

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tüketime Sunulan *Spirulina platensis* Ürünlerinde
Mikroplastik Varlığının Belirlenmesi**

Serkan TUTAROĞLU

Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı

Şubat, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Tüketime Sunulan *Spirulina platensis* Ürünlerinde
Mikroplastik Varlığının Belirlenmesi**

Serkan TUTAROĞLU

Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 16/02/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri: Prof. Dr. Prof. Dr. Leyla USLU (Danışman)
: Doç. Dr. Sedat GÜNDOĞDU (İkinci Danışman)
: Prof. Dr. Oya IŞIK
: Prof. Dr. Ülkü Nihan YAZGAN TAVŞANOĞLU
: Dr. Öğr. Üyesi Muhittin Onur AKÇA

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Ana Bilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2021-13753

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VI
1. GİRİŞ	1
1.1. Spirulina Üretimi	4
1.1.1. Açık Havuz Sistemi	6
1.1.2. Fotobiyoreaktörler (FBR'ler)	7
1.1.3. Hibrit Sistem	9
1.1.4. Polietilen Torbalar	9
1.2. Spirulina'nın Besin Değeri ve Besin Bileşimi	10
1.2.1. Paketlenmiş Spirulina Ürünlerindeki Mikroplastik Kirliliği	12
1.3. Bu Çalışmanın Amacı ve Önemi	18
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
2.1. Türkiye'de Sucul Ortamlar, Sucul Canlılar, Abiyotik Su Ürünleri ve Mikroplastik İlişkisine Dair Çalışmalar	19
2.2. Paketli ve İşlenmiş Su Ürünlerindeki Mikroplastikler	20
2.3. Spirulina ve Diğer Alglerin Mikroplastik Etkileşimiyle İlgili Çalışmalar	21
3. MATERYAL VE METOT	25
3.1. Spirulina platensis' in Genel Özellikleri	25
3.2. Spirulina Örneklerinin Toplanması	26
3.3. Mikroplastik (MP) Ekstraksiyonu	26
3.4. μ -Raman Analizi	27
3.5. Kontaminasyondan Korunma Yöntemi	27
3.6. İstatistiksel Analiz	28
3.7. C-fikosiyenin Analizi	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Araştırma Bulguları	31
4.1.1. Piyasadan Toplanan Spirulina Örneklerinin Genel Özellikleri	31
4.1.2. Mikroplastik Yoğunluğu	32
4.1.3. Toz, Kapsül/Tablet Formdaki Spirulina Örneklerinin MP Miktarları	32

4.1.4. Markalara Göre İplik ve Parçacık Tipinde Bulunan MP'lerin Karşılaştırması	33
4.1.5. İplik ve Parçacık Tipinde ki MP'lerin Renklerle Olan İlişkisi.....	36
4.1.6. MP'lerin Uzunluk/Frekans İlişkisine Göre Sayıları	37
4.1.7. Mikroplastiklerin Polimer Kompozisyonu.....	37
4.1.8. Spirulina Ürünlerindeki C-fikosiyanın İçeriği	40
4.2. Tartışma	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	65
EKLER.....	67



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tüketime Sunulan *Spirulina platensis* Ürünlerinde
Mikroplastik Varlığının Belirlenmesi**

Serkan TUTAROĞLU

Danışman: Prof. Dr. Leyla USLU
İkinci Danışman: Doç. Dr. Sedat GÜNDOĞDU

Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı

ÖZ

Spirulina platensis besin içeriğinin zenginliği sebebiyle üretimi yapılan ve sağlıklı destek gıda olarak pazarlanan bir mavi-yeşil algdır. Mikroplastik (MP) bulaşmasının pekçok gıdada saptanması ve sağlığı tehdit etmesi nedenleriyle ticari olarak satılan *Spirulina platensis* ürünlerinde mikroplastik bulaşmasının araştırılmasına gereksinim ortaya çıkmıştır ve bu araştırma daha önce yapılmamıştır. Bu çalışma kapsamında, farklı ambalajlarda, farklı marka ve menşelerden 29 *Spirulina* örneği temin edilmiş ve MP analizi mikroskopik ve μ -Raman teknikleri kullanılarak yapılmıştır. *Spirulina* içeriğini doğrulamak ve MP miktarı ile karşılaştırma yapmak için C-fikosiyanin seviyeleri analiz edilmiştir. Toplamda 251 MP benzeri parçacık gözlemlenmiş, 29 paketlenmiş *Spirulina* örneğinden 26'sının potansiyel MP içerdiği görsel inceleme ile tespit edilmiş ve bu parçacıkların 35'inin gerçekten MP olduğu doğrulanmıştır. Analiz edilen parçacıkların %73'ü gerçek MP'lerdir. Ortalama MP miktarı $13,77 \pm 2,45$ MP/100 g kuru ağırlık (k.a.) olarak tahmin edilmiştir. Toz, kapsül/tablet formundaki *Spirulina* ürünlerinde MP miktarları karşılaştırıldığında, ürünler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. İncelenen MP'lerin %38,3'ü parçacık, %61,7'si iplik şeklindedir; parçacık boyutları 0,07 ila 2,15 mm ve iplik boyutları 0,19 ila 5,691 mm olarak belirlenmiştir. *Spirulina* örneklerindeki MP'lerin renk dağılımı ise ağırlıklı olarak lacivert (%33,20), siyah (%25,51) ve mavi (%19,43) şeklindedir. Diğer renkler beyaz (%10,93), kırmızı (%2,83), mor (%2,43), gri (%2,0), kahverengi (%1,21), yeşil (%1,62), sarı (%0,4) ve şeffaf (%0,4) olarak sıralanmaktadır. μ -Raman analizi ile 10 farklı sentetik polimer ve selüloz tespit edilmiş, en yaygın olanlar polipropilen (%31,6) ve polistiren (%8,3) olarak belirlenmiştir. C-fikosiyanin ve MP miktarları arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. MP varlığının, ürün paketlenme ve işleme aşamalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. *Spirulina* ürünlerindeki potansiyel MP kaynaklarının belirlenmesi ve insan sağlığına olası etkilerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Plastik kirliliği, *Spirulina platensis*, Gıda kirliliği, Gıda ambalajı, Gıda güvenliği.

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

MSc THESIS

**Determination of the Presence of Microplastic (Mp) in
Marketed *Spirulina platensis* Products**

Serkan TUTAROĞLU

*Advisor: Prof. Dr. Prof. Dr. Leyla USLU
Co-Advisor: Doç.Dr. Sedat GÜNDOĞDU*

Department of Biotechnology

ABSTRACT

Spirulina platensis is a blue-green algae that is produced and marketed as a health supplement due to its rich nutritional content. Since microplastic (MP) contamination has been detected in many foods and threatens health, there is a need to investigate microplastic contamination in commercially sold *Spirulina platensis* products and this research has not been done before. In this study, 29 *Spirulina* samples were obtained from different brands and origins in different packages and analyzed for MP using microscopic and μ -Raman techniques. C-phycocyanin levels were analyzed to confirm *Spirulina* content and for comparison with MP content. In total, 251 MP-like particles were observed, 26 of the 29 packaged *Spirulina* samples were identified by visual inspection as potentially containing MP, and 35 of these particles were confirmed to be indeed MP. 73% of the particles analyzed were actual MPs. The average MP content was estimated at 13.77 ± 2.45 MP/100 g dry weight (k.a.). When the amount of MPs in *Spirulina* products in powder, capsule/tablet form were compared, no statistically significant difference was found between the products. Of the MPs examined, 38.3% were particles and 61.7% were fibers, with particle sizes ranging from 0.07 to 2.15 mm and fiber sizes ranging from 0.19 to 5.691 mm. The color distribution of MPs in *spirulina* samples was mainly navy blue (33.20%), black (25.51%) and blue (19.43%). Other colors were white (10.93%), red (2.83%), purple (2.43%), gray (2.0%), brown (1.21%), green (1.62%), yellow (0.4%) and transparent (0.4%). μ -Raman analysis identified 10 different synthetic polymers and celluloses, the most common being polypropylene (31.6%) and polystyrene (8.3%). No significant correlation was found between the amounts of C-phycocyanin and MP. The presence of MP is thought to be due to product packaging and processing stages. It is of great importance to identify potential sources of MP in *spirulina* products and to evaluate the possible effects on human health.

Keywords: Plastic pollution, *Spirulina platensis*, Food pollution, Food packaging, Food safety.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın bu aşamasına ulaşmamda, değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Leyla USLU'nun kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri büyük bir kaynak oldu. Kendisinin ilgisi ve önerileri, bu tezin şekillenmesinde önemli bir rol oynadı. Bu vesileyle Sayın Prof. Dr. Leyla USLU'ya içtenlikle teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamın deneysel kısmında bana yol gösterici desteğiyle yardımcı olan ikinci danışmanım Sayın Doç. Dr. Sedat GÜNDÖĞDU'ya da minnettarlığımı ifade etmek istiyorum. Onun bilgi ve deneyimleri, çalışmamın kalitesini artırmamda etkili oldu.

Ayrıca, yüksek lisans tez savunma sınavımdan sonra düzeltmeler ve eklemeler yaparak değerli katkılarda bulunan, Prof. Dr. Oya IŞIK, Prof. Dr. Ülkü Nihan YAZGAN TAVŞANOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Muhittin Onur AKÇA'ya da içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğiyle daima yanımda olan sevgili eşim Nurtaç TUTAROĞLU'na da şükranlarımı sunuyorum. Onun desteği ve anlayışı, bu zorlu süreçte beni motive etti ve ilerlememi sağladı.

Son olarak, bana gönderdiği raporlar için Robert Henrikson'a teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dünya’da Deniz Yosunu ve Mikroalg Yetiştiriciliği, 2019 (FAO), 2021)	3
Çizelge 1.2. Spirulina Besin İçeriği Tablosu (100 gram) (USDA, 2023)	12
Çizelge 4.1. Marka ve Ürün Türüne Göre 100 g Spirulina Örneği Başına Ortalama, Düzeltilmiş Ortalama MP Yoğunlukları ve C-fikosiyenin Seviyeleri.....	33
Çizelge 4.2. μ -Raman Analizi Sonucu Tespit Edilen Parçacıkların Kimyasal Bileşimi.....	40
Çizelge 4.3. Spirulina Örneklerinin C-fikosiyenin Seviyeleri (PC μ g/ml ve PC %)	41



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Doğal Ortamlarda ve Kapalı Sistemlerde Yetiştirilerek Toz, Kapsül/Tablet Formunda Besin Takviyesi Olarak Satılan Spirulina'lar.	2
Şekil 1.2. Dünya Çapındaki Başlıca Mikroalg Türlerinin Yıllık Ticari Üretimi	6
Şekil 1.3. <i>Spirulina/Arthrospira</i> Yetiştiriciliği: 2019'da En Fazla Üretim Yapan Ülkeler	6
Şekil 1.4. Açık Havuz Sistemleri	7
Şekil 1.5. Fotobiyoreaktörlerin Genel Görünüşü	8
Şekil 1.6. Hibrit Sistemlerin Genel Görünüşü.....	9
Şekil 1.7. Polietilen Torbaların Genel Görünüşü	10
Şekil 1.8. Spirulina Ürünlerinin Üretimi ve Ambalajlanması Sırasında Olası Mikroplastik Riskleri	15
Şekil 1.9. Spirulina Ürünlerinin Üretimi ve Ambalajlanması Sırasında Olası Mikroplastik Riskleri	15
Şekil 1.10. Birincil ve ikincil MP'lerin türleri, kaynakları ve oluşum şekilleri	16
Şekil 1.11. Mikroplastiklerin Su Sistemlerinden ve Karasal Sistemlerden İnsana Biyomagnifikasyon Yoluyla Geçişi.....	16
Şekil 3.1. <i>Spirulina platensis</i> 'in Mikroskop Altındaki Görüntüsü.....	25
Şekil 3.2. Spirulina Örneklerinden MP Ekstraksiyonu Aşamaları.....	27
Şekil 3.3. C-fikosiyanin Analiz Aşamasından Bir Görüntü	29
Şekil 4.1. 8x Büyütmeye Çekilmiş Mikroplastik Örnekleri: Mikroskop Altında İncelenen İplik ve Parçacık Türleri.....	35
Şekil 4.2. Markalara Göre Fibril (İplik) ve Fragment (Parçacık) Tipinde Bulunan MP'lerin Karşılaştırması	35
Şekil 4.3. Fibril (İplik) ve Fragment (Parçacık) Tipindeki MP'lerin Renklerle Olan İlişkisi	36
Şekil 4.4. MP'lerin Uzunluk/Frekans İlişkisine Göre Sayıları.....	37
Şekil 4.5. Paketlenmiş Spirulina ürünlerinden elde edilen a) polietilen, b) polipropilen, c) polyester ve d) polistiren polimerlerine göre farklı mikroplastik türlerinin fotoğrafları ve μ -Raman spektrumu	39
Şekil 4.6. μ -Raman Analizi Yöntemiyle Tespit Edilen Polimerlerin Türlerine Göre Yüzde Dağılımı Fibril (İplik), Fragment (Parçacık), Toplam.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril-Bütadien-Stiren Kopolimer
Ark.	: Arkadaşları
ASFIS	: (Aquatic Sciences and Fisheries Information System) Su Ürünleri ve Balıkçılık Bilgi Sistemi
BPS	: Bisfenol S
DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
ECHA	: (European Chemicals Agency) Avrupa Kimyasallar Ajansı
EFSA	: (European Food Safety Authority): Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
EVA	: Etilen-Vinil Asetat
FAO	: (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu
FBR	: Fotobiyoreaktör
FDA	: (Food and Drug Administration) : Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
Fibril	: İplik
Fm	: Maksimum floresans
Fragment:	Parçacık
Fv	: Değişken floresans
g	: Gram
k.a.	: Kuru ağırlık
kg	: Kilogram
L	: Litre
ml	: Mililitre
MP	: Mikroplastik
NASA	: (National Aeronautics and Space Administration): Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
OECD	: (Organisation for Economic Co-operation and Development) Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
PA	: Poliakrilik
PA6	: Polikaprolaktam (Naylon 6)
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
PC	: Polikarbonat
PCB	: Poliklorlu Bifeniller
PE	: Polietilen
PES	: Polyester
PET	: Polietilen Teraftalat
PMMA	: Polimetil Metakrilat

PO	: Poliolefin
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PSII	: Fotosistem 2
PU	: Poliüretan
PVDC	: Poliviniliden klorür
SAN	: Stiren akrilonitril
TBBPA	: Tetrabromobisfenol A
UNESCO	: (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization): Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültürel Organizasyonu
USDA	: (U.S. Department of Agriculture): Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
XPS	: Ekstrüde Polistiren Köpük
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

1. GİRİŞ

Algler, fotosentezle güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren, basit üreme yapısına sahip canlılardır. Biyokütlesi çeşitli bileşikler içerir ve yapısal olarak prokaryotik (mikroalg) ve ökaryotik (makroalg) olmak üzere ikiye ayrılır (Vonshak, 1997). Mikroalgler mavi-yeşil algler (Cyanophyta) olarak bilinirken, makroalgler kahverengi algler (Phaeophyta), kırmızı algler (Rhodophyta), yeşil algler (Chlorophyta), altın sarısı algler ve diatomeler (Chrysophyta), kamçılı algler (Flagellata) gibi sınıflara ayrılır (Vonshak, 1997).

Spirulina, yaklaşık 3,6 milyar yıl önce ortaya çıkan ve dünyanın yaşayan en eski organizması olarak kabul edilen, ilk fotosentetik yaşam formudur. Oksijen atmosferimizi oluşturan bu mikroalg, yaşamın gelişimi için önemli bir rol oynamıştır (Soni ve ark., 2017). Mavi-yeşil algler olarak bilinen *Spirulina*, yeşil bitkiler ve bakteriler arasında evrimsel bir köprü oluşturur (María Laura Werning ve ark., 2012). Günümüzde, protein içeriği açısından zengin olan *Spirulina*, yaygın olarak yetiştirilen bir alg türüdür (De Morais ve ark., 2022).

Spirulina ve diğer mavi-yeşil algler, siyanobakteri ailesinden gelir ve hem tatlı hem de tuzlu suda yetişebilir (Ramanan ve ark., 2016). *Spirulina* yetiştiriciliği, artan bir alternatif gıda kaynağı olarak önem kazanmıştır. *Spirulina* yetiştiriciliği genellikle açık sistemlerde veya kapalı sistemlerde gerçekleştirilir. Açık sistemlerde genellikle doğal su kaynakları veya özel havuzlar kullanılırken, kapalı sistemlerde kontrol edilebilir ortamlar oluşturularak üretim gerçekleştirilir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Üretimi yapılan *Spirulina*'lar toz, tablet veya kapsül formunda bir besin takviyesi olarak satılmaktadır (Şekil 1.1.). İlk olarak 1519'da İspanyol bilim insanı Hernando Cortez tarafından tanımlanan *Spirulina*, Aztekler tarafından tüketildiği gözlemlenmiş ve bilim dünyasına tanıtılmıştır (Ugwu ve ark., 2008). Flamingoların mavi-yeşil algleri tüketerek hayatta kaldıklarını gözlemleyen Pierre Dangeard, *Spirulina*'nın sağlığa faydalarını keşfetmiş, botanikçi Jean Leonard ise bu bulguları desteklemiştir. Böylece *Spirulina*'nın ticarileştirilmesi ve dünya çapında üretiminin artması sağlanmıştır.

2019 yılında *Spirulina*'nın dünya çapındaki üretimi 56,208 ton olarak rapor edilmiştir (Çizelge 1.1). Üretim oranlarındaki artış, işleme ve yetiştirme tesislerinin sayısında da artışa neden olmuştur. İlk *Spirulina* işleme tesisi, 1969'da Fransa'da Sosa Texcoco adıyla kurulmuştur (Soni ve ark., 2017). *Spirulina*, antioksidanlar, bitkisel besinler, probiyotikler ve nutrasötikler gibi etkileyici besin bileşimi ile çeşitli talepleri karşılamak amacıyla hızla popülerleşmiştir. Birleşmiş Milletler Dünya Gıda Konferansı tarafından gelecek için en iyi gıda olarak belirlenmiş, Dünya Sağlık Örgütü tarafından insanlık için en iyi sağlık ürünü olarak tanımlanmıştır (Pulz ve Gross, 2004; Soni ve ark., 2017). NASA ve Avrupa Uzay Ajansı, *Spirulina*'yı uzun süreli uzay görevlerinde yetiştirilebilecek başlıca besinlerden biri olarak kabul etmiştir (Maddiboyina ve ark., 2023). FDA ise *Spirulina*'yı en iyi protein kaynaklarından biri olarak kabul etmiştir (Benelhadj ve ark., 2023).

Spirulina üretiminde kullanılan başlıca iki tür *Spirulina maxima* ve *Spirulina platensis*'tir. Her iki tür de yüksek mikro ve makro besin içeriğine sahiptir (Alessandro ve Van Lersel, 2010). Kuru ağırlığının kimyasal bileşimi %60-70 protein, karbonhidratlar, vitaminler ve mineralleri içerir. *Spirulina*, kozmetik, ilaç ve atık su arıtımında da kullanılmaktadır. Hücre duvarı, insan vücudu tarafından kolayca emilebilen polisakkaritlerden oluşur (Alessandro ve Van Lersel, 2010). Spirulina, planktonik fotosentetik bir siyanobakteri olarak alkali pH 9,5 ve yüksek miktarda tuz içeren tropikal ve subtropikal su kütlelerinde büyür (Habib, 2008; Alessandro ve Van Lersel, 2010). Antik çağlardan beri Spirulina'nın yetiştirilmesi ve büyüme hızının izlenmesi için Zarrouk'un büyüme ortamı, Rao'nun büyüme ortamı, CFTIR büyüme ortamı, OFERR büyüme ortamı gibi farklı büyüme ortamları kullanılmıştır (Zarrouk, 1966; Raoof ve ark., 2006). Spirulina'nın yüksek büyüme oranları, etkili CO₂ fiksasyon verimliliği ve insanlar için besin takviyesi gibi yüksek değerli ürünler sağlaması, bu mikroalgi günümüzde de araştırmaların ve endüstrinin odak noktası haline getirmiştir (Anupama ve Ravindra, 2000; Zeng ve ark., 2011).



Şekil 1.1. Doğal Ortamlarda ve Kapalı Sistemlerde Yetiştirilerek Toz, Kapsül/Tablet Formunda Besin Takviyesi Olarak Satılan Spirulina'lar. (Anonymous 1, 2023)

Çizelge 1.1. Dünya’da Deniz Yosunu ve Mikroalg Yetiştiriciliği, 2019 (FAO), 2021)

Tür grubu	Dünya Deniz Yosunu ve Mikroalg Yetiştiriciliği, 2019				
	Grupta Yer Alan ve Dünyada Yetiştirilen ASFIS Türlerinin Sayısı	Dünyada Bu Tür grubunu Yetiştiren Ülke Sayısı	Tür Grubunun Dünyadaki Yetiştiriciliği (Ton)	Dünyadaki Tüm Alg türlerinin Yetiştiricilikteki Payı (%)	Yetiştiriciliğin Dünyadaki Tür Grubu’na göre (%) Toplam Üretime Katkısı
Algler	34	47	34.735,590	100,00	96,98
Mikroalgler	7	10	56.456	0,16	100,00
<i>Spirulina/Arthrospira</i>	3	10	56.208	0.16	100,00
Yeşil Mikroalgler	4	4	248	0,00	100,00
Deniz Yosunları	27	42	34.679,134	99,84	96,97
Kahverengi Deniz Yosunları	10	14	16.393,764	47,20	96,04
<i>Laminaria/Saccarina</i>	2	7	12.273,748	35,33	98,89
<i>Undaria</i>	2	4	2.563,582	7,38	99,89
<i>Sargassum</i>	2	2	303.973	0,88	100,00
Çeşitli Kahverengi Deniz Yosunları	3	8	1.252,459	3,61	85,02
Kırmızı Deniz Yosunları	9	32	18.251,474	52,54	98,97
Karragenan Deniz Yosunları	3	23	11.622,213	33,46	99,46
Agar Deniz Yosunları	3	11	3.639,833	10,48	98,50
<i>Porphyra/Pyropia</i>	2	5	2.984,123	8,59	99,98
Çeşitli Kırmızı Deniz Yosunları	1	2	5.305	0,02	6,96
Yeşil Deniz Yosunları (Mikroalgler Hariç)	6	6	16.696	0,05	50,71
<i>Ulva</i>	1	1	2.155	0,01	91,46
<i>Caulerpa</i>	1	1	1.090	0,00	100,00
Çeşitli Yeşil Deniz Yosunları	4	4	13.451	0,04	45,63
Deniz Yosunları ve Diğer Kategoriler	2	5	17.200	0,05	7,86

1.1.Spirulina Üretimi

Spirulina, mikroalg türleri arasında özel bir konuma sahip olup, dünya genelinde en fazla üretilen mikroalglerden biridir (Şekil 1.2). FAO'nun 2019 yılı raporuna göre, Spirulina'nın yıllık üretimi 56,208 ton olarak kaydedilmiştir (FAO, 2021). Ticari olarak üretilen mikroalg türleri içinde %53'lük bir paya sahip olan Spirulina'nın büyük bir kısmı Çin tarafından üretilmekte, dünya üretiminin yaklaşık %97,32'sini oluşturmaktadır. Şili %1,53 ile ikinci, Fransa %0,36 ile üçüncü sıradadır. Yunanistan ve Tunus %0,25'lik paylarıyla dördüncü, Burkina Faso ise aynı oranla beşinci sıradadır (Şekil 1.3). Bu ülkelerdeki Spirulina üretimi, yerel ve küresel ekonomi ile sağlık açısından büyük önem taşımaktadır (FAO, 2021).

Avrupa'da Spirulina üretimi, 15 ülkede 222 üretici tarafından gerçekleştirilmekte, Fransa yaklaşık 150 üretici ile bu alanda öne çıkmaktadır (Henrikson, 2023). 2021'de Spirulina pazarının büyüklüğü 0,48 Milyar ABD Doları iken, 2022'de 0,56 Milyar ABD Dolarına yükselmiş, 2030'da ise 1,14 Milyar ABD Dolarına ulaşması beklenmektedir. 2022-2030 dönemi için yıllık büyüme oranı (CAGR) %9,28 olarak tahmin edilmektedir (Gupta, 2023).

Spirulina'nın verimli bir şekilde yetiştirilmesi, modern teknolojilerin üretim, işleme ve paketlenme süreçlerinde titizlikle kullanılmasını gerektirir. Özellikle üretim aşamasında, Spirulina yetiştirme havuzlarına verilen suyun kalitesi büyük önem taşır. Bu suyun, kontaminasyon risklerine maruz kalmaması için özenle filtrelenerek havuza boşaltılması gerekmektedir. Ağır metaller, patojenler, pestisitler gibi zararlı maddelerin suya karışması, Spirulina'nın sağlıklı büyümesini engelleyebilir ve son ürünün kalitesini olumsuz etkileyebilir.

Bununla birlikte, spirulina yetiştiriciliği sırasında kullanılan ek besin maddelerinin de kontaminasyon riski göz ardı edilmemelidir. Havuz suyunun temizliği kadar, kullanılan besin maddelerinin kalitesi de ürünün güvenilirliğini belirleyen önemli bir faktördür.

Ayrıca, MP kirliliği gibi çevresel faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Hava yoluyla suya karışan MP'ler, Spirulina yetiştirme havuzlarının suyunu kontamine edebilir ve son ürünün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, MP kirliliğiyle mücadele etmek için önleyici önlemler alınmalı ve çevresel etkiler minimize edilmelidir.

Gıda ambalajlama sürecinde de dikkatli olunmalıdır. Ambalaj malzemelerinden kaynaklanabilecek MP kirliliği riski, son tüketiciye ulaşan ürünlerin kalitesini etkileyebilir. Ambalajlama sürecinde, uygun malzemelerin seçilmesi ve sıkı kalite standartlarına uyulması önemlidir.

