ile bu değer 172,07 µmol TE/g km ye düşerken daha sonra ince bağırsak sindirimi ile 70,80 µmol TE/g km'ye kadar azalmıştır. Sindirim sırasında gerçekleşen pH değişimi, sindirim sıvıları ve enzimlerin etkisi ile gıda matrisinden ayrılan fenoller fenolik madde miktarında artışa sebep olmaktadır. Bu etkiler sindirim uygulanan meyvelere ve meyvelerin yapılarına göre değişim gösterebilmektedir (Kızmaz, 2019).

Genel olarak değerlendirildiğinde alg içeren örneklerde alg oranı arttıkça biyoerişilebilirliğin arttığı tespit edilmiştir (P<0,05). Hava hızının 3 m/s olması alg içeren örneklerde daha yüksek toplam antioksidan kapasite içeriği sağlarken, alg içermeyen örnekler için 3 m/s hava hızı daha düşük sonuçlar göstermiştir.

4.7.3. FRAP yöntemiyle antioksidan kapasitenin belirlenmesi

In vitro sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneklerinin FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasitelerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.18' te sunulmuştur. Cips hamurlarının kurutma öncesi FRAP değerleri %0, %1, %3 ve %5 alg oranları için sırasıyla 13,56, 12,86, 12,81 ve 12,44 µmol TE /g km olarak bulunmuştur (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. *In vitro* sindirim sırasında kocayemiş cipsi örneğinde FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasite içeriklerinde meydana gelen değişimler (µmol TE/g km)

	Sindirilmemiş	**Sindirilmiş**		***In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)**
		Mide	**İnce Bağırsak**	
%0 Alg İçeren Cips Hamuru	$13,56^{h}$	-	-	-
%0 Alg 2m/s 40 °C	$25,96\pm3,68^{A,fg}$	$22,34\pm0,49^{B,de}$	$11,20\pm2,23^{C,f}$	43,15
%0 Alg 2m/s 45 °C	$24,66\pm0,80^{A,g}$	$23,03\pm1,43^{B,cde}$	$12,74\pm0,70^{C,e}$	51,67
%0 Alg 3m/s 40 °C	$30,54\pm0,91^{A,abcd}$	$24,14\pm2,45^{B,bc}$	$14,13\pm0,31^{C,bc}$	46,28
%0 Alg 3m/s 45 °C	$30,38\pm1,67^{A,abcde}$	$26,91\pm0,37^{B,a}$	$15,46\pm0,69^{C,a}$	50,89
%1 Alg İçeren Cips Hamuru	$12,86^{h}$	-	-	-
%1 Alg 2m/s 40 °C	$32,02\pm0,63^{A,ab}$	$21,69\pm1,14^{B,ef}$	$12,56\pm0,54^{C,e}$	39,22
%1 Alg 2m/s 45 °C	$30,60\pm1,07^{A,abcd}$	$23,14\pm0,63^{B,bcd}$	$11,28\pm0,27^{C,f}$	36,86
%1 Alg 3m/s 40 °C	$29,02\pm0,59^{A,cde}$	$27,05\pm0,81^{B,a}$	$10,02\pm0,53^{C,g}$	34,52
%1 Alg 3m/s 45 °C	$27,86\pm1,91^{A,ef}$	$24,47\pm0,55^{B,b}$	$8,98\pm0,53^{C,h}$	32,23
%3 Alg İçeren Cips Hamuru	$12,81^{h}$	-	-	-
%3 Alg 2m/s 40 °C	$31,55\pm1,56^{A,abc}$	$26,29\pm0,57^{B,a}$	$9,60\pm0,49^{C,gh}$	30,44
%3 Alg 2m/s 45 °C	$31,32\pm1,55^{A,abcd}$	$26,24\pm1,52^{B,a}$	$9,77\pm0,67^{C,gh}$	31,19
%3 Alg 3m/s 40 °C	$30,12\pm0,89^{A,abcde}$	$19,92\pm1,78^{B,gh}$	$14,81\pm0,42^{C,ab}$	49,17
%3 Alg 3m/s 45 °C	$29,83\pm0,43^{A,bcde}$	$20,48\pm0,96^{B,fg}$	$13,09\pm0,46^{C,de}$	43,86
%5 Alg İçeren Cips Hamuru	$12,44^{h}$	-	-	-
%5 Alg 2m/s 40 °C	$32,51\pm1,77^{A,a}$	$18,64\pm1,18^{B,h}$	$14,31\pm0,98^{C,bc}$	44,01
%5 Alg 2m/s 45 °C	$30,84\pm2,49^{A,abcd}$	$22,24\pm0,39^{B,de}$	$15,45\pm0,56^{C,a}$	50,10
%5 Alg 3m/s 40 °C	$28,80\pm1,82^{A,de}$	$18,64\pm0,86^{B,h}$	$13,81\pm0,47^{C,cd}$	47,94
%5 Alg 3m/s 45 °C	$29,67\pm2,74^{A,bcde}$	$20,00\pm0,52^{B,gh}$	$14,02\pm0,17^{C,bcd}$	47,26

Aynı sütunda farklı küçük harflerle ve aynı satırda farklı büyük harflerle ifade edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklıdır ($P<0,05$) ($n = 3 \pm SD$).

Çizelge 4.19. *In vitro* sindirim sonrası kocayemiş meyvesi için FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasite değerleri (µmol TE/g km)

	Sindirilmemiş	Sindirilmiş		*In vitro* Biyoerişilebilirlik (%)
		Mide	İnce Bağırsak	
FRAP	75,50	84,03	30,44	40,32

Kocayemiş meyvesi için yapılan ekstraktlarda bulunan sonuçlar 75,5 µmol TE/g km olarak bulunmuştur (Çizelge 4.19). *Dunaliella salina* için FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasite tayininde sonuç alınamamıştır. Diğer antioksidan kapasite yöntemlerinde sonuç gözlenirken FRAP metodunda sonuç alınamaması *Dunaliella salina* içeriğinde tiyol tipi antioksidanların bulanabileceğini göstermektedir. Kimyasal olarak Fe (III)'ün inert olmasına neden olan yüksek spinli yarı dolu d orbitallerine sahip olmasından dolayı tiyol antioksidanlar FRAP yönteminde ölçülememektedir. Ayrıca FRAP yöntemi fizyolojik olmayan pH'da çalışılmaktadır. (Büyüktuncel, 2013).

Uysal (2015), yapmış olduğu çalışmada kocayemiş meyvesinde 4:1 metanol:su (v/v) ekstraktını kullanarak FRAP yöntemi ile toplam antioksidan kapasiteyi 0,28 mmol TE/g km olarak bulmuştur. Umut vd. (2022), farklı bölgelerden elde ettikleri kocayemiş meyvelerinde FRAP yöntemi ile 20,5-50,9 mmol TE/100g km toplam antioksidan kapasite belirlemiştir.

Kocayemiş cipsi örneklerinde FRAP değerleri, ilave edilen alg oranlarına ve uygulanan kurutma koşullarına göre 24,66-32,51 µmol troloks/g km arasında değişim göstermiştir. Kocayemiş cipsi örneklerinde kurutma işlemiyle %0, %1, %3 ve %5 alg oranlarının tümünde FRAP değerleri istatistiksel olarak artmıştır ($P<0,05$). Tespit edilen bu artış, alg oranlarına göre sırası ile %81,86 – 125,22; %109,95 – 148,99; %132,86 – 146,29; %131,51 – 161,33 aralıklarında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.18). Antioksidan kapasitede gerçekleşen artışın alg içermeyen örneklerde daha az olduğu gözlenmiştir. Alg oranı değişiminin cips örneklerinin FRAP değerlerinde düzenli bir artışa veya azalmaya sebep olmadığı görülmektedir. Diğer antioksidan kapasite yöntemlerinden farklı olarak FRAP yönteminde alg ilavesi ile antioksidan kapasitede artış olmamıştır. *Dunaliella salina*'daki FRAP analizinden sonuç alınamaması bu durumu kanıtlar niteliktedir.

Kerse ve Okcu (2020), farklı kurutma teknikleriyle yapmış olduğu kocayemiş pestili üretimi çalışmasında antioksidan etkinliğini ABTS metodu ile değerlendirmiştir. Yapılan kurutma tekniklerinin ve uyguladığı sakkaroz konsantrasyonunun ABTS değeri üzerinde önemli etkisi bulunduğunu belirtmiştir. En iyi sonuçları güneşte kurutma ile elde ederken, etüvde kurutma ile sıcaklık artışıyla antioksidan kapasitede istatistiksel artış tespit etmiştir. Özkan Karabacak (2023), kuşburnu pestillerinde FRAP antioksidan kapasite değerlendirmesinde en iyi sonuçları, hava kurutucu ile 55 °C'de, vakum kurutucu ile 65 °C'de, mikrodalgada kurutma yöntemi ile ise 180 W gücü ile elde etmiştir. En yüksek FRAP toplam antioksidan miktarını mikrodalgada kurutma yöntemi ile elde etmiştir. Malçok vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada mantar dilimlerini kızılötesi destekli ısı pompası ile tasarlanmış hibrit bir kurutma sisteminde kurutmuşlardır. Farklı IR lamba gücü seviyelerinde kurutulan mantar örneklerinde, FRAP toplam antioksidan kapasite değerleri kurutma işlemi ile azalmaktadır. Ancak, bu çalışmanın tersi olarak örneklerin *in vitro* biyoerişilebilirlik sonrası FRAP toplam antioksidan kapasite değerleri genel olarak artış göstermiştir. Araştırmacılar *in vitro* sindirim ile değişim gösteren antioksidan miktarını sindirim işlemi sırasında gıda matrisinden ortama salınan fenolik bileşenlerin antioksidan özellik gösterebilmesi ile açıklamıştır. Bayrakdar (2020), kiraz, şeftali, vişne ve çilek kullandığı fonksiyonel meyve cipslerinde toplam antioksidan kapasiteyi FRAP yöntemi ile 9,68 – 57,28 µmol troloks/g km olarak bulmuştur. Özkan Karabacak vd., (2022) ısı pompalı kurutucuda kurutulmuş kavun dilimlerinin FRAP antioksidan kapasite miktarında taze örneğe göre %26,38 – 114,39 arasında artış gözlemişlerdir.

