

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PANCAR ŞEKERİNDEN ÜRETİLEN RAFİNE BEYAZ
ŞEKERLERDEKİ MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Abdullah CÜVELEK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2025

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PANCAR ŞEKERİNDEN ÜRETİLEN RAFİNE BEYAZ
ŞEKERLERDEKİ MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Abdullah CÜVELEK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Meral YURTSEVER

TEMMUZ 2025

Muhammet Abdullah CÜVELEK tarafından hazırlanan “PANCAR ŞEKERİNDEN ÜRETİLEN RAFİNE BEYAZ ŞEKERLERDEKİ MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ ” adlı tez çalışması 01.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “PANCAR ŞEKERİNDEN ÜRETİLEN RAFİNE BEYAZ ŞEKERLERDEKİ MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

Muhammet Abdullah CÜVELEK





Beni bu günlere getiren, her daim destekçim olan Anne ve Babama itafen



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, herkonuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Meral YURTSEVER'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmalarım boyunca bilgi birikimi ve tecrübesi ile bana her türlü desteği esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ulaş YURTSEVR'e ve çalışma arkadaşlarım Enes YÜKSEL'e ve Ahsen ÖZERE İLERİ'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, 118Y515 numaralı proje ile TUBİTAK tarafından desteklenmiştir. Çalışmanın gerçekleşmesinde katkı sağlayan TUBİTAK'a şükranlarımı sunarım.

Muhammet Abdullah CÜVELEK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER.....	xv
TABLO LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ.....	7
2.1. Mikroplastikler	7
2.1.1. Plastiklerin özellikleri	7
2.2. Gıdalarda Mikroplastikler	10
3. MİKROPLASTİKLERİN İNCELENMESİ	15
3.1. Mikroplastik Numunesi Örneklem Yöntemleri.....	15
3.2. Numune Hazırlama ve Ayırmada Ön İşlemler.....	15
3.3. Mikroplastiklerin İncelenmesi ve Tanımlanması	15
3.4. Mikroplastik Analizinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	17
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
4.1. Şeker Örnekleri	19
4.2. Ön İşlemler ve Mikroplastik Ekstraksiyonu	20
4.3. Kalite Güvencesi Ve Kalite Kontrolü.....	20
4.4. Nil Kırmızısı Boyama-Floresan Analizi ve Mikroskopik İncelemeler	21
4.5. Kimyasal Tanımlama.....	22
4.6. Mikroplastik Kontaminasyon Faktörü (MPCF) Ve Kirlilik Yüğü İndeksi (MPLI).....	22
4.7. Tahmini Günlük Alım Miktarı (EDI)	23
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	25
5.1. MP Bolluğu	25
5.2. MP Nitelikleri.....	26
5.2.1. Şekil ve boyut.....	26
5.2.2. Renk.....	31
5.2.3. Polimer.....	32
5.3. Şekerlerdeki MP Kaynakları.....	32
5.3.1. Toprakta ürün - üründen şeker.....	33
5.3.2. Üretim sürecinden şeker.....	33
5.3.3. Ortam havasından şeker	33
5.3.4. Ambalajdan şeker	34
5.4. MP kontaminasyon faktörü (MPCF) ve kirlilik yüğü endeksi (MPLI)	36
5.5. MP Emisyonları Ve İnsan Maruziyeti	37

5.6. Tartışma.....	38
6. SONUÇ.....	43
KAYNAKÇA.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	51



KISALTMALAR

ATR-FT-IR	: Attenuated total reflection/ fourier dönüşümlü infrared spektrofotometre
BPA	: Bisfenol A
CaCL₂	: Kalsiyum Klorür
CaOH₂	: Kalsiyum Hidroksit
Cd	: Kadminyum
Cu	: Bakır
DSC	: Diferansiyel tarama kalorimetri
EDI	: Şeker için tahmini günlük MP alımı
Fe⁺	: Demir
GI	: Gastrointestinal
H₂O₂	: Hidrojen Peroksit
H₂PO₄	: Sodyum di Hidrojen Fosfat
H₂SO₄	: Sülfirik Asit
HCl	: Hidrolik Asit
HClO₄	: Perklorik Asit
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HNO₃	: Nitrik Asit
IR	: InfraRed
KOH	: Potasyum Hidroksit
KOK	: Kalıcı Organik Kirleticiler
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
MF	: Mikrofiber
MP	: Mikroplastik
MPCF	: MP Kirlenme Faktörü
MPLI	: Kirlilik Yüğü Endeksi
NaClO	: Sodyum Hipoklorit
NaCL	: Sodyum Klorür
NaI	: Sodyum İyodür
NaOH	: Sodyum Hidroksit

PA	: Poliamid
Pb	: Kurşun
PE	: Polietilen
PES	: Polyester
PET	: Polietilen Tereftalat
PLA	: Polilaktik Asit
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PUR	: Polyurethane
PVC	: Polivinil Klorür
PY-CG-MS	: Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometri
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TED-GC-MS	: Termal Ekstraksiyon - Desorpsiyon-Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
TGA	: Termogravimetrik analiz
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ZnCL₂	: Çinko Klorür

SİMGELER

Gr	: Gram
Kg	: Kiloğram
mm	: Milimetre
Mt	: Milyon Ton
°C	: Santigrat
µm	: Mikrometre





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. MP inceleme tekniklerinin karşılaştırılması.	16
Tablo 4.1. Şeker ve ambalaj türleri	19
Tablo 5.1. Sofra şekerindeki mikroplastik kaynaklarının ve emisyonlarının önceliklendirilmesi (Yurtsever M. &, 2024).....	35
Tablo 5.2. Şeker için tahmini günlük MP alımı (EDI) (MPs/kg/bw/gün) (a), Türkiye'de mağazalardan satın alınan şekerlerin yıllık MPs emisyonları (aMPe) (trilyon) (b) (Yurtsever M. &, 2024).	37



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Şeker yapısı.....	3
Şekil 2.1. Plastik kodu ve kullanımı (Yurtsever M. , 2017)	8
Şekil 2.2. Mikroplastiklere örnek görüntüler	10
Şekil 5.1. Mağazadan satın alınan şekerlerde (S1-S13 kristal şeker, S14-S16 küp şeker ve S17-S19 pudra şeker) MP kontaminasyonu (Yurtsever M. &, 2024)..	25
Şekil 5.2. MP'lerin şekil ve boyuta göre dağılımı (%), A toplam, B parçalar, C filmler, D lifler (Değerlerin ayrıntıları B, C ve D grafiklerinin en üstünde sunulmaktadır) (Yurtsever M. &, 2024).	27
Şekil 5.3. Şekerlerdeki tanımlanmış MP'lerin farklı MF şekillerinin temsili mikrografları, siyah-beyaz ölçek çubuğu (200 µm) tüm optik mikroskop görüntülerine uygulanır (sol), beyaz ölçek çubuğu (100 µm) tüm floresan mikroskop görüntülerine uygulanır (sağ) (Yurtsever M. &, 2024).....	29
Şekil 5.4. Şekerlerdeki MP boyutları (%) (a) ve MP renkleri (%) (b) (Yurtsever M. &, 2024).	31
Şekil 5.5. MP kirlenme faktörü (MPCF) ve kirlilik yükü endeksi (MPLI) (Yurtsever M. &, 2024).....	36



PANCAR ŞEKERİNDEN ÜRETİLEN RAFİNE BEYAZ ŞEKERLERDEKİ MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde global ölçekte plastik kirliliği o kadar devasa boyutlara ulaşmıştır ki artık beslenme yoluyla plastik parçacıklarına maruziyet kaçınılmaz hale gelmiştir. Küresel plastik üretiminin son yıllarda hızla artması ve 2050'ye yönelik yükseliş projeksiyonları, gıdaların MP ile kirlenmesinin sistematik bir halk sağlığı ve çevre mühendisliği problemi olarak ele alınmasını gerekliliğini gözler önüne sermektedir. Yapılan birçok çalışmada gıdadaki mikroplastik kirliliğinin çoğunlukla sucul ürünlerden kaynaklandığı bildirilmektedir. Ancak karasal ve tarımsal ürünlerden kaynaklı mikroplastik kirliliği çalışmaları oldukça azdır. Bu çalışmada, gıda kaynaklı mikroplastik (MP) maruziyetinin su ürünleri dışındaki karasal/ tarımsal matrislerde de önemli olabileceği varsayımından hareketle, şeker pancarından üretilen rafine beyaz şekerlerde MP kirliliği incelenmiştir. Literatürde sucul kökenli gıdalarda MP araştırmaları ağırlıklı yapılmış olup, karasal kaynaklı gıda ürünlerdeki veriler sınırlıdır. Ayrıca pancar şekeri özelinde MP araştırması bulunmamaktadır. Tez, rafine şekerlerin MP ile kirlenme durumunu, olası kaynaklarını ve tüketici maruziyetindeki katkısını ortaya koymaktadır.

Çalışmalarda toplam 19 ürün (13 kristal, 3 küp, 3 pudra) incelenmiş ve tüm örneklerde MP kirliliğine rastlanmıştır. Numunelerde öncelikle optik mikroskop altında şekil–boyut–renk–sayı incelemesi yapılmış; ardından lipofilik Nil Kırmızısı (NR) boyama–floresan tekniği uygulanmış, değerlendirme ImageJ/Fiji ile yapılmıştır. Analizlerde üç farklı floresan küp denenmiş ve mavi ışık filtresi ile NR boyama–floresan incelemenin ~1 µm'ye kadar MP'ler için uygun olduğu teyit edilmiştir. ATR-FTIR ile filtrelerin yaklaşık %5–10'u polimer tanımlaması için ölçülmüş; Bruker Lumos (MCT dedektör, 600–4000 cm⁻¹, 4 cm⁻¹, 64 tarama) kullanılmıştır.

MP türleri, parça–film–lif olarak sınıflandırılmış; tüm örnekler genelinde dağılım ~%75 parça, %21 film, %4 lif şeklindedir. Film ve parça tiplerinin %95'ten fazlası <50 µm, liflerin ise ~%75'i <50 µm boyut aralığındadır; nadiren >5 mm mikro–lifler de görülmüştür. Renk dağılımında siyah (%29,2) ilk sırada, ardından mavi–gri (%25), beyaz–şeffaf (%15,2), kırmızı (%15), sarı–turuncu (%14,6) ve yeşil (%0,8) gelmektedir; boya/kaplama benzeri döküntüler birçok örnekte gözlenmiştir. İncelenen kristal şekerlerde minimum 11.724±6.365 ve maksimum 53.464±9.622 MP/100 g bulunmuştur, genel ortalama ise yaklaşık ~29.110 MP/100 g'dır. Üç ürün tipinin tamamında MP saptanmış ve yalnızca tek bir markanın pudra şekerinde ~1.000 MP/100 g düzeyinde nispeten düşük bir değer gözlenmiştir. Karton ambalajda satılan küp şekerlerde dahi yoğun MP bulunması, kirlenmenin yalnızca ambalajdan değil, üretim süreçlerinden de kaynaklandığına işaret etmektedir.

Maruziyet hesaplarında, WHO'nun günlük 50 g şeker önerisi esas alınmıştır. Çocuklar için vücut ağırlığı 16 kg, yetişkinler için 70 kg kabul edilmiştir. Hesaplanan tahmini günlük alım (EDI) değerlerine göre; çocuklarda kristal/küp/pudra için toplam EDI sırasıyla 857/1399/647 adet kişi⁻¹ gün⁻¹, yetişkinlerde ise 196/320/148 adet kişi⁻¹ gün⁻¹

düzeyindedir. Türkiye nüfus verileriyle yıllık mikroplastik emisyonu (aMPe) tahminleri; kristal/küp/pudra şeker için 2,24/3,65/1,69 trilyon adet yıl⁻¹ düzeyindedir. Bulgular, şekerin üretim–ambalaj–depolama–dağıtım evrelerinin tamamında MP transferine açık temaslar bulunabileceğine ve numunelerde özellikle <50 µm fraksiyonun baskın olduğunu göstermektedir. Küp şekerin karton ambalaja rağmen yüksek MP içermesi, proses içi tozuma/abrasif kontak, hava kaynaklı çökelme, bant–elek–kıırma–öğütme gibi operasyonel birimlerden gelebilecek parçacık/film kökenli girişleri işaret etmektedir.