Sonuç olarak, Spirulina'nın güvenli ve kaliteli bir şekilde yetiştirilmesi için su ve besin maddelerinin kontaminasyon risklerinin azaltılması, çevresel etkilerin minimize edilmesi ve ambalajlama süreçlerinin titizlikle yürütülmesi gerekmektedir. Bu önlemler, tüketicilere sağlıklı ve güvenilir Spirulina ürünleri sunmak için temel bir gerekliliktir (Kerna et al., 2022).

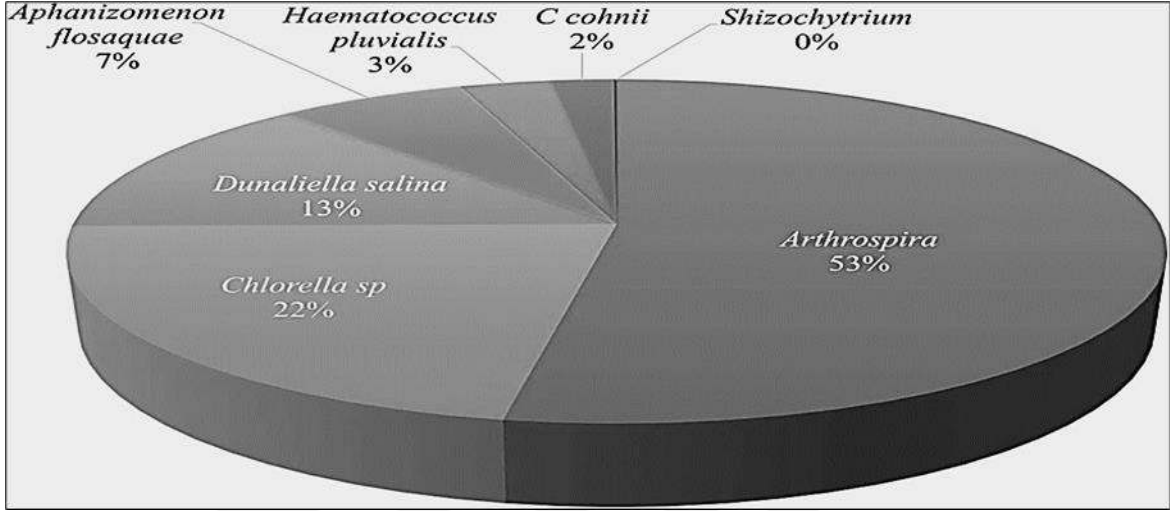
Spirulina yetiştirilmesi için iki ana yöntem kullanılmaktadır:

1. **Açık Havuzlar:** Doğal güneş ışığı ve havanın kullanıldığı bu yöntem, düşük maliyetli olup büyük alanlarda uygulanabilir. Ancak, MP, ağır metaller, patojenler, pestisitler gibi çevresel faktörlere karşı Spirulina'nın açık havuzlarda kontaminasyona uğrama riski bulunmaktadır (Kerna ve ark., 2022). Bu nedenle, açık havuzlardaki kontaminasyonu önlemek için sağlığa uygun önlemler ve izolasyon gereklidir (Guidi ve ark., 2021).
2. **Kapalı Fotobiyoreaktörler (FBR):** Spirulina'nın kapalı bir ortamda yetiştirilmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler, çevresel faktörleri daha iyi kontrol etme imkânı sunarlar. FBR'ler, ışık, sıcaklık, pH seviyeleri gibi büyüme koşullarını hassas bir şekilde kontrol edebilirken; MP'ler, ağır metaller, patojenler ve pestisitler gibi kontaminasyon risklerini azaltırlar (Gupta ve ark., 2015). Ancak, Fotobiyoreaktörlerin yapılarında şeffaf polivinil klorür (PVC), polikarbonat ve esnek plastik torbalar gibi çeşitli plastik türleri bulunur. Bu durum, spirulina ürünlerinin MP'lerle kontamine olmasına yol açabilir. Ayrıca, fotobiyoreaktör içerisine giren hava ve suyun filtre edilmemesi, MP kontaminasyon riskini artırabilir. Görüldüğü üzere, gıda güvenliği tedbirlerinin alınmaması, güvenilir olarak kabul edilen kapalı fotobiyoreaktör sistemlerini bile riskli hale getirebilir. Bu risklerin yanı sıra, fotobiyoreaktörlerin kurulum ve işletme maliyetleri de diğer yöntemlere göre daha yüksektir. Bununla birlikte, MP kontaminasyonunu önlemek için fotobiyoreaktörlerin tasarımında ve işletmesinde daha fazla önlem alınması gerekmektedir. Örneğin, fotobiyoreaktörlerin plastik yapılarına alternatif malzemelerin araştırılması ve filtreleme sistemlerinin geliştirilmesi gibi adımlar, bu riskleri azaltabilir ve Spirulina üretimini daha güvenli hale getirebilir.

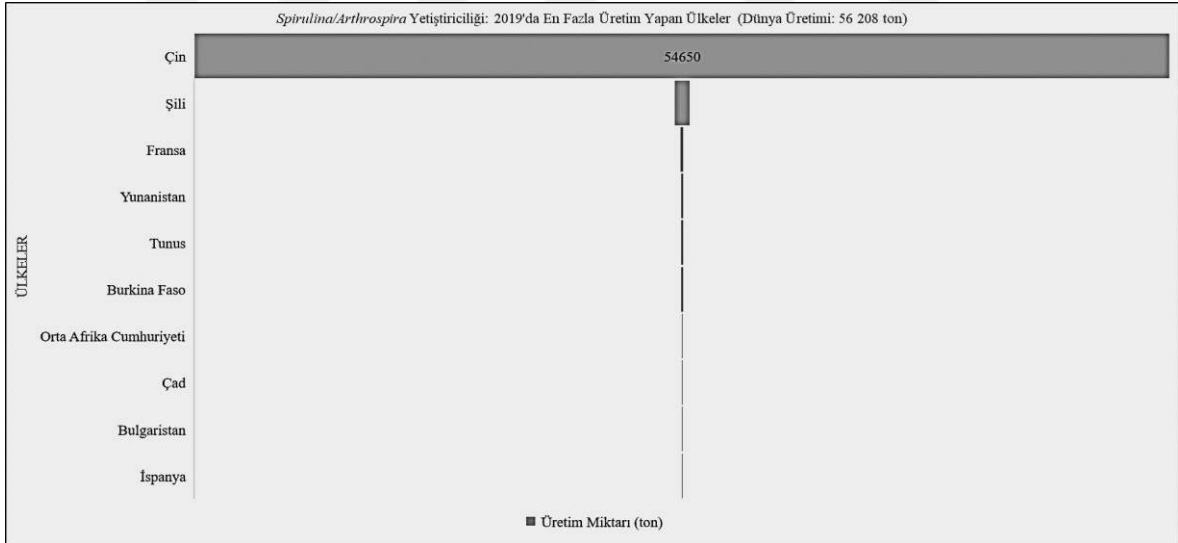
Spirulina üretiminde kontaminasyon riskini azaltmak için şu bilimsel yaklaşımlar ve önlemler kullanılabilir:

- a. Yetiştirme ortamının sterilizasyonu ve sağlıklı koşulların sıkı bir şekilde takip edilmesi,
- b. Kontrollü su kaynakları kullanımı ve suyun düzenli olarak kontaminasyon açısından analiz edilmesi,
- c. Spirulina yetiştirme alanlarının kontaminasyon kaynaklarından izole edilmesi ve erişiminin sınırlandırılması,
- d. Mikrobiyal analizlerin ve biyokimyasal izlemenin kullanılması ile kontaminantların erken teşhisi ve önlenmesi,
- e. Sistemlerin otomasyonu ve sürekli izleme ile büyüme koşullarının en uygun seviyede tutulması ve kontaminantların saptanması,

Sonuç olarak, Spirulina üretimi için açık havuzlar ve kapalı FBR'ler gibi iki ana yöntem mevcuttur. Her iki yöntemin de kontaminasyon risklerini azaltmak için uygun güvenlik önlemleri ve bilimsel yaklaşımlar gerektirmesi önemlidir (Kerna ve ark., 2022). Spirulina'nın yüksek kalitede üretilmesi ve kontaminasyondan arındırılması, güvenli bir şekilde üretimi için kritik önem taşır. Spirulina üretiminde yaygın olarak 4 farklı yöntem kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Dünya Çapındaki Başlıca Mikroalg Türlerinin Yıllık Ticari Üretimi (Saadaoui ve ark., 2021)



Şekil 1.3. *Spirulina/Arthrospira* Yetiştiriciliği: 2019'da En Fazla Üretim Yapan Ülkeler (Dünya Üretimi: 56 208 ton) (FAO, 2021)

1.1.1. Açık Havuz Sistemi

Alg yetiştiriciliğinin yapıldığı ortamlar; açık göletler, göller, lagünler, yapay göletler veya doğal sular olarak sınıflandırılabilir (Vega-Estrada ve ark., 2005; Siva Kiran ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2015; Vardaka ve ark., 2016). Sığ büyük havuzlar, dairesel havuzlar, tanklar ve kanal havuzları en yaygın kullanılan sistemlerdir (Şekil 1.4). Açık sistemlerin yapımı ve işletimi kolaydır, düşük

Üretim ve işletme maliyetleri avantaj sağlar (Ugwu ve ark., 2008). Ancak açık havuzlarda, hücrelerin zayıf ışık kullanımı, buharlaşma kayıpları, atmosfere karbondioksit difüzyonu ve geniş arazi ihtiyaı gibi dezavantajlar bulunur. Havalandırmanın yetersiz olması, kütle aktarım hızlarının düşük olması sonucunda biyokütle verimliliği azalır. Büyümenin yer, mevsim, sıcaklık, pH seviyesi, besin maddesi ve karbondioksit miktarına bağlı olması da dikkate alınmalıdır (Cuarema ve ark., 2011). Açık sistemlerin diğer bir dezavantajı ise, hayvanlar ve diğer hızlı büyüyen heterotroflar tarafından kolayca kirletilebilmesidir. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla araştırmacılar, kapalı sistemler üzerinde çalışmalar yapmışlardır (Sierra ve ark., 2008; Singh ve Sharma, 2012). Açık havuz sisteminde büyük miktarlarda alg yetiştirilmesi mümkündür, fakat kolay kontaminasyona açık olmaları nedeniyle bu sistemler zorluklar içermektedir.



şekil 1.4. Açık Havuz Sistemleri (Anonymous 2, 2023)

1.1.2. Fotobiyoreaktörler (FBR'ler)

Fotobiyoreaktör (FBR), kontrollü biyokütle üretimi için tasarlanmış, aydınlatılmış bir kültür kabı olarak tanımlanır. evre ile gaz ve kirletici alışverişi olmadığı bilinen bu sistem, çevreye kapalı bir yapıdadır. FBR'ler, kontrollü bir ortam sağlayarak yüksek alg verimliliği elde etmeye olanak tanır. Karbondioksit ve su temini, en uygun sıcaklık, verimli ışık yoğunluğu, uygun kültür yoğunluğu, pH seviyeleri, gaz değişimi ve havalandırma gibi kültür ortamlarının kontrolü, FBR'lerde sağlanır. Bu sistemler, kirliliği en aza indirgeyerek mono kültürlerin sağlıklı bir şekilde yetiştirilmesine imkn verir (şekil 1.5). Algal kültür sistemleri, yapay veya doğal ışıkla, hatta her

ikisiyle de aydınlatılabilir. Maliyetlerine rağmen FBR'ler, açık sistemlere kıyasla birçok önemli avantaj sunar (Tsoglin ve ark., 1996). Bu avantajlar şunlardır:

- a. pH, sıcaklık, ışık yoğunluğu, karbondioksit yoğunluğu gibi koşullar üzerinde daha iyi kontrol.
- b. Karbondioksit kaybının azaltılması,
- c. Suyun buharlaşmasının önlenmesi,
- d. Daha yüksek hücre yoğunluklarının sağlanması,
- e. Karmaşık biyofarmasötiklerin üretiminin artırılması,
- f. Çeşitli mikroalg türlerinin yetiştirilmesine olanak tanınması,
- g. Tasarımın, kültür yüzeyinin eşit şekilde aydınlatılmasını ve karbondioksit ile oksijenin hızlı aktarımını sağlaması,



Şekil 1.5. Fotobiyoreaktörlerin Genel Görünüşü (Anonymous 3, 2023)

Farklı özelliklere sahip FBR tasarımları mevcuttur (Ugwu ve ark., 2008).

Dikey Sütun FBR'ler

Dikey sütunlu FBR'ler kullanımı kolay, kompakt ve düşük maliyetlidir (Sánchez Mirón ve ark., 2002).

Düz Plaka FBR'ler

Düz plaka FBR'ler, güneş ışığından en üst düzeyde yararlanmak amacıyla yoğunlukla şeffaf malzemelerden (PVC) yapılmaktadır. Bu FBR'lerin yüksek fotosentetik verimlilik sağladığı bilinmektedir (Hoekema, 2002; Olguín ve ark., 2003). Geniş yüzey alanları sayesinde, diğer FBR tiplerine kıyasla güneş ışığından daha verimli bir şekilde faydalanırlar (Tredici, 2003)

Tübüler FBR

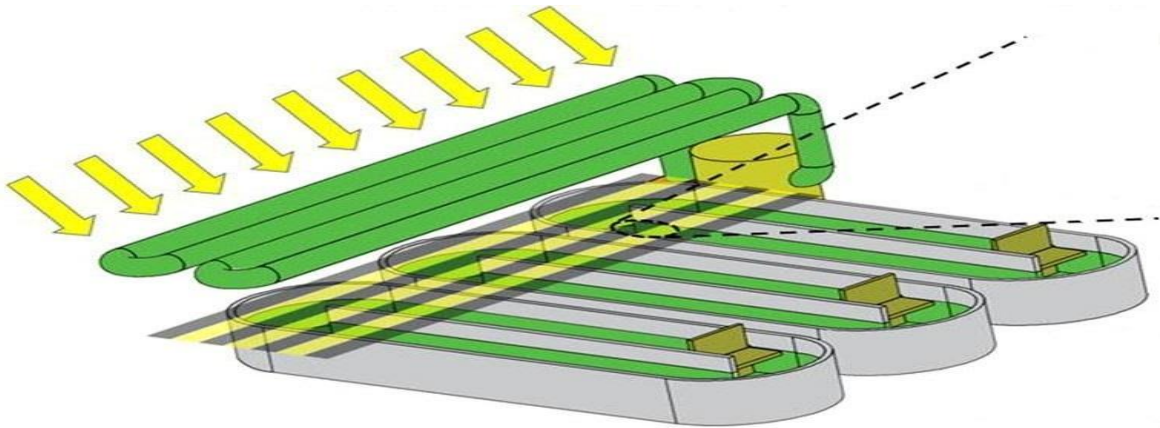
Düz plaka FBR'lerle kıyaslandığında yatay tübüler FBR'lerde çözünmüş oksijen yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Açık havada toplu ekim için en uygun biyoreaktör türü, tübüler FBR olarak belirtilmiştir (Kaewpintong ve ark., 2007). Genellikle cam ya da plastik tüpler kullanılarak yapılan dış mekân tübüler FBR'ler (Pirt ve ark., 1983; Torzillo ve ark., 1986; Chaumont, 1988; Lee ve Low, 1991; Watanabe ve Saiki, 1997; Tredici ve Zittelli, 1998; Molina ve ark., 2001; Ugwu ve ark., 2002), hava pompaları veya hava kaldırma sistemleri ile karıştırılarak havalandırılmaktadır. Tübüler FBR'lerin büyütülmesi kütle transferinde problem yaratmakta, ancak bu yöntemle yüksek çözünmüş oksijen seviyelerine kolaylıkla ulaşıldığı bildirilmiştir (Pirt ve ark., 1983; Richmond ve ark., 1993; Ugwu ve ark., 2003; 2005; Gallardo-Rodríguez ve ark., 2012)

Dâhili Aydınlatmalı FBR

Bu FBR'ler dâhili olarak floresan lambalarla aydınlatılabilir. Hava ve CO₂, çarklar tarafından sürekli çalkalanarak püskürtücüler aracılığıyla kültürler verilir. Dâhili Aydınlatmalı FBR'ler hem güneş hem de yapay ışık sistemini kullanabilecek şekilde değiştirilebilir (Ogbonna ve ark., 1999).

1.1.3. Hibrit Sistem

Hibrit tip FBR, en yaygın olarak, iki farklı reaktör tipinin avantajlarından yararlanmak ve diğerinin dezavantajını ortadan kaldırmak için kullanılır (Şekil 1.6). Entegre hava ikmal sistemi ve termostatik su birikintisine yatay olarak yerleştirilmiş dâhili tüp şeklinde bir halka kullanılmaktadır (Zittelli ve ark., 2013). Hibrit sistemlerde açık havuzlar lambalarla donatılır (Ramos de Ortega ve Roux, 1986).



Şekil 1.6. Hibrit Sistemlerin Genel Görünüşü (Xu ve ark., 2020)

1.1.4. Polietilen Torbalar

Alg yetiştirilmesi, doğal havuzlar kullanılarak kolaylıkla gerçekleştirilebilir; ancak bu algleri uygun bir hammaddeye dönüştürmek oldukça zordur. Daha yüksek üretim seviyelerine, en az yatırım ve işletme maliyetine, daha yoğun biyokütlelere, daha iyi iklim kontrollü koşullara ve endüstriyel

ölçeklenebilirliğe ulaşmak için bu teknik uygulanabilir. İnce, yüzer, esnek ve çok bölmeli FBR'ler, karada, tuzlu su havuzlarında veya herhangi bir su kütleğinde kullanılabilir. Bu torbaların su içindeki yoğunluğu düşüktür ve yoğunluk, hasadı kolaylaştırmak amacıyla dikey olarak ayarlanabilir. Yüzen torbalar içerisinde yetiştirilen alglerin, diğer yetiştirme yöntemlerine göre çok daha verimli olabileceği sonuçları ortaya çıkmıştır. Polietilen (PE) torbalar (Şekil 1.7), içinde yüzdükleri su yastığı sayesinde ışığa en uygun şekilde maruz kalır. Ancak PE torba kültürlerinin ömrü nispeten kısadır, çünkü iç yüzeyler kültür artıklarını ve bakterileri çeker. Bu durum, ışık emilimini azaltarak kirliliği artırır.



Şekil 1.7. Polietilen Torbaların Genel Görünüşü (Huang ve ark., 2017)

1.2. *Spirulina*'nın Besin Değeri ve Besin Bileşimi

Spirulina'nın yüksek protein içeriği; birçok vitamin, mineral, tuz, karbonhidrat, pigment, eser element ve esansiyel yağ asitleri içermesi, besin değerini artıran önemli faktörlerdendir. İnsan sağlığına olan faydaları pek çok bilimsel araştırma ile desteklenmiştir (Belay ve ark., 1993). Beyin sağlığı için önemli besinler ve bileşenler içeren *Spirulina*; zihinsel yorgunluğu azaltabilir, beyin damarlarını koruyabilir ve bazı sağlık sorunlarını önlemeye yardımcı olabilir (Sorrenti ve ark., 2021).

Spirulina'nın vücut yağını azaltabileceği, bel çevresini küçültebileceği, vücut kitle indeksini düşürebileceği ve iştahı kontrol altında tutabileceği, ayrıca kan lipidlerini düzeltebileceği bildirilmiştir (Dinicolantonio ve ark., 2020). Hem sistolik hem de diyastolik kan basıncını düşürebileceği gözlemlenmiştir (Machowiec ve ark., 2021). Karaciğer sağlığını koruyucu etkileri (Mazokopakis ve ark., 2014) ve kanser tedavisi gören hastalarda kemoterapinin neden olduğu bağışıklık sistemi baskısını azaltma, bağışıklık fonksiyonlarını iyileştirme yetenekleri bulunmaktadır (Ge ve ark., 2019). Ayrıca, kolesterol düşürme, bağırsak laktobasillerini artırma, ağır metaller ve

ilaçlara karşı böbrek koruyucu etkileri ile radyasyon koruması gibi çeşitli tedavi edici etkileri vardır (Belay ve ark., 1993).

Suptropikal iklimlerde okyanuslarda ve tuzlu göllerde doğal olarak yetişen ve ticari olarak kültür ortamlarında yetiştirilen Spirulina, sıkça gözden kaçan fakat olağanüstü besin değerleriyle dikkat çeken bir süper gıda olarak öne çıkar ve ideal bir tam gıdanın sahip olması gereken pek çok bileşeni barındırır (Liestianty ve ark., 2019). Özellikle zengin protein kaynağı olup, ağırlığının %60-70'i bitki proteininden oluşur ve tüm temel amino asitleri içerir, toplam protein ağırlığının %47'sini sağlar. Doğal olarak bulunan vitaminler arasında β -karoten, B₁, B₂, B₁₂ ve E vitamini bulunur (Çizelge 1.2). β -karoten içeriği bir havuçtan yaklaşık 10 kat daha yüksektir (Gaurav ve ark., 2010). B₁₂ vitamini açısından son derece zengin olan Spirulina, bu vitamini elde etmek için en iyi kaynaklardan biridir. Ayrıca, E vitamini için mükemmel bir kaynaktır (Yin, 2017).

Spirulina, demir, magnezyum, kalsiyum ve fosfor gibi metalleri ve mineralleri de içerir. Demir, esas olarak et ve balık gibi hayvansal gıdalarda bulunurken, Spirulina bu minerali bitkisel formda sağlar (Cuellar-Bermudez ve ark., 2015; Ravindran ve ark., 2016). Sporcular, vejetaryenler, hamile kadınlar ve gençler için oldukça faydalı bir gıda maddesidir.

Çizelge 1.2. Spirulina Besin İçeriği Tablosu (100 gram) (USDA, 2023)

İsim	Miktar	Birim
Su	4,68	g
Enerji	290	kcal
Protein	57,5	g
Toplam Lipit (Yağ)	7,72	g
İnorganik madde	6,23	g
Karbonhidrat	23,9	g
Lif	3,6	g
Şekerler, NLEA dâhil toplam	3,1	g
Kalsiyum, Ca	120	mg
Demir, Fe	28,5	mg
Magnezyum, Mg	195	mg
Fosfor, P	118	mg
Potasyum, K	1360	mg
Sodyum, Na	1050	mg
Çinko, Zn	2	mg
Bakır, Cu	6,1	mg
Manganez, Mn	1,9	mg
Selenyum, Se	7,2	µg
C vitamini	10,1	mg
Tiamin	2,38	mg
Riboflavin	3,67	mg
Niasin	12,8	mg
Pantotenik asit	3,48	mg
B-6 Vitamini	0,364	mg
Folat	94	µg
Kolin	66	mg
A Vitamini, RAE	29	µg
Karoten, Beta	342	µg
A Vitamini, IU	570	IU
E Vitamini (Alfa-Tokoferol)	5	mg
K Vitamini (Filokinon)	25,5	µg

1.2.1. Paketlenmiş Spirulina Ürünlerindeki Mikroplastik Kirliliği

Günümüzde beslenme ve sağlık arasındaki ilişki, hem araştırmacılar hem de tüketiciler tarafından merakla takip edilmektedir. Sağlıklı beslenme alışkanlıkları, insanların yaşam kalitesini artırma ve hastalıklardan korunma açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, yüksek besin değerleriyle dikkat çeken Spirulina, önemli bir besin kaynağı olarak kabul edilmektedir (Soni ve ark., 2017). Ancak, Spirulina'nın sağlık yararlarının yanı sıra potansiyel riskleri de göz ardı edilmemelidir (Kerna ve ark., 2022). Özellikle, kirleticilere maruz kalma riskini artıran rastgele tüketilen alg ürünleri, zararlı toksik maddeler içerebilir. Bu zararlı maddeler, genellikle alg yetiştiriciliği veya alg bazlı ürünlerin üretim süreci sırasında ortaya çıkarlar (Kerna ve ark., 2022).

Mikroalglerin bilinçli tüketilmesi ve uzman gözetiminde kullanılması önemlidir. Bu risklerden biri, çevresel faktörlerin etkisiyle 5 mm'den küçük parçacıklara dönüşen plastikler olan MP kirliliğidir (Bellasi ve ark., 2020). MP'ler denizlere ve doğal su kaynaklarına yayılabilir; Spirulina'nın yetiştirildiği tatlı su havuzları veya doğal su kaynakları bu kirlilik potansiyelini taşıyabilir (Kerna ve ark., 2022). Mikro boyutlu parçacıklar, içme suyu kaynaklarını doğrudan kirlenme eğilimindedir ve önemli bir MP alımı kaynağı olarak kabul edilmektedir (World Health Organization, 2019; Cox ve ark., 2019) bu tür parçacıkların su kaynakları üzerindeki etkileri giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Üretim sürecinde kullanılan plastik malzemeler ve gıda ambalajları da MP kirliliğine yol açabilir. Spirulina üretimi için kullanılan karışık besin maddeleri plastik içerikli ambalajlarda bulunabilir ve bu katkı maddelerinin üretimi ve paketlenmesi sırasında MP kontaminasyonu oluşabilir (Şekil 1.8 ve Şekil 1.9). Spirulina'ların işlenmesi sırasında kullanılan teknik donanım, katkı maddeleri, işleme yöntemi sırasında kullanılan yardımcı donanımlar, kullanılan ambalaj ve diğer dış kaynaklar MP kontaminasyonuna yol açabilmektedir. MP'ler, Spirulina ile doğrudan temas ederek emilebilir ve bu, Spirulina ürünlerinin MP parçacıkları içermesi anlamına gelebilir (Arvanitoyannis ve Bosnea, 2004). MP'lerin sindirim sistemi yoluyla insan vücuduna girmesi, tüketici sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini incelemeyi gerektirir.

Ayrıca, Spirulina'nın yetiştirildiği suların içerdiği ağır metaller de dikkate alınmalıdır (Al-Dhabi, 2013). Spirulina, su içerisindeki mineralleri emebilir ve bu mineraller ürünlere geçebilir (Cepoi ve ark., 2020). Spirulina ürünlerinin ağır metal içeriği açısından düzenli test edilmesi ve denetlenmesi önemlidir (Krishna ve Gopalakrishnan, 2016). Ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, böbrek hasarı, nörolojik sorunlar ve kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (Mudgal ve ark., 2010).