In vitro biyoerişilebilirlik ile tüm örnek formülasyonlarında mide ve ince bağırsak aşamalarının her ikisinde de FRAP değerlerinde azalma görülmüştür ($P<0,05$). Biyoerişilebilirlik sonrası en yüksek FRAP değerine sahip olan örnekler 15,46±0,69 µmol TE/g km ile %0 alg içeren, 3 m/s hava hızı ve 45 °C'de kurutulan cips örneği ve 15,45±0,56 µmol TE/g km ile %5 alg içeren, 2 m/s hava hızı ve 45 °C'de kurutulan cips örneği olmuştur. Ayrıca tüm cips örneklerinde *in vitro* FRAP biyoerişilebilirliği en yüksek olan %0 alg içeren 2m/s kuruma hızında ve 45 °C' de kurutulan cips örneği olmuştur (%51,67). Sindirilmemiş ve mide örnekleri karşılaştırıldığında %0 alg içeren örneklerde %6,61 – 21,02 oranında; %1 alg içeren örneklerde %6,79 – 32,26 oranında; %3 alg içeren örneklerde %16,22 – 33,86 oranında ve %5 alg içeren örneklerde %27,89

– 42,66 oranında FRAP değerlerinde azalma gözlenmiştir (P<0,05). Sindirilmemiş ve ince bağırsak örnekleri karşılaştırıldığında ise %0 alg içeren örneklerde %48,34 – 56,86 oranında; %1 alg içeren örneklerde %60,77 – 67,77 oranında; %3 alg içeren örneklerde %50,83 – 69,57 oranında ve %5 alg içeren örneklerde %49,90 – 55,98 arasında toplam antioksidan kapasite değerlerinde azalma gözlenmiştir (P<0,05). Bayrakdar (2020), fonksiyonel meyve cipslerinin FRAP metodu ile toplam antioksidan biyoerişilebilirliğinde genel olarak azalma gözlemlemiştir. Bu azalma, fenolik madde içeriği sonuçlarında daha önce açıklandığı gibi, mide ve bağırsak ortamındaki pH değişiklikleri, gıda matrisi ve enzimlerin etkisi ile ilişkilendirilebilir (Lippolis vd., 2023).

4.8. Renk Özelliği

Açıklık (+) ve koyululuğu (-) ifade eden *L** değeri kurutma işlemi ile artmıştır. Bu durum kurutma ile meyve cipsi renginde açılma olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.20. Kurutma işlemi ile kocayemiş cipsi örneklerindeki renk değişimi

	*L**	*a**	*b**	*C**	h°	△E*
%0 Alg İçeren Cips Hamuru	41,59±0,63^{i}	12,74±0,43^{i}	28,47±0,82^{hi}	31,20±0,58^{i}	65,88±1,33^{d}	0
%0 Alg 40 °C 2 m/s	60,14±1,30^{b}	7,77±0,18^{k}	38,99±1,09^{bcd}	39,76±1,03^{cde}	78,72±0,55^{a}	21,90^{ab}
%0 Alg 45 °C 2 m/s	62,94±1,15^{a}	9,49±0,76^{j}	42,29±1,02^{ab}	43,34±0,88^{ab}	77,33±1,21^{ab}	25,64^{a}
%0 Alg 40 °C 3 m/s	58,13±1,54^{c}	9,12±0,53^{j}	39,57±2,31^{bc}	40,62±2,21^{bcd}	76,99±1,21^{b}	20,28^{bcd}
%0 Alg 45 °C 3 m/s	57,25±1,90^{cd}	9,34±0,12^{j}	40,94±1,76^{ab}	41,99±1,73^{bc}	77,13±0,45^{ab}	20,31^{bc}
%1 Alg İçeren Cips Hamuru	38,51±0,23^{j}	14,42±0,13^{gh}	30,99±1,02^{gh}	34,18± 0,79^{gh}	65,03±0,54^{de}	0
%1 Alg 40 °C 2 m/s	54,43±0,53^{e}	14,66±0,27^{gh}	41,02±0,53^{ab}	43,56±0,53^{ab}	70,34±0,35^{c}	18,82^{bcde}
%1 Alg 45 °C 2 m/s	57,73±0,28^{c}	14,45±0,86^{gh}	43,81±1,41^{a}	46,13±1,62^{a}	71,80±0,49^{c}	23,14^{ab}
%1 Alg 40 °C 3 m/s	55,61±0,37^{de}	13,16±0,55^{i}	39,96±0,52^{b}	42,07±0,51^{bc}	71,77±0,76^{c}	19,36^{bcde}
%1 Alg 45 °C 3 m/s	55,84±0,32^{de}	13,70±0,48^{hi}	39,59±0,47^{bc}	45,22±5,44^{a}	70,91±0,49^{c}	19,36^{bcde}
%3 Alg İçeren Cips Hamuru	34,86±0,09^{k}	14,95±0,32^{fg}	27,77±0,24^{i}	31,54± 0,28^{i}	61,70±0,36^{f}	0
%3 Alg 40 °C 2 m/s	45,57±0,26^{g}	17,81±0,82^{a}	32,89±0,62^{fg}	37,41±0,89^{ef}	61,57±0,80^{fg}	12,23^{fgh}
%3 Alg 45 °C 2 m/s	47,86±1,01^{f}	17,57±0,24^{ab}	35,70±0,55^{ef}	39,80±0,53^{cde}	63,63±0,51^{e}	15,45^{efg}
%3 Alg 40 °C 3 m/s	47,72±2,00^{f}	15,97±0,81^{de}	35,44±2,17^{ef}	39,09±1,99^{cde}	65,72±1,44^{d}	15,04^{efg}
%3 Alg 45 °C 3 m/s	48,20±0,94^{f}	15,73±0,68^{ef}	36,64±2,32^{cde}	38,06±1,01^{def}	65,54±1,66^{d}	16,11^{cdef}
%5 Alg İçeren Cips Hamuru	32,29±0,17^{l}	16,26±0,13^{cde}	31,36±5,90^{gh}	32,40± 0,34^{hi}	59,88±0,23^{g}	0
%5 Alg 40 °C 2 m/s	42,35±1,29^{hi}	16,96±0,85^{abcd}	29,87±0,77^{ghi}	34,36±0,35^{gh}	60,41±1,82^{fg}	10,25^{h}
%5 Alg 45 °C 2 m/s	43,42±1,07^{h}	16,81±0,75^{abcd}	31,07±1,25^{gh}	35,33±1,15^{fg}	61,56±1,43^{fg}	11,21^{gh}
%5 Alg 40 °C 3 m/s	47,89±0,52^{f}	17,07±0,80^{abc}	36,13±0,87^{def}	39,96±1,07^{cde}	64,72±0,69^{de}	16,35^{cdef}
%5 Alg 45 °C 3 m/s	47,71±1,07^{f}	16,65±0,49^{bcde}	34,84±0,57^{ef}	38,61±0,70^{de}	64,46±0,44^{de}	15,82^{def}

Aynı sütunda farklı küçük harflerle ifade edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklıdır (P<0,05) (n = 3 ± SD).

Kurutulmamış %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren karışım için *L** değeri ortalama sırasıyla 41,59, 38,51, 34,86 ve 32,29 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren cipsler için *L** değeri ise sırasıyla 57,25 – 62,94, 54,43 – 57,73, 45,57 – 48,20 ve 42,35 – 47,89 arasında değişmiştir. Kurutulmuş örneklerde en açık renkli cips; %0 alg içeriğine sahip, 45 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir. En koyu cips örneği ise; %5 alg içeriğine sahip, 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir.

Kırmızılık (+) ve yeşilliği ifade eden *a** değeri alg içeren örneklerde kurutma ile artış gözlemlenmiş, alg içermeyen örneklerde ise kurutma ile azalma gözlemlenmiştir. Bu durum Maillard reaksiyonlarının etkinliği ile yorumlanabilir. Ayrıca alg oranı arttıkça tüm örneklerde *a** değerinde artış görülmektedir. Bu durum ilave edilen alg renginin turuncu-kırmızı renkte olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Alg içermeyen örneklerde tüm hava hızlarında; %1 alg içeren ve 3 m/s hava hızında kurutulan örneklerde kırmızılıkta azalma görülmüştür. Diğer örneklerde ise alg oranı arttıkça kurutma ile kırmızılık seviyesinde artış görülmektedir. Sıcaklık artışı alg içermeyen örneklerde *a** değerinin arttırırken, alg içeren örneklerde yüksek sıcaklıkta kurutulan örnekler daha düşük *a** değerine tespit edilmiştir.