Şeker üretiminde MP kontaminasyonunu azaltmak veya önlemek için, şeker fabrikalarında proses havasının HEPA/ULPA filtrasyonu, kapalı ekipman ve düşük aşınmalı ve (plastik olmayan) malzeme kullanımı, MP azaltıcı iyileştirmelerin doğrulanması için Nil Kırmızı–floresan + FTIR tabanlı rutin izleme protokollerinin standardizasyonunun sağlanması iyi olacaktır.



INVESTIGATION OF MICROPLASTIC CONTAMINATION IN REFINED WHITE SUGAR PRODUCED FROM BEET SUGAR

SUMMARY

Plastic pollution has emerged as one of the most pressing environmental and public health challenges of the 21st century. The exponential increase in plastic production since the mid-20th century has resulted in the widespread dispersion of plastic residues across virtually every environmental compartment, from terrestrial soils and rivers to deep-ocean sediments and even the atmosphere. Consequently, dietary exposure to plastic particles—particularly microplastics (MPs, <5 mm)—has become unavoidable. While much of the scientific literature has concentrated on MP contamination in aquatic products, mounting evidence indicates that terrestrial and agricultural food sources are also subject to contamination, albeit with far fewer studies. Against this backdrop, the present thesis addresses the overlooked issue of MP contamination in refined beet sugar, a globally consumed agricultural product, and assesses both contamination levels and potential sources of exposure.

The background literature highlights that MPs originate from multiple sources, including primary microplastics such as industrial pellets, cosmetic microbeads, or textile fibers, and secondary microplastics derived from the degradation of larger plastics. These particles infiltrate soils, surface waters, irrigation systems, and food chains, accumulating in diverse food matrices. Studies to date have shown MPs in products such as bottled water, salt, beer, honey, tea, and seafood, but systematic investigations on processed agricultural staples remain scarce. Sugar, despite being one of the most widely consumed commodities worldwide, has received no dedicated MP contamination research prior to this study. Given that refined sugar undergoes multiple processing steps—washing, slicing, diffusion, clarification, crystallization, drying, packaging—it is highly susceptible to contamination from raw materials, equipment, air, and packaging. Thus, the current study fills a critical gap by documenting MP presence in sugars produced from sugar beet and by evaluating their contribution to human exposure.

The methodological approach involved analyzing nineteen commercial sugar products purchased from supermarkets in Sakarya, Türkiye. The samples represented three categories: thirteen granulated, three cube, and three powdered sugars. Each 100 g sample was dissolved in ultrapure water, treated with hydrogen peroxide to remove organic matter, and filtered through 0.45 µm glass fiber filters. Procedural blanks and recovery experiments were included to ensure analytical accuracy. Microscopic examination was conducted under optical and fluorescence microscopes, with Nile Red (NR) staining applied to enhance MP visualization. The NR–blue fluorescence filter combination proved suitable for detecting MPs down to ~1 µm. Morphological analysis allowed classification of MPs into fragments, films, and fibers, while size and color distributions were recorded. For polymer identification, a subset (~5–10%) of particles was subjected to ATR-FTIR spectroscopy, using a Bruker Lumos system with MCT detector (600–4000 cm⁻¹, 64 scans, 4 cm⁻¹ resolution).

Results revealed pervasive MP contamination across all samples. In granulated sugars, MP counts ranged from $11,724 \pm 6,365$ to $53,464 \pm 9,622$ per 100 g, with an overall mean of $\sim 29,110$ MPs/100 g. Cube sugars, despite being sold in cardboard packaging, exhibited unexpectedly high MP levels, strongly suggesting process-internal contamination rather than packaging as the dominant source. Powdered sugars showed variable results, with one brand presenting comparatively lower contamination ($\sim 1,000$ MPs/100 g), though others contained levels similar to granulated products. Across the dataset, MPs were predominantly fragments (75%), followed by films (21%) and fibers (4%). Size analysis indicated that $>95\%$ of fragments and films and $\sim 75\%$ of fibers were smaller than $50\text{ }\mu\text{m}$, confirming that ingestion would likely escape gastrointestinal filtration and pose a potential health concern. Rarely, larger fibers ($>5\text{ mm}$) were also observed. Color analysis revealed a predominance of black particles (29.2%), followed by blue-gray (25%), white-transparent (15.2%), red (15%), yellow-orange (14.6%), and green (0.8%). Paint-like flakes and coating-derived residues were common, reflecting the likelihood of multiple contamination pathways. Polymer analysis confirmed the presence of polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), and polyurethane (TPU), among others, pointing to diverse contamination sources such as processing machinery, packaging films, and airborne dust.

Exposure assessment was conducted by adopting the WHO's recommendation of 50 g daily sugar intake. Assuming body weights of 16 kg for children and 70 kg for adults, estimated daily intakes (EDI) were calculated. Children consuming granulated, cube, and powdered sugars would ingest ~ 857 , 1,399, and 647 MPs per person per day, respectively. Adults would ingest ~ 196 , 320, and 148 MPs per person per day, respectively. At the national level, based on Türkiye's 2022 population, annual microplastic emissions (aMPE) through sugar consumption were estimated at 2.24 trillion (granulated), 3.65 trillion (cube), and 1.69 trillion (powdered) MPs. These figures underline sugar's role as a significant contributor to dietary microplastic exposure, particularly in a population with high sugar consumption levels.

The discussion of contamination sources highlights four primary pathways: uptake from soil into sugar beet roots; process-based inputs during washing, slicing, evaporation, and crystallization; airborne deposition during processing; and packaging transfer. Among these, the study emphasizes the production process as the most critical source, given that cube sugars packaged in cardboard still exhibited heavy contamination. Equipment abrasion, conveyor belts, sieving, and grinding were identified as likely contributors. The dominance of fragment and film morphologies also points to mechanical abrasion and surface wear rather than fiber-based inputs alone. Airborne deposition remains a secondary but non-negligible source, as previous research has shown MPs falling onto foods from surrounding environments. Packaging contributed, but its role was relatively minor compared to process-based sources, as supported by polymer diversity exceeding that of packaging materials alone.

The broader implications of these findings are significant. They suggest that foodborne MP exposure is not confined to aquatic products but extends to widely consumed terrestrial and processed agricultural foods such as sugar. The detection of extremely high particle abundances, with the majority in the $<50\text{ }\mu\text{m}$ range, raises concerns about human ingestion, systemic absorption, and possible toxicological effects. While the toxicokinetics of MPs remain underexplored, evidence indicates potential for oxidative stress, inflammation, and co-transport of adsorbed pollutants such as heavy metals and persistent organic compounds. Moreover, the results stress that food safety

frameworks must expand to consider MPs as contaminants requiring monitoring and mitigation.

In conclusion, this thesis demonstrates for the first time that refined beet sugar is substantially contaminated with microplastics. The study not only quantifies contamination levels but also identifies potential sources, evaluates human exposure, and provides recommendations for mitigation. Suggested interventions include implementing HEPA/ULPA air filtration, enclosing critical processing stages, substituting non-plastic low-abrasion materials in equipment, and developing standardized MP monitoring protocols combining Nile Red fluorescence and FTIR spectroscopy. Given the ubiquity of sugar consumption, these measures are urgent to reduce consumer exposure. Ultimately, the research underscores that microplastic contamination in terrestrial and processed foods constitutes an emerging frontier in food safety and environmental health. Future studies should extend this work by exploring toxicological effects of sugarborne MPs, assessing contamination across other agricultural products, and evaluating mitigation technologies within the food industry





1. GİRİŞ

Global plastik üretimi 2023 yılı itibariyle 413,8 milyon tonu bulmuştur. Rakamlara bakıldığında plastik üretiminin yalnızca yetmiş yılda bile 1950'de üretilen miktarın iki yüz katına ulaştığını anlaşılmaktadır. Yıllık plastik üretiminin 2050 yılına kadar 2020 seviyesinin iki katına çıkması tahmin edilmektedir. Bazı araştırmalar, 2020 yılında COVID-19 salgınının tek başına yaklaşık 698 milyon ton üretimle plastik üretiminde önemli bir artış olduğunu göstermektedir (Shams, 2021). Üretimle orantılı bir şekilde plastik kirliliği, global ölçekte devasa boyutlara ulaşmıştır. Bu yüzden de gıdalarda plastiklere ve plastik parçacıklarına rastlamak, mikro-nano plastiklere diyet yoluyla maruz kalmamak mümkün değildir (Yang, 2021). Aşırı üretilen ve kullanılan plastiklerin önemli bir kısmı çeşitli çevre bölmelerinde atık olarak birikmekte ve geleceğe toksik bir miras bırakılmaktadır. Bu miras, gelecek için ciddi bir toksisite borcu oluşturmaktadır. Gelecekteki toksisite borcu, gelecekteki plastik kirliliğini değil, çevrede halihazırda mevcut olan plastik kirliliğinin mevcut durumunu ifade eder ve kirliliğin ve etkilerinin kümülatif olması nedeniyle bu ciddi bir sorun oluşturmaktadır (Rillig, 2021).

Mikroplastik (MP) terimi, polimer parçacıklarının boyutlarının $0,1 \mu\text{m} \leq x \leq 5 \text{ mm}$ veya uzunluğunun $0,3 \mu\text{m} \leq x \leq 15 \text{ mm}$ ve uzunluk/çap oranının >3 olduğu anlamında kullanılır. Günümüzde MP'ler tarım topraklarında, tüm su kaynaklarında ve derin okyanus tortularında bulunmaktadır ve bu kirliliğin izleri kutuplar ve hatta uzay dahil olmak üzere insanlığın erişebildiği ücra yerlerde de bulunmaktadır (Napper, 2023). Günümüzde ne yazık ki, bazı çevresel bölmeler neredeyse çeşitli polimerlerin yüksek konsantrasyonlarının bir kokteyli haline gelmiştir (Lwanga, 2023). MP'ler toprak ekosistemleri ve insan besin zincirleri üzerinde potansiyel riskler oluşturmaktadır (Yang, 2021). Toprakları kirleten MP'lerin başlıca kaynakları arasında belediye atıkları, diğer kontrolsüz atıklar, kirli su kaynakları, seller, araç lastiklerinin aşınması, atmosferik birikim, atık su sulama ve biyolojik katı madde uygulamaları bulunmaktadır (Wang, 2022; Okoffo, 2021). MP'ler tarımsal toprağa çok sayıda çevresel ve tarımsal uygulama yoluyla girmektedir. Bu uygulamalara çöplükler, kanalizasyon çamuru kompostunun araziye uygulanması, atık su sulama, geri

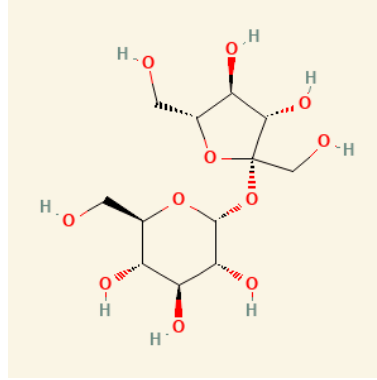
kazanılmış su, tarımsal sulama sistemi, kompost ve organik gübre, diğer toprak iyileştiriciler, tarımsal malçlama filmlerinin kalıntıları, sera filmleri ve gübre torbaları vb. birçok yolla girmektedir.