Patojenlerin Spirulina ürünlerine bulaşma riski de göz önünde bulundurulmalıdır. Tatlı su havuzlarında yetiştirilen Spirulina, çevresel etkiler nedeniyle bakteri ve virüslerin bulaşmasına maruz kalabilir (Thevarajah ve ark., 2022). Patojenlerin Spirulina ürünlerindeki varlığı, bu ürünlerin insan tüketimi için güvenliğine dair soru işaretleri yaratabilir (Thevarajah ve ark., 2022). Yapılan bir çalışmada, Spirulina takviyeleri ve Spirulina ile takviye edilmiş gıdaların mikrobiyotik ve siyanotoksin içeriği incelenmiş ve bazı ürünlerde yüksek seviyelerde siyanotoksinler tespit edilmiştir (Rhoades ve ark., 2023). Ürünlerde doğal olarak bulunan bakteri türleri, üretim sürecinde eklenen probiyotiklerle değiştirilebilir (Rhoades ve ark., 2023). Bu durum, Spirulina ürünlerinin güvenliği ve kalitesi konusunda tüketiciler ve üreticiler için önemli bir problem oluşturabilir.

Yürütülen bir çalışmada, siyanotoksin bileşenlerine rastlanmıştır, yetişkinler için belirgin bir risk oluşturmamakla beraber çocuklar ve bebekler için tehdit oluşturabileceği bu nedenlerle *Spirulina* üretimi ve ürünlerin siyanotoksin bulaşmasının kontrolünün yapılması gerektiği önerilmiştir (Papadimitriou ve ark., 2021). Son olarak, Spirulina'nın içeriğindeki bazı bileşenlerin aşırı tüketimi toksik etkilere yol açabilir (Papadimitriou ve ark., 2021). Özellikle beta-karoten ve A vitamini gibi bileşenlerin aşırı alımı; baş ağrısı, baş dönmesi ve mide rahatsızlığı gibi belirtilere neden olabilir

(Kerna ve ark., 2022). Bazı bireyler *Spirulina*'ya karşı alerjik reaksiyonlar geliştirebilir (Kerna ve ark., 2022). *Spirulina*'nın sağlık yararları ve potansiyel riskleri, titiz bir araştırma ve düzenleme gerektiren önemli bir konudur. Bu nedenle, *Spirulina* ürünlerini tüketen bireylerin sağlıklarını korumak amacıyla, bu risklerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

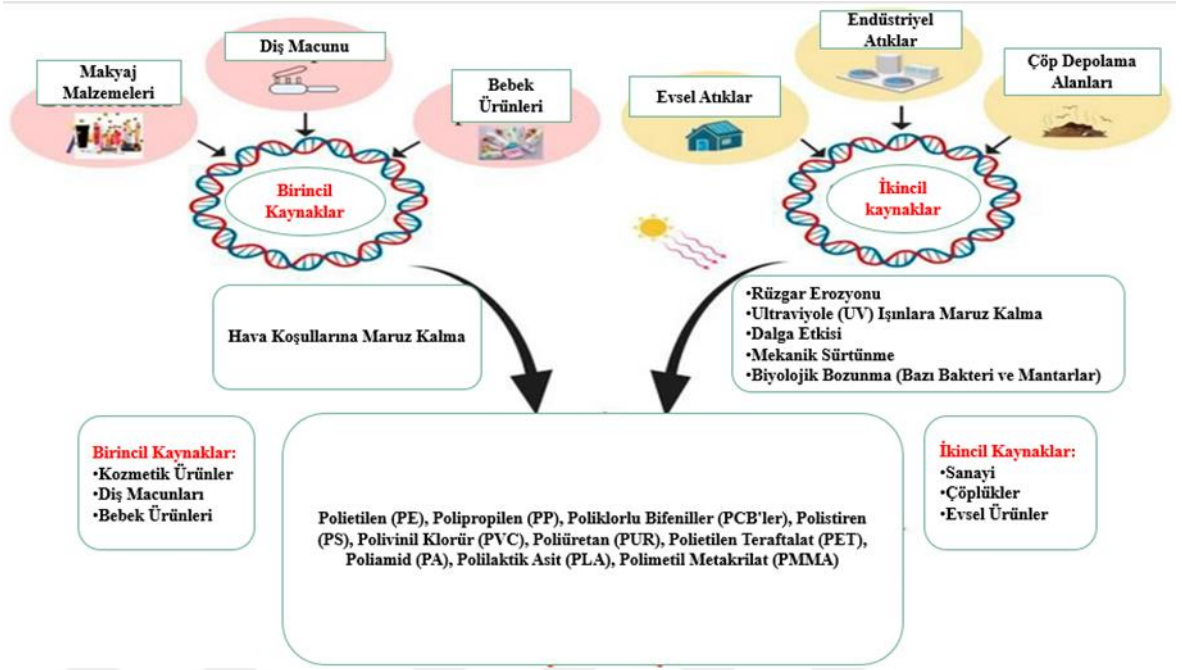
Plastik atık üretimi 2000 yılında 156.172,380 ton iken, 2019 yılında bu miktar 353.291,100 tona yükselmiştir (OECD, 2024). Bu dönemde plastik atık üretimi dünya genelinde yaklaşık 197 milyon ton artmıştır (OECD, 2024). OECD tarafından (Organisation for Economic Co-operation and Development) küresel olarak üretilen plastik atık miktarının 2060 yılına kadar neredeyse üç katına kadar çıkacağı belirtilmektedir (OECD, 2022). Bu artışın nedenleri arasında büyüyen nüfus, tüketim alışkanlıklarındaki değişiklikler ve plastik ürünlerin yaygın kullanımı bulunmaktadır. Veriler, plastik atık üretiminin hızla arttığını ve bu sorunun küresel bir boyut kazandığını göstermektedir. (Thompson ve ark., 2009; Lo ve ark., 2018). Plastik atık sorununun artmasıyla birlikte günümüzde MP'ler önemli bir endişe kaynağı haline gelmiştir. MP'ler birincil ve ikincil MP'ler olarak kategorize edilebilirler (Şekil 1.10). Birincil MP'ler; doğrudan mikrobuncuklar, tabletler, lifler ve kirlenme önleyici boya, kozmetik ve peletler gibi ürünlerle üretilen, çapı 5 mm'den küçük plastik parçacıkları içerir (Abbasi ve ark., 2018; Lo ve ark., 2018; Michels ve ark., 2018). İkincil MP'ler ise foto bozunma, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileşimler gibi süreçler nedeniyle daha büyük plastik parçacıkların parçalanmasından türetilmiştir (Abbasi ve ark., 2018; Nelms ve ark., 2018). Bu plastik parçacıklar, çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilirler.

MP'ler, çevre ve ekosistemlere olumsuz etkilerde bulunabilirler. Deniz yaşamını tehdit edebilir, su kaynaklarını kirletebilir ve gıda zincirine girebilirler. Bu nedenle; MP'lerin üretimini azaltmak, doğru şekilde yönetmek ve çevresel etkilerini kontrol altına almak için çeşitli önlemler almak gerekmektedir.

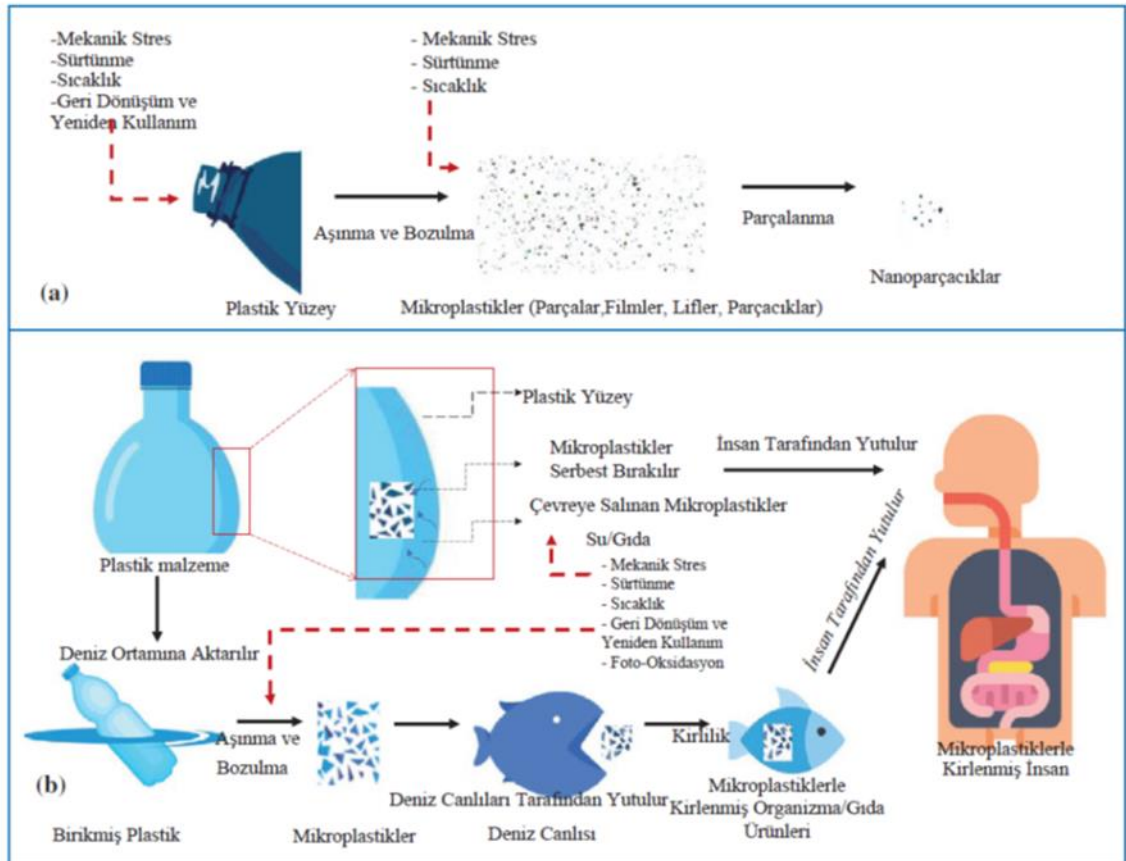
Son yıllarda, MP kirliliği çevresel bir endişe haline gelmiş ve bu zararlı etkenin gıdalara sızması, insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. MP'ler, denizel organizmalar tarafından tüketilir ve bu organizmalar aracılığıyla daha sonra gıda zincirine dâhil olurlar (Miller ve ark., 2020). Deniz ve suda yaşayan organizmaların vücutlarında MP birikimiyle ilişkilendirilen çeşitli hasarlar bildirilmiştir, bunlar arasında yetersiz beslenmeye neden olan durumlar, iltihaplanma, doğurganlıkta azalma ve ölüm bulunmaktadır (Lee ve ark., 2023). Plastikler genelde yapılarında stabilizatörler, plastikleştiriciler, alev geciktiriciler ve suya salınabilen pigmentler gibi bazı katkı maddelerini de içermektedir (Hahladakis ve ark., 2018). İnsan sağlığı açısından en büyük endişelerden biri de gıda zincirinde biriken MP'lerin içerisinde ortamdan emilen bazı toksik maddelerin taşınmasıdır (Campanale ve ark., 2020). Bu kimyasallar (katkı maddeleri) biyolojik dokulara sızarak, organizmalarda ve gıda zincirinde biyolojik birikim yapabilmektedirler (Şekil 1.11). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda; gıda maddelerinde havadan, topraktan kaynaklı MP kontaminasyonu ortaya konulmuştur (Dybas, 2020). Bunun yanında özellikle deniz ürünleri, ambalajlama ve işleme aşamalarından geçtikleri için bu süreçler de MP'lerin gıdalara bulaşması problemine neden

olmaktadır. Balıklar, midyeler, istiridyeler ve karidesler gibi denizel organizmalar, denizlerdeki MP kirliliği nedeniyle MP'lere maruz kalma riski taşırlar (Smith ve ark., 2018). MP'lerin gıdalara sızması, insan sağlığını olumsuz etkileyebilir. Plastiklerin kimyasal bileşenleri ve yüzeylerine yapışmış toksinler, tüketildiğinde insan vücudu tarafından emilebilir (Yuan ve ark., 2022). Bu durum, uzun vadede ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir.





Şekil 1.10. Birincil ve ikincil MP'lerin türleri, kaynakları ve oluşum şekilleri (Peter, 2015)



Şekil 1.11. Mikroplastiklerin Su Sistemlerinden ve Karasal Sistemlerden İnsana Biyomagnifikasyon Yoluyla Geçışı (Siddiqui ve ark., 2023)

Gıdalardaki MP kirliliğinin kaynakları arasında şunlar bulunur:

- a. **Plastik Ambalajlar ve İşlenmiş Gıdalar:** Genellikle gıda ürünleri, plastik ambalajlarda saklanmaktadır. Zamanla ayrışan bu ambalajlar, MP parçacıklarının ortaya çıkmasına neden olmakta ve bu parçacıklar gıdalara bulaşabilmektedir (Jadhav ve ark., 2021). Gıdaların işlenmesi sırasında da, plastik donanımlar ve ambalaj malzemeleri MP kirliliğine katkıda bulunabilmektedir. Örneğin, plastik borular, vanalar ve ambalaj makineleri gıda ile temas ederken aşınabilmekte ve bu durum plastik parçacıklarının gıdalara karışmasına yol açabilmektedir. Sobhani ve ark (2020) tarafından yapılan bir çalışma, plastik ambalajların açılması sırasında önemli miktarda MP oluştuğunu ve bu MP'lerin gıdalarla temas edebileceğini göstermiştir. Çin'den alınan al götür yemek kapları üzerinde (PS, PP, PE, PET) yapılan bir çalışmada, tüm kaplarda MP'ler tespit edilmiş ve miktarlarının 3 ila 29 MP/kap arasında değiştiği bildirilmiştir. En yüksek MP miktarı, pürüzlü yüzeyli PS kaplarda gözlemlenmiştir (Du ve ark., 2020). Ekstrüde polistiren (XPS) içeren gıda tabaklarında yapılan bir başka çalışmada ise, paketlenmiş et ürünlerinde kilogram başına 4.0 ile 18.7 arasında değişen MP parçacıkları (MP-XPS) bulunmuştur (Kedzierski ve ark., 2020). Yüksek yoğunluklu polietilenden (YYPE) yapılmış plastik şişe kapaklarının, 100 kez açılıp kapatıldıktan sonra MP kaynağı haline geldiği tespit edilmiştir (Winkler ve ark., 2019). Gıdaların işlenmesi sırasında meydana gelen MP maruziyetiyle ilgili yapılan çalışmalarda, konserve balıklarda da MP'lerin tespit edildiği bildirilmiştir (Gündoğdu ve Köşker, 2023). Süt örneklerinde ise, sülfon polimerlerinden oluşan MP lifleri bulunduğu belirlenmiştir (Kutralam-Muniasamy ve ark., 2020).
- b. **Plastik Atıkların Doğaya Bırakılması ve Su Sistemlerine Karışması:** Plastik atıkların çevreye, özellikle denizler, göller ve nehirler gibi su sistemlerine bırakılması, MP kirliliğine yol açar. Tüketicilerin plastik ürünleri kullanıp atmaları, bu ürünlerin yanlış şekilde atılması veya yetersiz geri dönüşümü, plastik atıkların çevreye yayılmasına ve denizlere ulaşmasına neden olur. Bu çevresel kirlilik sonucunda, denizel organizmalar plastik tüketebilir ve bu durum, MP'lerin sucul organizmalar aracılığıyla gıda zincirine girerek su ekosistemlerinden gıdalara geçmesine sebep olabilir (Stock ve ark., 2022).
- c. **Hava Yoluyla Taşınma:** Atmosfere çeşitli kaynaklardan salınan MP parçacıkları, havadan kaynaklanan MP kirliliğine yol açmaktadır. Bu parçacıklar havada süzülerek çevreye yayılır ve yiyeceklerin MP'lere maruz kalma riskini artırabilir (Sridharan ve ark., 2021). Atmosferdeki diğer maddelerle etkileşime giren MP parçacıkları, topraklara ve sulara karışarak gıdalara bulaşabilirler. Rüzgârlar ve hava taşımacılığı gibi faktörlerle farklı bölgelere taşınabilirler (Zhang ve ark., 2019). Ayrıca, Domenech ve Marcos (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, MP'lerin havadan toprağa geçebileceği ve bu yolla dolaylı olarak topraktan gıdaya ulaşabileceği belirtilmiştir. Bu süreç, gıdalarda MP kirliliğine neden olabilir.

- d. **Toprak Kirliliği:** MP'ler, toprakta plastik atıkların parçalanması sonucunda veya dış kaynaklardan kaynaklanan birikimlerle birikebilir. De Souza Machado ve ark (2019) çalışmasına göre, bu MP'ler bitkiler tarafından absorbe edilerek gıda zinciri içerisinde taşınabilir ve insanlar tarafından tüketilebilir. Zhang ve ark (2020) çalışmalarında, topraktaki MP'lerin kaynaklarının; kompost, kanalizasyon çamuru, sulama, plastik malçlama, yağmur, yüzey suları, çöp ve atmosferik birikimden kaynaklanan girdiler olduğu belirtilmiştir.

Sonuç olarak, gıda maddelerindeki MP kirliliği, insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileyebilen karmaşık bir sorun olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda, Avrupa Komisyonu tarafından 25 Eylül 2023'te, çevre ve insan sağlığını koruma amacıyla, ürünlere kasıtlı olarak MP eklenmesinin kısıtlanması için önemli adımlar atılmıştır (ECHA, 2023). Bu tarihten itibaren, MP'lerin kullanımına sıkı kurallar ve yönetmelikler uygulanacak ve çevre ve insan sağlığına zararlarının en aza indirilmesi için tedbirler alınacaktır. MP kirliliğini azaltmak için çeşitli yönetim stratejileri ve düzenlemeler geliştirilmektedir; bu stratejiler arasında plastik kullanımının azaltılması, geri dönüşümün teşvik edilmesi ve çevresel düzenlemeler yer almaktadır.

1.3. Bu Çalışmanın Amacı ve Önemi

Canlılar arasındaki besin zinciri sürecinde, zararlı maddelerin bir üst zincirdeki canlıya artan oranda aktarılması, biyolojik birikime yol açabilmektedir. Bu olgu, MP'lerin besin zinciri aracılığıyla üst basamaklara taşınması, yani biyomagnifikasyon olarak adlandırılır (Miller ve ark., 2020). Gündoğdu ve ark (2021) tarafından, balık yemi üretiminde kullanılan balık unlarında MP'lerin varlığına dikkat çekilmiştir. Bu durum; sadece üretim sürecinden kaynaklanan bir kirlilik sorunu değil, aynı zamanda işlenmiş veya hasat edilmiş su ürünlerinin ambalajlanmış halinde de MP kirliliği riskinin yüksek olduğunu göstermektedir. Sofra tuzları, deniz yosunları, konserve balıklar, karides, kabuklular ve diğer su ürünlerinin MP kirliliği içerebileceği, birçok araştırma tarafından belirtilmiştir. Spirulina yetiştiriciliğinin de benzer bir durum içerisinde olması muhtemeldir.

Bu çalışma, ticari olarak üretilen toz, kapsül/tablet formdaki ambalajlı Spirulina ürünlerindeki MP kirliliğini ortaya koymayı ve bu konuda farkındalığı artırmayı hedeflemektedir. Spirulina'nın besin değerleri ve sağlık potansiyeli göz önüne alındığında, bu kirlilik faktörünün kontrol altına alınması büyük bir önem taşımaktadır. Çalışma, insan sağlığının korunması ve sürdürülebilir bir gıda sisteminin oluşturulmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, gıda güvenliği konusundaki hataların ne tür sonuçlar doğurabileceğini anlamak, bu çalışmanın bir diğer kritik amacıdır. Spirulina gıda takviyelerindeki MP kirliliği, insanlar için bu değerli kaynağın tüketimini zorlaştırabilir ve gıda güvenliği konusunda önemli sorunlar doğurabilir. Dolayısıyla bu çalışma, Spirulina'daki MP kirliliği sorununa dikkat çekerek, hem çevreyi hem de insan sağlığını koruma çabalarını desteklemektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Türkiye’de Sucul Ortamlar, Sucul Canlılar, Abiyotik Su Ürünleri ve Mikroplastik İlişkisine Dair Çalışmalar

Gündoğdu (2018) tarafından yürütülen araştırmada, Türkiye’de satılan 16 farklı markanın sofrta tuzlarındaki MP’ler incelenmiştir. Deniz tuzunda 16-84 MP/kg, göl tuzunda 8-102 MP/kg ve kaya tuzunda 9-16 MP/kg oranında MP içeriği bulunmuştur. En yaygın plastik polimerlerin polietilen (PE) (%22,9) ve polipropilen (PP) (%19,2) olduğu belirlenmiştir. Türk tüketicilerinin yıllık MP tüketim miktarlarının, tuz tüketimine göre değiştiği ve deniz, göl veya kaya tuzu tüketiminde sırasıyla 249-302, 203-247 veya 64-78 parçacık MP tüketebilecekleri hesaplanmıştır.

Örek ve ark (2018) tarafından yapılan bir başka çalışmada, Mersin Körfezi’ndeki bazı zooplankton türlerinde MP’lerin ve Bisfenol A’nın etkileri araştırılmıştır. Toplam 5956 MP parçacığı tespit edilmiş; bunların çoğunluğu fiber şeklinde ve mavi (%31), siyah (%43) ve kırmızı (%10) renklerde olduğu belirlenmiştir. MP yoğunluğunun 444 ile 49.000 adet/m³ arasında değiştiği ve önceki çalışmalara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Gedik ve Eryaşar (2020) tarafından Marmara kıyı şeridinde yapılan bir çalışmada, Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) doğal popülasyonlarında 812 adet MP tespit edilmiştir. Bu MP’lerin çoğunluğu 1 mm’den küçük olan lif şeklinde olup, en yaygın türü PET (%66,38) olarak bulunmuştur.

Gündoğdu ve ark (2020) tarafından Marmara, Ege ve Akdeniz kıyılarından toplanan balık örneklerinde yapılan çalışmada; kefalde balık başına ortalama 2,5 MP, barbunda 1,1 MP, mırmır’da 0,6 MP ve istavrit ile tekirde ise 0,4 MP bulunmuştur. Bu MP’lerin boyutları 0,028 ila 4,909 mm arasında değişmiştir. En sık tespit edilen polimerler polipropilen (%26), PE (%21,9), polietilen tereftalat (PET)/polyester (PES) (%8,2) ve selüloz (%7,5) olarak rapor edilmiştir.

Aksakal ve ark (2021) tarafından Çeşme Ildır Kıyıları’ndan toplanan Işnılı inci istiridyelerinin (*Pinctada imbricata radiata*) mide örneklerinde 65 MP benzeri parçacık tespit edilmiştir. En yaygın görülen MP şekli fiber, polimer türü ise PE ve en yaygın renk mavi olarak belirlenmiştir.

Çullu ve ark (2021) tarafından Küçükçekmece Lagünü yüzey sularında yapılan çalışmada, ortalama MP miktarı 33 MP/L olarak tespit edilmiş ve baskın MP türü olarak parçacık tipi MP’ler (%37,95), baskın renk olarak ise mavi (%75,28) belirlenmiştir. Mevsimsel MP dağılımının sonbaharda en yüksek seviyeye (48,03 MP/L) ulaştığı gözlemlenmiştir.

Nane ve ark (2021) tarafından farklı Bisfenol-S yoğunluklarına maruz bırakılan Japon balıklarının (*Carassius auratus*) çeşitli dokularında yapılan incelemelerde, Bisfenol-S’nin dokularda hasara yol açtığı tespit edilmiştir.

Mutlu ve ark (2022) tarafından Karadeniz’in Türkiye kıyılarından yakalanan istavrit balıklarında (*Trachurus mediterraneus*) yapılan araştırmada, her bir balıkta ortalama $0,22 \pm 0,14$ MP

bulunduğu rapor edilmiştir. En yaygın plastik türü PE, en yaygın şekil ise 500 ila 1.000 µm uzunluğundaki lif formu olarak belirlenmiştir.

Sönmez ve ark (2023) tarafından İstanbul'un Marmara kıyılarının deniz yüzey suyunda yapılan çalışmada, litre başına 0 ila 1000 arasında değişen MP tespit edilmiştir. Bu MP'lerin çoğunluğu lif formunda olup, şeffaflık tüm istasyonlarda en yaygın renk olarak belirlenmiştir. Başlıca MP türleri PE ve etilen-vinil asetat (EVA) olarak rapor edilmiş ve toplam miktarın %50'sini oluşturduğu saptanmıştır.

2.2. Paketli ve İşlenmiş Su Ürünlerindeki Mikroplastikler

Karami ve ark (2018) tarafından yapılan araştırmada, 13 farklı ülkeden alınan 20 markaya ait konserve sardalye (*Sardina pilchardus*) ve papalina (*Sprattus sprattus*) örneklerinde MP ve mezoplastik parçacıkların varlığı incelenmiştir. 16 markada plastik parçacıklar bulunmamışken, diğer 4 markada 1 ile 3 MP parçacık tespit edilmiştir. En yaygın plastik polimerleri polipropilen (PP) ve polietilen tereftalat (PET) olarak belirlenmiştir.

Gündoğdu ve ark (2020) tarafından yapılan bir başka çalışmada, Türkiye'deki beş şehirde satılan midyelerdeki MP kirliliği araştırılmıştır. Midyelerdeki ortalama MP miktarı $0,6 \pm 0,1$ MP midye başına olarak tespit edilmiştir. İstanbul'daki midyeler en yüksek, Bodrum'dakiler ise en düşük MP miktarına sahiptir. Çoğunlukla fiber şeklinde olan MP'lerin en yaygın türleri polietilen PE ve PP olarak tespit edilmiştir.

Kedzierski ve ark (2020) paketlenmiş et ürünlerinde yapılan araştırmada, ürün başına 4,0 ile 18,7 MP arasında değişen miktarlarda MP bulunmuştur. Analizler, bu parçacıkların köpük tabaklarından kaynaklandığını göstermektedir.