Kurutulmamış %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren karışım için *a** değeri ortalama sırasıyla 12,74, 14,42, 14,95 ve 16,26 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren cipsler için *a** değeri ise sırasıyla 7,77 – 9,49, 13,16 – 14,66, 15,73 – 17,81 ve 16,65 – 17,07 arasında değişmiştir. Kurutulmuş örneklerde en kırmızı renkli cips; %3 alg içeriğine sahip, 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir. Kırmızılığı en az olan cips örneği ise; %0 alg içeriğine sahip, 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir.

Sarılık (+) ve maviliği (-) ifade eden *b** değeri kurutma ile %5 alg içeriğine sahip 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği dışındaki tüm örneklerde kurutma işlemi ile artış göstermiştir. Kurutulmamış %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren karışım için *b** değeri ortalama sırasıyla 28,47, 30,99, 27,77 ve 31,36 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren cipsler için *b** değeri ise sırasıyla 38,99 – 42,29, 39,59 – 43,81, 32,89 – 36,64 ve 29,87 – 36,13 arasında değişmiştir. Kurutulmuş örneklerde en

kırmızı renkli cips; %3 alg içeriğine sahip, 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir. Kırmızılığı en az olan cips örneği ise; %0 alg içeriğine sahip, 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir.

Kurutulmuş örneklerde en sarı renkli cips; %1 alg içeriğine sahip, 45 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir. Sarılık değeri en az olan cips örneği ise; %5 alg içeriğine sahip, 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir.

Hava hızı ve sıcaklığın artması ile *b** değeri artmış ve cips örnekleri sarı renge doğru değişim göstermiştir. Cips örnekleri karşılaştırıldığında alg içeren örneklerde alg oranın artması ile *b** değerinde azalma gözlenmiştir.

Canlılık (+) ve matlığı (-) ifade eden *C** değeri kurutma ile tüm örneklerde artış göstermiştir. Kurutulmamış %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren karışım için *C** değeri ortalama sırasıyla 31,20, 34,18, 31,54 ve 32,40 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş %0, 1, 3 ve 5 oranında alg içeren cipsler için *C** değeri ise sırasıyla 39,76 – 43,34, 42,07 – 46,13, 37,41 – 39,80 ve 34,36 – 39,96 arasında değişmiştir. Kurutulmuş örneklerdeki en canlı renk %1 alg içeriğe sahip 45 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir. En mat örnek ise %5 alg içeriğine sahip 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir. Kurutulmuş ve kurutulmamış örnek karşılaştırıldığında; *C** değerinde tüm örneklerde artış gözlenmiştir. Cips örnekleri karşılaştığında %5 alg oranına sahip 3m/s hızda kurutulan örnekler haricinde alg içeren örneklerde alg oranı arttıkça *C** değerinde azalma görülmüştür. Hava hızının artması ile *C** değeri açısından anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir ($P>0,05$). Sıcaklık değerlerinin artması ile 3 m/s hızındaki %3 ve %5 oranına sahip örneklerde *C** değerinde azalma görülürken diğer örneklerde sıcaklığın artması *C** değerini arttırmıştır.

Hue değeri (h°), 0 – 360 arasında değer gören ve her rengi tanımlayan bir değeridir. Cips Hamuru ile karşılaştırıldığında h° tüm örneklerde artmıştır. %0 Rengin tanımlanmasında rol alan h° değerinin ise kurutma ile arttığı görülmektedir. %1 alg içeren örneklerde cips hamurunda h° değeri ortalama 65,03 olarak bulunurken kurutma ile 70,34 – 71,80 aralığına arttığı görülmektedir. %3 alg içeren örneklerde cips hamurunda h° değeri

ortalama 61,70 olarak bulunurken kurutma sonucunda 61,57 – 65,72 aralığıda değişim göstermektedir. %5 alg içeren örneklerde cips hamurunda h° değeri ortalama 32,29 olarak bulunurken kurutma ile 42,35 – 47,89 aralığına arttığı görülmektedir.

△E* değeri %0 alg içeren örneklerde en yüksek değere sahipken %5 alg içeren örnekte en düşük değere sahiptir. △E* değeri için düşük sıcaklık ve düşük hava hızı ile düşük △E* değerleri elde edilmiştir.

El-Baz yapmış olduğu çalışmada *Dunaliella salina* ilavesi ile zenginleştirdiği makarna örneklerinde %1 %2 ve %3 alg oranlarını denemiş, elde ettiği ürünlerde yaptığı renk analizinde, *L** ve *a** değerlerinde düşüş, *b** değerinde ise artış gözlemlediğini belirtmiştir. Şahin (2020), yapmış olduğu çalışmada *Dunaliella salina* içeren kurabiye örneklerini renk analizine tabi tutmuştur. Elde ettiği sonuçlara göre alg oranını %1 den %2'ye çıkardığında *L**, *a**, *b** ve *C** değerlerinde artış gözlemlemiştir. Uğurlu (2023), geliştirmiş olduğu elma cipsinin kurutulmasında yapılan çeşitli işlemlerin etkinliği üzerinde yaptığı çalışmada *L** değerinin kurutma ilerle azaldığını gözlemlerken, *a** ve *b** değerlerinde ise artış gözlemlemiştir. Orak vd. (2011), hava kurutma ve dondurarak kurutma ile kocayemiş meyvelerini kurutmuşlardır. Elde edilen ürünlerin iç ve dış yüzeylerinin renk özelliklerini değerlendirmişlerdir. Taze meyvenin dış yüzeyinde; *L** değeri 32,19; *a** değeri 31,99; *b** değeri 23,57; iç yüzeyinde ise; *L** değeri 53,75; *a** değeri 11,92; *b** değeri 47,52 olarak bulmuşlardır. Ön işlem uygulanmamış örneklerde hava kurutucu ile tüm renk değerlerinde azalma görülmüştür. Dondurarak kurutma ile ise dış yüzeyde *L** değeri artarken *a** değeri azalmakta, *b** değerinde ise önemli bir değişim görülmemektedir. İç yüzeyde ise *L** ve *b** değerlerinde artış görülürken *a** değerinde azalma görülmüştür.

4.9. Tekstür

Tekstür analizi kapsamında incelenen iki parametre tokluk ve kayma değerleridir. Tokluk katı yiyecekleri çiğnemek için gereken enerji cinsinden ölçülmektedir. Tokluk değerleri incelendiğinde; tüm alg oranlarında sıcaklık ve hava hızı artışı ile tokluk verilerinde azalma görülmüştür. Tokluk parametrelerinde sıcaklık değişiminin hava hızına göre çok

daha fazla etkili olduğu tespit edilmiştir. Kayma ise gereken maksimum kuvvet ve/veya bunu başarmak için gereken iş, numunenin sertliğinin, dayanıklılığının veya lifliliğinin bir göstergesi olarak alınır. Alg oranlarının değişmesi ile tokluk değeri açısından anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir (P>0,05). Kayma değerleri incelendiğinde ise; tüm alg oranlarında sıcaklık ve hava hızı artışı ile kayma değerlerinde azalma gözlenmiştir. Kayma değerinde sıcaklığın etkisinin hava hızının etkisinden çok daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Alg oranlarının değişmesi ile düzenli artış veya azalma görülmemiştir.

Çizelge 4.21. Kocayemiş cipsi örneklerinde tekstür değerleri.

Cips Örnekleri	Tokluk (toughness, kg)	Kayma (Work of shear, kg.mm)
%0 Alg 40 °C 2m/s	1,02±0,12^{bc}	6,21±0,71^{bc}
%0 Alg 45 °C 2m/s	0,47±0,10^{gh}	1,28±1,03^{ef}
%0 Alg 40 °C 3m/s	0,91±0,06^{bcde}	5,19±0,43^{cd}
%0 Alg 45 °C 3m/s	0,54±0,02^{fgh}	1,32±0,49^{ef}
%1 Alg 40 °C 2m/s	1,01±0,18^{bc}	2,07±0,43^{ef}
%1 Alg 45 °C 2m/s	0,46±0,09^{h}	1,05±0,41^{f}
%1 Alg 40 °C 3m/s	0,85±0,15^{cdef}	5,27-±1,55^{cd}
%1 Alg 45 °C 3m/s	0,64±0,04^{defgh}	3,86±1,33^{cde}
%3 Alg 40 °C 2m/s	1,20±0,08^{b}	10,60±0,09^{a}
%3 Alg 45 °C 2m/s	0,63±0,09^{defgh}	1,51±0,18^{ef}
%3 Alg 40 °C 3m/s	1,59±0,17^{a}	8,35±0,80^{ab}
%3 Alg 45 °C 3m/s	0,62±0,07^{efgh}	2,63±0,17^{def}
%5 Alg 40 °C 2m/s	0,96±0,06^{bcd}	6,55±2,20^{bc}
%5 Alg 45 °C 2m/s	0,81±0,18^{cdefg}	3,19±0,78^{def}
%5 Alg 40 °C 3m/s	0,56±0,13^{fgh}	2,40±0,16^{ef}
%5 Alg 45 °C 3m/s	0,34±0,10^{h}	0,86±0,39^{f}

Aynı sütunda farklı küçük harflerle ifade edilen değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklıdır (P<0,05) (n = 3 ± SD).