Önceki çalışmalar özellikle su ürünlerine (biyotik-abiyotik) ve bazı su ürünlerinin gastrointestinal (GI) sistemindeki plastik kirliliğine odaklanmış bulunmakla beraber, son zamanlarda tarımsal veya endüstriyel gıda ürünlerinde yüksek MP kirliliği problemi de literatürde yer almaya başlamıştır (Yurtsever M. , 2021; Karami A. G., 2018), şişelenmiş su, bira, çay, süt, alkolsüz içecekler, enerji içecekleri, sofraya tuzu, sirke, şeker, bal, sebzeler, beyveler, süt tozu ve pirinç gibi dahil olmak üzere çeşitli içecek ve yiyeceklerde MP kontaminasyonu görülmüş ve rapor edilmiştir. Ancak gıdalarda MP kontaminasyonu hakkında hala birçok bilinmeyen mevcuttur ve MP maruziyet seviyelerini belirlemek için ayrıntılı gıda bazlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Gıdalardaki plastik kirliliği, temiz tarım ve üretim için tarladan sofraya tüm süreçlerin dikkatlice ele alınması ve tüm sürecin titizlikle incelenmesi önem arz etmektedir. Tarımsal gıdalardaki MP kirliliği, kimyasalların bitkiye taşınmasıyla ilişkili olabilecek polimer parçacıklarının ve birçok başka toksik kimyasalın varlığının bir indikatörüdür (Dong, 2021). Topraktaki MP'lerin bitki tarafından emilimi üzerine yapılan çalışmalar, MP'lerin ağır metaller, organik bileşikler ve diğer iyonlarla birlikte eklenmesinin bitki büyümesi için sinerjik bir toksisite oluşturduğunu göstermiştir (Xu, 2023; Huang F. H., 2023; Iqbal, 2023).

Colzi ve arkadaşları 40–50 µm boyutlarında polietilen (PE=0,94 g.cm⁻³), polipropilen (PP=0,9 g.cm⁻³), polietilen tereftalat (PET=1,68 g.cm⁻³) ve polivinil klorür (PVC=1,4 g.cm⁻³) kullanarak, %0,02-%0,2 MP/kg toprak çevresel olarak gerçekçi konsantrasyonlarda cucurbitaceae (Cucurbita pepo L.) bitkileri üzerinde çalışmalar yürütmüştür (Colzi, 2022). Wu ve arkadaşları PS MP'leri (135,9–530 µm) içeren pirinç (Oryza sativa L.) bitkisi üzerinde incelemeler gerçekleştirmiş ve bitki üzerinde çevresel olarak yüksek-düşük MP konsantrasyonlarının (%0,01-%0,5) etkilerini tespit etmiş (Wu, 2022). Bu çalışmalar MP'lere maruz kalmanın, bitkilerde C vitamini, çözünabilir şekerler ve çözünabilir protein gibi organik ve elementel maddelerin ve çözünabilir moleküllerin konsantrasyonlarını azalttığını ve bunun da bitki biyokütlesinde azalmaya yol açabileceği tespit edilmiştir.

Şeker (sakkaroz, $C_{12}H_{22}O_{11}$), her meyve ve sebzede bulunan, tatlı bir tat üreten doğal olarak oluşan bir karbonhidrattır . Sakkaroz (beta-D-apiofuranosil-(1->6)-D-glikoz, IUPAC), glikoz ve fruktozdan oluşan bir disakkarittir (Pubcehem, 2023).



Şekil 1.1. Şeker yapısı

Genellikle "sofra şekeri" olarak bilinir, ancak sebzelerde, meyvelerde ve kuruyemişlerde doğal olarak bulunabilir. Bununla birlikte, bir rafinasyon süreci yoluyla şeker pancarından (*Beta vulgaris*) ve şeker kamışından (*Saccharum spp.*) ticari olarak da üretilir. 2022/2023 yıllarında küresel ortalama şeker üretimi yaklaşık 181912 milyon tona ulaşmıştır (isosuger, 2022). Şeker dünya çapında 120'den fazla ülkede üretilmekte olup, en büyük üretici Brezilya'dır, bunu Hindistan, Avrupa Birliği ve Tayland takip etmektedir (Tomaszewska, 2018). Avrupa Birliği, toplam miktarın yaklaşık %50'si ile dünyanın önde gelen pancar şekeri üreticisidir. Ancak pancar şekeri dünya şeker üretiminin sadece %20'sini temsil ederken, diğer %80'i şeker kamışından üretilmektedir (EC, 2022). Türkiye şeker pancarı üretiminde 7. sırada yer almaktadır. Türkiye'de 2022/23 şeker pancarı üretiminin bir önceki yıla göre 2,0 milyon ton artarak 21,5 milyon ton (Mt) olması, pancar şekeri üretiminin ise 3,1 milyon tona kadar çıkacağı tahmin edilmektedir (FAS-USDA, 2023).

Şeker üretiminde kullanılan şeker pancarının içerdiği şekere bağlı olarak, yaklaşık 8 kg pancardan 1 kg beyaz kristal şeker elde edilir. Şeker, temel insan ihtiyaçlarının yanı sıra bir enerji kaynağıdır ve ana ticaret metasıdır ve çoğunlukla hammadde olarak baston ve pancar ile katı sakkaroz kristalleri veya kristal şeker şeklinde ticareti gerçekleştirilir. Şeker üretim süreci çok karmaşıktır çünkü önemli zaman gerektiren çeşitli aşamalardan geçmesi gerekir (Indriyani, 2016).

Şeker üretimi, iki ana aşamada gerçekleşir. Bu ana aşamalar, tesislerin ham şekerin (turbinado, doğal, esmer) işlenmesi ve ham şekerden rafine şekerin elde edilmesidir.

İşlemede, pancarın kesildikten sonra geldiği kısım 70–72 °C'ye (optimum sıcaklık) ısıtılır, pancarın hücreleri denatüre edilir ve şeker difüzyonla serbest bırakılır; böylece ham meyve suyu ve pancar posası birbirinden ayrılır. Ekstraksiyon için ısılatma ve ayırma aşaması olarak yapılan difüzyon aşamasında, pH 5,8'in altına düşmemelidir. Arıtma işlemlerinde, birincil ve ikincil kireçleme ve karbonatlama işlemleri gerçekleştirilir. Kireçlemenin amacı, ham meyve suyundaki şeker olmayan maddeleri kademeli olarak çöktürmek, meyve suyundaki invert şekeri parçalamak ve bakteriyel aktiviteyi durdurmaktır (Dolgoplova, 2021). İşlem pH 11–12 civarında ve 65–88 °C aralıklarında gerçekleştirilir. Karbonatlaşma aşamalarında sıcaklık 96 °C civarındadır (Turkseker, 2022). Üretimde karmaşık prosesler, yüksek sıcaklıklar ve çeşitli kimyasallar söz konusudur.

Deniz ortamlarındaki MP'ler birçok çalışmada araştırılmış ve deniz ürünlerindeki MP kirliliğinin çoğunlukla biyotik ve abiyotik su ürünlerinde (balık, midye, karides, tuz) incelendiği görülmektedir (Auta, 2017; Huang D. C., 2022). Ancak, karasal ve tarımsal gıda ürünlerindeki MP kirliliği üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, gıda arz güvenliği ve farklı gıda matrislerine uygulanması açısından tarımsal kaynaklardan elde edilen ürünlerin MP kontaminasyonunun değerlendirilmesi gerekli görünmektedir. Ayrıca, fabrikalarda birçok işleme aşamasından geçen ve rafine şeker gibi temel bir gıda haline gelen bir tarımsal ürün olan pancar şekerine özgü MP kirliliği araştırması bulunmamaktadır.

Tüm bu nedenlerden dolayı bu çalışmada, yüksek tüketime sahip tarımsal kökenli endüstriyel bir gıda olan şekerdeki MP kontaminasyonu araştırılmış, özellikleri ortaya konulmuş ve ilgili günlük alım konsantrasyonu ile risk analizi değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmalarda ticari olarak marketlerde satılan farklı tiplerde (kristal, küp ve toz) 19 adet marketten satın alınan şeker (pancar) analiz edilmiştir. Peroksit muamelesi ve filtrasyon işlemlerinden sonra filtre üzerine alınan örneklerde optik mikroskop, Nil kırmızısı boyama-floresan mikroskobu, SEM ve ATR-FT-IR analizleri yapılmıştır. Gıda güvenliği ve sağlığında MP'lerin potansiyel risklerini ve etkilerini ortaya koymak için gerçek maruz kalma verilerine ihtiyaç duyulurken, bu bilgiler çoğu gıda için hala sınırlıdır. Tarımsal bir ürün olmasının yanı sıra birçok endüstriyel süreçte işlenerek üretilen sofr şeker gibi gıdalar, işleme ve paketleme aşamalarında MP kontaminasyonuna duyarlıdır. Bu çalışma, tarımsal-endüstriyel ürünlerdeki MP kontaminasyonunun kaynaklarına dikkat çekmeyi ve sofr şekerine özgü MP

araştırmaları yoluyla şeker tüketime yoluyla maruz kalma riskini ortaya koymayı amaçlamaktadır.





2. MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ

2.1. Mikroplastikler

Son 70 yılda plastik tüketimi global ölçekte katlanarak artmıştır. 2050 yılına kadar dünya genelinde yaklaşık 33 milyar ton plastiğin daha ekleneceği öngörülmektedir. Plastik malzemeler; hafiflik, esneklik, dayanıklılık, ekonomik oluşu ve kolay şekillendirilebilme gibi pek çok avantaj sundukları için günlük yaşamın hemen her alanında yer bulmuştur (Yurtsever M. , 2015). Mutfak araç gereçlerinden otomotiv sektörüne, ambalajlamadan beyaz eşya ve inşaat, oyuncaktan makineye, halıdan bahçe ekipmanlarına ve giydiğimiz tekstil ürünlerine kadar çok geniş bir yelpazede; tek ya da çok kullanımlık, yumuşak ya da sert, kısa ömürlü ya da dayanıklı türlerde plastikler yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1.1. Plastiklerin özellikleri

Plastiklerin başlıca özellikleri aşağıda maddeler hâlinde sıralanmıştır. Bu özellikler, onları hem günlük yaşamda hem de endüstride yaygın olarak tercih edilen malzemeler hâline getirmektedir:

1. Hafiflik: Plastik malzemeler, düşük yoğunlukları sayesinde metaller ve seramiklere göre çok daha hafiftir.
2. Yüksek dayanıklılık: Kimyasal maddelere, nem ve korozyona karşı dirençlidirler; bu nedenle uzun ömürlüdürler.
3. Kolay işlenebilirlik: Kalıplama, ekstrüzyon, termoform gibi yöntemlerle şekillendirmesi kolaydır.
4. Yalıtkanlık: Elektrik ve ısı iletkenliği düşüktür; bu nedenle yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar.
5. Esneklik ve elastikiyet: Bazı plastikler elastiktir; şekil verilebilir ve tekrar eski hâline dönebilir.
6. Renklenebilirlik: Kolayca renklendirilebilirler ve bu renkler solmaya karşı dayanıklıdır.
7. Şeffaflık/Opaiklik: Hem şeffaf (örneğin PET, PMMA) hem de opak (örneğin PE, PP) türleri mevcuttur.
8. Su geçirmezlik: Plastikler genellikle suyu geçirmez; bu nedenle ambalaj sektöründe kullanılırlar.
9. Ekonomiklik: Üretim maliyetleri düşüktür ve büyük ölçekte seri üretime uygundur.
10. Farklı fiziksel özelliklerde üretim: Sert, yumuşak, esnek, kırılğan veya darbeye dayanıklı türlerde üretilebilirler.

11. Termoplastik ve termoset özellik: Isıtıldığında şekil alabilen termoplastikler ve bir kez şekillendikten sonra sabit kalan termoset plastikler mevcuttur.
12. Kimyasal olarak kararlı: Çoğu plastik, asitler, bazlar ve tuz çözeltilerine karşı dayanıklıdır.
13. Yavaş biyolojik bozunma: Doğada kolayca çözünmezler, bu da onları çevresel kirliliğe katkıda bulunan başlıca maddelerden biri yapar (Yurtsever M. , 2017).