Li ve ark (2020) tarafından yapılan çalışmada, yenilebilir deniz yosunu nori (*Pyropia spp.*) örneklerindeki MP maruziyeti incelenmiştir. 24 ticari nori markasında 0,9 ile 3,0 MP/g (kuru ağırlık) arasında değişen miktarlarda MP bulunmuştur. En yaygın plastik polimerler PP, PE ve (PE-PP) kopolimerleri olarak rapor edilmiştir.

Alak ve ark (2021) yerel bir üreticiden alınan gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarını incelemişlerdir. Filetoların farklı ambalajlama yöntemleri ve depolama sıcaklıkları altındaki MP varlığı ve kimyasal kalitesi incelenmiştir. En yüksek MP varlığı PS tabak + streç film grubunda, en düşüğü ise Kitosan film + PS tabak + streç film grubunda tespit edilmiştir.

Nalbone ve ark (2021) İtalya'daki çeşitli perakendecilerden taze veya işlenmiş üç farklı midye türünde MP varlığını araştırmışlardır. Taze midyelerdeki MP oranı ($0,20 \pm 0,24$ MP/g yaş ağırlık; $0,40 \pm 0,47$ parça/birey) işlenmiş midyelere ($0,9 \pm 0,10$ MP/g yaş ağırlık; $0,17 \pm 0,19$ MP/birey) göre daha yüksektir. MP'lerin çeşitli plastik polimerlerden oluştuğu ve en yoğun olanının PE olduğu tespit edilmiştir.

Ziino ve ark (2021), İtalya'nın Calabria ve Sicilya bölgelerindeki çeşitli marketlerden toplanan 40 buz balığı (*Neosalanx spp.*) örneği üzerinde MP varlığını araştırmıştır. Bulgular,

örneklerin %92,5'inde ortalama $0,42 \pm 0,28$ MP/g ağırlıkta bulunduğunu ortaya koymuştur. En sık tespit edilen MP'ler lif şeklinde olup, polimer türleri arasında PP, PE, PET ve PS rapor edilmiştir.

Diaz-Basantes ve ark (2022) tarafından yapılan çalışmada, konserve ton balığı örnekleriyle ilgili olarak MP varlığı incelenmiştir. 32 örneğin tümünde, özellikle PE ve PET gibi farklı polimer türlerinde MP'ler tespit edilmiştir.

Du ve ark (2022) tarafından yapılan çalışmada, Çin'deki beş farklı şehirden toplanan al götür yemek kaplarında (PS, PP, PE, PET) MP analizi yapılmıştır. Tüm dışarı yeme kaplarında MP'ler tespit edilmiş ve miktarları 3 ila 29 MP/kap arasında değiştiği rapor edilmiştir.

Ferrante ve ark (2022) tarafından yapılan çalışmada, Akdeniz'in güney kıyısındaki çeşitli yenilebilir deniz ürünlerinde (*Sardina pilchardus*, doğal ve yetiştirilmiş *Sparus aurata*, *Mullus surmuletus*, *Solea sp.* ve *Mytilus galloprovincialis*) MP'lerin varlığı incelenmiştir. İncelenen tüm örneklerde MP'ler tespit edilmiştir.

Gündoğdu ve Köşker (2023) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye pazarından alınan 33 farklı konserve balık markasına ait örnekler incelenerek MP kirliliği araştırılmıştır. Analizler sonucunda, tüm örneklerin en az bir MP parçacığı içerdiği ve parçacıkların en yaygın MP şekli olduğu gösterilmiştir. Poliiolefinler en yaygın polimer türü olarak belirlenmiştir.

Mohsen ve ark (2023) tarafından yapılan çalışmada, Çin'deki yerel pazarlardan toplanan 4 marka işlenmiş denizhiyarlarında (*Apostichopus japonicus*) MP miktarının ortalama olarak birey başına 1,44 MP olduğu tespit edilmiştir. MP'lerin boyutları 12-575 mikrometre arasında değiştiği ve lifli yapıların en yaygın şekil olduğu belirtilmiştir.

2.3. Spirulina ve Diğer Alglerin Mikroplastik Etkileşimiyle İlgili Çalışmalar

Khoironi ve ark (2019) tarafından yapılan çalışmada, tatlı su ortamındaki *Spirulina sp.* hücrelerinin MP'lerle (PET ve PP) etkileşimi değerlendirilmiştir. PET-MP uygulanan hücrelerin CO₂ emisyonu, PP-MP uygulananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, MP uygulanan *Spirulina sp.* hücrelerinin büyüme oranı, kontrol grubuna göre düşük olup, MP yoğunluğunun artmasıyla alg büyüme oranı %75 oranında azalmıştır.

Guschina ve ark (2020) tarafından yürütülen çalışmada, sucul ekosistemlerde bulunan *Chlorella sorokiniana* alg türü üzerindeki PS-MP'lerin etkileri incelenmiştir. Bu MP'lerin alglerin yağ asitleri ve lipit yapısını değiştirebileceği, bu değişikliklerin fotosentez gibi biyolojik süreçlere zarar verebileceği ve sucul gıda zincirindeki diğer organizmaları etkileyebileceği sonucuna varılmıştır.

Abed ve ark (2021) tarafından Al-Dalmaj Bataklığı su kütlesinde yapılan çalışmada, özellikle çalışmanın güney ve doğu bölgelerinde (S1, S2, S6, S7, S8) %2,6 oranında MP kirliliği tespit edilmiştir. Farklı MP türleri, özellikle şeffaf PE, en bol bulunan MP olarak kaydedilmiştir. *Spirulina platensis*'e eklenen MP'lerin, mikroalg büyümesi ve klorofil içeriğinde düşüşe yol açtığı gözlemlenmiştir.

Ansari ve ark (2021), MP'lerin (YYPE, PP ve PVC) farklı yoğunluklarının *Acutodesmus obliquus* mikroalg üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yüksek yoğunluktaki MP'lerin, mikroalg büyümesini, fotosentezini ve biyokimyasal bileşimini olumsuz etkilemiştir. En yüksek büyüme engelleme oranı %42,7 ile YYPE (250 mg L⁻¹) tespit edilmiştir. Protein içeriği de yüksek MP yoğunluğunda (100-250 mg L⁻¹) önemli ölçüde azalmıştır.

Hadiyanto ve ark (2021) tarafından yürütülen çalışmada, *Spirulina sp.* üzerinde PE ve PP MP'lerin etkisi incelenmiştir. Bu MP'lerin eklenmesi, *Spirulina sp.* büyümesini ve C-fikosiyanin pigment miktarını kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde azaltmıştır.

Klomjit ve ark (2021) tarafından Tayland su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilen *Gracilaria fisheri* ve *Caulerpa lentillifera* deniz yosunlarında yapılan çalışmada, MP yoğunlukları ve boyutları incelenmiştir. Yosunlarda 100 g yaş ağırlık başına 16,46±2,56 ile 181,73±86,42 arasında değişen MP yoğunlukları bulunmuş; bunlar arasında kırmızı, siyah ve mavi iplikli MP'ler tanımlanmıştır. *G. fisheri* üzerindeki toplam MP birikimi, *C. lentillifera*'ya kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Zhang ve ark (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, *Platymonas subcordiformis* ve *Dicrateria zhanjiangensis* mikroalgler üzerinde MP'lerin ve TBBPA'nın etkileri araştırılmıştır. Bu bileşenlerin alglerin hareket yeteneği, hızı, yüzme hareketliliği ve büyüme oranları üzerinde önemli ölçüde zarar verici etkileri tespit edilmiştir. Bu durum, fotosentez ve glikoliz reaksiyonlarında bozulmaya ve düşük hücre içi adenozin trifosfat (ATP) içeriğine yol açmıştır.

Abbasi ve ark (2023) tarafından yürütülen çalışmada, *Spirulina (Arthrospira platensis)* 20 günlük bir süre boyunca farklı yoğunluklardaki düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) MP'lerine maruz bırakılmıştır. Büyüme hızı ve fotosentetik aktivite, artan MP yoğunluğu ile birlikte azalmıştır.

Khawwaja ve ark (2023) tarafından yürütülen çalışmada, farklı yoğunluktaki PET MP'lerin *Scenedesmus sp.* üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yüksek yoğunluktaki MP'lerin bu mikroalg üzerinde daha fazla olumsuz etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. MP'lere maruz kalan mikroalglerin hücre dışı hidrojen peroksit ve polimerik madde üretiminde artış gözlemlenmiş, mikroalglerin MP yüzeylerine bağlandığı ve farklı maddelerin bir araya toplanmasına yol açtığı tespit edilmiştir.

Senousy ve ark (2023) tarafından yürütülen çalışmada, DYPE-MP'lerin *Chaetoceros calcitrans* üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu MP'lerin alg büyümesi, klorofil içeriği, Fotosistem II (PSII) ve Değişken floresans (Fv)/Maksimum floresans (Fm) üzerinde sırasıyla %85, %51,3, %21,49 ve %16,13 oranında engellemeye neden olduğu bulunmuştur. Toplam protein içeriği, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) aktiviteleri, 25 mg DYPE-MP'lerde kontrol örneklerine göre sırasıyla 1,37, 3,52, 2,75 ve 1,84 kat artmıştır. Bu durum, DYPE-MP'lerin *C. calcitrans*'ın büyümesini ve fotosentetik etkinliğini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Önceki çalışmaların genel bir değerlendirmesi yapıldığında, Türkiye'deki sucul ortamlar, su ürünleri ve diğer canlılar üzerinde MP kirliliğinin önemli ve yaygın bir sorun olarak görüldüğü tespit

edilmiştir. Araştırmaların sonuçlarına göre, MP'lerin çeşitli sucul ekosistemlere etki ettiği ve bu ekosistemlerdeki canlıların sağlığını tehdit ettiği belirtilmektedir.

Paketli ve işlenmiş su ürünlerinde yapılan araştırmalar da MP kirliliğinin gıda zincirine yayıldığını ve tüketicilere ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, *Spirulina* ve diğer alglerin MP etkileşimiyle ilgili çalışmalar, bu alg türlerinin de MP kirliliğinden etkilendiğini ve bu etkileşimin çeşitli biyolojik süreçleri olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

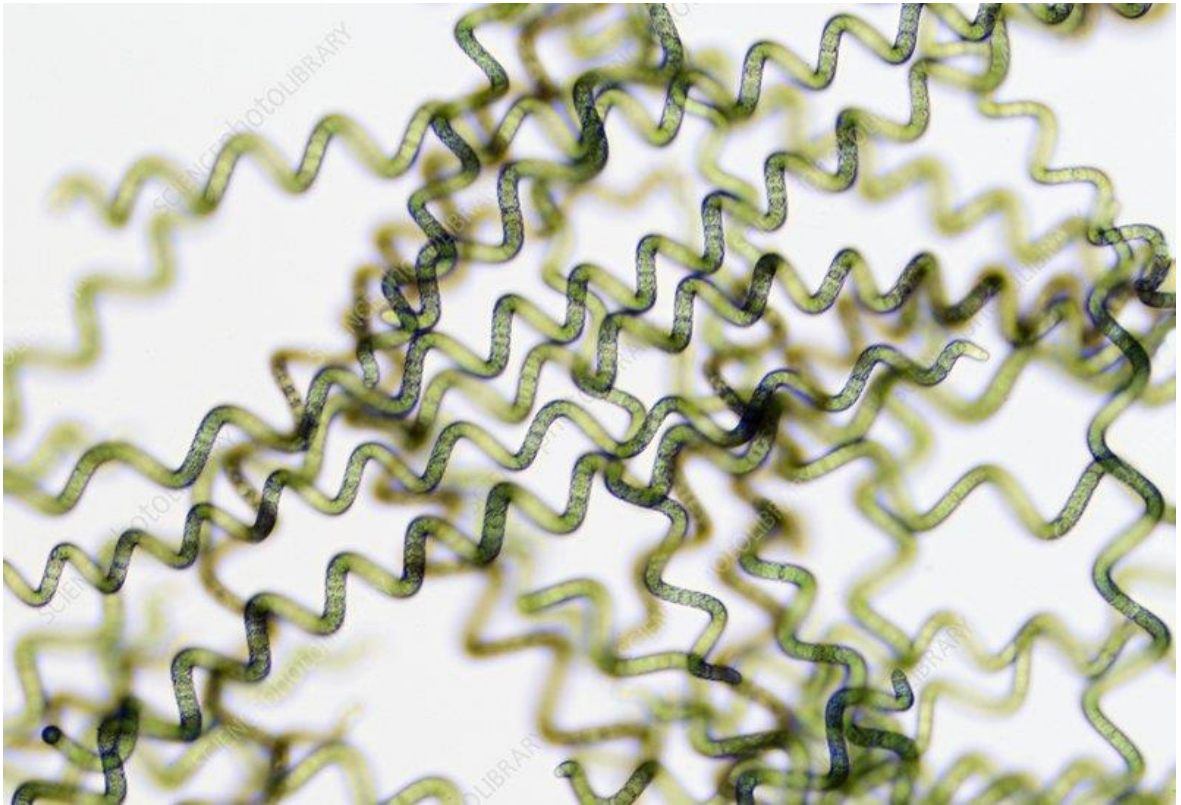
Bu bağlamda, ulusal ve uluslararası düzeyde ticari olarak satılan spirulina'da MP kirliliği ile ilgili yapılan literatür taraması sırasında bu konuyla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Geçmişte yapılan çalışmalar genellikle ağır metal kirliliği, pestisitler, patojenler ve MP'lerin *Spirulina* ve diğer mikroalg türlerine olan etkisiyle ilgili olup, ticari olarak satılan spirulina örneklerinde MP'lerin renk, yoğunluk ve türlerini tespit etmeye yönelik bir araştırma bulunmamaktadır. Bu yönüyle bu tez çalışması, spirulina ürünlerinde MP'lerin varlığına dair ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Spirulina kirliliği üzerine yapılan önceki araştırmalar, ticari olarak satılan spirulina'larda MP'lerin renk, yoğunluk ve türlerini tespit etme konularını ele almadığından, bu çalışma alana önemli bir katkı sağlayacaktır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. *Spirulina platensis*' in Genel Özellikleri

Spirulina, *Arthrospira* olarak da bilinir ve Cyanobacteria bölümüne, Cyanophyceae sınıfına, Oscillatoriaceae familyasına aittir. Bu mikroorganizma, 200–300 µm uzunluğunda ve 5-10 µm genişliğinde sarmal filamanlara sahiptir. Alkali pH'a yüksek tolerans gösterir, kolay büyür ve kırılabilen yumuşak hücre duvarlarına sahiptir (Baylan ve ark., 2012). Çok aşamalı ve filamentli yapısıyla dikkat çeker (Şekil 3.1). Suda, güneş ışığında, yüksek sıcaklıklarda ve alkali koşullarda kuvvetli bir şekilde büyüyebilir (Soni ve ark., 2017). Çapraz ikili fisyon ile çoğalan *Spirulina*, tek sıralı trikomlar oluşturarak yeni filamanlar üretir. Hücre zarı, selüloz içermeyen polisakkarit tabakası ile kaplanmış çok katmanlı bir hücre duvarına sahiptir, bu da organizmaların emilimini ve sindirimini kolaylaştırır (Gualtieri ve Barsanti, 2006). Araştırmacılar, hücre duvarı bariyerlerini kırmanın ve bileşenlerine kolay erişimin *Spirulina*'nın özelliklerinden biri olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek makro ve mikro besin, esansiyel amino asit, protein, lipit, vitamin, mineral ve antioksidan içeriğiyle dikkat çeker. Gelişmekte olan ülkelerde yetersiz beslenmeyle mücadelede tamamlayıcı bir gıda takviyesi olarak kabul edilir (Baylan ve ark., 2012). *Spirulina*, uzun gıda kullanım geçmişi ve son bilimsel bulgularla insan tüketimi için güvenli olduğu kanıtlanmıştır (Gualtieri ve Barsanti, 2006). Son yıllarda, *Spirulina* nutrasötik ve ilaç kaynağı olarak endüstri ve araştırma derneklerinin büyük ilgisini çekmektedir.



Şekil 3.1. *Spirulina platensis*'in Mikroskop Altındaki Görüntüsü (Anonymous 4, 2023)

3.2. Spirulina Örneklerinin Toplanması

Bu çalışmada, çeşitli materyallerden yapılmış (cam, lastik, kâğıt kaplı plastik vb.) ambalajlarda satılan ticari Spirulina örnekleri internet üzerinden satın alınmıştır. Yaygın markaların ve ambalajların tercih edilmesine özen gösterilmiştir. Toz, kapsül/tablet formundaki örnekler, çeşitli firmalar tarafından farklı ambalaj tiplerinde temin edilmiştir. Marka kodu, ambalaj tipi, gramaj, içerik tipi, paketleme yeri ve analiz için kullanılan miktar bilgileri, Çizelge Ek A'da verilmiştir.

3.3. Mikroplastik (MP) Ekstraksiyonu

Paketlenmiş Spirulina'dan MP parçacıklarının ekstraksiyonu, Gündoğdu ve Köşker (2023) tarafından önerilen yöntemle yapılmıştır. Öncelikle, her paketten 50 gram örnek alınmış ve temiz bir beher içine konulmuştur. Toplam ağırlığı 50 gramdan az olan markaların tüm örneği kullanılmıştır. Kirliliği önlemek adına beherler alüminyum folyo ile kaplanmıştır.

Organik materyalin parçalanması için, %30 KOH ve NaClO içeren bir çözelti hazırlanmıştır. Bu çözelti, 700 ml distile su, 150 ml doymuş KOH çözeltisi (1,120 g/L) ve 150 ml %14 aktif klor içeren NaClO karıştırılarak elde edilmiştir. Hazırlanan çözeltiden, her beher içine 250 ml eklenmiştir. Beherler, organik maddelerin tamamen parçalanması için bir hafta boyunca 60 °C'de tutulmuştur (Şekil 3. 2).

Organik maddeler çözüldükten sonra, çözelti bir ayırma hunisine aktarılmış ve her örneğe 500 ml NaI çözeltisi (5 M, 1,6 g/ml) eklenmiştir. Bir gün bekletilerek yoğunluk ayrımı sağlandıktan sonra çöken materyal uzaklaştırılmış ve süpernatant faz steril bir beher içine aktarılmıştır. Süpernatant, 0,45 µm gözenek boyutundaki bir filtre kâğıdı ile süzülmüştür. Filtre kâğıtları, içerdikleri parçacıklarla birlikte temiz petri kaplarına alınmış ve mikroskopik ile spektroskopik analizler için ayrılmıştır.

MP benzeri parçacıkların şekilleri ve renkleri, bir kamera bulunan stereo mikroskop ile tespit edilmiştir. Parçacıkların boyutları, ImageJ v1.52s yazılımı kullanılarak ölçülmüştür



Şekil 3.2. Spirulina Örneklerinden MP Ekstraksiyonu Aşamaları

3.4. μ -Raman Analizi

Mikroskobik inceleme sırasında toplam 251 MP benzeri parçacık sayılmıştır. Bunlardan rastgele seçilen 48 parçacık, μ -Raman analizine tabi tutulmuştur. Bu durum, toplam parçacıkların yaklaşık %19'unu oluşturmaktadır. MP benzeri parçacıklar, 532 nm ve 785 nm lazerlerle donatılmış bir konfokal Raman mikroskopi sistemi (inVia Qontor, Renishaw, Gloucestershire, Birleşik Krallık) kullanılarak incelenmiştir. Parçacıklar, 50x büyütme sağlayan bir Leica mikroskobu ile odaklanmıştır. Her biri 10 saniyelik iki birikimli olacak şekilde, 300-3,200 arasındaki spektrum genişliğinde Raman sinyalleri, 600 L/mm ile 1,200 L/mm arasında değişen bir ızgara ayarı kullanılarak alınmıştır. Elde edilen spektrumlar, ST-Japan MP Kütüphanesi ile karşılaştırılmış ve %70 veya daha yüksek bir eşleşme, polimer tipinin belirlenmesinde temel olarak kabul edilmiştir.

3.5. Kontaminasyondan Korunma Yöntemi

Kontaminasyon riskini en aza indirmek amacıyla, Gwinnett ve Miller (2021) tarafından önerilen yöntem benimsenmiştir. Bu yöntemde; sentetik olmayan polimer giysiler giyilmesi, kullanımdan önce tüm donanım ve yüzeylerin temizlenmesi, plastik donanım kullanmaktan

kaçınılması ve kontrollü hava ortamlarında çalışılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, bulaşma düzeylerini değerlendirmek üzere kontrol grubu kullanılmıştır. Potansiyel bulaşmayı önlemek için donanımlar, ultra safsu ile üç kez iyice yıkanmış ve aseton banyosuna tabi tutulmuştur. Çalışma süresince donanımlar kapalı bir dolapta muhafaza edilmiştir. Kullanılan çözeltiler, kullanımdan önce 1,2 µm gözenek boyutundaki GF/C Whatman filtre kâğıdı ile filtrelenmiştir. Analizler, kapalı bir laminar akış kabini içinde yapılmış ve tüm aşamalarda donanımları örtmek için alüminyum folyo kullanılmıştır. Potansiyel bulaşmayı belirlemek için, üç tekrarlı bir negatif kontrol grubu hazırlanmıştır. Numune analizinde uygulanan aynı aşamalar, kontrol grubu için de tekrarlanmıştır. Kontrol grubundaki üç petri kabının birinde mavi renkli lif benzeri bir parçacık bulunmuş, bu da 0,33 MP/numune oranında arka plan bulaşması olduğunu göstermiştir. MP yoğunluğunun belirlenmesinde bu arka plan yoğunluğu, genel ortalamadan düşülmüştür.

3.6. İstatistiksel Analiz

MP seviyesi, MP 100 g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu seviyenin normal bir dağılım izleyip izlemediğinin değerlendirilmesi için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri kullanılmıştır. Gerekliğinde, verilerin daha uygun hale getirilmesi amacıyla logaritmik dönüşüm yöntemi uygulanmıştır. Farklı ürün tipleri arasında MP seviyelerindeki farklılıkların belirlenmesinde bağımsız örneklem t-testi tercih edilmiştir. Ayrıca, örneklerin C-fikosiyanin seviyesi ile MP miktarı arasındaki ilişkinin incelenmesi için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Tüm bu istatistiksel analizler, SPSS v22 (IBM Co., Armonk, NY, ABD) ve Tableau v10.2 (Tableau Software LLC., Mountain View, CA, ABD) programları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve önem düzeyi $p < 0,05$ olarak belirlenmiştir.

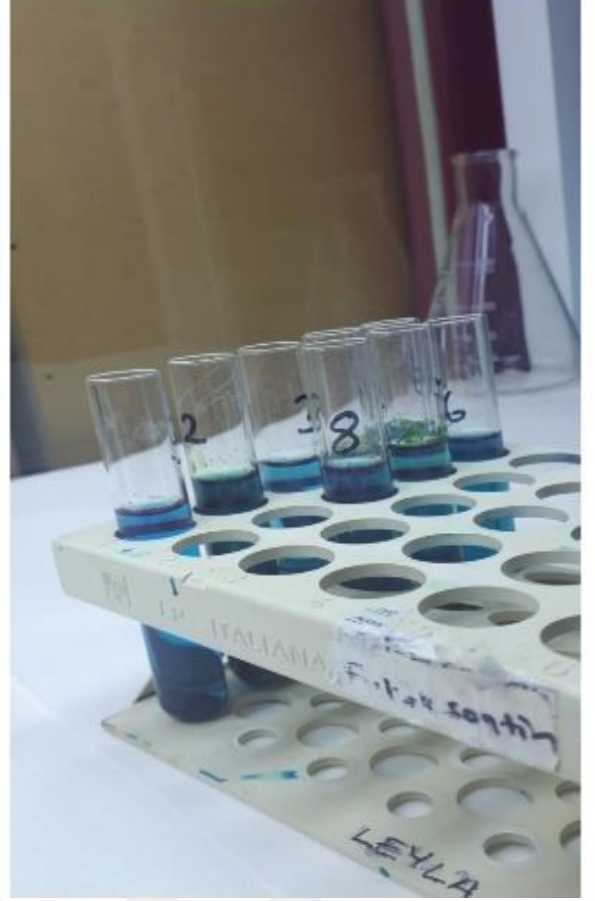
3.7. C-fikosiyanin Analizi

Spirulina etken maddesi olarak da tanımlanan ve içeriğinde mavi-yeşil pigment olan C-fikosiyanin içeriği, her firma tarafından sağlanan numuneler üzerinde yapılmıştır. Analiz, Boussiba ve Richmond (1979) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.

Analiz için 1 g toz Spirulina tartılmış ve cam bir beher içerisine alınmıştır. Üzerine 100 ml NaNO₃ (15 g NaNO₃/L) çözeltisi eklenmiş ve 2 saat boyunca karıştırıcıda bekletilmiştir (Şekil 3.4). Sonrasında, 5 ml'lik örnekler cam tüplere alınarak santrifüjde 3500-5000 rpm'de 5 dakika boyunca çözeltilerden ayrıştırılmıştır. Elde edilen örnekler, spektrofotometrede 620 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

Okunan değerler kullanılarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak C-fikosiyanin miktarı (µg/ml) hesaplanmıştır (Boussiba ve Richmond, 1979).

$CPC = OD_{620\text{ nm}} \times 137$ (137, Spirulina için absorpsiyon katsayısından belirlenen faktör) (Boussiba ve Richmond, 1979)



Şekil 3.3. C-fikosiyanin Analiz Aşamasından Bir Görüntü



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada, Spirulina ürünlerinin (Toz, kapsül/tablet) MP yoğunlukları ve c-fikosiyanin (PC ($\mu\text{g/ml}$)) seviyeleri incelenmiştir. Piyasada bulunan çeşitli markaların Spirulina ürünleri analiz edilerek, tüketicilerin sağlıklı ve güvenli ürünler seçmelerine yardımcı olacak bilimsel veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Örnekler, geniş bir marka yelpazesinden seçilmiş ve her ürün türü için MP sayıları, ağırlıklı örneklem ile düzeltilmiş MP yoğunlukları ve PC ($\mu\text{g/ml}$) miktarları ölçülmüştür (Çizelge 4.1). Bu çalışmanın amacı, Spirulina ürünlerinin güvenliğini ve besin değerini tespit ederek tüketicilere bilinçli seçimler yapmalarında rehberlik etmektir.