4.10. Duyusal Özellikler

Farklı alg oranlarıyla fonksiyonelliği arttırılmış mikroalg ilaveli kocayemiş cipsilerinin duyusal analiz sonuçları Çizelge 4.22; Çizelge 4.23; Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25'de verilmiştir. Cips örnekleri renk, görünüş, koku, tat, kırılganlık, gevreklik, sertlik, yapışkanlık, pürüzlülük, yağlılık ve genel beğeni özellikleri için dokuz noktalı hedonik teste tabi tutulmuştur. Tüm parametreler değerlendirildiğinde, renk açısından en çok beğenilen örnekler, 8,67 puan ile %0 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği ve %1 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği olmuştur. Görünüş açısından değerlendirme yapıldığında iki farklı alg oranına sahip toplamda üç örnek 8,33 puanla en çok beğenilen örnekler olmuşlardır. Bu örnekler; %0 alg oranına sahip 40 °C de 2 m/s hızla kurutulan, %0 alg oranına sahip 45 °C de 3 m/s hızla kurutulan ve %3 alg oranına sahip 45 °C de 3 m/s hızla kurutulan örneklerdir. El-Baz vd. (2017) *Dunaliella salina* içeriği bulunan makarna örneklerinde alg oranı arttıkça renk parametresi yönünde azalma gözlemlediğini belirtmiştir.

Koku açısından bir değerlendirme yapıldığında %0 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği 8,50 puan ile en yüksek puanı almıştır. Tat yönü ile değerlendirme yapıldığında %0 alg oranına sahip 40 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği ve %0 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği 8,17 ortalama puanla en yüksek puanı almıştır. El-Baz vd. (2017) makarna örneklerinde yapmış oldukları değerlendirmede %1 %2 %3 alg oranlarında sırası ile artışa bağlı olarak tat yönünde duyusal puanda azalma gözlemlemiştir.

Kırılganlık açısından bir değerlendirme yapıldığında 7,33 ortalama puan ile %0 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği en yüksek puanı almıştır. Gevreklik açısından değerlendirildiğinde 6,08 ortalama puan ile %0 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği en yüksek puanı almıştır.

Sertlik açısından değerlendirme yapıldığında ortalama 6,42 puan ile %1 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği en yüksek puanı almıştır.

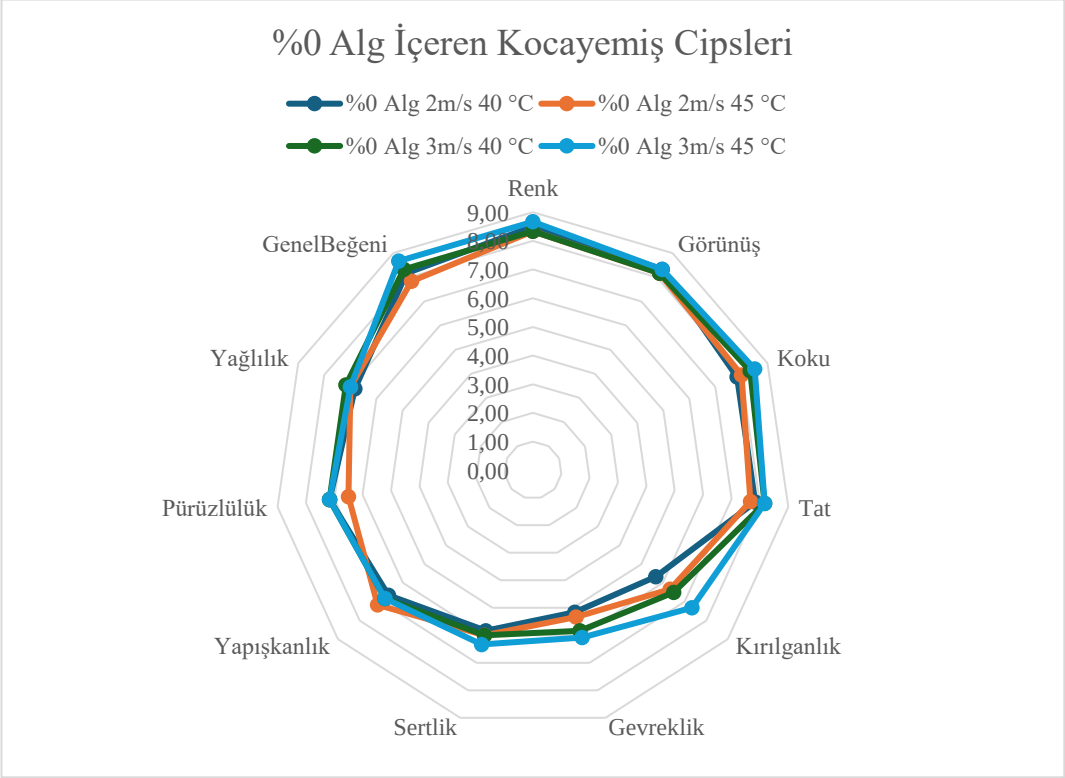
Yapışkanlık açısından değerlendirildiğinde ortalama 7,17 puan ile %1 alg oranına sahip 2 m/s hızla kurutulmuş cips örneği en yüksek puanı almıştır.

Pürüzlülük düzeyleri değerlendirildiğinde 7,50 puan ile %5 alg oranına sahip 40 °C'de 2 m/s hızla kurutulan cips örneği en çok beğenilmiştir.

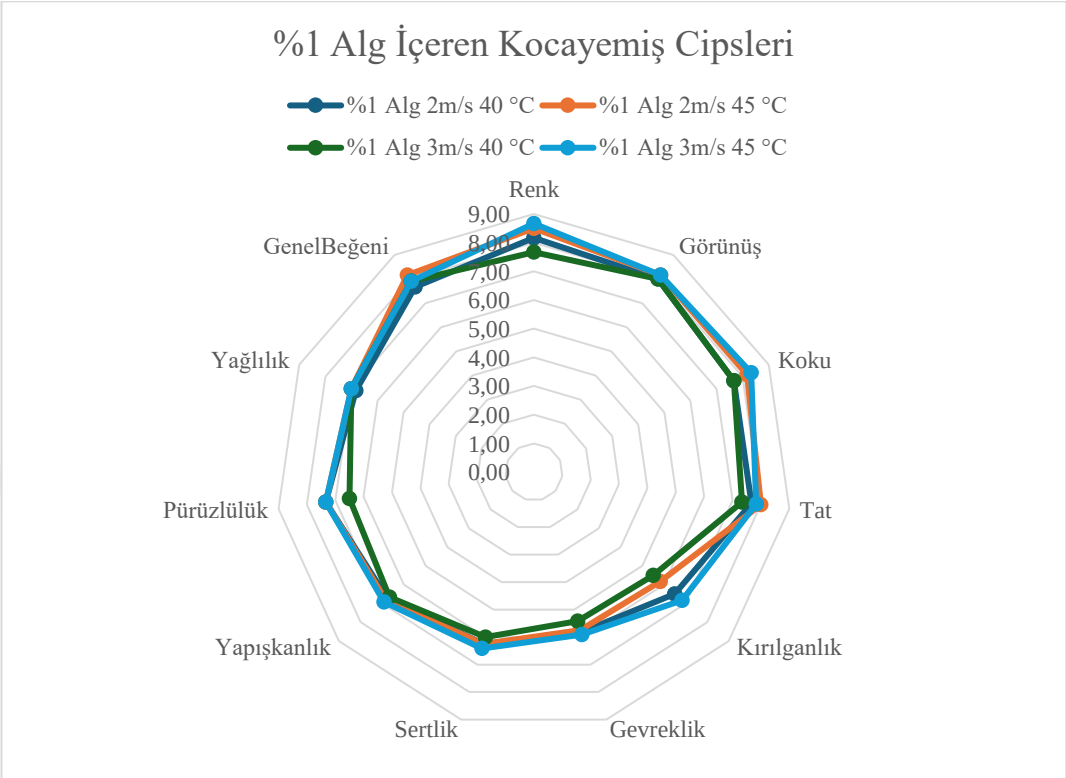
Yağlılık bakımından değerlendirildiğinde 3 farklı alg oranına sahip 3 farklı örnek 7,17 puan ile en çok beğenilmiştir. Bu örnekler; ile %0 alg oranına sahip 40 °C'de 3 m/s hızla kurutulan cips örneği, ile %3 alg oranına sahip 45 °C'de 2 m/s hızla kurutulan cips örneği ve ile %5 alg oranına sahip 40 °C'de 2 m/s hızla kurutulan cips örneği olmuştur.

Panelistler genel beğeni üzerinden değerlendirme yaptıklarında ortalama 8,67 puan ile %0 alg içeren 45 °C'de 3 m/s hızla kurutulmuş cips örneğini en çok beğenmişlerdir. Tüm parametreler incelendiğinde en çok beğenilen örnek %0 alg içeren 45 °C'de 3 m/s de'de kurutulan örnek olurken, bu örneği takiben %1 alg oranına sahip 45 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği en çok beğenilen örnekler arasındadır.