Plastik Kodu, Adı	Kullanımı
 PET, PETE (Polietilen tereftalat) 1.37-1.45 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Su şişeleri, meşrubat şişeleri
 PE-HD, HDPE (Polietilen-yüksek yoğunluklu) 0.94 – 0.96 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ve şampuan şişeleri ve süt şişeleri
 PVC (Polivinil klorür) 1.16-1.58 g.cm ⁻³	Boru, profil vb. imalatı, plastik film, şişeler, bardaklar
 PE-LD, LDPE (Polietilen-düşük yoğunluklu) 0.91 – 0.93 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Poşetler, şişeler
 PP (Polipropilen) 0.83-0.90 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Otomobil yan sanayinde, bahçe mobil-yalarında
 PS (Polistiren) 0.96–1.05 g.cm ⁻³	Paketleme, elektronik ve beyaz eşya, izolasyon
 Diğer Çeşitli plastikler veya karışımları (Polikarbonat, Akrilik, vb.)	Bu ürünler BPA içerebilir. Kapaklar, tıbbi saklama kapları, su damacaneleri, bardak, çatal, mutfak gereçleri, otomotiv vs.
 81 CPAP	Kompozit (Kağıt ve karton+ plastik)
 82 CPAP	Kompozit (Kağıt ve elyaf levha+Plastik+Aluminyum)
 84 CPAP	Kompozit (Kağıt ve karton+Plastik)
 85 CPAP	Kompozit (Kağıt ve elyaf levha+Plastik+Aluminyum+ Kalay)
 90 C/LDPE	Kompozit (LDPE plastik+ Aluminyum)

Şekil 2.1. Plastik kodu ve kullanımı (Yurtsever M. , 2017)

Mikroplastikler (MP'ler), boyutu genellikle 5 mm' den küçük olan sentetik polimer parçacıklarıdır ve çevresel ortamlarda giderek artan bir kirlletici grubu olarak kabul edilmektedir. İlk kez 2004 yılında Thompson ve arkadaşları tarafından bilimsel olarak tanımlanan mikroplastikler, günümüzde sucul ekosistemlerden topraklara, havadan gıda maddelerine kadar geniş bir spektrumda yayılım göstermektedir. Yapısal olarak polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC) ve polietilen tereftalat (PET) gibi yaygın polimerlerden oluşurlar ve fiziksel olarak lif, parça, granül, film veya köpük formlarında bulunabilirler (Murat Arı, 2021).

Mikroplastikler kaynaklarına göre iki temel gruba ayrılır: birincil ve ikincil mikroplastikler (Yurtsever M. , 2017). Birincil mikroplastikler, üretim aşamasında zaten küçük boyutta üretilen plastiklerdir. Bu gruba endüstride kullanılan plastik

mikroboncuklar, kozmetik ve temizlik ürünlerindeki aşındırıcı mikro tanecikler, tekstil elyafları ve plastik peletler dahildir. İkincil mikroplastikler ise büyük boyuttaki plastik materyallerin fiziksel, kimyasal veya biyolojik yollarla parçalanması sonucu oluşur. Bu parçalanma; UV ışınlarına maruz kalma (fotooksidasyon), mekanik aşınma, hidrotermal stres ve mikrobiyal aktivite gibi çevresel etkenlerle gerçekleşebilir. Süreç boyunca polimer yapılarında yüzey çatlakları, moleküler zincir kırılmaları ve oksijenli fonksiyonel grupların (ör. karbonil, hidroksil) oluşumu gözlemlenir. Bu dönüşüm, plastiklerin parçalanma süresini etkileyen önemli bir parametredir ve bazı polimerlerde bu süreç onlarca yıl sürebilir.

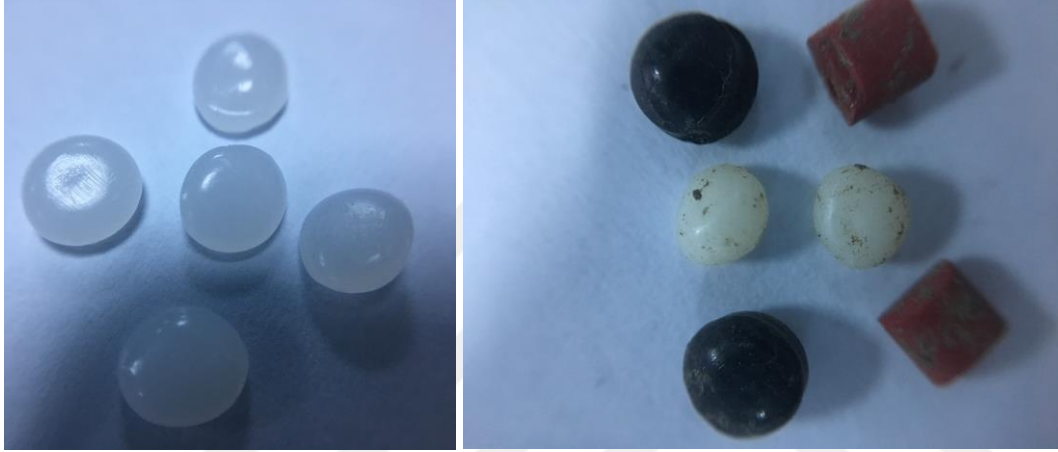
1972 yıllarında ilk kez Sargasso denizi yüzey suyunda çok sayıda yüzen minik plastik parçacıklarının bulunduğu rapor edilmiştir. Bu da mikroplastik kirliliği ile ilgili problemlerin önceden beri farkedilmeye başlandığını göstermektedir. Bu çalışmada, Atlantik Okyanusu'nda yer alan Sargasso Denizi'nin yüzey sularında çok sayıda küçük plastik parçacığının serbest halde yüzdüğü tespit edilmiştir (Carpenter, 1972). Bu bulgu, okyanus ve denizlerde gözle görülemeyecek kadar küçük plastik atıkların da bulunduğu gerçeğini ilk kez ortaya koymuş ve sonraki araştırmalara yön vermiştir. "Mikroplastik" terimi ise bilimsel literatürde ilk defa 2004 yılında deniz biyoloğu Richard Thompson tarafından kullanılmıştır. Thompson, özellikle plastik kirliliğinin deniz ekosistemlerine etkisini inceleyen öncü çalışmalarıyla tanınmaktadır (Thompson, 2004). Mikroplastikler oluşum kaynaklarına göre iki gruba ayrılır: birincil (primer) ve ikincil (sekonder) mikroplastikler (Yurtsever M. , 2018).

Mikroplastiklerin çevresel yayılımı çok yönlüdür. Su ortamlarında nehirler, göller ve denizler, mikroplastiklerin en yoğun tespit edildiği ekosistemlerdir. Bu parçacıklar, arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atıksu deşarjları, plastik üretim tesislerinden sızmalar, denizcilik faaliyetleri ve atmosferik taşıma yoluyla sucul sistemlere ulaşır. Ayrıca tarımda kullanılan arıtma çamurları (biyokatı) da toprağa mikroplastik geçişinin başlıca nedenleri arasındadır.

Gıdalarda ve sucul ürünlerde mikroplastik varlığı artık sayısal olarak belgelenmiştir. Özellikle midye, karides, balık ve istiridye gibi filtre-feeder deniz ürünlerinde mikroplastik birikimi yaygındır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, sofraya tuzlu, şişelenmiş su, bira, süt, çay ve hatta bebek maması gibi ticari gıda ürünlerinde bile mikroplastik kalıntılarına rastlandığını göstermektedir. Bu durum, mikroplastiklerin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda halk sağlığını tehdit eden bir boyutta olduğunu ortaya

koymaktadır. Çalışmalar, bu partiküllerin insan vücudunda inflamasyon, oksidatif stres ve hücrel toksisite gibi etkiler oluşturabileceğine dair önemli bulgular sunmaktadır.

Sonuç olarak mikroplastikler, üretimden bertarafa kadar tüm plastik yaşam döngüsünde ortaya çıkabilen, biyolojik olarak kalıcı ve toksik etkilere sahip çevresel kirleticilerdir. Günümüzde bu sorunun önlenmesi için atık yönetimi, plastik üretim regülasyonları, arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi ve farkındalık artırıcı politikalar kaçınılmaz hale gelmiştir.



a) Birincil mikroplastikler, plastik peletler



b) İkincil mikroplastikler, market poşeti ve döküntüleri (Yurtsever M. Y., 2017)

Şekil 2.2. Mikroplastiklere örnek görüntüler

2.2. Gıdalarda Mikroplastikler

Günümüzde plastik materyaller, yaşamın her alanında yer almakta ve doğrudan ya da dolaylı olarak günlük tüketime konu olan yiyecek ve içeceklerle temas etmektedir. Bu temas, yalnızca ambalajlama süreciyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda mutfak araç

gereçleri, gıda üretiminde kullanılan ekipmanlar ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan plastikler aracılığıyla da gerçekleşmektedir. Tarlada yetiştirme aşamasından sofraya kadar olan üretim süreçlerinde, yani kısacası çiftlikten çatala kadar, gıdaların plastiklerle temas etme olasılığı giderek artmaktadır.

Gıdaların paketlenmesi sırasında plastik materyallerden dökülen mikroplastik parçacıklarının, sebze, meyve, deniz ürünleri gibi birçok besin maddesinde tespit edildiği gösterilmiştir (Darwish, 2019). Yağmur sularında tespit edilen ksenoöstrojenik bileşikler çevredeki plastik kirliliğinin daha geniş ekosistemleri etkilediğine işaret etmektedir (Ark, 2008). Ayrıca, atık gıdalardan elde edilen hayvan yemlerinin de mikroplastik döküntülerle kontamine olabileceği belirtilmiştir (Yurtsever M. , 2017).

Deniz tabanında yaşayan küçük organizmalar, çapı 1 mm'den küçük plastik parçacıklarla beslenebilmektedir. Bu organizmalar aracılığıyla plastik kaynaklı toksik bileşiklerin besin zincirine dahil olması, insanlara kadar ulaşan bir risk zinciri oluşturmaktadır. Bu durum, mikroplastiklerin gıda güvenliği açısından ciddi bir tehdit unsuru hâline gelmesine neden olmaktadır (Kuriş, 2022).

Bebek mamalarının hazırlanmasında kullanılan biberonlar üzerine yapılan bilimsel çalışmalar, bu ürünlerin yüksek sıcaklıkta kullanılması durumunda ciddi miktarda mikroplastik salınımı yaptığını göstermektedir. Polipropilen (PP) içeren biberonlarda yapılan deneylerde, 1 litre mama başına yaklaşık 4 milyon mikroplastik parçacık tespit edilmiştir (Sosyal, 2020). Benzer şekilde, Dunzhu Li tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada, yine PP içeren biberonların litre başına 16,2 milyon mikroplastik parçacık salınımı yaptığı gösterilmiştir (Dunzhu Li, 2020). Hernandez tarafından yapılan deneysel çalışmalarda da sıcaklığın artmasıyla mikroplastik salınımının arttığı gözlemlenmiştir (Hernandez, 2019).

Mikroplastik maruziyeti sadece bebek ürünleriyle sınırlı değildir. Tuz gibi temel gıdalar da bu kirlilikten etkilenmektedir. Barnes, plastiklerin deniz ortamında binlerce yıl boyunca çözünmeden kalabildiğini ve zamanla mikro parçalara ayrılarak çevreye yayıldığını belirtmiştir (Barnes, 2009). İniguez tarafından yapılan araştırmada, tuzun elde edildiği kaynaklara göre farklı mikroplastik yoğunluklarına rastlanmıştır. Özellikle göl ve deniz tuzlarında buharlaştırma yöntemiyle elde edilen örneklerde yoğun MP varlığı saptanmıştır (İñiguez, 2017).