MP'lerin görsel sayımı sonucunda toplam 251 parçacık sayılmıştır. Bu sayı daha sonra hem kontrol grubu sonuçları hem de μ -Raman analizi ile elde edilen sayılar ve oranlar kullanılarak düzeltilmiş ve toplam MP yoğunluğu yeniden hesaplanmıştır. Kontrol grubu olarak belirlenen üç petri kabından birinde mavi renkli lif benzeri bir parçacık tespit edilmiştir. Bu durum, çalışma ortamı ve analiz aşamalarından kaynaklanan 0,33 MP/örnek oranında arka plan kirliliğinin varlığına işaret etmektedir. Sonuç olarak, bu sayılar genel ortalamadan çıkarılmıştır.

İncelenen 29 adet paketlenmiş Spirulina örneğinden 26'sı görsel inceleme sonucunda potansiyel MP varlığı göstermiştir. Daha sonra, tüm filtreler daha önce tespit edilen MP'leri doğrulamak ve polimer türlerini belirlemek için μ -Raman analizine tabi tutulmuştur. Bu analiz sırasında rastgele seçilen 48 parçacık incelenmiş ve 35'inin MP olduğu doğrulanmıştır (analiz edilen parçacıkların %73'ünü oluşturmaktadır). Bu yüzden incelenen bu parçacıklar daha sonra toplam parçacık sayısı için bir düzeltme faktörü olarak kullanılmıştır. Ayrıca, Spirulina içeriğinin doğrulanması ve MP miktarı ile karşılaştırma yapılabilmesi için C-fikosiyanin seviyeleride analiz edilmiştir.

4.1.1. Piyasadan Toplanan Spirulina Örneklerinin Genel Özellikleri

Bu çalışmada, piyasadan toplanan çeşitli Spirulina ürünlerinin ambalaj tipleri, gramajları ve içerik formları incelenmiştir. İncelenen 29 markaya ait spirulina örneklerinde kilitli kraft ambalaj, alüminyum kapaklı cam şişe, plastik kapaklı şişe, poşet ve çıtçıtlı ambalaj gibi çeşitli paketleme yöntemleri kullanıldığı tespit edilmiştir. Gramajlar 30 g ile 100 g arasında değişmekte ve ürünler genellikle toz, kapsül/tablet formundadır. Ambalaj içeriğinde, bazı örneklerde nem önleyici maddeler ve pamuk gibi ek materyaller kullanıldığı görülmüştür. Paketleme yerleri olarak Türkiye'nin İzmir, Çanakkale, Adana, Ankara ve İstanbul şehirleri ile uluslararası lokasyonlardan Barselona, Amerika ve İspanya'dan örnekler öne çıkmaktadır.

4.1.2. Mikroplastik Yoğunluğu

Genel Bulgular

Toplam 251 MP parçacığı sayılmış, μ -Raman analizi ve kontrol grubu sonuçları ile düzeltildikten sonra toplam MP yoğunluğu yeniden hesaplanmıştır. 29 paketlenmiş Spirulina örneğinin 26'sında potansiyel MP varlığı tespit edilmiştir. Rastgele seçilen 48 parçacıktan 35'inin MP olduğu doğrulanmış, bu analiz edilen parçacıkların %73'ünü oluşturmaktadır. Ortalama MP miktarı $13,77 \pm 2,45$ MP/100 g kuru ağırlık olarak hesaplanmıştır.

4.1.3. Toz, Kapsül/Tablet Formdaki *Spirulina* Örneklerinin MP Miktarları

Tablet/kapsül formundaki Spirulina ürünlerinin ortalama MP içeriği $10,43 \pm 2,45$ MP / 100 g ka, toz formundakilerin ise $17,34 \pm 4,22$ MP / 100 g ka olarak bulunmuştur. MP sayısı, ürün türü ve markaya göre dikkate değer bir değişkenlik göstermektedir. Tablet/kapsül formundaki ürünler incelendiğinde, MP sayısı markalar arasında belirgin bir varyasyon gösterir. Örneğin; Marka 11, 30,4/100 g ka MP parçacığı içerirken, Marka 7 sadece 1/100 g ka MP parçacığı içermektedir. Bu, aynı ürün türü içerisinde dâhi markalar arasında büyük farklılıklar olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, toz formundaki ürünler de benzer şekilde değerlendirildiğinde, MP sayısındaki çeşitlilik benzer bir durum göstermektedir. Örneğin; Marka 26'nın toz ürününde 34,5/100 g ka MP parçacığı söz konusuysa, Marka 20 ise MP içermemektedir. Sonuç olarak, veriler ürün türü ve markaların MP içeriği açısından çeşitli farklılıklar içermektedir.

Çizelge 4.1. Marka ve Ürün Türüne Göre 100 g Spirulina Örneği Başına Ortalama, Düzeltilmiş Ortalama MP Yoğunlukları ve C-fikosiyanin Seviyeleri.

Ürün Türü	Marka	PC (µg/ml)	MP Sayısı	Ağırlıklı Örneklemde Düzeltilmiş MP'ler	Numunenin Ağırlığı	Düzeltilmiş MP'ler 100 g'da
Tablet	2	289,41	5	3,41	40,2	8,50
	3	125,01	6	4,13	45,00	9,20
	5	191,39	6	4,13	50,00	8,30
	7	114,81	1	0,49	50,00	1,00
	9	343,25	8	5,59	39,6	14,10
	11	191,66	17	12,16	40,00	30,40
	12	337,23	9	6,32	54,00	11,70
	14	83,50	2	1,22	59,4	2,10
	16	239,41	7	4,86	50,00	9,7
	20	338,12	0	0,00	44,4	0,0
	22	341,68	11	7,78	30,00	25,9
	23	203,65	0	0,00	36,00	0,0
	24	344,08	12	8,51	43,2	19,7
	25	98,02	0	0,00	50,00	0,0
	27	336,54	8	5,59	35,00	16,0
	Ortalama	238,52	6,13	4,28	44,45	10,43
Toz	1	166,59	7	4,86	50	9,7
	4	202,28	2	1,22	50	2,4
	6	227,56	11	7,78	50	15,6
	8	256,74	2	1,22	5	24,4
	10	248,04	3	1,95	50	3,9
	13	339,28	8	5,59	50	11,2
	15	303,25	5	3,41	50	6,8
	17	137,27	8	5,59	50	11,2
	18	206,05	13	9,24	50	18,5
	19	328,46	7	4,86	50	9,7
	21	162,48	14	9,97	50	19,9
	26	328,73	24	17,26	50	34,5
	28	349,76	8	5,59	50	11,2
	29	18,08	44	31,84	50	63,7
	Ortalama	233,90	11,14	7,88	46,79	17,34
	Toplam	236,29	8,55	6,02	45,58	13,77

4.1.4. Markalara Göre İplik ve Parçacık Tipinde Bulunan MP'lerin Karşılaştırması

Spirulina platensis üretimi sırasında MP maruziyeti üzerine gerçekleştirilen çalışmada elde edilen bulgular, incelenen markalardan alınan örneklerde iplik ve parçacık tipi MP'lerin oranlarına ilişkin aşağıdaki gözlemlerle özetlenebilir:

İncelenen MP'lerin %38,3'ü parçacık şeklinde, %61,7'si ise lif formunda bulunmuştur (Şekil 4.1)

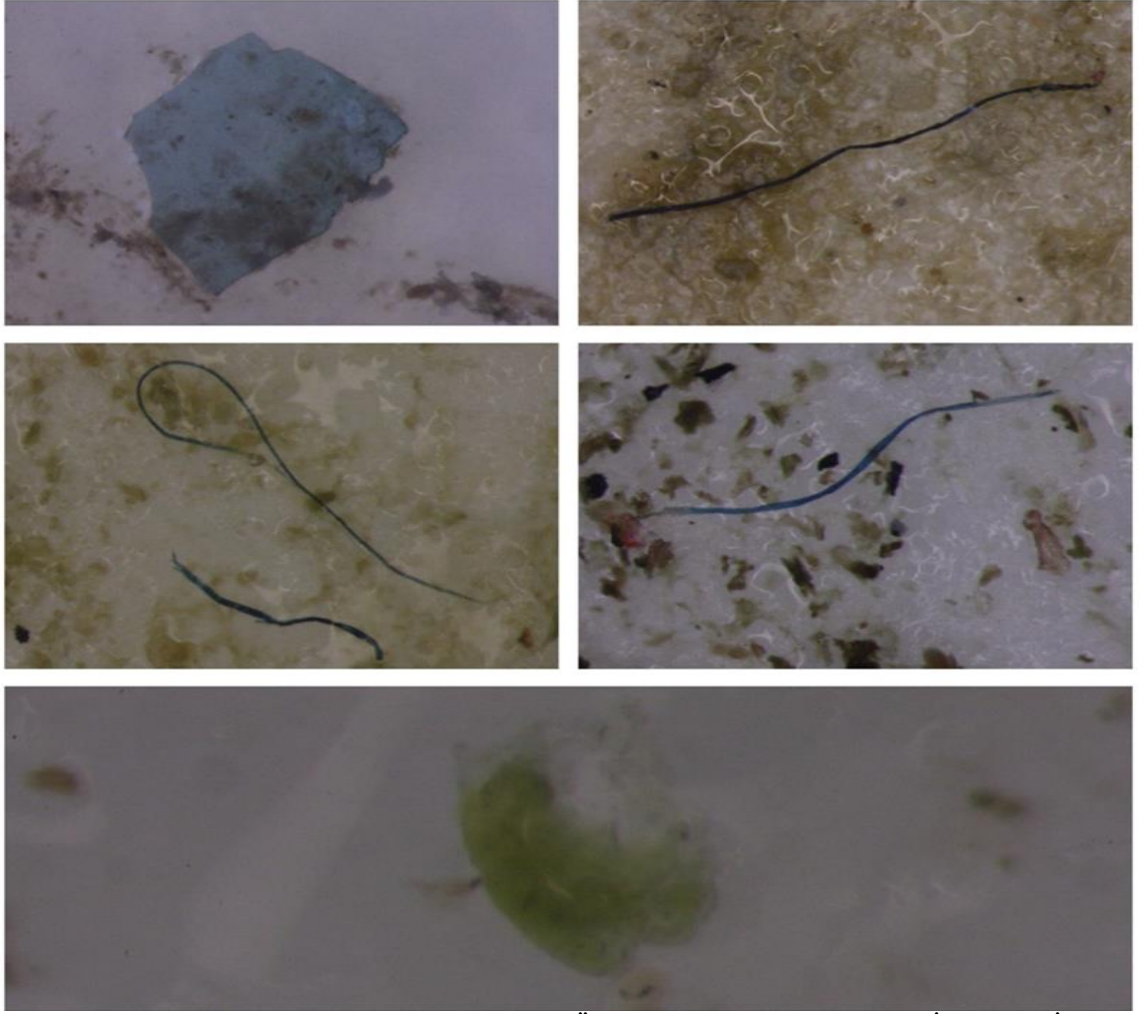
Yüzde yüz iplik tipi MP içerikleriyle 7, 10, 12, 14, 15, 17 ve 28 numaralı markalarda, parçacık tipi MP'ye rastlanmamıştır. Bu örnekler, toplam örnek sayısının %24,14'ünü temsil etmektedir. İplik MP'lerin oranlarının %80 ile %100 arasında değiştiği ve parçacık MP'lerin oranlarının %1 ile %20 arasında bulunduğu 2, 3, 19, 21, 24 ve 26 numaralı markalar, örneklerin %20,69'unu oluşturmaktadır.

İplik ve parçacık MP'lerin eşit olarak (%50) bulunduğu 4 ve 5 numaralı markalar, örneklerin %6,90'ını oluştururken, yalnızca parçacık tipi MP'lerin (%100) tespit edildiği 8 numaralı marka, örneklerin %3,45'ini temsil etmektedir.

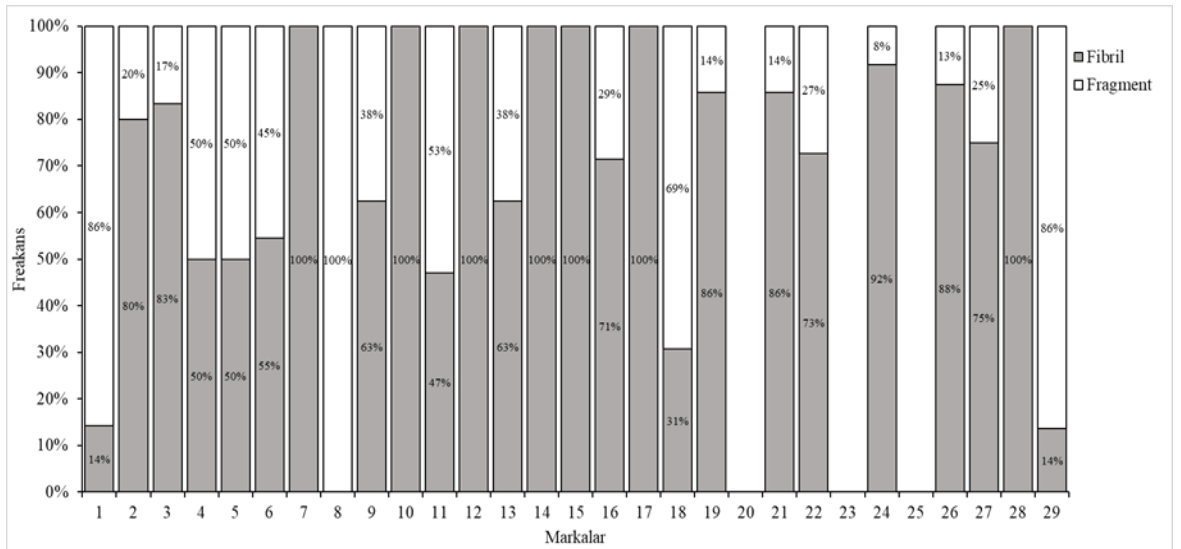
Parçacık tipi MP'lerin oranlarının %53 ile %86 arasında olduğu ve iplik MP'lerin oranlarının ise %14 ile %47 arasında değiştiği 1, 11, 18 ve 29 numaralı markalar, toplam örnek sayısının %13,79'unu oluşturmaktadır.

Örneklerin çoğunluğunda (%58,62), iplik MP'lerin oranları %31 ile %75 arasında, parçacık MP'lerin oranları ise %8 ile %25 arasında değişiklik göstermektedir. Hiçbir MP içermeyen ve bu nedenle iplik ve parçacık MP'lerin tespit edilmediği 20 ve 23 numaralı markalar, toplam örnek sayısının %6,90'ını temsil etmektedir (Şekil 4.2).

Bu bulgular, iplik tipi MP'lerin incelenen örnekler arasında genellikle daha baskın olduğunu, parçacık tipi MP'lerin ise daha az yaygın ve daha az sayıda markada yüksek oranlarda bulunduğunu göstermektedir. MP profillerinde gözlemlenen bu farklılıkların, markaların üretim veya paketlenme süreçlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.1. 8x Büyütmeye Çekilmiş Mikroplastik Örnekleri: Mikroskop Altında İncelenen İplik ve Parçacık Türleri



Şekil 4.2. Markalara Göre Fibril (İplik) ve Fragment (Parçacık) Tipinde Bulunan MP'lerin Karşılaştırması

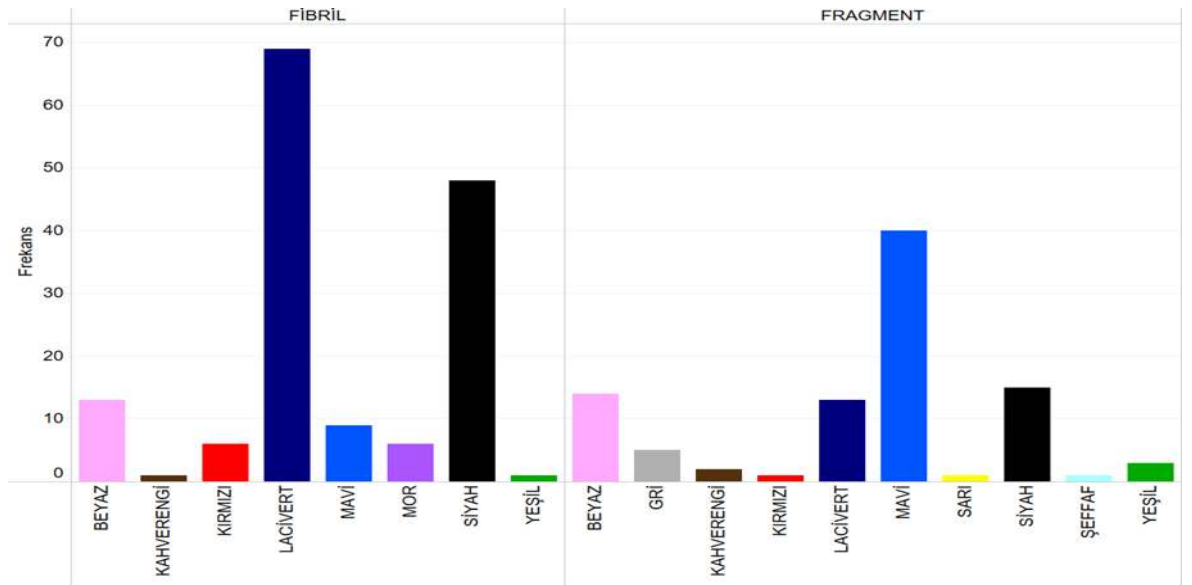
4.1.5. İplik ve Parçacık Tipinde ki MP'lerin Renklerle Olan İlişkisi

Bu çalışmada, İplik ve Parçacık tipi MP'lerin renk dağılımları incelenmiştir. İlk olarak İplik tipi MP'ler incelendiğinde, lacivert renkli olanlar %27,94 ile en yaygın tür olarak öne çıkmak-tadır. Bu renk, toplam MP'ler arasında da %33,20 oranla önemli bir paya sahiptir. Siyah renkli MP'ler, İplik tipinde %19,43 oranında bulunurken, toplam MP'ler içinde %25,51 oranını temsil etmektedir. Beyaz renkli MP'ler, İplik tipinde %5,26, toplamda ise %10,93 oranında bulunmaktadır.

Mavi renkli MP'ler, İplik tipinde %3,24 oranında yer alırken, toplam MP'ler içinde %19,43'lük bir paya sahiptir. Kırmızı ve mor renkli İplik tipi MP'ler sırasıyla %2,43 oranında bulunurken, toplamda kırmızı renk %2,83 ve mor renk yine %2,43 oranında temsil edilmektedir. Ortalama bir yaygınlığa sahip olan bu renkler, MP'ler arasında dikkate değer bir yer tutmaktadır. En az yaygın olan renkler; kahverengi ve yeşil, hem İplik tipinde (%0,40) hem de toplamda (%1,21 ve %1,62) düşük oranlarla temsil edilmektedir. Bu düşük oranlar, bu renklerin MP'ler arasında nadir bulunduğunu gösterir.

Parçacık tipi MP'ler incelendiğinde, mavi renk %16,19 ile bu kategoride en baskın tür olarak belirlenmiştir ve toplamda da %19,43'lük bir paya sahiptir. Bu, mavi renkli MP'lerin her iki türde de önemli bir yer tuttuğunu gösterir. Siyah ve beyaz renkli MP'ler, Parçacık tipinde sırasıyla %6,07 ve %5,67 oranlarında bulunurken, toplamda %25,51 ve %10,93'lük paylara sahiptirler. Lacivert renkli MP'ler, Parçacık tipinde %5,26, toplamda ise %33,20 oranında bulunmaktadır. Diğer renklerin oranları, Parçacık tipinde ve genel toplamda daha düşük seyretmektedir.

Bu bulgular, İplik ve Parçacık tipi MP'lerin renk dağılımının hem türler arası hem de genel toplamda belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. İplik tipi MP'lerin ve Parçacık tipi MP'lerin toplam içindeki oranları, renkler bazında incelendiğinde renklerin MP türlerine göre değişkenlik gösterdiği görülmektedir.



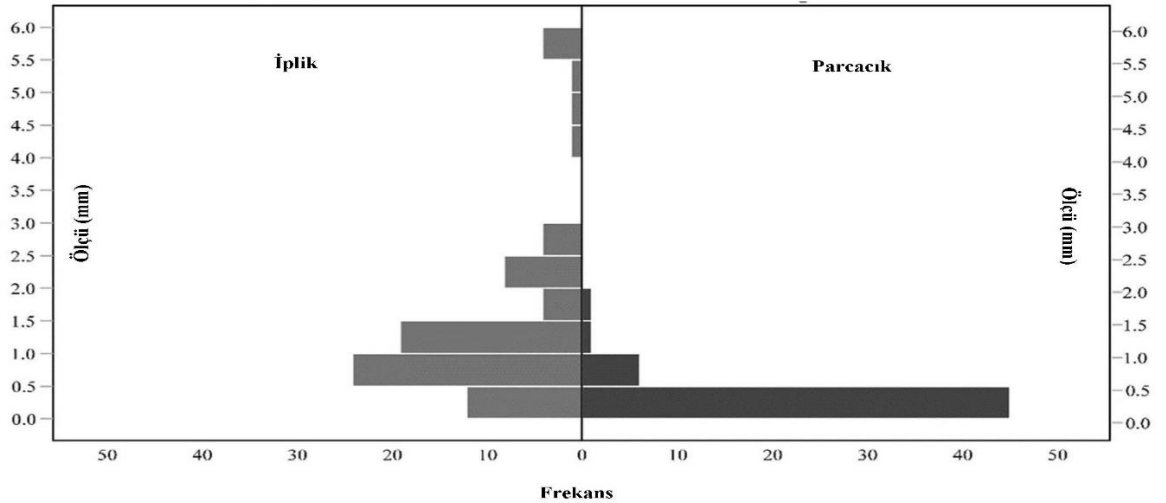
Şekil 4.3. Fibril (İplik) ve Fragment (Parçacık) Tipindeki MP'lerin Renklerle Olan İlişkisi

4.1.6. MP'lerin Uzunluk/Frekans İlişkisine Göre Sayıları

Spirulina ürünlerinde bulunan MP'ler üzerinde yapılan analizler sonucunda, bu ürünlerde bulunan MP'lerin ortalama boyutunun 1,39 mm olduğu saptanmıştır. Bu bulgu, çoğu MP'nin bu boyut civarında olduğunu göstermektedir. En küçük tespit edilebilir MP boyutunun 0,07 mm, en büyük MP boyutunun ise 12,33 mm olarak ölçüldüğü belirlenmiştir. En büyük boyutun tespiti, bazı Spirulina ürünlerinin büyük boyutlu MP parçacıkları içerebileceğine işaret etmektedir.

Spirulina ürünlerindeki MP boyutlarına ilişkin yapılan analizler, ortalama standart sapmanın 1,70 mm olduğunu ortaya koymuştur. Bu, MP'lerin boyutlarının genellikle birbirinden farklı olduğunu ve ortalama boy uzunluğunun etrafında önemli dalgalanmalar gösterdiğini belirtmektedir. Farklı markalar arasında yapılan karşılaştırmalarda, MP boyutlarında önemli ölçüde farklılıklar gözlemlenmiştir. Bazı markaların MP içermemesi mümkünken, diğer markaların büyük MP parçacıkları içerebileceği tespit edilmiştir. Standart sapma değerlerinin markalar arası değişkenlik göstermesi, üretim ve saklama koşullarının çeşitliliğini yansıtmaktadır.

Spirulina örneklerinde yapılan bu analizler, ağırlıklı olarak küçük boyutlu MP'lerin bulunduğunu göstermektedir. Özellikle 0,5 - 1,0 milimetre aralığındaki MP'lerin en yüksek frekansa sahip olduğu, bu boyut aralığındaki parçacıkların ürünlerde en sık rastlanan MP türü olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Bu durum, Spirulina'nın üretimi, işlenmesi veya paketlenmesi sırasında MP kontaminasyonunun olabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 4.4. MP'lerin Uzunluk/Frekans İlişkisine Göre Sayıları

4.1.7. Mikroplastiklerin Polimer Kompozisyonu

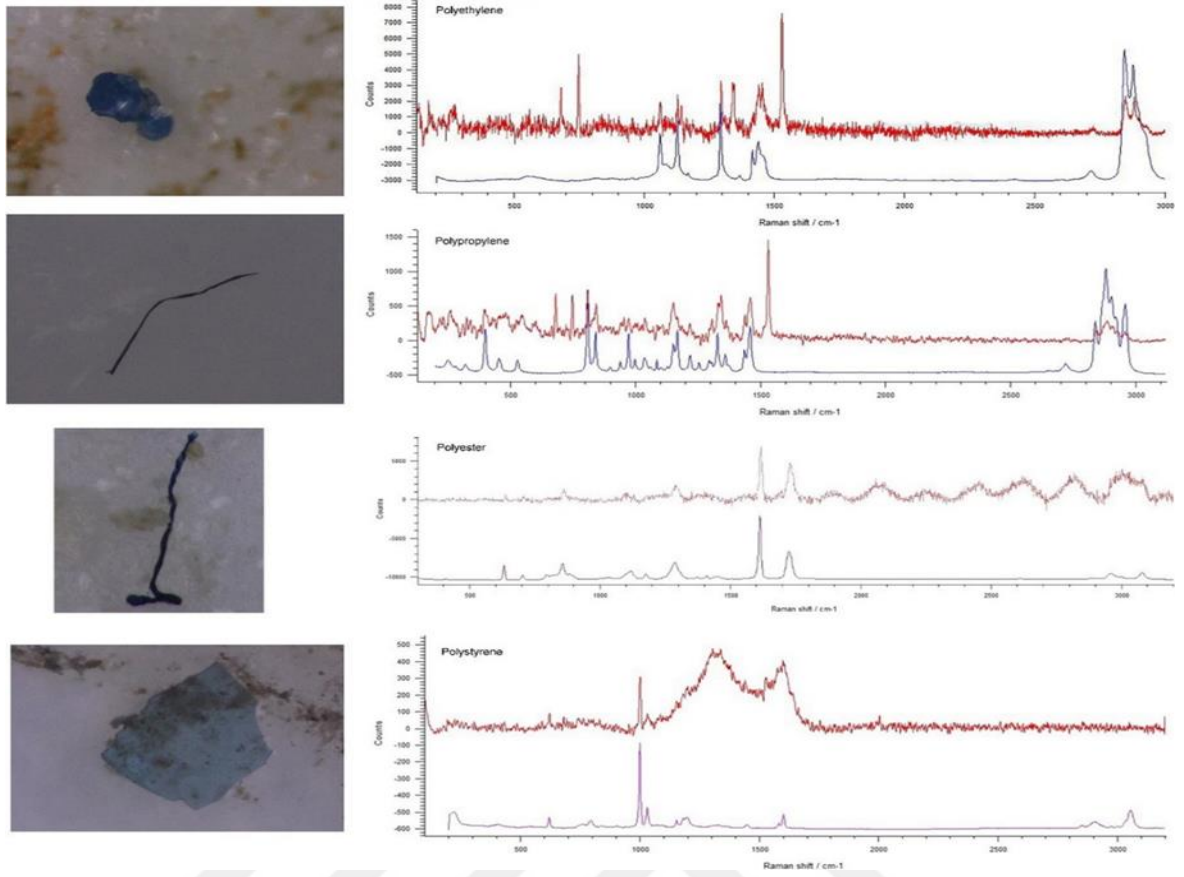
Bu çalışmada, piyasadan toplanan çeşitli Spirulina örneklerindeki MP'ler μ -Raman Analizi yöntemiyle incelenmiştir (Şekil 4.5). Bu örneklerde iplik ve parçacık tipindeki MP'lerin polimer türleri ve oransal dağılımları değerlendirilmiştir (Şekil 4.6 ve Çizelge 4.2).