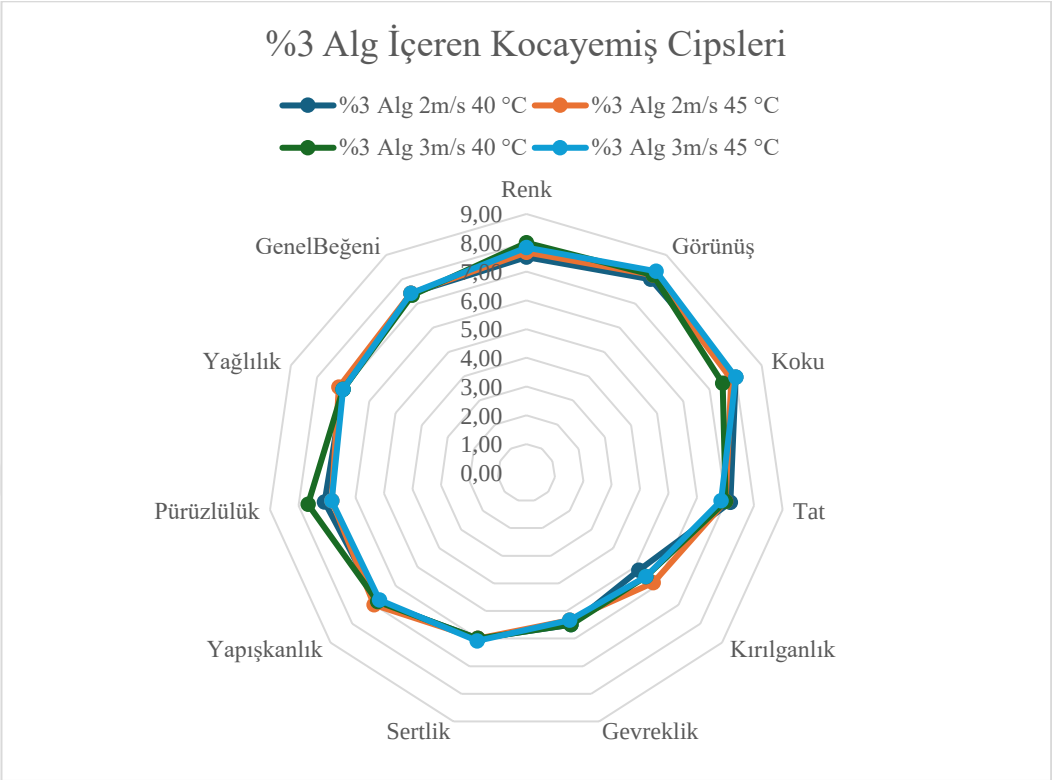
Çizelge 4.22. %0 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal özelliklerinin değerlendirilmesi.



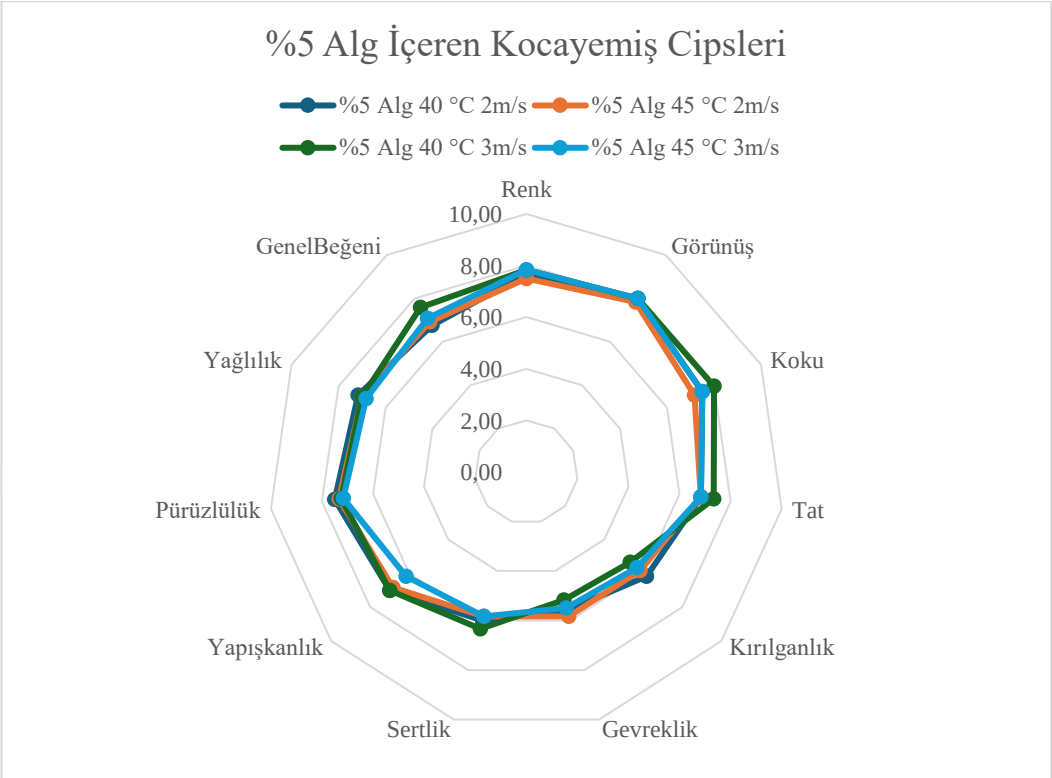
Çizelge 4.23. %1 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal özelliklerinin değerlendirilmesi.



Çizelge 4.24. %3 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal özelliklerinin değerlendirilmesi.



Çizelge 4.25. %5 alg içeren kocayemiş cipsi örneklerinde duyusal özelliklerinin değerlendirilmesi.



5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında ilk defa *Dunaliella salina* ilaveli kocayemiş cipsi üretilmiştir. *Dunaliella salina* mikroalg biyokütlesi, ürünün fonksiyonel ve besleyici özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla farklı oranlarda ilave edilmiştir. Farklı oranlarda alg ilave edilen cips karışımları (% 0, 1, 3 ve 5) ince tabaka halinde kalıplara dökülerek, enerji verimliliği yüksek ve çevre dostu bir teknoloji olan ısı pompalı kurutma sistemi ile iki farklı sıcaklık (40 ve 45 °C) ve iki farklı hava hızında (2 ve 3 m/s) kurutulmuştur.

Cips örneklerinde toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde, toplam antioksidan kapasite ve bunların *in vitro* biyoerişilebilirliği ile tekstür, renk ve duyusal analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı kurutma koşullarında üretilen cips örneklerinin kurutma karakteristiklerinin matematiksel olarak modellenmesi yapılmıştır. Kurutma karakteristiklerini en iyi belirten kurutma modelleri Difüzyon Yaklaşımı, Verma vd., Logaritmik, Page ve İki Terimli modelleri olarak belirlenmiştir.

Kurutma süreci çeşitli parametrelere bağlı olarak farklılık göstermiştir. Ürünler 0,02 g su/g km değerine kadar kurutulmuştur. En hızlı kurutulan örnek 80 dakikalık bir süre ile %3 alg içeriğine sahip, 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş örnek olmuştur. En uzun sürede kuruyan örnek ise 190 dakikalık süre ile %5 alg içeriğine sahip 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş örnek olmuştur.

Toplam fenolik madde analizleri açısından değerlendirilen örneklerde, en yüksek toplam fenolik madde içeriğine sahip örnek sindirim öncesi %5 alg içeriğine sahip 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneğidir. Toplam flavonoid analizi açısından değerlendirmesi yapılan örneklerde sindirim öncesi ve sindirim sonrası değerlendirmelerde en yüksek toplam flavonoid içeriğine sahip olan örnek %5 alg oranına sahip 40 °C'de 2 m/s hava hızı ile kurutulan cips örneği olmuştur. Antioksidan analizleri DPPH, CUPRAC ve FRAP yöntemleri ile yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde genel olarak sindirilmemiş örneklerde 40 °C'de; sindirim sonrası 45 °C'de daha yüksek antioksidan kapasite bulunmuştur. Cips örneklerine alg ilave edilmesi antioksidan kapasitesini (DPPH, CUPRAC) genel olarak arttırmıştır.

Tüm kurutulmuş meyve cipsi örneklerinde *L** değerinin ortalama 42,35 – 62,94 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. En açık renkli meyve cipsi %0 alg içeren 2 m/s hızla 45 °C'de kurutulmuş örnekte görülürken, en koyu renkli meyve cipsi %5 alg içeren 2 m/s hızla 40 °C'de kurutulmuş cips örneğinde saptanmıştır. Alg miktarının artması ile, kurutma öncesi ve sonrası *L** değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Kurutulmuş cips örneklerinde %3 ve %5 alg içeren örneklerde *a** değeri, kurutma sonrasında artış göstermiştir ancak alg içermeyen cips örneklerinde *a** değeri düşerek kırmızılık azalmıştır. %1 alg içeren örneklerde ise cips hamuru ile kurutulmuş örnekler arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir (P>0,05). *h*° değeri, %3 alg içeren 2 m/s hızla 40 °C'de kurutulmuş cips örneği hariç tüm örneklerde artış göstermiştir. *C** değerleri incelendiğinde ise kurutma sonrası tüm örneklerde artış olduğu saptanmıştır. Duyusal analiz sonucunda da panelistler tarafından rengi en çok beğenilen cips örneklerinin %0 alg ve %1 alg içeren 3 m/s hızla 45 °C'de kurutulmuş örnekler olduğu belirtilmiştir. Bu durum rengi daha açık, yüksek sıcaklıkta ve yüksek hızda kurutulan örneklerin tüketici tarafından arzu edildiğini göstermektedir.