Yang ve arkadaşlarının Çin’de yaptığı çalışmada, 15 farklı tuz markasında yapılan analizlerde, göl tuzlarında 43–364 MP/kg, deniz tuzlarında 550–681 MP/kg ve kaya tuzlarında 7–204 MP/kg düzeyinde mikroplastik varlığı saptanmıştır. Tuz gibi her gün düzenli olarak tüketilen bir gıda maddesindeki bu oranlar, maruziyetin boyutunu daha net ortaya koymaktadır. Karami ve arkadaşları, plastik çay poşetleriyle hazırlanan çayların, sofraya tuzundan çok daha yüksek düzeyde mikroplastik içerdiğini; bir bardak çayın yaklaşık 16 µg mikroplastik içerdiğini ifade etmiştir (Karami A. G., 2017).

Kieran D. Cox ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, Amerikalı bireylerin yaş ve cinsiyet gruplarına göre yıllık mikroplastik tüketiminin 39.000 ila 52.000 parçacık arasında değiştiği tahmin edilmiştir. Şişelenmiş su tüketimi ise bu miktarı ciddi oranda artırmakta ve kişi başına 90.000 mikroplastik parçacığa kadar ulaşabilmektedir (Cox, 2019). Gıdahattı verileri de şişelenmiş sularda, diğer şişelenmiş içeceklere göre daha yüksek seviyede mikroplastik bulunduğunu göstermektedir (Gıdahattı, 2020).

Plastik ambalaj ve kapakların da nanoplastik salınımı yaptığı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Wagner, kafelerde kullanılan polistiren (PS) kapakların, 56 gün sonunda 1.26×10^8 parçacık/mL seviyesine ulaşan nanoplastik salınımı gerçekleştirdiğini raporlamıştır (Wanger, 2016 a). Bu çalışma, zamanla plastik materyallerin çözünerek daha küçük parçalara ayrıldığını ve bunun sonucunda nanoplastiklerin ortaya çıktığını göstermiştir. Lambert ve Wagner tarafından yapılan başka bir çalışmada ise PET, PLA, PP ve PE kapaklarda yoğun miktarda PS ve PLA döküntüsü gözlenmiştir (Wagner., 2016 b).

Yapılan son deneysel çalışmalar, bitkilerin dahi nanoplastik parçacıkları alabileceğini ortaya koymuştur. Li ve arkadaşları, salatalık bitkileri üzerinde yaptıkları çalışmada 50 mg/L nanoplastik konsantrasyonuna maruz bırakılan örneklerde, bitkilerin kök ve iletim dokularında bu parçacıkların biriktiğini taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile göstermiştir (Li Y. G.-Y., 2021). Bu bulgu, yalnızca hayvansal gıdalar değil, bitkisel gıdaların da plastik maruziyeti riski altında olduğunu göstermektedir.

Mikroplastiklerin biyolojik sistemler üzerindeki etkileri ise giderek daha net anlaşılmaktadır. Tang Xingzhen Ni ve Nel, mikro ve nanoplastiklerin hücre membranlarından geçebildiğini, oksidatif stres, inflamasyon ve potansiyel toksik etkilere neden olabileceğini ortaya koymuştur (Tang Xingzhen Ni, 2018; Nel, 2006).

Bu durum, mikroplastiklerin yalnızca çevresel bir sorun değil, aynı zamanda halk sağlığı açısından da ciddi bir tehdit olduğunu açıkça göstermektedir.





3. MİKROPLASTİKLERİN İNCELENMESİ

3.1. Mikroplastik Numunesi Örneklem Yöntemleri

Farklı çevrelerden alınan numunelerdeki mikroplastiklerin belirlenmesi için farklı örneklem yöntemleri söz konusudur. Bir taraftan da mikroplastik araştırmalarında uygulanan farklı örneklem yaklaşımları, mikroplastiklerin nicel analizinde varyasyonlara sebep olmaktadır. Bu sebeple incelenecek numunenin hacmi ve formu dahil bir çok özelliği önemlidir (İrem Öztürk, 2024).

Plastik parçaların çıplak gözle tanımlanacak kadar büyük olduğu durumlarda seçici örneklem tekniği uygulanabilir ve böylece bulgular doğrudan çevresel matrislerden kazanılabilir. Basit bir işlem olmakta beraber algılanabilir mikroplastiklerin boyut sınırlaması yüksektir ve karışık örneklerde uygulaması güç olmaktadır ve özellikle insan kaynaklı sapmalara ve hatalara oldukça açıktır. Numunelerin hacmini düşürmeden toplu örneklem veya büyük hacimlerin incelenemeyeceği çalışmalarda ise alt örneklemeler yapılarak numuneler alınabilir (İrem Öztürk, 2024). Ancak büyük hacimli örneklerde homojen yapı elde etmek pek mümkün olmaya bilir buda alınacak numuneler geneli yansıtmayacaktır.

3.2. Numune Hazırlama ve Ayırmada Ön İşlemler

Numune hazırlamada belli adımlar söz konusudur bunlar; saflaştırma (purification) ve çeşitli ayırma (ekstraksiyon) işlemlerinden oluşmaktadır. Farklı ortamlardan uygun şekilde toplanan numuneler filtrasyon, süzme, filtreleme, bekletme, yoğunluk farkına göre ayırma, organiklerin oksidasyonu, organikleri parçalama gibi çeşitli işlemlere tabi tutularak ayrıştırılır ve saflaştırılır. Böylece inceleme ve analiz aşamaları için hazır hale getirilmiş olur.

3.3. Mikroplastiklerin İncelenmesi ve Tanımlanması

Tanımlamada bir kıstas olarak küçük parçacıklar daha düzgün yüzeyli ve yuvarlak iken büyük parçacıklar daha ince uzun veya pürüzlü yüzeyler olarak bulunmaktadır. Farklı özelliklerde ve boyutlardaki mikroplastikler için tanımlamada farklı yöntemlerin

avantaj ve dezavantajları söz konusu olmaktadır. Yani numunenin özelliğine göre en uygun yöntem ve metodun bulunması tanımlamada önem arz etmektedir. Mikroplastiklerin incelenmesi ve tanımlanması için en fazla başvuru alan adım, plastiklerin görsel olarak incelenmesinden sonra, çoğunlukla spektroskopik, term-analitik ve optik yöntemlerin birleşik kullanımını içeren polimerik bileşimin kimyasal analizi şeklindedir.

Tablo 3.1. MP inceleme tekniklerinin karşılaştırılması.

Yöntemler	Elde Edilen Bilgiler	Tespit Limiti	Avantajları	Dezavantajları
Mikroskopi				
Optik Mikroskopi	Boyut, renk ve morfoloji	>100 µm	Kolay ve ucuz	Polimer karakterizasyonu yok, zaman alıcı, yanlış pozitif sonuçlar verebilir
Stereomikroskopi	Boyut, renk ve morfoloji	>100 µm	Kolay ve ucuz	Polimer karakterizasyonu yok, zaman alıcı, yanlış pozitif sonuçlar verebilir
Floresan Mikroskopi	Boyut, morfoloji ve partikül sayısı	>0.15 µm	Şeffaf parçacıklar için kullanışlı	Polimer karakterizasyonu yok, yanlış pozitif sonuçlar, organik madde girişimi ve ön işlem gerektirir
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	Boyut, morfoloji ve partikül sayısı	>10 nm	Yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilir	Örnek hazırlama süreci gerektirir ve kontaminasyon riski vardır
Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)	Yüzey yapısı	0.3 nm	Yüksek çözünürlük	Örnek hazırlama gerektirir ve kontaminasyon riski vardır
Spektroskopi				
FTIR (Fourier Transform Infrared Spektroskopi)	Polimer tanımlama	>100 µm	Kolay, numune hazırlamaya gerek yok, tahribatsız yöntem	Zaman alıcı
ATR-FTIR (Zayıf Toplam Yansımali FTIR)	Polimer tanımlama	>100 µm	Kolay, numune hazırlamaya gerek yok, tahribatsız yöntem, doğrudan temaslı analiz	Zaman alıcı
Mikro-FTIR	Polimer tanımlama	>20 µm	Kolay, numune hazırlamaya gerek yok, tahribatsız yöntem	Pahalı ve zaman alıcı
Raman Spektroskopi	Polimer tanımlama	>20 µm	Kolay, numune hazırlamaya gerek yok, tahribatsız yöntem	Pahalı ve zaman alıcı
Mikro-Raman Spektroskopi	Polimer tanımlama	>1 µm	Kolay, numune hazırlamaya gerek yok, tahribatsız yöntem, yüksek çözünürlük	Pahalı, floresans girişimi, numuneye zarar verebilir, zaman alıcı

Tablo 3.1.(Devamı). MP inceleme tekniklerinin karşılaştırılması.

Kromatografi				
Py-GC-MS (Piroliz-Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi)	Polimer tanımlama	-	Numune hazırlamaya gerek yok, termogravimetrik analiz ile birlikte yüksek hassasiyet sağlar	Tahribatlı analiz, pahalı, toplu analiz yapılamaz
TED-GC-MS (Termal Ekstraksiyon-GC-MS)	Polimer tanımlama	-	Hızlı analiz ve kantitatif değerlendirme, numune hazırlamaya gerek yok	-

Kısaltma: FTIR = Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi; ATR = Zayıflatılmış toplam yansıma; TGA = Termogravimetrik analiz; DSC = Diferansiyel tarama kalorimetri; TED-GC-MS = Termal Ekstraksiyon - Desorpsiyon-Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi; Py-GC-MS = Piroliz - Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometri.

3.4. Mikroplastik Analizinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Arka plan kontaminasyonu yapılan çalışmada ortamın çeşitli nedenlerle numunemeize nüfus edebilecek kirliliği olarak anlaşılabılır. Örneğin, çalışma ortamındaki havanın filtre kağıdı içinden vakum koşullarında belli bir süre filtre edilerek, potansiyel hava kaynaklı kontaminasyonu incelenebilir bu bize olası sapmaların analizi için yardımcı olacaktır (Yurtsever M. , 2017).

Arka plan kirliliğini azaltmada, çalışmalar sırasında saf pamuklu giysiler ve nitril eldivenler giyilmesi, deney aparatlarının dikkatlice durulanması ve yerler ile çalışma tezgahının temiz tutulması gibi önlemler büyük oranda sapmalara engel olacaktır. (Yurtsever M. , 2017).

Laboratuvar ortamında; havadan, giyilen sentetik kıyafetlerden ve kullanılan materyallerden numunelere mikroplastik döküntüler nüfuz edebilmektedir. Mikroplastik analizlerinde bu döküntüler büyük hatalara ve sapmalara sebep olabilmektedir. Bu nedenle çalışmalarda özellikle %100 pamuk kıyafetler, laboratuvar önlükleri giyilebilir. Ayrıca laboratuvarında doğru ve düzenli çalışan bir havalandırma sistemide olası sapmaların önüne geçecektir (Yurtsever M. , 2017).



4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Şeker Örnekleri

Çalışmalarda kullanılan rafine beyaz şeker örnekleri, Şubat 2020'de Sakarya'daki süpermarketlerden temin edilmiştir. Farklı marka ve türde satın alınan 19 şeker numunesinin 13'ü kristal şeker, 3'ü küp şeker ve 3'ü ise pudra şekeri tipindedir. Marka adının anonimliğini korumak için S1'den S19'a kadar kodlanan şeker örnekleri her biri 100 gram olacak şekilde tartılarak incelenmiştir.

Çalışmalar üç tekrarlı şekilde yürütülmüştür. Etiketleri incelenen şeker örneklerinin tamamının Türkiye'nin farklı bölgelerinde üretildiği anlaşılmıştır. Şekerlerin tamamı şeker pancarından (%100) üretilmiş olup ve küp şekerler karton kutularda, diğerleri ise plastik poşetlerde satılmaktadır. Pudra şekeri, rafine şekerin öğütülmüş halidir. İncelenen pudra şekerlerinde pancardan elde edilen kristal şekere ek olarak nişasta (%3 civarında) ve topaklanmayı önleyici maddeler (trikalsiyum fosfat) bulunmaktadır. Küp şekerler, rafine şeker kristallerinin bir miktar şeker şurubu ile karıştırılarak preslenmesiyle üretilir. Tablo 4.1'de tüm şeker örneklerinin (n:19) ambalajları ve özellikleri açıklanmaktadır. Satın alınan şekerlerin üretim-paketleme tesisleri ülkenin farklı bölgelerindeki şehirlerde (İstanbul, Kocaeli, İzmir, Aydın, Afyon, Konya, Aksaray, Amasya) bulunmaktadır.