İplik formundaki MP'lerde polipropilen ve polistirenin %6,25 oranla en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür, bu durum bu polimer türlerinin Spirulina örneklerinde iplik formda daha sık

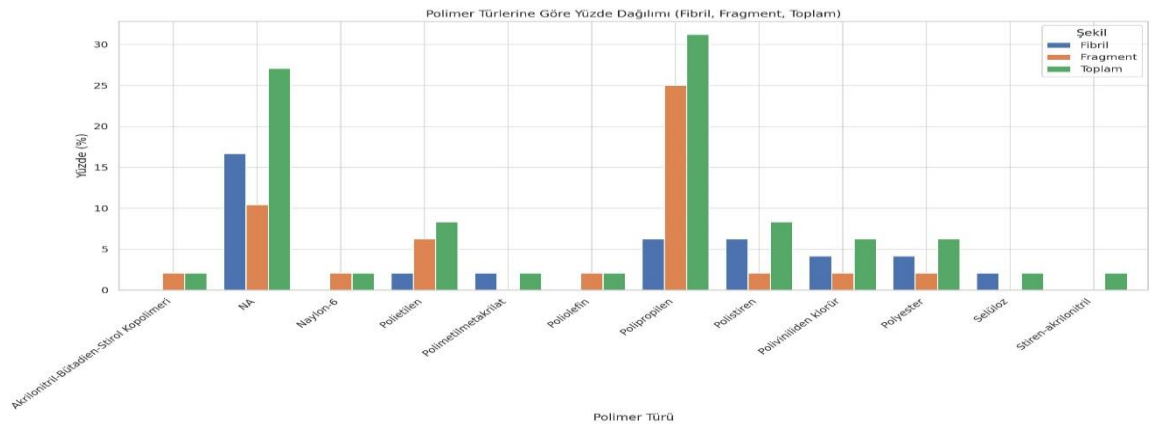
bulunduğunu göstermektedir. Selülozun ise sadece %2,08 oranında tespit edilmesi, iplik formda daha az yaygın olduğuna işaret etmektedir. Polyester, polietilen, polimetilmetakrilat ve poliviniliden klorürün sırasıyla %4,17, %2,08, %2,08 ve %4,17 oranlarında bulunduğu belirlenmiştir.

Parçacık formundaki MP'lerde polipropilenin %25,00 oranıyla net bir şekilde baskın olduğu tespit edilmiştir. Bu, polipropilenin Spirulina örneklerinde parçacık formunda oldukça yaygın olduğunu göstermektedir. Genel olarak, polipropilenin %31,25 oranla piyasadan toplanan Spirulina örneklerinde en yüksek orana sahip polimer olarak belirlendiği tespit edilmiştir. Polistiren %8,33 ve polietilen %6,25 oranlarıyla dikkat çekerken, diğer polimerlerin toplam oranlarının bu üç polimerin gerisinde kaldığı gözlemlenmiştir. Akrilonitril-Bütadien-Stirol Kopolimerinin %2,08, selülozun %2,08, tanımlanamayan parçacıkların %27,08, naylon-6'nın %2,08, polimetilmetakrilatın %2,08 ve poliolefinin %2,08 oranında bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5 ve Çizelge 4.2). Naylon-6, polyester, polietilen, poliolefin, polistiren, poliviniliden klorür ve stiren-akrilonitril türlerinin her birinin %2,08 oranında bulunduğu, polistiren ve poliviniliden klorürün de bu oranda tespit edildiği saptanmıştır.

Sonuç olarak, bu analiz sonuçları, piyasadan toplanan Spirulina örneklerinde polipropilenin, hem iplik hem de parçacık formlarında en sık bulunan polimer olduğunu göstermektedir. Polistiren (%8,33) ve polietilen (%6,25) de önemli oranlarda bulunurken, diğer polimer türlerinin daha az sıklıkla tespit edildiği saptanmıştır.



Şekil 4.5. Paketlenmiş Spirulina ürünlerinden elde edilen a) polietilen, b) polipropilen, c) polyester ve d) polistiren polimerlerine göre farklı mikroplastik türlerinin fotoğrafları ve μ -Raman spektrumu



Şekil 4.6. μ -Raman Analizi Yöntemiyle Tespit Edilen Polimerlerin Türlerine Göre Yüzde Dağılımı Fibril (İplik), Fragment (Parçacık), Toplam

Çizelge 4.2. μ -Raman Analizi Sonucu Tespit Edilen Parçacıkların Kimyasal Bileşimi

Şekil	Polimer	Yüzde
İplik	Selüloz	%2,08
	NA	%16,67
	Polyester	%4,17
	Polietilen	%2,08
	Polimetilmetakrilat	%2,08
	Polipropilen	%6,25
	Polistiren	%6,25
	Poliviniliden klorür	%4,17
Parçacık	Akrilonitril-Bütadien-Stirol Kopolimeri	%2,08
	NA	%10,42
	Naylon-6	%2,08
	Polyester	%2,08
	Polietilen	%6,25
	Poliiolefin	%2,08
	Polipropilen	%25,00
	Polistiren	%2,08
	Poliviniliden klorür	%2,08
	Stiren-akrilonitril	%2,08
	Akrilonitril-Bütadien-Stirol Kopolimeri	%2,08
Toplam	Selüloz	%2,08
	NA	%27,08
	Naylon-6	%2,08
	Polyester	%6,25
	Polietilen	%8,33
	Polimetilmetakrilat	%2,08
	Poliiolefin	%2,08
	Polipropilen	%31,25
	Polistiren	%8,33
	Poliviniliden klorür	%6,25
	Stiren-akrilonitril	%2,08
	Akrilonitril-Bütadien-Stirol Kopolimeri	%2,08
	Selüloz	%2,08

4.1.8. Spirulina Ürünlerindeki C-fikosiyanin İçeriği

C-fikosiyanin seviyelerinin analizi, farklı markaların ürünlerindeki PC ($\mu\text{g/ml}$) değerlerinin belirgin şekilde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Örneğin, en yüksek PC ($\mu\text{g/ml}$) değere sahip olan marka, 28 numaralı Marka tarafından temsil edilmekte ve 349,761 $\mu\text{g/ml}$ PC ($\mu\text{g/ml}$) değerine sahiptir. Diğer taraftan, en düşük PC ($\mu\text{g/ml}$) değeri ise yalnızca 18,084 $\mu\text{g/ml}$ ile Marka 29 tarafından gösterilmektedir.

Genel olarak, markaların çoğunluğu ürünlerinde 100 $\mu\text{g/ml}$ ile 300 $\mu\text{g/ml}$ arasında PC ($\mu\text{g/ml}$) değerleri sergilemektedir. Ancak bazı markalar, bu aralığın dışındaki değerlere sahiptir. Özellikle Marka 28 ve Marka 29, diğerlerine göre belirgin şekilde aykırı değerler sunulmaktadır.

Toplanan örneklerden elde edilen kuru ürünlerin ayrıntılı analizi sonucunda, PC ($\mu\text{g/ml}$) değerlerinin markadan markaya büyük ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda, 28 numaralı marka, 349,761 $\mu\text{g/ml}$ PC ($\mu\text{g/ml}$) değeri ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. 24 numaralı

marka, 344,0755 µg/ml ve 9 numaralı marka ise 343,2535 µg/ml PC (µg/ml) değeri ile bunu takip etmektedir. Öte yandan, 29 numaralı marka neredeyse hiç C-fikosiyanin içermemekte ve sadece 18,084 µg/ml PC (µg/ml) değeri ile dikkat çekici bir düşüklük göstermektedir.

PC (µg/ml) değerleri açısından yapılan incelemeler, farklı markaların ürünlerinde bu değerlerin belirgin şekilde değiştiğini göstermektedir (Çizelge 4.3). Bu durum, ürün kalitesi ve tüketici tercihleri üzerinde önemli bir etki potansiyeli taşımaktadır.

Sonuç olarak, bu analiz, markaların ürünlerindeki PC (µg/ml) değerlerinin tüketici tercihleri üzerinde potansiyel bir etkisi olabileceğini göstermektedir. Özellikle düşük PC (µg/ml) değerine sahip olan 29 numaralı marka, diğer markalara kıyasla daha az C-fikosiyanin içerdiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.3. Spirulina Örneklerinin C-fikosiyanin Seviyeleri (PC µg/ml ve PC %)

Marka	PC (µg/ml)	PC (%)
1	166,592±2,7	1,66±0,02
2	289,4125±2,8	2,89±0,02
3	125,0125±0,8	1,25±0,009
4	202,2805±1,6	2,02±0,01
5	191,389±3,6	1,91±0,03
6	227,557±0,5	2,27±0,006
7	114,806±2,1	1,14±0,02
8	256,738±1,3	2,26±0,01
9	343,2535±4,7	3,43±0,04
10	248,0385±1,6	2,48±0,016
11	191,663±1,5	1,91± 0,01
12	337,2255±1	3,37±0,01
13	339,2805±1	3,39±0,01
14	83,5015±0,09	0,83±0,001
15	303,2495±4,7	3,03±0,04
16	239,4075±2,6	2,39±0,02
17	137,274±0,9	1,37±0,01
18	206,048±1,6	2,06±0,01
19	328,4575±1	3,28±0,01
20	338,116±1,9	3,38±0,02
21	162,482±1,3	1,62±0,01
22	341,678±1,7	3,41±0,02
23	203,6505±1	2,03±0,01
24	344,0755±2,6	3,44±0,02
25	98,0235±2,2	0,98±0,02
26	328,7315±1,4	3,28±0,01
27	336,5405±0,6	3,36±0,007
28	349,761±2,5	2,49±0,02
29	18,084±1,7	0,18±0,02

4.2. Tartışma

Ticari önemi büyük bir mikroalg olan *Spirulina*, dünya çapında yetiştirilmektedir (Ahda ve ark. 2023). Sıcak iklimlerde yetiştigi gibi soğuk bölgelerde de yetiştirilebilir. *Spirulina* üretimi yaygın olarak havuzlarda ve fotobiyoreaktör sistemlerinde gerçekleştirilir (Lupatini ve ark. 2017). Açık sistem üretim genellikle plastik havuz ve göletlerde gerçekleştirilmektedir (Ragaza ve ark. 2020). Ne yazık ki, üretim sırasında kullanılan kimyasallar genellikle düşük saflığa sahiptir ve bu durum yetiştirmenin tüm yönlerini olumsuz yönde etkilemektedir (Soni ve ark. 2017). Bu tür kimyasalların kullanımı yalnızca ürün kalitesinden ödün vermekle kalmaz, aynı zamanda çeşitli plastik türlerinin (plastik torbalar ve kutular gibi) üretim sistemlerini kontamine etmesine de neden olabilir. Sonuç olarak bu plastiklerin kimyasallarla birlikte *Spirulina* kültürüne girmesi söz konusu olabilmektedir. Bunun yanında az gelişmiş ülkelerde kullanılan hasat yöntemleri de genellikle özel ağ açıklıklarına veya naylon eleklerle sahip paçavraların kullanıldığı ilkel sistemleri içerebilmektedir. Sonuç olarak plastik malzemeler hasat edilen ürünü kirletebilir (Chen ve ark. 2021). Ayrıca, bazı ülkeler veya işletmeler, ürüne plastik de bulaştırabilecek kumaş veya plastik gibi malzemeler kullanarak güneşte kurutmayı tercih etmektedir. Havadaki MP'ler güneşe maruz kalma sırasında kurutma sürecinde *Spirulina* ürünlerini kirletebilir (Wu ve ark. 2023). Son olarak, uygun fiyatlı olması nedeniyle, kurutulmuş ürünlerin plastik torbalarda saklanması uygulaması da plastik kontaminasyon potansiyelini daha da artırmaktadır.

Bu çalışmada, ticari olarak paketlenmiş 29 *Spirulina* markasında MP kontaminasyonunun varlığı incelenmiştir. Analiz edilen örneklerin 26'sında (%89,6) MP tespit edilmiştir. Spesifik olarak, toz olarak satılan tüm *Spirulina* ürünlerinin ($n = 14$) MP içerdiği, tablet/kapsül formunda ($n = 15$) satılan ürünlerin %80'inin ($n = 13$) de MP içerdiği tespit edilmiştir. MP'lerin tespit oranı, deniz yosunu nori'de (%95,8) (Li ve ark. 2020), konserve balıklarda (%100) (Gündoğdu ve Köşker 2023), ve ticari tuzlarda (%94,1) (Karami ve ark. 2017) ve sofr tuzlarında (%100) (Gündoğdu 2018) bildirilenlere kıyasla daha düşüktür. Ancak çaça ve sardalya konserveleri için bildirilen oranlardan (%20) daha yüksektir (Karami ve ark. 2018). Bu farklılıklar analitik yöntemlerdeki, gıda kaynaklarındaki ve gıda işleme yöntemlerindeki farklılıklara bağlanabilir.

Bu çalışmada satın alınarak incelenen numuneler Toz, kapsül/tablet olmak üzere iki farklı formdaydı. İstatistiksel analiz, iki ürün tipi arasındaki MP sayısında anlamlı bir fark olmadığını ortaya koydu ($p > 0,05$). Bununla birlikte, istatistiksel anlamlılık olmamasına rağmen, MP'lerin varlığı ve miktarında gözlemlenen farklılıklar; gıda işleme yöntemlerine, yetiştirme koşullarına ve kullanılan paketlenme yöntemlerine bağlanabilir. *Spirulina*'nın ticari ekimi tipik olarak şeffaf plastik tüplerde veya kültürün karıştırılması için mekanik çarklara sahip sığ yapay havuzlarda gerçekleştirilir (Pulz 2001). Havuzlar tipik olarak beton, PVC veya diğer plastik türlerinden olan malzemelerden yapılır (Belay 2008). Büyük ölçekli *Spirulina* yetiştiriciliğinde havuzların genellikle açık olduğunu belirtmekte fayda var. Havuzların açık olması nedeniyle üretim aşamasında ürünlere yabancı maddeler bulaşabilmektedir (Belay 2008). Ek olarak, *Spirulina* hasadı sırasında plastik

kontaminasyonunu önleyecek tedbirlerin bulunmaması da MP kontaminasyonu riskini arttırmaktadır. Bu kontaminasyonun yetiştirmede kullanılan su, havuz malzemesi, ambalajlama ortamındaki ortam havasındaki MP yoğunluğu, ambalaj malzemesi ve hatta ambalajın açılma şekli dâhil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olabileceği düşünülebilir. Farklı ürün türlerinde kontaminasyon açısından farklılıklar ve benzerliklerin olması oldukça muhtemeldir. Bu konunun kapsamlı bir şekilde anlaşılması için, spirulina yetiştiriciliği ortamından son kullanıcı tarafından elde edilen nihai ürüne kadar her aşamada MP kirliliğinin değerlendirilmesi için daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada incelenen ticari olarak paketlenmiş Spirulina'ların MP yoğunluğu 1 ila 63,7 MP/100 g arasında değişmekte olup ortalama olarak da $13,77 \pm 2,45$ MP/100 g olarak tespit edilmiştir. Spesifik olarak Spirulina'daki MP'leri inceleyen herhangi bir çalışma olmamakla birlikte, metodolojik ve ürün türü farklılıklarına rağmen bu bulgular, diğer paketlenmiş ürünlerde bulunan MP düzeyleriyle karşılaştırılabilir. Ancak, bu değerlendirmenin yalnızca paketlenmiş ürünlerdeki MP kontaminasyonuna ilişkin bir fikir vermeyi amaçladığı ve doğrudan karşılaştırma amacı taşımadığı unutulmamalıdır.

Bu nedenle, daha önce yapılan işlenmiş gıdalardaki MP yoğunluğunu veren çalışmalar incelendiğinde, MP yoğunluğunun 1,68 MP/kg ila 10,640 MP/kg arasında önemli ölçüde değişiklik gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Dessi ve ark. (2021), pazardan satın alınan 52 pirinç örneğini analiz etmiş ve bunların hepsinde farklı polimer türü ve şekline sahip farklı miktarlarda MP'ler olduğunu rapor etmiştir. Bu örnekler arasında PE'nin tüm numunelerde mevcut olduğunu ve yoğunluğunun da 45 ile 317 $\mu\text{g/g}$ arasında değiştiğini; PP'nin maksimum 105 $\mu\text{g/g}$ yoğunluğuna sahip olduğunu ve numunelerin %40'ında bulunduğunu; PES'in de numunelerin %6'sında mevcut olduğunu ve en yüksek yoğunluğunun 17 $\mu\text{g/g}$ olduğunu rapor etmiştir.

Başka bir çalışmada Kedzierski ve ark. (2020), paketlenmiş etlerdeki ekstrüde PS MP'lerin kimyasal bileşimini ve miktarını incelemiş ve MP'lerin et ürünlerinde 4,0 ila 18,7 MP/kg seviyelerinde mevcut olduğunu ortaya koymuştur. Gündoğdu ve Köşker (2023), Türkiye pazarında satılan 33 farklı konserve balık markasında MP varlığını araştırmış ve tüm örneklerde en az bir MP parçacığının bulunduğunu bildirmişlerdir.

Paketlenmiş gıdalardaki MP'lerin varlığını örnekleyen çok sayıda başka araştırma mevcuttur (Jadhav ve ark., 2021; Vitali ve ark., 2022; Mamun ve ark., 2023). Bu çalışmaların hepsi, paketlenmiş gıdalardaki MP'lerin ambalaj malzemelerinden, üretim süreçlerinden ve ambalajlı ürünün kaynağındaki kirlilikten kaynaklanabileceğini göstermektedir. Paketlenmiş gıdalar üzerinde daha önce yapılan çalışmalarda tespit edilen MP yoğunluğu, bu çalışmada bulunan miktarlardan farklı olabilir. Bu farklılıklar analitik yöntemler, gıda kaynakları ve gıda işleme yöntemlerindeki farklılıklara bağlanabilir.

Literatürde daha önce yapılmış çeşitli çalışmalarda, paketlenmiş gıdalarda PP, PET, PVC, PA ve PS gibi farklı MP'lerin varlığı ortaya konulmuştur (Jadhav ve ark. 2021; Lin ve ark. 2022; Vitali ve ark. 2022; Mamun ve ark., 2023). Bu polimerlerin gıdalarda bulunması, ambalaj plastiklerinin önemli bir kaynak olabileceğine işaret etmektedir (Fadare ve ark. 2020; Kedzierski ve ark. 2020; Gündoğdu ve Köşker 2023). Bu polimerler ve katkı maddeleri insan vücudunu etkileyebilir (Nobre ve ark. 2015). Birçok çalışma, MP'lere maruz kalmanın çeşitli polimer türleri üzerinden yarattıkları zararlı etkiyi ortaya koymaktadır (Brouwer ve ark. 2023; Prata ve ark. 2020; Udovicki ve ark. 2022). Bu etkiler; plastik parçacıkların boyuta bağlı davranışını, katkı maddelerinin ve absorbe edilen kimyasal kirleticilerin transferini, bağırsak mikrobiyomunun bozulmasını, oksidatif stresin indüklenmesini ve inflamatuvar tepkinin artmasına kadar geniş bir yelpazededir (Barboza ve ark. 2018; De-la- Torre 2020). Bu nedenle gıda ürünlerinde MP'lerin varlığı tüketiciler için risk oluşturma potansiyeline sahiptir (De-la-Torre 2020). Bu tür etkileri azaltmak için birden fazla faktörün ele alınması çok önemlidir. Bu faktörler, gıda ürünlerinde plastik ambalaj kullanımının en aza indirilmesini, bu malzemelerde kullanılan kimyasalların sınırlandırılması ve azaltılması için daha sıkı düzenlemelerin uygulanmasını ve BM Plastik Anlaşması Girişimi'nde (Bergmann ve diğerleri 2022; Dey ve diğerleri 2022) ana hatlarıyla belirtildiği gibi genel plastik üretiminin azaltılmasını içermektedir.

Avrupa'da gıda ambalajlarında ve gıdayla temas eden diğer materyallerde (FCM) yaklaşık 8.000 madde kullanıldığı ve bunlardan 388 farklı kimyasalın AB Sürdürülebilirlik Kimyasallar Stratejisi Kriterleri'ne göre kanserojen, mutajenik olduğu belirtilmektedir. Üreme açısından toksik, kalıcı, biyobirikimli ve/veya endokrin bozucu özellikler bağlı olarak en zararlı kimyasallar olarak sınıflandırıldığı belirtilmektedir (Sıfır Atık Avrupa 2023; Zimmermann ve ark 2022). Daha da önemlisi, bu kimyasalların birçoğu gıda ambalajından gıdaya geçerek gıdada ve sonuçta tüketicinin vücudunda önemli bir kontaminasyon kaynağı haline gelebilmektedir. Gıda ambalajı, çocuklarda ve yetişkinlerde bisfenol-A ve ftalatlar gibi endokrin bozuculara maruz kalmanın ana kaynaklarından biridir ve insan kanında ve vücut dokularında giderek artan sayıda tehlikeli kimyasal bulunduğu rapor edilmektedir (Sıfır Atık Avrupa 2023). Bu çalışmada bulunan sonuçlar; en yaygın olarak bulunan plastiklerin, gıda ambalajında yaygın olarak kullanılan plastiklerle ve en çok üretilen plastiklerle uyumlu olduğunu göstermektedir (Muhib ve ark. 2023; PlasticEurope 2022). Örneğin bu çalışmada en yüksek oranlarda tespit edilen PP, ambalajlama amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Spesifik olarak, PP'den yapılmış büyük dokuma torbalar, *Spirulina* da dâhil olmak üzere çeşitli paketlenmiş gıdaların büyük miktarlarının taşınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada bulunan diğer en yaygın polimerler gıda ambalajlarında da yaygın olarak kullanılan PE'dir (Raj ve ark. 2004). Benzer şekilde PS paketlenme amacıyla kullanılan ve tehlikeli kimyasallar içeren bir polimerdir. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan plastiklerin polimer türleri önceki çalışmalarla ve yaygın olarak üretilen plastiklerle uyumluluk göstermektedir. Sonuç olarak bu durum, riskleri değerlendirmek ve

kimyasal bileşenleri ve fiziksel parçacıkları kapsayan gıda güvenliğine ilişkin MP'leri dikkate almak için daha kapsamlı araştırmalar yapılması gerekliliğinin altını çizmektedir.

C-fikosiyanin miktarının, üretim koşullarından ve büyüme ortamında kullanılan kimyasalların kalitesinden etkilenecek farklı çalışmalar arasında önemli ölçüde değişebileceği unutulmamalıdır. Örneğin Oğuz ve ark. (2011), Çukurova'da açık sistem havuzlarda *Spirulina* yetiştiriciliğinin üç mevsim yapıldığı bir çalışma yürütmüştür. En yüksek C-fikosiyanin içeriğini sonbahar mevsiminde ($332,7 \pm 1 \mu\text{g/mL}$) rapor etmiş ve benzer sonuçlar yaz ($323,4 \pm 1 \mu\text{g/mL}$) ve ilkbahar ($327,5 \pm 2 \mu\text{g/mL}$) mevsimlerinde de olduğunu bildirmişlerdir. Maulana ve ark. (2023), tarafından yapılan başka bir çalışmada iki farklı ortamda (Sıvı Organik ve NPK Gübrelili) kültüre alınan *Spirulina*'nın sonuçta C-fikosiyanin miktarlarının sırasıyla 0,148 ve 0,097 mg/L olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca Walter ve ark. (2011) farklı ışık kaynaklarının (beyaz, kırmızı, sarı ve mavi) *Spirulina* kültürü üzerindeki etkisini araştırmış ve beyaz ışık koşullarında en yüksek C-fikosiyanin içeriğini ($0,237 \text{ mg/mL}$) elde etmişlerdir. Bu bulgular, C-fikosiyanin içeriğinin, *Spirulina* yetiştiriciliğinde kullanılan büyüme koşullarına ve ortama bağlı olarak büyük ölçüde değişebileceğini göstermektedir. *Spirulina*'da bulunan birincil aksesuar fotosentetik mavi pigment olan C-fikosiyanin, *Spirulina*'nın kuru ağırlığının %20'sini oluşturması gerektiği bilinmektedir (Jaouen ve ark. 1999; Vonshak 1997). Dolayısıyla bu değer bir ürünün gerçekten *Spirulina* olup olmadığı konusunda fikir vermesi beklenir. Bu çalışmadaki marka 29'un C-fikosiyanin düzeylerinin önemli ölçüde düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca aynı markada tespit edilen MP yoğunluğunun da yüksek olması, üretim ve hazırlama koşullarına ilişkin endişeleri artırmaktadır. MP'lerin varlığı ve yeşil yerine kahverengimsi renge sahip olması marka 29'un gerçek *Spirulina* olarak özgünlüğünün olmadığı şüphesini doğurmaktadır.