Tekstür analizleri yönünden değerlendirilen örneklerde iki farklı parametre incelenmiştir. En yüksek tokluk değeri 1,59±0,17 ile %3 alg içeren 40 °C'de 3m/s hava hızı ile kurutulmuş örnek olmuştur. En düşük tokluk değeri 0,34±0,10 ile %5 alg içeren 45 °C'de 3m/s hava hızı ile kurutulmuş örnek olmuştur. En yüksek kayma değeri 10,60±0,09 ile %3 alg oranına sahip 40 °C'de 2m/s hava hızı ile kurutulmuş örnek olmuştur. En düşük kayma değeri 0,86±0,39 ile %5 alg içeren 45 °C'de 3m/s ile kurutulan örnek olmuştur. %5 alg içeren 45 °C'de 3m/s ile kurutulan örnek iki parametrede de en düşük değerlere sahip olan örnek olmuştur.

Duyusal açıdan değerlendirilen örnekler arasında genel beğeni düzeyi en yüksek olan örnek alg içermeyen örnekler olmuştur. Daha sonra sırasıyla %1, %3 ve %5 alg içeren örnekler beğenilmiştir. En çok beğenilen örnek 8,67 genel beğeni puanı ile %0 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği ve %1 alg oranına sahip 45 °C'de 3 m/s hava hızı ile kurutulmuş cips örneği olmuştur. Bu örnekler aynı zamanda en yüksek renk, görünüş, koku, tat ve kırılganlık puanlarını elde eden örneklerdir.

Bu çalışmanın sonuçları, *Dunaliella salina* ilavesinin kocayemiş cipsinin besleyici ve fonksiyonel özelliklerini artırmak için potansiyel bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın bulgularının gıda endüstrisinde uygulanabilirliğini incelemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. İleride yapılacak çalışmalarda, *Dunaliella salina* ilaveli kocayemiş cipsinin raf ömrü, depolama koşulları ve ticari potansiyeli gibi konuların da ele alınması faydalı olacaktır. Bu öneriler doğrultusunda, bu çalışmanın bulgularının gıda endüstrisi ve tüketici sağlığı açısından önemli olabileceği düşünülmektedir.

6.KAYNAKLAR

Abbaspour-Gilandeh, Y., Jahanbakhshi, A., & Kaveh, M. (2020). Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS. *Food Science & Nutrition*, *8*(1), 594-611.

Achour, H., Doumandji, A., Sadi, S., & Saadi, S. (2014). Evaluation of nutritional and sensory properties of bread enriched with *Spirulina*. *Annals Food Science and Technology*, *15*, 270-275.

Adapa, P. K., & Schoenau, G. J. (2005). Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis. *International journal of Energy Research*, *29*(11), 961-972.

Afoakwah, N. A., Owusu, J., & Owusu, V. (2019). Characteristics of coconut (*Cocos nucifera)* flour and its application in cake. *Asian Food Science Journal,* 13(1), 1-11.

Aksil, T., Abbas, M., Trari, M., & Benamara, S. (2019). Water adsorption on lyophilized *Arbutus unedo* L. fruit powder: Determination of thermodynamic parameters. *Microchemical Journal*, *145*, 35-41.

Aktar, S., & Cebe, G. E. (2010). Alglerin genel özellikleri, kullanım alanları ve eczacılıktaki önemi. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 39(3), 237-264.

Aktas, T., Orak, H., & Sahin, F. H. (2013). Effects of different drying methods on drying kinetics and color parameters of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *10*(2), 1-12.

Akyıl, S., İlter, I., Mehmet, K., & Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden elde edilen yüksek değerlikli bileşiklerin biyoaktif/biyolojik uygulama alanları. *Akademik Gıda*, 14(4), 418-423.

Alçay, A. Ü., Bostan, K., Dinçel, E., & Varlık, C. (2017). Alglerin insan gıdası olarak kullanımı. *Aydın Gastronomy*, 1(1), 47-59.

Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B. & Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, *12*(7), 1496-1547.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). 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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(26), 7970-7981.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Çelik, S. E. (2008). Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchimica Acta*, *160*, 413-419.

Apak, R. a., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(5), 997-1027.

Arafah, A., Abassy, M., Morcos, S., & Hussein, L. (1980). Nutritive quality of baladi bread supplemented with fish protein concentrate, green algae, or synthetic amino acids. *Cereal Chemistry*, 57(1), 35-39.

Arslan, R. (2018). *Gıda ve Gıda Katkısı Olarak Kullanılan Spirulina platensis Mikroalginden Elde Edilen Protein ve Pigmentlerin Biyoaktif Özellikleri* [Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi].

Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M., & Mitchell, A. E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1237-1241.

Assunção, M. L., Ferreira, H. S., dos Santos, A. F., Cabral, C. R., & Florêncio, T. M. (2009). Effects of dietary coconut oil on the biochemical and anthropometric profiles of women presenting abdominal obesity. *Lipids*, 44, 593-601.

Baltacıoğlu, C., & Ülker, N. (2017). Tam Kabak (*Cucurbita pepo* L.) tozunun bisküvinin kalite kriterleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(11), 1439-1445.

Bayrakdar, M. G. (2020). *Fonksiyonel Meyve Cipsinin Fizikokimyasal ve Duyusal Özelliklerinin Araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Borowitzka, M., & Borowitzka, L. (1988). Limits to growth and carotenogenesis in laboratory and large-scale outdoor cultures of *Dunaliella salina*. *Algal Biotechnology*, 371-381.

Büyüktuncel, E. (2013). Toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasite tayininde kullanılan başlıca spektrofotometrik yöntemler. *Marmara Pharmaceutical Journal, 17*(2), 93-103.

Cakmak, Y. S., Kaya, M., & Asan-Ozusaglam, M. (2014). Biochemical composition and bioactivity screening of various extracts from *Dunaliella salina*, a green microalga. *EXCLI Journal, 13*, 679-690.

Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Demirci Cekic, S., Sozgen Baskan, K., Avan, A. N., Uzunboy, S., & Apak, R. (2020). Antioxidant activity and capacity measurement. *Plant Antioxidants and Health*, 1-66.

Cebeci, O. I. Ş. (2015). *Spirulina Platensis' ten Farklı Ortam Koşullarında Biyokütle ve Gama-Linolenik Asit Üretimi* [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Cemeroğlu, B. (2007). Gıda analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 34, 168-171.

Costa, B. R., Rodrigues, M. C., Rocha, S. F., Pohndorf, R. S., Larrosa, A. P., & Pinto, L. A. (2016). Optimization of *Spirulina sp*. drying in heat pump: effects on the physicochemical properties and color parameters. *Journal of Food Processing and Preservation, 40*(5), 934-942.

Crank, J. (1979). The mathematics of diffusion. Revised edition.

Çakmak, H., Bozdoğan, N., Turkut, G. M., Kumcuoğlu, S., & Tavman, Ş. (2016). Dağ çileğinin (*Arbutus unedo* L.) kuruma kinetiğinin incelenmesi ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda, 41*(4), 227-234.

da Silva Vaz, B., Moreira, J. B., de Morais, M. G., & Costa, J. A. V. (2016). Microalgae as a new source of bioactive compounds in food supplements. *Current Opinion in Food Science, 7*, 73-77.

Delgado-Pelayo, R., Gallardo-Guerrero, L., & Hornero-Méndez, D. (2016). Carotenoid composition of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruits. *Food Chemistry, 199*, 165-175.

Dinu, M., Vlasceanu, G., Dune, A., & Rotaru, G. (2012). Researches concerning the growth of nutritive value of the bread products through the *Spirulina* adding. *Journal of Environmental Protection and Ecology, 13*(2), 660-665.

Doğan D.M., (2023) *Hünnap Meyve Tozunun Atiştirmalik Bar Üretiminde Kullanılması* [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi].

Doymaz, I. (2005). Sun drying of figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering*, *71*(4), 403-407.

Dłużewska, E., Marciniak-Lukasiak, K., & Kurek, N. (2015). Effect of transglutaminase additive on the quality of gluten-free bread. *CyTA-Journal of Food*, *13*(1), 80-86.

El-Baz, F. K., Abdo, S. M., & Hussein, A. M. (2017). Microalgae *Dunaliella salina* for use as food supplement to improve pasta quality. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *46*(2), 45-51.

Erbay, Z., & Hepbasli, A. (2013). Advanced exergy analysis of a heat pump drying system used in food drying. *Drying Technology*, *31*(7), 802-810.

Erbay, Z., & Hepbasli, A. (2017). Exergoeconomic evaluation of a ground-source heat pump food dryer at varying dead state temperatures. *Journal of cleaner production*, *142*, 1425-1435.

Figueira, F. d. S., Crizel, T. d. M., Silva, C. R., & Salas-Mellado, M. d. l. M. (2011). Elaboration of gluten-free bread enriched with the microalgae *Spirulina platensis*. *Brazilian Journal of Food Technology*, *14*, 308-316.