Tablo 4.1. Şeker ve ambalaj türleri

Örnek	Şeker türü	Üretildiği yer	Ambalaj malzemesi	Birim paket miktarı (kg)
S1	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S2	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S3	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S4	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S5	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PP)	1
S6	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PP)	1
S7	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S8	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S9	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1

Tablo 4.1. (Devamı). Şeker ve ambalaj türleri

Örnek	Şeker türü	Üretildiği yer	Ambalaj malzemesi	Birim paket miktarı (kg)
S10	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S11	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S12	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S13	Rafine kristal şeker	Pancar	Plastik (PE)	1
S14	Küp şeker	Pancar	Kağıt	1
S15	Küp şeker	Pancar	Kağıt	1
S16	Küp şeker	Pancar	Kağıt	1
S17	Pudra şekeri	Pancar	Plastik (PE)	0,3
S18	Pudra şekeri	Pancar	Plastik (PE)	0,3
S19	Pudra şekeri	Pancar	Plastik (PE)	0,3

4.2. Ön İşlemler ve Mikroplastik Ekstraksiyonu

Her numuneden 100'er gram alınarak bir cam erlene konulmuş ve üzerine filtrelenmiş ultra saf su (Millipore Direct Q5 UV) eklenerek suda çözülmüştür. Olası organik maddeleri gidermek için 15 mL hidrojen peroksit (H_2O_2) çözeltisi (% 30 v/v) ile muamele edilmiştir (Wiggin, 2019) ve orbital çalkalayıcıda (200 rpm) 2 saat çalkalanmıştır. Daha sonra 50 °C bir etüvde 8 saat tutuldu. Son olarak, orbital çalkalayıcıda bir saat daha çalkalanmış ve vakumla filtrasyonla 0,45 µm gözenek boyutlu cam elyaf filtreye (47 mm çap) alınmıştır. Her filtrasyondan sonra filtre kağıdı bir cam petri kabına yerleştirilmiş ve üzeri alüminyum folyo ile örtülerek mikroskobik inceleme için hazır hale getirilmiştir. Cam gereçlerin iç cidarlarına yapışmayı önlemek için tüm durulamalar üç kez tekrarlanarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan tüm çözeltiler 0,45 µm gözenek boyutlu selüloz asetat filtreden filtrelenmiştir. Her çalışma üç kez gerçekleştirilerek ortalama sonuçlar elde edilmiştir.

4.3. Kalite Güvencesi Ve Kalite Kontrolü

Her sette, filtrelenmiş ultra saf su ile hazırlanmış ikili prosedürel blank numuneler (negatif kontrol) de havadan veya malzemelerden kaynaklanan olası MP kontaminasyonunu kontrol etmek için incelenmiştir. Değerleri, elde edilen sonuçlara yansıtılmıştır. Havadan veya çapraz kontaminasyondan kaynaklanan kirliliği önlemek için, işlemler pamuklu bez ve alkolle temizlenmiş bir çeker ocak altında gerçekleştirilmiş ve tüm numuneler derhal cam kapakla kapatılmış veya alüminyum

folyoya sarılmıştır. Floresan mikroskobu ile analizden önce cam elyaf filtreler kapalı cam petri kaplarında saklanmıştır. Laboratuvardaki tüm çalışmalar sırasında pamuklu laboratuvar önlükleri (%100) ve mavi nitril eldivenler kullanılmıştır. Eldivenli eller her çalışma öncesinde, filtrelenmiş ultra saf su ile temizlenmiştir. Kullanılan tüm laboratuvar gereçleri kullanımdan önce üç kez ultra saf su ile durulanmıştır. Cam şişede saklanan filtrelenmiş ultra saf su, tüm temizlik ve numune hazırlama adımlarında kullanılmıştır. Ayrıca, başka bir MP çalışmasında (Erdem, 2024) bildirildiği gibi, farklı yoğunluklardaki PE ($0,92 \text{ g.cm}^{-1}$), PP ($0,9 \text{ g.cm}^{-1}$) ve PVC ($1,3 \text{ g.cm}^{-1}$) gibi plastik mikrogranüller (MP<500 μm) ile geri kazanım testleri (pozitif kontrol) yapılmış ve >%99 geri kazanım oranları tespit edilmiştir.

4.4. Nil Kırmızısı Boyama-Floresan Analizi ve Mikroskopik İncelemeler

Nil kırmızısı (NR) boyama-Floresan analizi öncesinde, örnekler optik mikroskop altında (Olympus, BX51, Tokyo, Japonya) şekil, boyut, renk ve miktar açısından incelenmiştir. NR ($\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_2$) çözeltisi Shim ve arkadaşlarının nil kırmızısı boyama yöntemine göre hazırlanmıştır. Lipofilik floresan NR boyası (Acros Organics) önce asetonda çözülmüş ve daha sonra n-hekzan ile seyreltilmiştir. Hazırlanan NR çözeltisi (5 mg. L^{-1}) filtrelere damlatılarak boyama sağlanmıştır. Boyamadan sonra, filtreler 30 dakika boyunca 50°C 'lik bir fırında tutulmuştur ve daha sonra bir floresan mikroskobu altında analiz edilmiştir. İncelenen MP'ler lif, parçacık ve film olarak sınıflandırılmıştır. İnceleme ve sayım için Fiji programı ImageJ2 kullanılmıştır.

İlk olarak, numuneler üç farklı filtre küpü (mavi, yeşil ve UV) kullanılarak analiz edilmiş ve mavi küp filtresinin başarılı olduğu görülmüştür. Bu nedenle analizler mavi ışık altında devam etti. Mavi ışık filtresi ve Nil kırmızı boyama-floresan inceleme, Meyers ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada önerildiği gibi, 1 μm 'ye kadar MP'leri incelemek için uygundur. NR boyama ile floresan tekniği, MP tanımlama metodolojileri arasında MP tespiti ve tanımlaması için yüksek verimli, uygun maliyetli ve nispeten daha az zaman alan bir alternatiftir (Shruti, 2022). Ayrıca, numunelerdeki MP'lerin genel morfolojisini ayrıntılı olarak anlamak için SEM görüntüleri alınmıştır. SEM analizleri, FEI Quanta FEG 450 model Alan Emisyon Taramalı Elektron mikroskobu ile düşük vakum koşulları altında gerçekleştirilmiştir.

4.5. Kimyasal Tanımlama

Örneklerdeki MP'lerin kimyasal yapısını belirlemek için MikroATR-FT-IR (Zayıflatılmış Toplam Yansıma (ATR)-Fourier dönüşümlü kızılötesi (FT-IR)) analizi yapılmıştır (Bilgin, 2020). Örnek filtrelerin yaklaşık %5-10'u FTIR ile analiz edilmiştir. ATR mikroskobik görüntüleme (dijital CCD kamera) ölçümleri, sıvı azot soğutmalı bir fotoiletken MCT (Civa-Kadmiyum-Telürid) dedektörü ile donatılmış entegre bir FT-IR spektrometresi olan bir FT-IR mikroskobu (Opus 7.2, Lumos, Bruker, Almanya) kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Spektrumların işlenmesi ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi Bruker OPUS™ yazılımı (sürüm 7.2) ve ATR-FT-IR Polimer Kütüphanesi (ATR-lib-polymers+) kullanılarak yapılmıştır. FT-IR spektrumları ATR modunda (64 tarama) 4 cm^{-1} spektral çözünürlükle 600 cm^{-1} ila 4000 cm^{-1} aralığında kaydedilmiştir .

4.6. Mikroplastik Kontaminasyon Faktörü (MPCF) Ve Kirlilik Yükü İndeksi (MPLI)

MP kontaminasyon faktörü (MPCF), Rukmangada ve arkadaşları (2023) tarafından belirtildiği gibi hesaplanmıştır (Rukmangada, 2023).

$$\text{MPCF}_i = \text{MP}_i / \text{MP}_b$$

MPCF, çalışılan şekerlerin (kristal, küp ve toz) kirlenmesininin (MP_i) arka plan değerlerine (MP_b) oranını temsil eder; bu, çalışmada kaydedilen en düşük MP miktarıdır.

Şekerlerdeki MP kirliliğinin derecesini değerlendirmek için kirlilik yükü indeksi (MPLI) kullanılarak mikroplastik kontaminasyon faktörü (MPCF) yaklaşımı kullanılmıştır. Türkiye'de şekerlerdeki (kristal, küp ve toz) MP kirliliğinin derecesini değerlendirmek için Tomlinson ve arkadaşlarının formülü temel alınarak entegre bir kirlilik yükü indeksi (MPLI) hesaplanmıştır. MPLI aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\text{MPLI} = (\text{MPCF}_1 \times \text{MPCF}_2 \times \text{MPCF}_3 \times \dots \times \text{MPCF}_n)^{1/n}$$

MPCF değerleri, Ibeto ve arkadaşları (2021) tarafından $\text{MPCF} < 1$ düşük kontaminasyon, $1 \leq \text{MPCF} < 3$ orta derecede kontaminasyon, $3 \leq \text{MPCF} \leq 6$ önemli derecede kontaminasyon ve $\text{MPCF} \geq 6$ çok yüksek derecede kontaminasyon olarak kategorize edilmiştir (Tomlinson, 1980).

4.7. Tahmini Günlük Alım Miktarı (EDI)

Şeker örneklerindeki MP konsantrasyonlarının tahmini günlük alım miktarı (EDI), (MP/kg/bw/gün) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Conti, 2020):

$$EDI_{\text{şeker-MP}} = (C \times IR) / bw$$

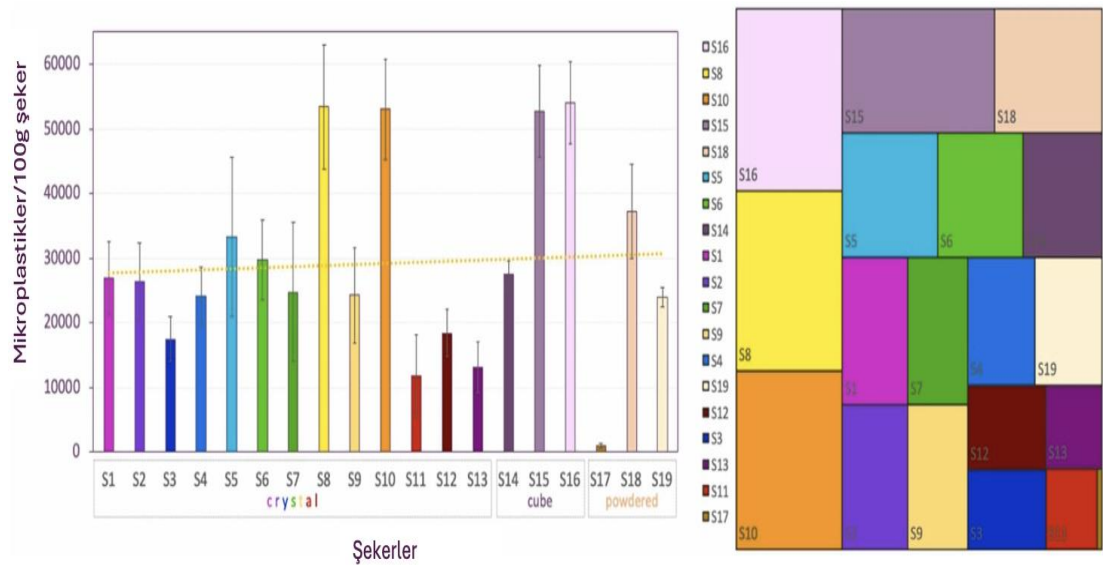
Burada IR, Şekerin Kullanım Oranı, yetişkinler ve çocuklar için 50 gram/gün olarak varsayılmıştır; C ise MP konsantrasyonudur (MP/kg şeker). Yetişkin ve çocuklar için vücut ağırlığı (bw) sırasıyla 70 kg ve 16 kg olarak kabul edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 2015 yılında normal kilodaki bir kişi için günlük şeker tüketiminin (IR) 50 gr'ı geçmemesi gerektiğini önermektedir. Bu nedenle hesaplamalarda günlük şeker miktarı 50 gr olarak alınmıştır. Dünyada kişi başına düşen yıllık şeker tüketimi (2019-2021) sırasıyla Malezya: 58,2 kg, Avustralya: 40,3 kg, AB: 37,3 kg, ABD: 31,5 kg, Türkiye: 31,2 kg, İngiltere: 27,5 kg, Kanada: 24,5 kg, Hindistan: 18,7 kg ve Çin: 10,9 kg'dır. USDA'ya göre Türkiye'de kişi başına düşen yıllık şeker tüketimi 2022 yılında 35 kg'a ulaşmıştır (Turkseker, 2022) . Bu, kişi başına günlük ortalama 95,9 g şeker anlamına gelmektedir. Türkiye'nin 2022 yılı nüfusu 85 milyondur. Bu veriler dikkate alınarak yıllık mikroplastik emisyonları (aMPe) hesaplanmıştır.