Yiyecek ve içecek ürünlerinin plastikle kirlenmesinin çeşitli üretim ve işleme aşamalarından kaynaklandığı ileri sürülmektedir. Bu aşamalar, tarım alanlarında ve tanklarda kullanılanlar gibi üretim ve işleme sırasında kullanılan plastik aletlerin parçalanmasını da kapsamaktadır. Ayrıca, üretim ve çalışma alanı temizliği için kullanılan suyun yanı sıra işlemenin gerçekleştiği genel tesis alanında da kirlenme meydana gelebilir. Diğer potansiyel kaynaklar arasında ise çalışma alanı ve çalışan üniformalarında bulunan sentetik elyafları içerebilecek havadaki MP varlığı da yer almaktadır (EFSA 2016; Shruti ve ark. 2020; Dessi ve ark. 2021; Gündoğdu ve Köşker 2023). EFSA'ya (2016) göre işleme sırasında plastik kirliliğinin meydana gelmesi oldukça olasıdır. Li ve ark. (2020) ve Gündoğdu ve Köşker (2023) bu iddiayı destekleyen kanıtlar sunmakta ve MP kontaminasyonunu ortadan kaldırmak için yeterli önlemler alınmazsa işleme aşamasının ürünlere nispeten daha yüksek miktarda MP ekleyebileceğini öne sürmektedirler. Nitekim benzer bir sonuç bu çalışmadan da çıkartılabilir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmadaki bulgular MP'lerin *Spirulina*'nın nihai ticari ürünlerinde yaygın olarak mevcut olduğunu ve bunların bolluğu ve kompozisyonunun paketlenme ve işleme aşamasından etkilendiğini göstermektedir. Bu gıda ürünlerindeki MP'lerin potansiyel kaynaklarını dikkatli bir şekilde belirlemek ve gelecekteki araştırmalarda bunların insan sağlığına yönelik potansiyel risklerini değerlendirmek çok önemlidir. Paketlenmiş hazır gıdalar ve besin takviyeleri arasındaki MP'lerle etkileşimin anlaşılması ve varlıklarının daha kapsamlı şekilde ortaya konulması için daha ayrıntılı araştırmalar ve kapsamlı izleme çalışmaları yapılmalıdır. Gıda ve gıda üretim ve işleme süreçleriyle temas eden malzemelerden kaynaklanan MP kontaminasyonunu en aza indirecek önlemler alınmalıdır. Gelecek çalışmalarda bu hususun ayrıntılı olarak araştırılmasına öncelik verilmelidir. Çalışmamız, *Spirulina* ürünlerinin MP kirliliği açısından önemli bir konu olduğunu göstermektedir. MP'ler, çevre ve insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluştururken, bu çalışma *Spirulina* gibi gıda ürünlerinin de bu tehdiye maruz kaldığını göstermektedir.

Elde edilen bu sonuçlar, *Spirulina* ürünlerinin MP kirliliği açısından hassas bir ürün olduğunu göstermektedir. MP'lerin doğal çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Bu çalışma, bu önemli sorunun gıda ürünlerini de içine alacak şekilde genişletilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. *Spirulina* ürünlerinin büyük bir kısmının MP içerdiği bulgusu, bu ürünlerin üretim ve tedarik zincirinde MP'lerin yaygın bir şekilde varlığını göstermektedir. Özellikle, *Spirulina*'nın toz formdaki ürünleri daha yüksek miktarlarda MP içermektedir. Bu durum, ürünlerin paketlenmesi ve işlenmesinin MP kirliliği üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma *Spirulina* ürünlerinde MP kirliliğinin birçok açıdan dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu bulgular; gıda endüstrisinde MP kaynaklarının tespiti, azaltılması ve bu kirlleticilerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerinin daha fazla araştırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu çalışma, MP kirliliği sorununu daha geniş bir bağlamda ele almamıza ve çevresel sürdürülebilirlik ile gıda güvenliği arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, *Spirulina* ürünlerinin kalite ve besin değeri açısından kritik bir bileşen olan C-fikosiyenin içeriğini inceleyerek önemli sonuçlara ulaşmamıza olanak tanımıştır. Bulgularımız, C-fikosiyenin içeriğinin farklı markalar arasında önemli ölçüde değişebildiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, tüketicilerin *Spirulina* ürünleri seçerken dikkate almaları gereken C-fikosiyenin içeriğinin önemini vurgulamaktadır. C-fikosiyenin, *Spirulina*'nın rengini ve antioksidan özelliklerini etkileyen temel bir bileşendir. C-fikosiyenin içeriği *Spirulina*'nın antioksidan özellikler kazanmasında da büyük rol oynamaktadır. Bu açıdan baktığımızda C-fikosiyenin miktarı fazla olan markaların antioksidan özelliklerinin ve sağlığa olan faydalarının da yüksek olabileceği söylenebilir.



KAYNAKLAR

- Abbasi, S., Amiranipour, S., Karimi, J., Mohsenzadeh, S., ve Turner, A., 2023. Impacts of polyethylene microplastics on the microalga, *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). Environmental Pollution, 327: 121611. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121611>
- Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., ve Hassanaghaei, M., 2018. Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. Chemosphere, 205: 80-87. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>
- Abed, S. A., Abed Alasady, R. K., ve Jazie, A. A., 2021. Microplastics effect on the physicochemical parameters and interaction with *Spirulina platensis* microalgae in Al-Dalmaj Marsh, Iraq. Materials Today: Proceedings, 42: 2251-2258. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.312>
- Ahda, M., Suhendra, ve Permadi, A., 2023. *Spirulina Platensis* Microalgae as High Protein-Based Products for Diabetes Treatment. Food Reviews International, 1-9. Doi: <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2238050>
- Aksakal, D., Çalış, M., Yiğitkurt, S., ve Durmaz, Y., 2021. Işınlı İnci İstiridyesi *Pinctada imbricata radiata*'da Mikroplastik Varlığı. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 6: (4) 742-748. Doi: <https://doi.org/10.35229/jaes.1002179>
- Alak, G., Köktürk, M., ve Atamanalp, M., 2021. Evaluation of different packaging methods and storage temperature on MPs abundance and fillet quality of rainbow trout. Journal of Hazardous Materials, 420: 126573. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126573>
- Al-Dhabi, N. A., 2013. Heavy metal analysis in commercial *Spirulina* products for human consumption. Saudi Journal of Biological Sciences, 20: (4) 383388. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.04.006>
- Anonymous 1: <https://www.shutterstock.com/tr/search/spirulina-tablets> [Son erişim tarihi: 16 Ocak 2024]
- Anonymous 2: <https://algaeforbiofuels.com/wp-content/uploads/2010/11/algae-farm-california.png> [Son erişim tarihi: 26 Kasım 2023]
- Anonymous 3: <http://large.stanford.edu/courses/2014/ph240/anderson-m1/images/f2big.jpg> [Son erişim tarihi: 26 Kasım 2023]
- Anonymous 4: <https://www.asiafarming.com/spirulina-farming-cultivation-practices> [Son erişim tarihi: 23 Şubat 2024]
- Anonymous 5: <https://www.sciencephoto.com/media/95292/view> [Son erişim tarihi: 17 Ocak 2024]
- Ansari, F. A., Ratha, S. K., Renuka, N., Ramanna, L., Gupta, S. K., Rawat, I., ve Bux, F., 2021. Effect of microplastics on growth and biochemical composition of microalga *Acutodesmus obliquus*. Algal Research, 56: 102296. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102296>

- Anupama ve Ravindra, P., 2000. Value-added food: Single Cell Protein. *Biotechnology Advances*, 18: (6) 459-479. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Arvanitoyannis, I. S. ve Bosnea, L., 2004. Migration of Substances from Food Packaging Materials to Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44: (2) 63-76.
Doi: <https://doi.org/10.1080/10408690490424621>
- Barboza, L. G. A., Vieira, L. R., Branco, V., Figueiredo, N., Carvalho, F., Carvalho, C., ve Guilhermino, L., 2018. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquatic Toxicology*, 195: 49-57.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.12.008>
- Baylan, M., Özcan, B. D., Işık, O., ve Akar, M., 2012. A Mini Review on *Spirulina*., 5: (1) 31-34.
- Belay, A., Ota, Y., Miyakawa, K., ve Shimamatsu, H., 1993. Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. *Journal of Applied Phycology*, 5: (2) 235-241.
Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00004024>
- Belay, A. (2008) *Spirulina* (Arthrospira): Production and Quality Assurance. In: Gershwin, M. and Belay, A., Eds., *Spirulina in Human Nutrition and Health*, Taylor & Francis Group, London, 1-26.
- Bellasi, A., Binda, G., Pozzi, A., Galafassi, S., Volta, P., ve Bettinetti, R., 2020. Microplastic Contamination in Freshwater Environments: A Review, Focusing on Interactions with Sediments and Benthic Organisms. *Environments*, 7: (4) 30.
Doi: <https://doi.org/10.3390/environments7040030>
- Benelhadj, S., Douiri, S., Ghouilli, A., Hassen, R. B., Keshk, S. M. A. S., El-kott, A., Attia, H., ve Ghorbel, D., 2023. Extraction of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) proteins via Osborne sequential procedure: Structural and functional characterizations. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115: 104984. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104984>
- Bergmann, M., Almroth, B. C., Brander, S. M., Dey, T., Green, D. S., Gundogdu, S., Krieger, A., Wagner, M., ve Walker, T. R., 2022. A global plastic treaty must cap production. *Science*, 376: (6592) 469-470. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.abq0082>
- Boussiba, S. ve Richmond, A. E., 1979. Isolation and characterization of phycocyanins from the blue-green alga *Spirulina platensis*. *Archives of Microbiology*, 120: (2) 155-159.
Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00409102>
- Brouwer, H., Van Oijen, F. L. N., ve Bouwmeester, H., 2023. Potential human health effects following exposure to nano and microplastics, lessons learned from nanomaterials. *Present Knowledge in Food Safety*, 15. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00014-7>
- Campanale, Massarelli, Savino, Locaputo ve Uricchio, 2020. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17: (4) 1212.

- Doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
- Cepoi, L., Zinicovscaia, I., Rudi, L., Chiriac, T., Miscu, V., Djur, S., Strelkova, L., Vergel, K., ve Nekhoroshkov, P., 2020. Growth and heavy metals accumulation by *Spirulina platensis* biomass from multicomponent copper containing synthetic effluents during repeated cultivation cycles. *Ecological Engineering*, 142: 105637.
- Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105637>
- Chaumont, D., 1988. Scaling up a tubular photoreactor for continuous culture of *Porphyridium cruentum* from laboratory to pilot plant (1981-1987). *Algal biotechnology*, 199-208.
- Chen, G., Li, Y., ve Wang, J., 2021. Occurrence and ecological impact of microplastics in aquaculture ecosystems. *Chemosphere*, 274: 129989.
- Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129989>
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., ve Dudas, S. E., 2019. Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53: (12) 7068-7074.
- Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>
- Cuaresma, M., Janssen, M., Vélchez, C., ve Wijffels, R. H., 2011. Horizontal or vertical photobioreactors? How to improve microalgae photosynthetic efficiency. *Bioresource Technology*, 102: (8) 5129-5137. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.078>
- Cuellar-Bermudez, S. P., Garcia-Perez, J. S., Rittmann, B. E., ve Parra-Saldivar, R., 2015. Photosynthetic bioenergy utilizing CO₂: an approach on flue gases utilization for third generation biofuels. *Journal of Cleaner Production*, 98: 53-65.
- Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.034>
- Çullu, A. F., Sönmez, V. Z., ve Sivri, N., 2021. Microplastic contamination in surface waters of the Küçükçekmece Lagoon, Marmara Sea (Turkey): Sources and areal distribution. *Environmental Pollution*, 268: 115801. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115801>
- De Morais, E. G., Nunes, I. L., Druzian, J. I., De Morais, M. G., Da Rosa, A. P. C., ve Costa, J. A. V., 2022. Increase in biomass productivity and protein content of *Spirulina sp.* LEB 18 (*Arthrospira*) cultivated with crude glycerol. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12: (3) 597-605. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00934-4>
- De Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A. S., ve Rillig, M. C., 2019. Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. *Environmental Science & Technology*, 53: (10) 6044-6052.
- Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01339>
- De-la-Torre, G. E., 2020. Microplastics: an emerging threat to food security and human health. *Journal of Food Science and Technology*, 57: (5) 1601-1608.
- Doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04138-1>
- Dessi, C., Okoffo, E. D., O'Brien, J. W., Gallen, M., Samanipour, S., Kaserzon, S., Rauert, C., Wang, X., ve Thomas, K. V., 2021. Plastics contamination of store-bought rice. *Journal of Hazardous*

- Materials, 416: 125778. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125778>
- Dey, T., Trasande, L., Altman, R., Wang, Z., Krieger, A., Bergmann, M., Allen, D., Allen, S., Walker, T. R., Wagner, M., Syberg, K., Brander, S. M., ve Almroth, B. C., 2022. Global plastic treaty should address chemicals. *Science*, 378: (6622) 841-842.
Doi: <https://doi.org/10.1126/science.adf5410>
- Diaz-Basantes, M. F., Nacimba-Aguirre, D., Conesa, J. A., ve Fullana, A., 2022. Presence of microplastics in commercial canned tuna. *Food Chemistry*, 385: 132721.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132721>
- Dinicolantonio, J. J., Bhat, A. G., ve O. Keefe, J., 2020. Effects of *spirulina* on weight loss and blood lipids: a review. *Open Heart*, 7: (1) e001003.
Doi: <https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-001003>
- Domenech, J. ve Marcos, R., 2021. Pathways of human exposure to microplastics, and estimation of the total burden. *Current Opinion in Food Science*, 39: 144-151.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.01.004>
- Du, F., Cai, H., Zhang, Q., Chen, Q., ve Shi, H., 2020. Microplastics in take-out food containers. *Journal of Hazardous Materials*, 399: 122969.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122969>
- Du, H., Xie, Y., ve Wang, J., 2022. Environmental impacts of microplastics on fishery products: An overview. *Gondwana Research*, 108: 213-220. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.08.013>
- Dybas, C. L., 2020. Silent Scourge: Microplastics in Water, Food, and Air. *BioScience*, 70: (12) 1048-1055. Doi: <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa119>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), 2016. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal*, 14: (6) 4501.
Doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>
- Elcik, H. ve Çakmakçı, M., 2017. Mikroalglerden Yenilenebilir Biyoyakıt Üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32: (3)
Doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.337627>
- Fadare, O. O., Wan, B., Guo, L.-H., ve Zhao, L., 2020. Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it?. *Chemosphere*, 253: 126787.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126787>
- FAO, 2021. Global seaweed and microalgae production: a review towards sustainable. FAO, Rome/Italy, 172 s.
- Ferrante, M., Pietro, Z., Allegui, C., Maria, F., Antonio, C., Pulvirenti, E., Favara, C., Chiara, C., Grasso, A., Omayma, M., Gea, O. C., ve Banni, M., 2022. Microplastics in fillets of Mediterranean seafood. A risk assessment study. *Environmental Research*, 204: 112247.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112247>
- Gallardo-Rodríguez, J., Sánchez-Mirón, A., García-Camacho, F., López-Rosales, L., Chisti, Y., ve

- Molina-Grima, E., 2012. Bioactives from microalgal dinoflagellates. *Biotechnology Advances*, 30: (6) 1673-1684. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.07.005>
- Gaurav, D., Preet, S., ve Dua, K. K., 2010. Antioxidative and antiperoxidative effects of *Spirulina platensis* against cadmium induced hepatotoxicity in rats., 1: (2) 121-127.
- Ge, Y., Kang, Y.-K., Dong, L., Liu, L.-H., ve An, G.-Y., 2019. The efficacy of dietary *Spirulina* as an adjunct to chemotherapy to improve immune function and reduce myelosuppression in patients with malignant tumors. *Translational Cancer Research*, 8: (4) 1065-1073.
Doi: <https://doi.org/10.21037/tcr.2019.06.13>
- Gedik, K. ve Eryaşar, A. R., 2020. Microplastic pollution profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish coasts. *Chemosphere*, 260: 127570.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127570>
- Gualtieri, P. ve Barsanti, L., 2006. *Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology*. Taylor & Francis, Boca Raton, 301 s.
- Guidi, F., Gojkovic, Z., Venuleo, M., Assunção, P. A. C. J., ve Portillo, E., 2021. Long-Term Cultivation of a Native *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) Strain in Pozo Izquierdo (Gran Canaria, Spain): Technical Evidence for a Viable Production of Food-Grade Biomass. *Processes*, 9: (8) 1333. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr9081333>
- Gupta, P. L., Lee, S.-M., ve Choi, H.-J., 2015. A mini review: photobioreactors for large scale algal cultivation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31: (9) 1409-1417.
Doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-015-1892-4>
- Gupta, S., 2023. *Gluten-Free Foods & Beverages Market Research Report Information By Type (Alcoholic Beverages, Non-Alcoholic Beverages), By Packaging Material (Paper, Plastic, Metal, Others), By Distribution Channel (Store Based, Non-Store Based), And By Region (North America, Europe, Asia-Pacific, And Rest Of The World) -Market Forecast Till 2030. Market Research Future (MRFR)*, 115 s.
- Guschina, I. A., Hayes, A. J., ve Ormerod, S. J., 2020. Polystyrene microplastics decrease accumulation of essential fatty acids in common freshwater algae. *Environmental Pollution*, 263: 114425. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114425>
- Gündoğdu, S. ve Köşker, A. R., 2023. Microplastic contamination in canned fish sold in Türkiye. *PeerJ*, 11: e14627. Doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.14627>
- Gündoğdu, S., 2018. Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35: (5) 1006-1014.
Doi: <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1447694>
- Gündoğdu, S., Çevik, C., ve Ataş Temiz, N., 2020. Stuffed with microplastics: Microplastic occurrence in traditional stuffed mussels sold in the Turkish market. *Food Bioscience*, 37: 100715. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100715>
- Gündoğdu, S., Çevik, C., ve Temiz Ataş, N., 2020. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal

- tracts of some edible fish species along the Turkish coast. Turkish Journal of Zoology, 44: (4) 312-323. Doi: <https://doi.org/10.3906/zoo-2003-49>
- Gündoğdu, S., Eroldoğan, O. T., Evliyaoglu, E., Turchini, G. M., ve Wu, X. G., 2021. Fish out, plastic in: Global pattern of plastics in commercial fishmeal. Aquaculture, 534: 736316. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736316>
- Gwinnett, C. ve Miller, R. Z., 2021. Are we contaminating our samples? A preliminary study to investigate procedural contamination during field sampling and processing for microplastic and anthropogenic microparticles. Marine Pollution Bulletin, 173: 113095. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113095>
- Habib, M. A. B. (ed.), 2008. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. FAO, Rome, 33 s.
- Hadiyanto, H., Khoironi, A., Dianratri, I., Suherman, S., Muhammad, F., ve Vaidyanathan, S., 2021. Interactions between polyethylene and polypropylene microplastics and *Spirulina sp.* microalgae in aquatic systems. Heliyon, 7: (8) e07676. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07676>
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., ve Purnell, P., 2018. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. Journal of Hazardous Materials, 344: 179-199. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>
- Henrikson, R., 2023. *Spirulina* industry report. *Spirulina* Source, USA, 23 s.
- Hoekema, S., 2002. A pneumatically agitated flat-panel photobioreactor with gas re-circulation: anaerobic photoheterotrophic cultivation of a purple non-sulfur bacterium. International Journal of Hydrogen Energy, 27: (11-12) 1331-1338. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(02\)00106-4](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(02)00106-4)
- Huang, Q., Jiang, F., Wang, L., ve Yang, C., 2017. Design of Photobioreactors for Mass Cultivation of Photosynthetic Organisms. Engineering, 3: (3) 318-329. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.020>
- Jadhav, E. B., Sankhla, M. S., Bhat, R. A., ve Bhagat, D. S., 2021. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 16: 100608. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100608>
- Jaouen, P., Lépine, B., Rossignol, N., Royer, R., ve Quéméneur, F., 1999. Clarification and concentration with membrane technology of a phycocyanin solution extracted from *Spirulina platensis*. Biotechnology Techniques, 13: (12) 877-881. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1008980424219>
- Kaewpintong, K., Shotipruk, A., Powtongsook, S., ve Pavasant, P., 2007. Photoautotrophic high-density cultivation of vegetative cells of *Haematococcus pluvialis* in airlift bioreactor. Biore-

- source Technology, 98: (2) 288-295. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.011>
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Karbalaei, S., ve Salamatina, B., 2018. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. Science of The Total Environment, 612: 1380-1386. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.005>
- Karami, A., Golieskardi, A., Keong Choo, C., Larat, V., Galloway, T. S., ve Salamatina, B., 2017. The presence of microplastics in commercial salts from different countries. Scientific Reports, 7: (1) 46173. Doi: <https://doi.org/10.1038/srep46173>
- Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Le Maguer, G., Le Tilly, V., ve Bruzard, S., 2020. Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. Food Packaging and Shelf Life, 24: 100489. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100489>
- Kerna, N. A., Nwokorie, U., Ortigas, M. A. C., Chawla, S., Pruitt, K. D., Holets, H. M., Carsrud, N. V., Waugh, S., ve Ii, J. A., 2022. *Spirulina* Consumption: Concerns Regarding Contaminants and Uncommon but Possible Adverse Reactions and Interactions., 10: 69-78.
- Khawwaja, J. R., Madsen, C., Warwick, C., Shrestha, S., Chio, C., ve Qin, W., 2023. Interaction between polyethylene terephthalate (PET) microplastic and microalgae (*Scenedesmus spp.*): Effect on the growth, chlorophyll content, and hetero-aggregation. Environmental Advances, 13: 100399. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100399>
- Khoironi, A., Anggoro, S., ve Sudarno, S., 2019. Evaluation of the Interaction Among Microalgae *Spirulina sp.*, Plastics Polyethylene Terephthalate and Polypropylene in Freshwater Environment. Journal of Ecological Engineering, 20: (6) 161-173. Doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/108637>
- Klomjit, A., Yeemin, T., Phaoduang, S., ve Sutthacheep, M., 2021. Occurrence of microplastics in two edible seaweeds from local aquaculture in Thailand. Ramkhamhaeng International Journal of Science and Technology, 4: (2) 38-44.
- Krishna, G. ve Gopalakrishnan, G., 2016. Alternative In Vitro Models for Safety and Toxicity Evaluation of Nutraceuticals. Nutraceuticals, 355-385. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00027-9>
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., ve Shruti, V. C., 2020. Branded milks – Are they immune from microplastics contamination?. Science of The Total Environment, 714: 136823. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823>
- Lee, Y.-K. ve Low, C.-S., 1991. Effect of photobioreactor inclination on the biomass productivity of an outdoor algal culture. Biotechnology and Bioengineering, 38: (9) 995-1000. Doi: <https://doi.org/10.1002/bit.260380906>
- Lee, Y., Cho, J., Sohn, J., ve Kim, C., 2023. Health Effects of Microplastic Exposures: Current Issues and Perspectives in South Korea. Yonsei Medical Journal, 64: (5) 301. Doi: <https://doi.org/10.3349/ymj.2023.0048>
- Li, Q., Feng, Z., Zhang, T., Ma, C., ve Shi, H., 2020. Microplastics in the commercial seaweed nori.