Finney, K., Pomeranz, Y., & Bruinsma, B. (1984). Use of algae *Dunaliella* as a protein supplement in bread. *Cereal Chemistry*, *61*(5), 402-406.

Gao, Q. H., Wu, C. S., Wang, M., Xu, B. N., & Du, L. J. (2012). Effect of drying of jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α-tocopherol, β-carotene, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(38), 9642-9648.

González, M. A., Gómez, P. I., & Polle, J. E. (2019). Taxonomy and phylogeny of the genus *Dunaliella*. *The Alga Dunaliella*, 15-44.

Guimarães, R., Barros, L., Dueñas, M., Carvalho, A. M., Queiroz, M. J. R., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2013). Characterisation of phenolic compounds in wild fruits from Northeastern Portugal. *Food Chemistry*, *141*(4), 3721-3730.

Gökce, S., Bulduk, İ., & Bozkurt, S. (2016). Arbutinin LC-MS/MS Tekniği ile Zorlanmış Koşullardaki Bozunurluk Ürünlerinin Tayini. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *28*(2), 17-23.

Güneş, S. S. (2009). *Spirulina platensis katkılı cilt kremlerinin geliştirilmesi ve hücre kültürleri üzerinde etkilerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Gürel, A. E., Ceylan, İ., & Yılmaz, S. (2015). Isı Pompalı Ve Parabolik Oluklu Güneş Kolektörlü Akışkan Yataklı Kurutucuların Deneysel Analizi. *Journal of Thermal Science & Technology/Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, *35*(1).

Halil, T., Tamer, C. E., Suna, S., & Özkan Karabacak, A. (2020). Investigations of some quality parameters and mathematical modeling of dried functional chips. *Heat and Mass Transfer*, 56, 1099-1115.

Halil, T. (2019). *Patates cipsi kalitesi üzerine farklı formülasyonların ve kurutma yöntemlerinin etkilerinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]

Hamid, K., Sajjad, U., Yang, K. S., Wu, S. K., & Wang, C. C. (2022). Assessment of an energy efficient closed loop heat pump dryer for high moisture contents materials: An experimental investigation and AI based modelling. *Energy*, 238, 121819.

Jovanov, P., Sakač, M., Jurdana, M., Pražnikar, Z. J., Kenig, S., Hadnađev, M. & Marić, A. (2021). High-protein bar as a meal replacement in elite sports nutrition: a pilot study. *Foods*, *10*(11), 2628.

Kamer, M. S., Şahin, H. E., Sönmez, K., Muharrem, İ., & Ahmet, K. (2016). Kabak ve patlıcan dilimlerinin kuruma davranışının deneysel incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *19*(2), 1-8.

Kamiloglu, S., & Capanoglu, E. (2015). Polyphenol content in figs (*Ficus carica* L.): Effect of sun-drying. *International Journal of Food Properties*, *18*(3), 521-535.

Kamiloglu, S., Pasli, A. A., Ozcelik, B., & Capanoglu, E. (2014). Evaluating the in vitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant activity during consumption of dried fruits with nuts. *LWT-Food Science and Technology*, *56*(2), 284-289.

Kamiloğlu, S. (2019). Bireysel Hızlı Dondurma İşlemi Basamaklarının Granny Smith Elmaların Polifenol İçeriği ve Antioksidan Kapasitesine Etkileri. *Akademik Gıda*, *17*(1), 38-46.

Karaca, A. C., Başkaya, H., Güzel, Ö., & Ak, M. M. (2017). Püskürtmeli Kurutma İşleminin Meyve Suyu Konsantrelerinin Fenolik Madde İçeriğine Ve Antioksidan Aktivitesine Etkisi. *Gıda*, 42(3), 297-304.

Karadeniz, F., & Ekşi, A. (2001). Elma suyunda fenolik madde dağılımı üzerine araştırma. *Journal of Agricultural Sciences*, 7(03), 135-141.

Kaya, A., Aydın, O., Kamer, M., & Doğan, O. (2014). Su Kabağının *(Lagenaria siceraria*) Kuruma Davranışının Deneysel İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *16*(2), 37-41.

Kaya, A., Kamer, M. S., & Şahin, H. E. (2015). Trabzon hurmasının (*Diospyros kaki* L.) kuruma davranışının deneysel incelenmesi. *Gıda*, *40*(1), 9-14.

Kerse, S., & Okcu, Z. (2020). Effect of Concentratıon and Dryıng Processes on Physıcal and Chemıcal Propertıes of Strawberry (*Arbutus Unedo* L.) Leather (Pestıl). *Fresenius Environmental Bulletin*, *29*(11), 9951-9960.

Kim, D. O., Jeong, S. W., & Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*, 81(3), 321-326.

Kim, J., Kim, J. I., & Lee, C. W. (2016). Development and validation of a modified QuEChERS method coupled with LC-MS/MS to determine arbutin in pear peels. *Food Science and Biotechnology*, *25*, 987-992.

Kızmaz, A. (2019). *Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan kivi dilimlerinin adsorpsiyon izotermlerinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi].

Kovač, D. J., Simeunović, J. B., Babić, O. B., Mišan, A. Č., & Milovanović, I. L. (2013). Algae in food and feed. *Food and Feed Research*, *40*(1), 21-32.

Kramer, K. (1994). New Applications of Heat Pumps in Drying Processes.

Liang, S., Liu, X., Chen, F., & Chen, Z. (2004). Current microalgal health food R & D activities in China. Asian Pacific Phycology in the 21st Century: Prospects and Challenges: Proceeding of The Second Asian Pacific Phycological Forum, Hong Kong, China, 21–25 June 1999,

Lippolis, T., Cofano, M., Caponio, G. R., De Nunzio, V., & Notarnicola, M. (2023). Bioaccessibility and bioavailability of diet polyphenols and their modulation of gut microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3813.

Liu, H., Yousaf, K., Chen, K., Fan, R., Liu, J., & Soomro, S. A. (2018). Design and thermal analysis of an air source heat pump dryer for food drying. *Sustainability*, *10*(9), 3216.

Malçok, S. D., Karabacak, A., Bekar, E., Tunçkal, C., & Tamer, C. E. (2023). Influence of a hybrid drying combined with infrared and heat pump dryer on drying characteristics, colour, thermal imaging and bioaccessibility of phenolics and

antioxidant capacity of mushroom slices. *Journal of Agricultural Engineering*, *54*(3), Article 1537.

Martelli, G., Folli, C., Visai, L., Daglia, M., & Ferrari, D. (2014). Thermal stability improvement of blue colorant C-Phycocyanin from *Spirulina platensis* for food industry applications. *Process Biochemistry*, *49*(1), 154-159.

Martín-Gómez, J., Varo, M. Á., Mérida, J., & Serratosa, M. P. (2020). Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). Lwt, 120, 108931.

Medvedeva, E.I., Kalyuzhnaya, A.M., Panchenko, A.K.,Krasil'nikova, S.V. & Petrenko, E.B. (1969). Amino Acids from Algae-Valuable Bread Additives. *Khlebopekarnaya I Konditer. Promyshlennost*, 13, 16–17.

Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C. & Dupont, D. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food–an international consensus. *Food & function*, *5*(6), 1113-1124.

Morgado, S., Morgado, M., Plácido, A. I., Roque, F., & Duarte, A. P. (2018). *Arbutus unedo* L.: From traditional medicine to potential uses in modern pharmacotherapy. *Journal of ethnopharmacology*, *225*, 90-102.

Mota, C. L., Luciano, C., Dias, A., Barroca, M. J., & Guiné, R. P. F. (2010). Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2-3), 115-123.

Murthy, K. C., Vanitha, A., Rajesha, J., Swamy, M. M., Sowmya, P., & Ravishankar, G. A. (2005). In vivo antioxidant activity of carotenoids from *Dunaliella salina* a green microalga. *Life sciences*, *76*(12), 1381-1390.

Muslu, M., & Gökçay, G. F. (2020). Sağlığın desteklenmesi ve sürdürülebilir beslenme için alternatif bir kaynak: Alg (yosunlar). *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, *2*(3), 221-237.

Nirmala, C., Prakash, V., & Venkataraman, L. (1992). Physico-chemical and functional properties of proteins from spray dried algae (*Spirulina platensis*). *Food/Nahrung*, *36*(6), 569-577.

Oniszczuk, A., & Podgórski, R. (2015). Influence of different extraction methods on the quantification of selected flavonoids and phenolic acids from *Tilia cordata* inflorescence. *Industrial crops and products*, 76, 509-514.

Oniszczuk, A., & Olech, M. (2016). Optimization of ultrasound-assisted extraction and LC-ESI–MS/MS analysis of phenolic acids from *Brassica oleracea* L. var. sabellica. *Industrial Crops and Products*, 83, 359-363.

Orak, H., Aktas, T., Yagar, H., Isbilir, S. S., Ekinci, N., & Sahin, F. H. (2012). Effects of hot air and freeze drying methods on antioxidant activity, colour and some nutritional characteristics of strawberry tree (*Arbutus unedo* L) fruit. *Food Science and Technology International*, *18*(4), 391-402.

Orak, H. H., Aktas, T., Yagar, H., Isbilir, S. S., Ekinci, N., & Sahin, F. H. (2011). Antioxidant activity, some nutritional and colour properties of vacuum dried strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, *10*(3), 331-338.