5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. MP Bolluğu

Araştırmada kristal şeker ve kristal şekerin öğütülmüş ve sıkıştırılmış formları, yani sırasıyla kristal şeker, pudra şekeri ve şeker küpleri incelenmiştir. Araştırılan şekerlerin her üçlü örneğinde (13 kristal, 3 küp, 3 pudra) MP bolluğu tespit edilmiştir. Kristal şeker türlerinde minimum MP konsantrasyonu 11724 ± 6365 (S11'de) ve maksimum değer 53464 ± 9622 'dir (S8'de). Ayrıca, prosedürel kontaminasyon için analiz edilen boşluklarda bulunan MP'ler yaklaşık 21 ± 13 'tür ve sonuçlara yansıtılmıştır. Sonuçlar, şekerlerin MP'lerle kirlenmiş olduğunu ve analiz edilen şekerlerin genellikle ortalama 29110 MP/100 g şeker içerdiğini göstermektedir (Şekil 5.1). Sadece bir markanın pudra şekerinde 1000 civarında MP bulunmuştur. Buradaki pudra şekeri, kristal şeker veya şeker küpü üretmeyen, sadece pudra şekeri pazarlayan bir şirkete aittir. Şekerlerdeki MP kontaminasyonu konusunda oldukça şaşırtıcı sonuçlar elde edilmiştir. Şeker küpleri karton kutularda satılmasına, yani ambalajında plastik bulunmamasına rağmen, içlerindeki MP'lerin çok yoğun olduğu bulunmuştur. Bu durum, ambalajlama dışındaki ürün üretim aşamalarında da plastik parçacıkların gıdaya geçebileceğini göstermektedir.

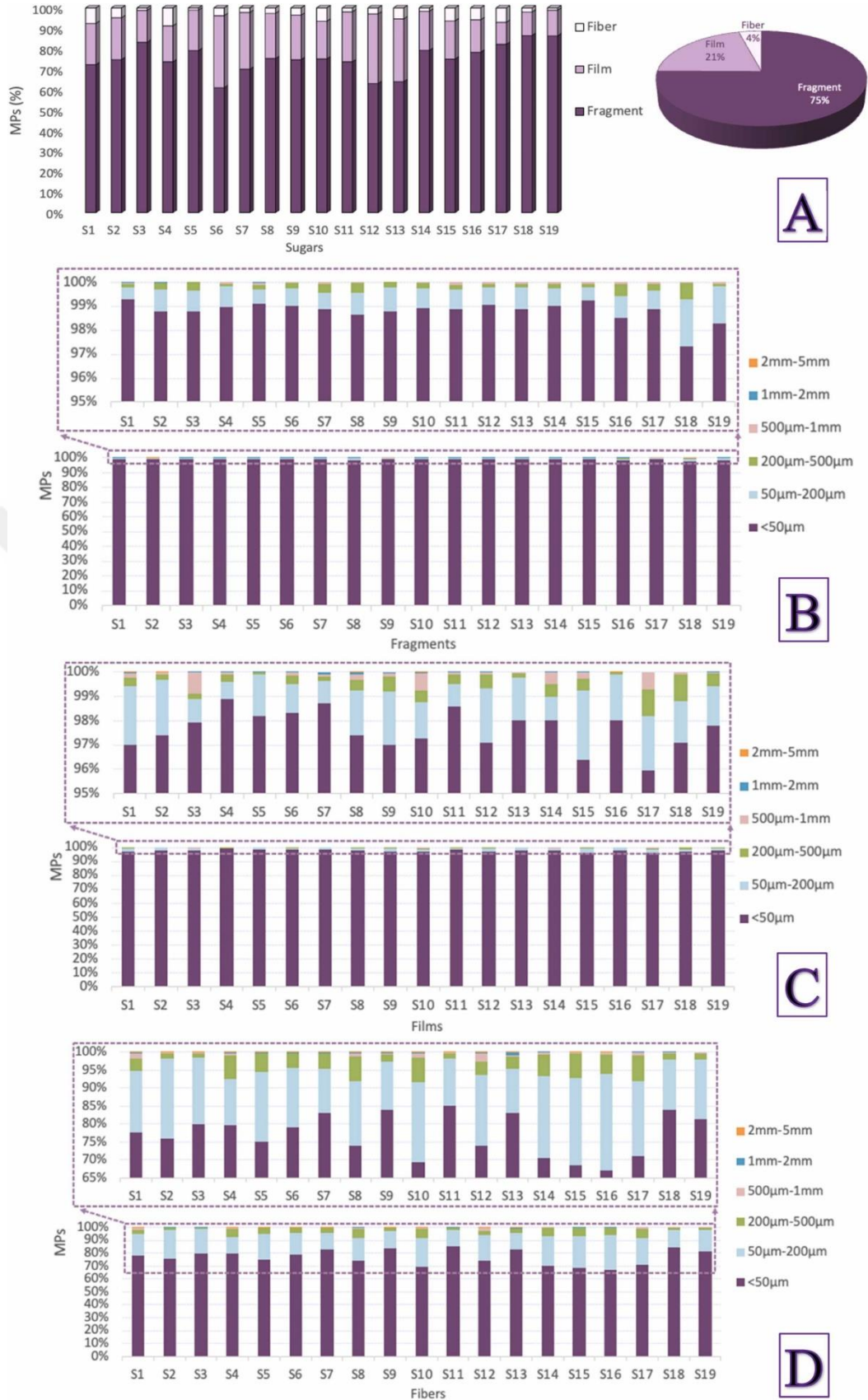


Şekil 5.1. Mağazadan satın alınan şekerlerde (S1-S13 kristal şeker, S14-S16 küp şeker ve S17-S19 pudra şeker) MP kontaminasyonu (Yurtsever M. &., 2024).

5.2. MP Nitelikleri

5.2.1. Şekil ve boyut

Tespit edilen MP tipleri genel olarak partikül, film ve fiber olarak sınıflandırılmıştır. Tüm örneklerde MP'ler %75 parça, %21 film ve %4 liflerden oluşmuştur. Sonuçlardan örnekteki parça oranının (%75) oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5.2). İstatistiksel analizler Python programlama dili ile yapılmış olup Python scipy ve statsmodels kütüphaneleri kullanılmıştır. Veriler analiz edildiğinde bazı örneklerde çok yüksek sayılar olması nedeniyle Parça kategorisinde aykırı değerler tespit edilmiştir. Film ve Elyaf kategorilerinde Parçaya göre daha az aykırı değer gözlenmiştir. Korelasyon matrisine bakıldığında Parça ile Film arasında yüksek bir korelasyon (0,89) bulunmuş ve her iki türün de sayımlar arttıkça arttığı belirlenmiştir. Normal dağılım analizi için yapılan Shapiro-Wilk testi Parça ve Film için normal dağılıma yakın sonuçlar vermiş ($p > 0,05$), ancak özellikle Parça tamamen normal bir dağılım göstermemiştir. Normal dağılımın sağlanamadığı durumlarda Kruskal-Wallis Testi uygulanmış ve farklı mikroplastik tiplerinin dağılımlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,05$).



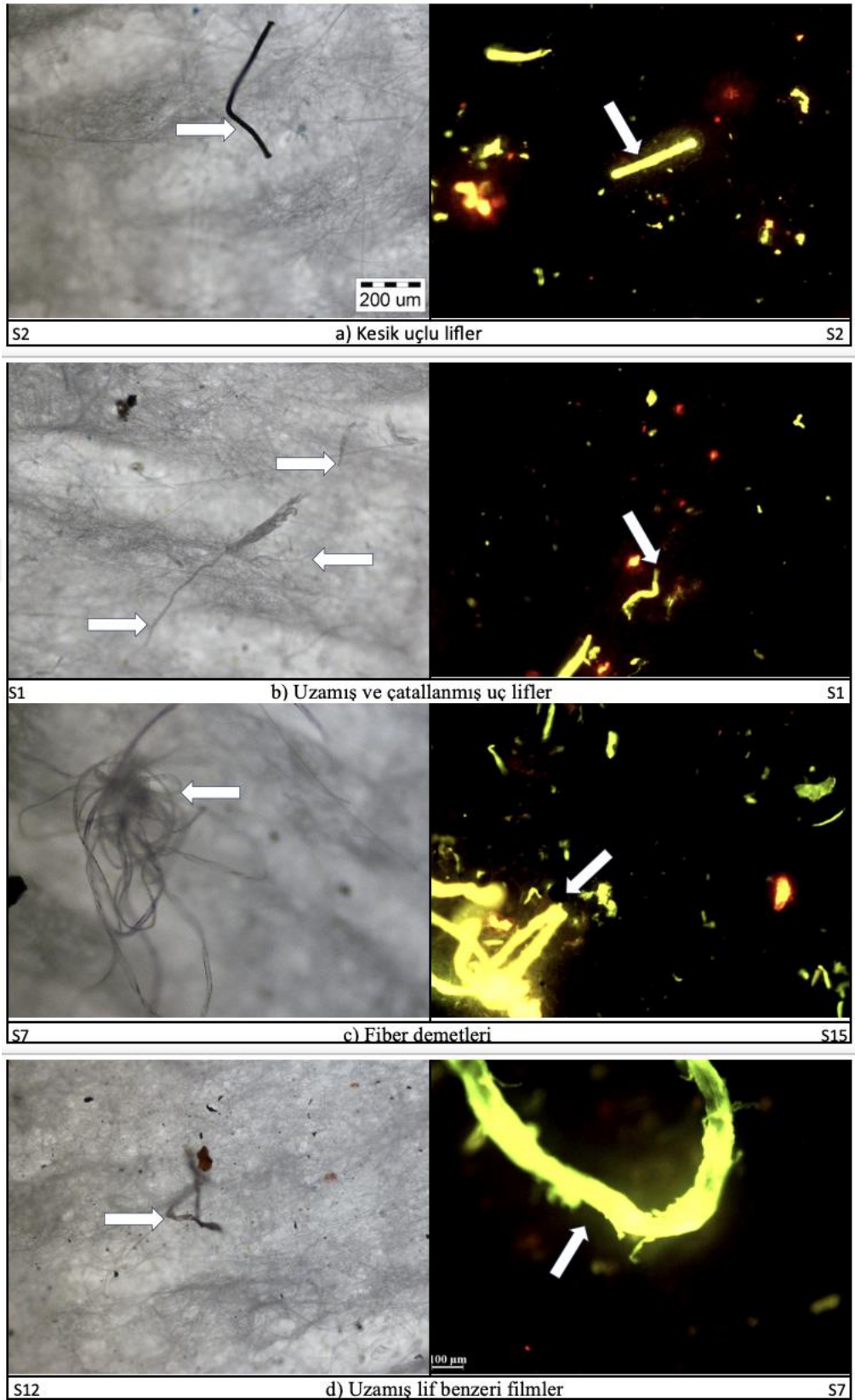
Şekil 5.2. MP'lerin şekil ve boyuta göre dağılımı (%), A toplam, B parçalar, C filmler, D lifler (Değerlerin ayrıntıları B, C ve D grafiklerinin en üstünde sunulmaktadır) (Yurtsever M. &, 2024).