- Journal of Hazardous Materials, 388: 122060.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122060>
- Liestianty, D., Rodianawati, I., Arfah, R. A., Assa, A., Patimah, Sundari, ve Muliadi, 2019. Nutritional analysis of *Spirulina sp.* to promote as superfood candidate. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 509: 012031.
Doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012031>
- Lin, Q., Zhao, S., Pang, L., Sun, C., Chen, L., ve Li, F., 2022. Potential risk of microplastics in processed foods: Preliminary risk assessment concerning polymer types, abundance, and human exposure of microplastics. Ecotoxicology and Environmental Safety, 247: 114260.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114260>
- Lo, H.-S., Xu, X., Wong, C.-Y., ve Cheung, S.-G., 2018. Comparisons of microplastic pollution between mudflats and sandy beaches in Hong Kong. Environmental Pollution, 236: 208-217.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.031>
- Lupatini, A. L., Colla, L. M., Canan, C., ve Colla, E., 2017. Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. Journal of the Science of Food and Agriculture, 97: (3) 724-732. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7987>
- Machowiec, P., Ręka, G., Maksymowicz, M., Pieciewicz-Szczęśna, H., ve Smoleń, A., 2021. Effect of Spirulina Supplementation on Systolic and Diastolic Blood Pressure: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Nutrients, 13: (9) 3054.
Doi: <https://doi.org/10.3390/nu13093054>
- Maddiboyina, B., Vanamamalai, H. K., Roy, H., Ramaiah, Gandhi, S., Kavisri, M., ve Moovendhan, M., 2023. Food and drug industry applications of microalgae *Spirulina platensis*: A review. Journal of Basic Microbiology, 63: (6) 573-583.
Doi: <https://doi.org/10.1002/jobm.202200704>
- Mamun, A. A., Prasetya, T. A. E., Dewi, I. R., ve Ahmad, M., 2023. Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. Science of The Total Environment, 858: 159834. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159834>
- María Laura Werning, Montserrat Nácher, Paloma López, Pilar Fernández de Palencia, Rosa Aznar, Sara Notararigo ve Koru Edis, 2012. Biosynthesis, Purification and Biotechnological Use of Exopolysaccharides Produced by Lactic Acid Bacteria. INTECH Open Access Publisher, Croatia, 229 s.
- Maulana, G. D., Risjani, Y., ve Taqiyyah, A. M., 2023. The Growth, Biomass and Phycocyanin of *Spirulina platensis* Cultured with Liquid Organic (POC) and NPK Fertilizers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1191: (1) 012012.
Doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1191/1/012012>

- Mazokopakis, E. E., Starakis, I. K., Papadomanolaki, M. G., Mavroeidi, N. G., ve Ganotakis, E. S., 2014. The hypolipidaemic effects of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation in a Cretan population: a prospective study: Lipids and *Spirulina*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94: (3) 432-437. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6261>
- Michels, J., Stippkugel, A., Lenz, M., Wirtz, K., ve Engel, A., 2018. Rapid aggregation of bio-film-covered microplastics with marine biogenic particles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285: (1885) 20181203. Doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1203>
- Miller, M. E., Hamann, M., ve Kroon, F. J., 2020. Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. *PLOS ONE*. Editör A. Mukherjee, 15: (10) e0240792. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240792>
- Mohsen, M., Lin, C., Abdalla, M., Liu, S., ve Yang, H., 2023. Microplastics in canned, salt-dried, and instant sea cucumbers sold for human consumption. *Marine Pollution Bulletin*, 192: 115040. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115040>
- Molina, E., Fernández, J., Acién, F. G., ve Chisti, Y., 2001. Tubular photobioreactor design for algal cultures. *Journal of Biotechnology*, 92: (2) 113-131. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00353-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00353-4)
- Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, R. B., ve Mishra, S., 2010. Effect of Toxic Metals on Human Health. *The Open Nutraceuticals Journal*, 3: (1) 94-99. Doi: <https://doi.org/10.2174/18763960010030100094>
- Muhib, Md. I., Uddin, Md. K., Rahman, Md. M., ve Malafaia, G., 2023. Occurrence of microplastics in tap and bottled water, and food packaging: A narrative review on current knowledge. *Science of The Total Environment*, 865: 161274. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161274>
- Mutlu, T., Gedik, K., ve Eryaşar, A. R., 2022. Investigation of Microplastic Accumulation in Horse Mackerel (*Trachurus mediterraneus*) Caught in the Black Sea. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 7: (4) 561-567. Doi: <https://doi.org/10.35229/jaes.1204060>
- Nalbone, L., Cincotta, F., Giarratana, F., Ziino, G., ve Panebianco, A., 2021. Microplastics in fresh and processed mussels sampled from fish shops and large retail chains in Italy. *Food Control*, 125: 108003. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108003>
- Nane, İ. D., Özil, Ö., Minaz, M., Naziroğlu, M., Diler, Ö., ve Özmen, Ö., 2021. Japon Balığı (*Carassius auratus*) Gonad ve Viseral Organları Üzerine Bisfenol S'nin Toksik Etkileri. *Acta Aquatica Turcica*, 17: (1) 129-135. Doi: <https://doi.org/10.22392/actaquatr.767061>
- Nelms, S. E., Galloway, T. S., Godley, B. J., Jarvis, D. S., ve Lindeque, P. K., 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution*, 238: 999-1007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>
- Nobre, C. R., Santana, M. F. M., Maluf, A., Cortez, F. S., Cesar, A., Pereira, C. D. S., ve Turra, A.,

2015. Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). Marine Pollution Bulletin, 92: (1-2) 99-104. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.050>
- OECD,2022. Global Plastics Outlook: Policy Scenariosto 2060.
<https://www.oecd.org/environment/global-plastic-waste-set-to-almost-triple-by-2060.htm>
[Son erişim tarihi: 23 Ekim 2023]
- OECD, 2024. Global Plastics Outlook: Plastic waste in 2019 OECD Environment Statistics (database). <https://doi.org/10.1787/a92f5ea3-en> [Son Erişim Tarihi: 29.01.2024]
- Ogbonna, J. C., Soejima, T., ve Tanaka, H., 1999. An integrated solar and artificial light system for internal illumination of photobioreactors. Journal of Biotechnology, 35: 289-297.
- Oğuz, H., Işık, O., Uslu Hızarcı, L., Sayın, S., ve Yılmaz Kargın, H., 2011. Çukurova Bölgesi (Adana-Türkiye) İklim Koşullarının *Spirulina Platensis* (Cyanophyta)’nın C-fikosiyanin Miktarına Etkisi. Journal of FisheriesSciences.com, 5: (2) 146152.
Doi: <https://doi.org/10.3153/jfscom.2011018>
- Olguín, E. J., Galicia, S., Mercado, G., ve Pérez, T., 2003. Annual productivity of *Spirulina* (*Arthrospira*) and nutrient removal in a pig wastewater recycling process under tropical conditions. Journal of Applied Phycology, 15: (2/3) 249-257.
Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1023856702544>
- Örek, Y., Kıdeys, A. E., Özhan, K., Karahan, A., Güven, O., ve Yılmaz, M., 2018. Mikroplastik Partiküllerin ve Plastik Katkısı Olan “Bisfenol A” Organik Bileşiğinin Mersin Körfezi’nde Dağılım Gösteren Bazı Zooplankton Türleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Tübitak, Erdemli/Mersin,122 s.
- Papadimitriou, T., Kormas, K., ve Vardaka, E., 2021. Cyanotoxin contamination in commercial *Spirulina* food supplements. Journal of Consumer Protection and Food Safety, 16: (3) 227-235.
Doi: <https://doi.org/10.1007/s00003-021-01324-2>
- Peter, K., 2015. Sources, Fate And Effects Of Microplastics In The Marine Environment: A Global Assessment. GESAMP, London,96 s.
- Pirt, S. J., Lee, Y. K., Walach, M. R., Pirt, M. W., Balyuzi, H. H. M., ve Bazin, M. J., 1983. A tubular bioreactor for photosynthetic production of biomass from carbon dioxide: Design and performance. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Biotechnology, 33: (1) 35-58. Doi: <https://doi.org/10.1002/jctb.280330105>
- Plastics Europe, 2022. Plastics – The Facts 2022. Plastics Europe,80 s.
- Prata, J. C., Silva, A. L. P., Walker, T. R., Duarte, A. C., ve Rocha-Santos, T., 2020. COVID-19 Pandemic Repercussions on the Use and Management of Plastics. Environmental Science & Technology, 54: (13) 7760-7765. Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02178>
- Pulz, O. ve Gross, W., 2004. Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied Microbiology and Biotechnology, 65: (6) 635-648.

- Doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>
- Pulz, O., 2001. Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57: (3) 287-293.
Doi: <https://doi.org/10.1007/s002530100702>
- Ragaza, J. A., Hossain, Md. S., Meiler, K. A., Velasquez, S. F., ve Kumar, V., 2020. A review on *Spirulina*: alternative media for cultivation and nutritive value as an aquafeed. *Reviews in Aquaculture*, 12: (4) 2371-2395. Doi: <https://doi.org/10.1111/raq.12439>
- Raj, B., K., U. S., ve Siddaramaiah, 2004. Low density polyethylene/starch blend films for food packaging applications. *Advances in Polymer Technology*, 23: (1) 32-45.
Doi: <https://doi.org/10.1002/adv.10068>
- Ramanan, R., Kim, B.-H., Cho, D.-H., Oh, H.-M., ve Kim, H.-S., 2016. Algae–bacteria interactions: Evolution, ecology and emerging applications. *Biotechnology Advances*, 34: (1) 14-29.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.12.003>
- Ramos de Ortega, A. ve Roux, J. C., 1986. Production of *Chlorella* biomass in different types of flat bioreactors in temperate zones. *Biomass*, 10: (2) 141-156.
Doi: [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(86\)90062-4](https://doi.org/10.1016/0144-4565(86)90062-4)
- Raoof, B., Kaushik, B. D., ve Prasanna, R., 2006. Formulation of a low-cost medium for mass production of *Spirulina*. *Biomass and Bioenergy*, 30: (6) 537-542.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.09.006>
- Ravindran, B., Gupta, S., Cho, W.-M., Kim, J., Lee, S., Jeong, K.-H., Lee, D., ve Choi, H.-C., 2016. Microalgae Potential and Multiple Roles—Current Progress and Future Prospects An Overview. *Sustainability*, 8: (12) 1215. Doi: <https://doi.org/10.3390/su8121215>
- Rhoades, J., Fotiadou, S., Paschalidou, G., Papadimitriou, T., Ordóñez, A. Á., Kormas, K., Vardaka, E., ve Likotraftiti, E., 2023. Microbiota and Cyanotoxin Content of Retail *Spirulina* Supplements and *Spirulina* Supplemented Foods. *Microorganisms*, 11: (5) 1175.
Doi: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051175>
- Richmond, A., Boussiba, S., Vonshak, A., ve Kopel, R., 1993. A new tubular reactor for mass production of microalgae outdoors. *Journal of Applied Phycology*, 5: (3) 327-332.
Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02186235>
- Saadaoui, I., Rasheed, R., Aguilar, A., Cherif, M., Al Jabri, H., Sayadi, S., ve Manning, S. R., 2021. Microalgal-based feed: promising alternative feedstocks for livestock and poultry production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12: (1) 76.
Doi: <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z>
- Sánchez Mirón, A., Cerón García, M.-C., García Camacho, F., Molina Grima, E., ve Chisti, Y., 2002. Growth and biochemical characterization of microalgal biomass produced in bubble column and airlift photobioreactors: studies in fed-batch culture. *Enzyme and Microbial Technology*, 31: (7) 1015-1023. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(02\)00229-6](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(02)00229-6)

- Senousy, H. H., Khairy, H. M., El-Sayed, H. S., Sallam, E. R., El-Sheikh, M. A., ve Elshobary, M. E., 2023. Interactive adverse effects of low-density polyethylene microplastics on marine microalga *Chaetoceros calcitrans*. *Chemosphere*, 311: 137182.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137182>
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., ve Kutralam-Muniasamy, G., 2020. Reusable masks for COVID-19: A missing piece of the microplastic problem during the global health crisis. *Marine Pollution Bulletin*, 161: 111777.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111777>
- Sifir Atık Avrupa, 2023. Food Packaging: safety first: Towards toxic-free and future-proof packaging. *Zero Waste Europe*, Belgium, 23 s.
- Siddiqui, S. A., Bahmid, N. A., Salman, S. H. M., Nawaz, A., Walayat, N., Shekhawat, G. K., Gvozdenko, A. A., Blinov, A. V., ve Nagdalian, A. A., 2023. Migration of microplastics from plastic packaging into foods and its potential threats on human health. *Advances in Food and Nutrition Research*, 103: 313-359. Doi: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.07.002>
- Sierra, E., Acién, F. G., Fernández, J. M., García, J. L., González, C., ve Molina, E., 2008. Characterization of a flat plate photobioreactor for the production of microalgae. *Chemical Engineering Journal*, 138: (1-3) 136-147. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.06.004>
- Singh, R. N. ve Sharma, S., 2012. Development of suitable photobioreactor for algae production – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: (4) 2347-2353.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.026>
- Siva Kiran, RR., Madhu GM., Satyanarayana SV., Kalpana P., Bindiya P., ve Subba Rangaiah G., 2015. Equilibrium and kinetic studies of lead biosorption by three *Spirulina* (*Arthrospira*) species in open raceway ponds. *Biochemical Technology Society*, 6: (1) 894-909.
Doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1489.5848>
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., ve Neff, R. A., 2018. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5: (3) 375-386. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
- Sobhani, Z., Lei, Y., Tang, Y., Wu, L., Zhang, X., Naidu, R., Megharaj, M., ve Fang, C., 2020. Microplastics generated when opening plastic packaging. *Scientific Reports*, 10: (1) 4841.
Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61146-4>
- Soni, R. A., Sudhakar, K., ve Rana, R. S., 2017. *Spirulina* – From growth to nutritional product: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 69: 157-171.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010>
- Sorrenti, V., Castagna, D. A., Fortinguerra, S., Buriani, A., Scapagnini, G., ve Willcox, D. C., 2021. *Spirulina* Microalgae and Brain Health: A Scoping Review of Experimental and Clinical Evidence. *Marine Drugs*, 19: (6) 293. Doi: <https://doi.org/10.3390/md19060293>
- Sönmez, V. Z., Akarsu, C., ve Sivri, N., 2023. Impact of coastal wastewater treatment plants on

- microplastic pollution in surface seawater and ecological risk assessment. *Environmental Pollution*, 318: 120922. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120922>
- Sridharan, S., Kumar, M., Singh, L., Bolan, N. S., ve Saha, M., 2021. Microplastics as an emerging source of particulate air pollution: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 418: 126245. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126245>
- Stock, F., Reifferscheid, G., Brennholt, N., ve Kostianaia, E. (eds), 2022. The handbook of environmental chemistry. Volume 111 Part 1: Plastics in the aquatic environment Current status and challenges / volume editors: Friederike Stock, Georg Reifferscheid, Nicole Brennholt, Evgeniia Kostianaia. Springer, Cham, Switzerland, 496 s.
- Thevarajah, B., Nishshanka, G. K. S. H., Premaratne, M., Nimarshana, P. H. V., Nagarajan, D., Chang, J.-S., ve Ariyadasa, T. U., 2022. Large-scale production of *Spirulina*-based proteins and c-phycocyanin: A biorefinery approach. *Biochemical Engineering Journal*, 185: 108541. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108541>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., ve Swan, S. H., 2009. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364: (1526) 2153-2166. Doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Torzillo, G., Pushparaj, B., Bocci, F., Balloni, W., Materassi, R., ve Florenzano, G., 1986. Production of *Spirulina* biomass in closed photobioreactors. *Biomass*, 11: (1) 61-74. Doi: [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(86\)90021-1](https://doi.org/10.1016/0144-4565(86)90021-1)
- Tredici, M. R. ve Zittelli, G. C., 1998. Efficiency of sunlight utilization: Tubular versus flat photobioreactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 57: (2) 187-197. Doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0290\(19980120\)57:2<187::AID-BIT7>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19980120)57:2<187::AID-BIT7>3.0.CO;2-J)
- Tredici, M. R., 2003. Mass Production of Microalgae: Photobioreactors. Richmond, A. (ed.) *Handbook of Microalgal Culture*. 1. bs, 36. Doi: <https://doi.org/10.1002/9780470995280.ch9>
- Tsoglin, L. N., Gabel, B. V., Fal'kovich, T. N., ve Semenenko, V. E., 1996. Closed photobioreactors for microalgal cultivation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 43: (1) 131-136.
- Udovicki, B., Andjelkovic, M., Cirkovic-Velickovic, T., ve Rajkovic, A., 2022. Microplastics in food: scoping review on health effects, occurrence, and human exposure. *International Journal of Food Contamination*, 9: (1) 7. Doi: <https://doi.org/10.1186/s40550-022-00093-6>
- Ugwu, C. U., Aoyagi, H., ve Uchiyama, H., 2008. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology*, 99: (10) 4021-4028. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.046>
- Ugwu, C. U., Ogbonna, J. C., ve Tanaka, H., 2003. Design of static mixers for inclined tubular photobioreactors. *Journal of Applied Phycology*, 15: 217-223. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1023837400050>
- Ugwu, C. U., Ogbonna, J. C., ve Tanaka, H., 2005. Light/dark cyclic movement of algal culture

- (*Synechocystis aquatilis*) in outdoor inclined tubular photobioreactor equipped with static mixers for efficient production of biomass. *Biotechnology Letters*, 27: (2) 75-78.
Doi: <https://doi.org/10.1007/s10529-004-6931-4>
- Ugwu, J. Ogbonna, H. Tanaka, C., 2002. Improvement of mass transfer characteristics and productivities of inclined tubular photobioreactors by installation of internal static mixers. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58: (5) 600-607.
Doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0940-9>
- USDA, 2023. Seaweed, Spirulina, Dried <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170495/nutrients> [Son erişim tarihi: 18 Ekim 2023]
- Vardaka, E., Kormas, K. A., Katsiapi, M., Genitsaris, S., ve Moustaka-Gouni, M., 2016. Molecular diversity of bacteria in commercially available “*Spirulina*” food supplements. *PeerJ*, 4: e1610.
Doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.1610>
- Vega-Estrada, J., Montes-Horcasitas, M. C., Domínguez-Bocanegra, A. R., ve Cañizares-Villanueva, R. O., 2005. *Haematococcus pluvialis* cultivation in split-cylinder internal-loop airlift photobioreactor under aeration conditions avoiding cell damage. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 68: (1) 31-35. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1863-4>
- Vitali, C., Peters, R. J. B., Janssen, H.-G., Nielen, M. W. F., ve Ruggeri, F. S., 2022. Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages, part II. Methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 157: 116819. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116819>
- Vonshak, A., 1997. *Spirulina Platensis Arthrospira*: Physiology, Cell-Biology And Biotechnology. CRC Press, UK, 227 s.
- Walter, A., Carvalho, J. C. D., Soccol, V. T., Faria, A. B. B. D., Ghiggi, V., ve Soccol, C. R., 2011. Study of phycocyanin production from *Spirulina platensis* under different light spectra. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54: (4) 675-682.
Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000400005>
- Watanabe, Y. ve Saiki, H., 1997. Development of a photobioreactor incorporating *Chlorella sp.* for removal of CO₂ in stack gas. *Energy Conversion and Management*, 38: S499-S503.
Doi: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00317-2](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00317-2)
- Winkler, A., Santo, N., Ortenzi, M. A., Bolzoni, E., Bacchetta, R., ve Tremolada, P., 2019. Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles?. *Water Research*, 166: 115082. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115082>
- World Health Organization, 2019. Microplastics in drinking-water. World Health Organization, Geneva, 101 s.
- Wu, H., Hou, J., ve Wang, X., 2023. A review of microplastic pollution in aquaculture: Sources, effects, removal strategies and prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252: 114567. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114567>
- Xu, Junchen, Cheng, J., Xin, K., Xu, Jinhui, ve Yang, W., 2020. Strengthening flash light effect with

- a pond-tubular hybrid photobioreactor to improve microalgal biomass yield. *Bioresource Technology*, 318: 124079.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124079>
- Yin, C., 2017. Tackling community undernutrition at lake Bogoria, Kenya: The potential of *Spirulina* (*Arthrospira fusiformis*) as a food supplement. *African Journal Of Food, Agriculture, Nutrition And Development*, 17: (01) 11603-11615.
Doi: <https://doi.org/10.18697/ajfand.77.15440>
- Yuan, Z., Nag, R., ve Cummins, E., 2022. Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment - From marine to food systems. *Science of The Total Environment*, 823: 153730. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153730>
- Zarrouk, C., 1966. Contribution à l'étude d'une cyanophycée: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch et Gardner) Geitler. Doctoral Thesis, Université de Paris, French, 83 s.
- Zeng, X., Danquah, M. K., Chen, X. D., ve Lu, Y., 2011. Microalgae bioengineering: From CO₂ fixation to biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: (6) 3252-3260.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.014>
- Zhang, B., Yang, X., Chen, L., Chao, J., Teng, J., ve Wang, Q., 2020. Microplastics in soils: a review of possible sources, analytical methods and ecological impacts. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95: (8) 2052-2068.
Doi: <https://doi.org/10.1002/jctb.6334>
- Zhang, L., Chen, L., Wang, J., Chen, Y., Gao, X., Zhang, Z., ve Liu, T., 2015. Attached cultivation for improving the biomass productivity of *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology*, 181: 136-142. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.025>
- Zhang, W., Sun, S., Du, X., Han, Y., Tang, Y., Zhou, W., Shi, W., ve Liu, G., 2022. Toxic impacts of microplastics and tetrabromobisphenol A on the motility of marine microalgae and potential mechanisms of action. *Gondwana Research*, 108: 158-170.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.08.011>
- Zhang, Y., Gao, T., Kang, S., ve Sillanpää, M., 2019. Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. *Environmental Pollution*, 254: 112953.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.121>
- Ziino, G., Nalbone, L., Giarratana, F., Romano, B., Cincotta, F., ve Panebianco, A., 2021. Microplastics in vacuum packages of frozen and glazed icefish (*Neosalanx spp.*): A freshwater fish intended for human consumption. *Italian Journal of Food Safety*, 10: (9974)
Doi: <https://doi.org/10.4081/ijfs.2021.9974>
- Zimmermann, L., Scheringer, M., Geueke, B., Boucher, J. M., Parkinson, L. V., Groh, K. J., ve Muncke, J., 2022. Implementing the EU Chemicals Strategy for Sustainability: The case of food contact chemicals of concern. *Journal of Hazardous Materials*, 437: 129167.

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129167>

Zittelli, G. C., Biondi, N., Rodolfi, L., ve Tredici, M. R., 2013. Photobioreactors for Mass Production of Microalgae. Richmond, A. ve Hu, Q. (eds) Handbook of Microalgal Culture. 1. bs, 225-266. Doi: <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch13>



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı: TUTAROĞLU Serkan

Eğitim

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoteknoloji Bölümü	Mezun (2024)
Pedagojik Formasyon	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi	Mezun (2015)
STEM Lider Öğretmeni	Bahçeşehir Üniversitesi BAUSTEM	Mezun (2019)
Lisans	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü	Mezun (2010)
Ön Lisans	Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Acil Durum ve Afet Yönetimi Bölümü	Mezun (2022)
Ön Lisans	İstanbul Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Adalet Bölümü	Mezun (2024)
Lise	Seyhan 19 Mayıs Lisesi	Mezun (2000)
Ortaokul	İstiklâl Ortaokulu	Mezun (1997)

Çalışma Tecrübesi

Yıl	İşyeri	Ünvan
2019-Halen	T.C. Adana 15 Noterliği	Noter Kâtibi
2018-2019	Osmaniye Bahçeşehir Koleji	Biyoloji Öğretmeni
2016-Halen	Esiber İlaçlama	Biyosidal Mesul Müdür

Yayınlar

1. Tutaroğlu, S., Uslu, L., ve Gündoğdu, S., 2023. Microplastic contamination in commercially packaged *Spirulina* products. Environmental Science and Pollution Research, 31: (1) 1114-1126. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31130-2>





EKLER



Ek A. Ticari Olarak Satılan ve Farklı Materyallerden Yapılmış (Cam, Lastik, Kâğıt Kaplı Plastik Vb.) Ambalajlar İçerisinde Satılan Piyasadan Toplamış Olduğumuz *Spirulina* Örnekleriyle İlgili Çizelge

NO	MARKA	AMBALAJ TİPİ	GRAMAJ	İÇERİK TİPİ	PAKETLEME YERİ	TARTILAN MİKTAR	NOTLAR
1	1	Kilitli Kraft (Yazmıyor)	50 g	Toz	İzmir	Tüm Paket	
2	2	Aluminyum Kapaklı (Cam Şişe Cam+Metal Kapak)	40,2 g	Tablet/Kapsül	Çanakkale	Tüm Paket	
3	3	Aluminyum Kapaklı Cam Şişe (Cam+Kapak Yazmıyor)	45 g	Tablet/Kapsül	Adana	Tüm Paket	
4	4	Kilitli plastik Ambalaj (Yazmıyor)	100 g	Toz	İzmir	50 g	Nem Önleyici Çıktı
5	5	Plastik Kapaklı Plastik Şişe (Polietilen Teraftalat (PET)+Kapak Yazmıyor)	63 g	Tablet	İzmir	50 g	Pamuk ve Nem Önleyici Çıktı
6	6	Aluminyum Kapaklı Cam Şişe (Cam+Metal Kapak)	80 g	Toz	İzmir	50 g	Nem Önleyici Çıktı
7	7	Plastik Kapaklı Plastik Şişe (Polietilen Teraftalat (PET)+Kapak (pp))	74 g	Tablet	Ankara	50 g	Nem Önleyici Çıktı
8	8	Kilitli Plastik Ambalaj (Yazmıyor)	50 g	Toz	Adana	Tüm Paket	
9	9	Plastik Kapaklı Cam şişe (Cam+Kapak Yazmıyor)	39,6 g	Tablet/Kapsül	İzmir	Tüm Paket	2 Tane Nem Önleyici Çıktı
10	10	Plastik Poşet (Yazmıyor)	50 g	Toz	Kayseri	Tüm Paket	
11	11	Plastik Kapaklı Cam Şişe (Cam+Kapak Yazmıyor)	40 g	Tablet	İzmir	Tüm Paket	Nem Önleyici Çıktı
12	12	Plastik Kapaklı Plastik Şişe (Hdpe)	54 g	Tablet/Kapsül	Denizli	Tüm Paket	
13	13	Kilitli plastik Ambalaj (Yazmıyor)	100 g	Toz	Muğla	50 g	

14	14	Aluminyum Kapaklı Cam Şişe (Cam+Kapak Yazmıyor)	59,4 g	Tablet/Kapsül	Muğla	Tüm Paket	İçinden Pamuk Çıktı
15	15	Çıtcıtlı Kraft (Yazmıyor)	85 g	Toz	İstanbul	50 g	
16	16	Aluminyum Kapaklı Cam Şişe (Cam+Metal Kapak)	100 g	Tablet	İstanbul	50 g	Nem Önleyici Çıktı
17	17	Çıtcıtlı Kraft (Yazmıyor)	100 g	Toz	Konya	50 g	
18	18	Plastik Poşet (Yazmıyor)	50 g	Toz	İstanbul	Tüm Paket	
19	19	Plastik Kapaklı Plastik Şişe (PS(Polistiren))	100 g	Toz	Na	50 g	Ambalajı Polistiren
20	20	Aluminyum Kapaklı Cam Şişe (Cam+Metal Kapak)	44,4 g	Tablet	İstanbul	50 g	Nem Önleyici Çıktı
21	21	Çıtcıtlı Plastik (Yazmıyor)	100 g	Toz	İstanbul	50 g	
22	22	Plastik Kapaklı Plastik Şişe (Polietilen Teraftalat (PET))	30 g	Tablet/Kapsül	İstanbul	Tüm Paket (35 g)	
23	23	Plastik Kapaklı Plastik Şişe (Hdpe)	36 g	Tablet	Bursa	Tüm Paket (36 g)	Nem Önleyici Çıktı
24	24	Aluminyum Kapaklı Cam Şişe (Cam+Metal Kapak)	43,2 g	Tablet/Kapsül	İstanbul	Tüm Paket	
25	25	Aluminyum Kapaklı Cam Şişe (Cam+Metal Kapak)	60 g	Tablet/Kapsül	Amerika	50 g	Nem Önleyici Çıktı
26	26	Plastik Poşet (Yazmıyor)	50 g	Toz	Na	Tüm Paket (50 g)	
27	27	Aluminyum Kapaklı Plastik Şişe (Polietilen Teraftalat (PET))	35 g	Tablet	Barselona/İspanya	Tüm Paket (35 g)	
28	28	Kilitli plastik Ambalaj (Ldpe)	100 g	Toz	İstanbul	50 g	
29	29	Kilitli plastik Ambalaj (Yazmıyor)	100 g	Toz	Sivas	50 g	