Orak, H. H., Aktas, T., Yagar, H., Isbilir, S. S., Ekinci, N., & Sahin, F. H. (2012). Effects of hot air and freeze drying methods on antioxidant activity, colour and some nutritional characteristics of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit. *Food Science and Technology International*, *18*(4), 391-402.

Oren, A. (2005). A hundred years of *Dunaliella* research: 1905–2005. *Saline systems*, *1*, 1-14.

Özdemir, M. B., & Özkaya, M. G. (2015). Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi. *Politeknik Dergisi*, *18*(4), 269-280.

Özdemirli, N. (2023). *Endüstriyel Dondurma İşlemine Tabi Tutulan Turunçgillerde Biyoaktif Bileşenlerin Biyoerişilebilirliğinde Oluşan Değişimlerin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Özkan Karabacak, A. (2019). Effects of different drying methods on drying characteristics, colour and in-vitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of blackthorn pestil (leather). *Heat and Mass Transfer*, *55*, 2739-2750.

Özkan Karabacak, A., Tunçkal, C., Tamer, C. E., Çopur, Ö. U., & Yolci Ömeroğlu, P. (2022). Bioaccessibility of total phenolics and antioxidant activity of melon slices dried in a heat pump drying system. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(3), 2154-2171.

Özkan-Karabacak, A., Acoğlu-Çelik, B., Özdal, T., Yolci-Ömeroğlu, P., Çopur, Ö. U., Baştuğ-Koç, A., & Pandiselvam, R. (2023). Microwave-Assisted Hot Air Drying of Orange Snacks: Drying Kinetics, Thin Layer Modeling, Quality Attributes, and Phenolic Profiles. *Journal of Food Biochemistry*, *2023*.

Özkan-Karabacak, A. (2023). Evaluation of drying kinetics and quality parameters of rosehip pestils dried by three different methods. *Journal of Berry Research*, 13(3), 261-283.

Pacheco-Quito, E.-M., Ruiz-Caro, R., & Veiga, M.-D. (2020). Carrageenan: drug delivery systems and other biomedical applications. *Marine Drugs*, *18*(11), 583.

Pal, U., Khan, M. K., & Mohanty, S. (2008). Heat pump drying of green sweet pepper. *Drying technology*, *26*(12), 1584-1590.

Pashazadeh, H., Redha, A. A., & Koca, I. (2024). Effect of convective drying on phenolic acid, flavonoid and anthocyanin content, texture and microstructure of black rosehip fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125, 105738.

Pawlowska, A. M., De Leo, M., & Braca, A. (2006). Phenolics of *Arbutus unedo* L.(*Ericaceae*) fruits: Identification of Anthocyanins and Gallic Acid Derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(26), 10234-10238.

Perea-Flores, M., Garibay-Febles, V., Chanona-Perez, J. J., Calderon-Dominguez, G., Mendez-Mendez, J. V., Palacios-González, E., & Gutierrez-Lopez, G. F. (2012). Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures. *Industrial Crops and Products*, *38*, 64-71.

Polat, A. (2023). *Elektrohidrodinamik-sıcak hava kombinasyonu yöntemiyle bazı tarımsal ürünlerin kurutma parametrelerinin belirlenmesi* [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Potisate, Y., Phoungchandang, S., & Kerr, W. L. (2014). The effects of predrying treatments and different drying methods on phytochemical compound retention and drying characteristics of Moringa leaves (*Moringa oleifera Lam.*). *Drying Technology*, *32*(16), 1970-1985.

Pulz, O., & Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied microbiology and biotechnology*, *65*, 635-648.

Rahman, M. S., Perera, C. O., & Thebaud, C. (1997). Desorption isotherm and heat pump drying kinetics of peas. *Food Research International*, *30*(7), 485-491.

Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in plant science*, *2*(4), 152-159.

Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free radical biology and medicine*, *20*(7), 933-956.

Ruiz-Rodríguez, B.M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M.-C., Camara, M., Díez-Marqués, C., Tardío, J. (2011). Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.) through nutritional assessment and natural production data. *Food Research International*, *44*(5), 1244-1253.

Różyło, R., Rudy, S., Krzykowski, A., & Dziki, D. (2015). Novel application of freeze-dried amaranth sourdough in gluten-free bread production. *Journal of Food Process Engineering*, *38*(2), 135-143.

Różyło, R., Rudy, S., Krzykowski, A., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Różyło, K., & Skonecki, S. (2015). Effect of adding fresh and freeze-dried buckwheat sourdough on gluten-free bread quality. *International Journal of Food Science & Technology*, *50*(2), 313-322.

Sadeghi E., Haghighi Asl A., Movagharnejad K. 2020. Optimisation and quality evaluation of infrared-dried kiwifruit slices. *Food Science & Nutrition,* 8(2), 720-34.

Sakin-Yılmazer, M., & Aydın, T. (2021). Hindistan Cevizi Yağı İlaveli Türk Kahvesinin Duyusal Değerlendirilmesi. *Atlas Journal*, 7(44), 2127-2141.

Singh, A., Sarkar, J., & Sahoo, R. R. (2020). Experimental energy-exergy performance and kinetics analyses of compact dual-mode heat pump drying of food chips. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(6), e13404.

Singh, S., Kate, B. N., & Banerjee, U. (2005). Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview. *Critical reviews in biotechnology*, *25*(3), 73-95.

Strommen, I., Eikevik, T. M., Alves-Filho, O., Syverud, K., & Jonassen, O. (2002). Low temperature drying with heat pumps new generations of high quality dried products. *Proceeding in 13th International Drying Symposium* (IDS2002),

Şahin, O. I. (2020). Functional and sensorial properties of cookies enriched with *Spirulina* and *Dunaliella* biomass. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3639-3646.

Takwa, S., Caleja, C., Barreira, J. C., Soković, M., Achour, L., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2018). *Arbutus unedo* L. and *Ocimum basilicum* L. as sources of natural preservatives for food industry: A case study using loaf bread. *LWT*, *88*, 47-55.

Telatar, K. Y. (1985). Elma Suyu ve Konsantrelerinde Hidroksimetilfurfural (HMF), I. Farklı Elma Çeşitlerinin Elma Suyu ve Konsantresine İşlenmesi Süresinde HMF Oluşumu. *Gıda*, 10(4).

Trinidad, T. P., Mallillin, A. C., Valdez, D. H., Loyola, A. S., Askali-Mercado, F. C., Castillo, J. C., Encabo, R.R., Masa, D.B. Maglaya, A.S. & Chua, M. T. (2006). Dietary fiber from coconut flour: A functional food. *Innovative food science & emerging technologies*, 7(4), 309-317.

Tsatsaragkou, K., Yiannopoulos, S., Kontogiorgi, A., Poulli, E., Krokida, M., & Mandala, I. (2014). Effect of carob flour addition on the rheological properties of gluten-free breads. *Food and Bioprocess Technology*, *7*, 868-876.

Tunckal, C., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, C., Yolci-Omeroglu, P., & Goksel, Z. (2022). Mathematical Modelling And Optimisation Of Melon Slice Drying With Response Surface Methodology In A Heat Pump Drying System. *Lat. Ame Appl. Res*, *52*, 101-110.

Ulloa, P. A., Maia, M., & Brigas, A. F. (2015). Physicochemical parameters and bioactive compounds of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) honey. *Journal of Chemistry, 2015*.

Umut, A., Karakaya, O., Çelik, S. M., & Faizy, A. H. (2022). Bioactive compounds of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) genotypes grown in the East Black Sea and Marmara regions. *Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences*, *4*(2), 29-33.

Uysal, T. (2015). *Kocayemiş (Arbutus unedo L.) Bitkisinin Antioksidan Özelliklerinin Karakterizasyonu* [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi].

Uzunboy, S., Çekiç, S. D., Eksin, E., Erdem, A., & Apak, R. (2017). CUPRAC colorimetric and electroanalytical methods determining antioxidant activity based on prevention of oxidative DNA damage. *Analytical biochemistry*, *518*, 69-77.

Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*, *46*(10), 4113-4117.

Venkatachalam, S. K., Thottipalayam Vellingri, A., & Selvaraj, V. (2020). Low-temperature drying characteristics of mint leaves in a continuous-dehumidified air drying system. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(4), e13384.

Vo, T., & Tran, D. (2014). Carotene and antioxidant capacity of *Dunaliella salina* strains. *World Journal of Nutrition and Health*, *2*(2), 21-23.

Widowati, I., Zainuri, M., Kusumaningrum, H. P., Susilowati, R., Hardivillier, Y., Leignel, V. & Mouget, J.L. (2017). Antioxidant activity of three microalgae *Dunaliella salina*, Tetraselmis chuii and Isochrysis galbana clone Tahiti. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 55(1).

Yapici, B. (2017). *Radyo frekansı kurutma yöntemi ile elma cipsi üretimi* [Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi].

Yıldız, E. (2014). *Arbutus unedo L. meyvesinin bileşimi ve antioksidan özelliklerinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Zhan, B., Wang, Z., Shao, S., Xu, Z., Yang, Y., & Xu, C. (2022). Simulation investigation on a novel open-loop air cycle heat pump drying system. *International Journal of Refrigeration*, *141*, 31-42.

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559.