Mevcut MP'lerde liflerden çok, beyaz şeker üretim proses aşamaları, pancarın basınçlı suyla temizlenmesi, dilimlenmesi, santrifüjlenmesi, kaynatılması, depolanması ve paketlenmesi gibi liflerden çok, parça sayısının artmasının bir nedeni olabilir.

Şeker numunelerindeki lifler ve lif benzeri MP'ler bir araya getirildiğinde aşağıdaki mikrofiber (MF) şekilleri ortaya çıkmaktadır.

- A) Kesik uçlu lifler (lazer veya makasla kesilmiş),
- B) Uzun ve çatallı uç lifleri (fibriller),
- C) Lif demetleri,
- D) Uzatılmış lif benzeri filmler.

Bu tip MF'lerin mikrografları Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Görüntüler optik mikroskop (sol) ve floresan mikroskop (sağ) ile elde edilen görüntülerin örnekleridir. MF'ler şekillerde beyaz oklarla işaretlenmiştir.

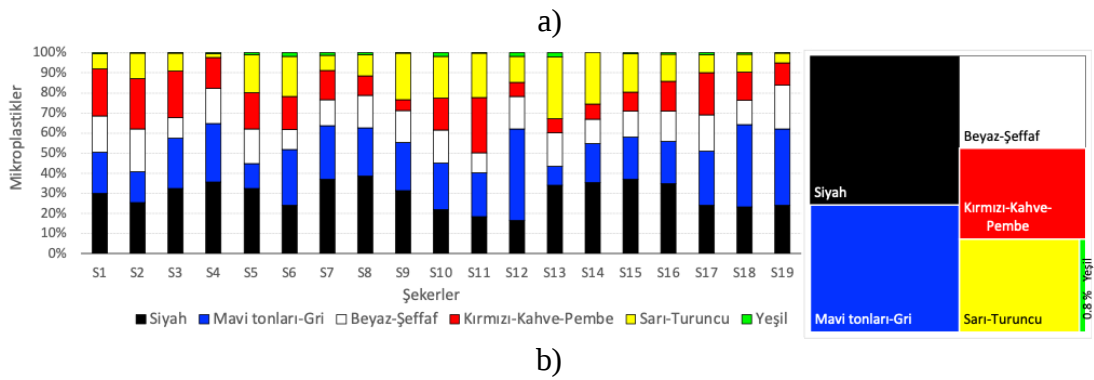
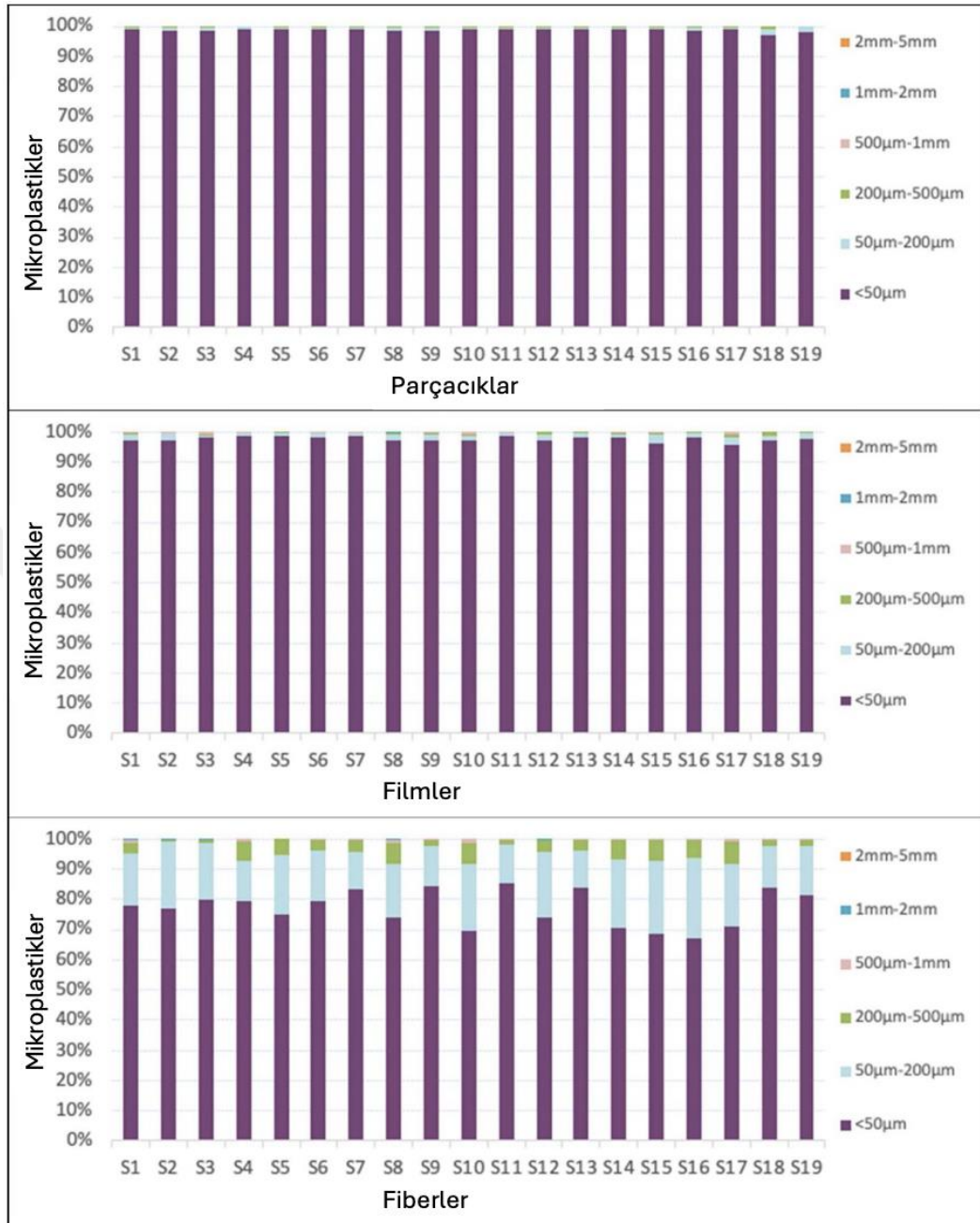


Şekil 5.3. Şekerlerdeki tanımlanmış MP'lerin farklı MF şekillerinin temsili mikrografları, siyah-beyaz ölçek çubuğu (200 µm) tüm optik mikroskop görüntülerine uygulanır (sol), beyaz ölçek çubuğu (100 µm) tüm floresan mikroskop görüntülerine uygulanır (sağ) (Yurtsever M. &., 2024)

Filmlerin çoğunun uzamış, gerilmiş liflere dönüştüğü gözlemlendi. Örneklerde kesik uçlu lifler bulundu ve buna ek olarak, muhtemelen büyük liflerin aşınmasıyla oluşan uzamış lifler (küçük fibriller) de vardı. Örneğin, <200 µm kesik uçlu lifler S2, S8 ve S15 şekerlerinde baskındı. En yüksek lif kontaminasyonuna sahip şeker 12 numaraydı. Optik mikroskop ve floresan mikroskobu ile elde edilen görüntüler MP incelemelerinde değerlendirildi. Görüntülerin bazı örnekleri Ek Mat'ta sunulmuştur (Şekil 5.3). Nil kırmızısı boyama-floresan analiz tekniği, bu çalışmada olduğu gibi, çoğunlukla < 100 µm MP içeren örnekleri incelemek için oldukça uygundur . Farklı şeker örneklerinde bulunan MP'lerin SEM görüntüleri Ek Mat'ta verilmiştir (Şekil 5.3). Şekerlerdeki çok farklı boyutlarda ve lif, film ve parçacık yapılarındaki MP'ler SEM görüntülerinde ayrıntılı olarak görülebilir. Ayrıca, çok nadir de olsa, şeker örneklerinde 5 mm'den büyük birkaç mikrofiber (mavi, siyah ve beyaz) bulundu. S8, S10, S12 ve S13 şekerlerinde, diğerlerinden daha belirgin şekilde parçalar (yeşil parçacıklar) vardı.

İncelenen şeker örneklerinde film tipi ve fragment tipi MP'lerin <50 µm oranının %95'ten fazla olduğu anlaşılmaktadır. Lif tipi olanlarda ise bu oran %75 civarındadır (Şekil 5.4.a).

5.2.2. Renk



Şekil 5.4. Şekerlerdeki MP boyutları (%) (a) ve MP renkleri (%) (b) (Yurtsever M. &, 2024).

Şekerlerdeki MP boyutları (%) (a) ve MP renkleri (%) (b).Tablodaki renk listesi şekerlerde en çok bulunan renk tiplerine dayanmaktadır (Şekil 5.4b). Siyah en yaygın olanıdır (%29,2), bunu mavi-gri tonları (%25), beyaz-şeffaf (%15,2), kırmızı (%15), sarı-turuncu (%14,6) ve yeşil (%0,8) takip eder. Karşılaşılan liflerin renkleri çoğunlukla siyah, mavi, beyaz-şeffaf, kırmızı ve mordu, ancak sarı, yeşil ve mor gibi tüm renkler parçacıklarda ve filmlerde bulundu. Siyah parçacıklar, şeffaf ve mavi filmler ve şeffaf, siyah ve mavi lifler oldukça bol miktarda bulunmaktadır. Boya benzeri veya kaplama benzeri döküntülere (pul benzeri ve filmler halinde gruplanmış) benzer siyah, kırmızı, mavi ve yeşil parçacıklar mevcuttur. S4'te (<100 µm) mavi boya benzeri filmler ve parçalar ile S6'da (<50 µm) kırmızı filmler ve parçalar dikkat çekiciydi. Siyah kauçuk türevi ve kaplama tipi filmler ve parçalar (<100 µm) hemen hemen her örnekte bulundu. S18'de (pudra şekeri) yaklaşık 50 µm ve daha küçük açık mavi renkli döküntüler de fark edildi. Şekerlerde bulunan MP renklerinin bazı örnek görüntüleri Şekil 5.3 ve Ek Mat. Şekil S3-S5'te sunulmuştur. Bu MP karışımı, ne yazık ki, gıda ürünlerinin hala gıda üretim sürecindeyken plastiklerle kirlenebileceğini göstermektedir.

5.2.3. Polimer

Ayrıca, şeker numunelerinde yüksek miktarlarda termoplastik poliüretan (TPU), lak, sephadeks ve tempera black gibi polimerler bulunmuştur. Bu polimerlerin mikro ATR-FTIR spektrumları Ek Mat.'de (Şekil S7) örnek olarak gösterilmiştir. Ne yazık ki, şeker numunelerinde bulunan bu polimer kokteyli, şekerlerin henüz üretim-satış aşamasındayken kirlendiğini de göstermektedir. Ayrıca, incelenen tüm şekerlerin paketleri de ATR-FT-IR ile analiz edilmiştir. S5 ve S6'nın PP, S14, S15 ve S16'nın karton ve diğer paketlerin düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) tipi polimer (14 torba) olduğu anlaşılmıştır. Şekerlerin ATR-FT-IR spektrumlarının tipik PP ve LDPE ambalajını gösteren bir şekil verilmiştir (Ek Mat. Şekil S8).

5.3. Şekerlerdeki MP Kaynakları

Elde edilen bulgulara dayanarak şekerlerdeki MP kaynaklarını ortaya koymak için temel bir önceliklendirme değerlendirmesi yapılırsa şekerlerdeki MP kaynakları sırasıyla dört başlık altında toplanabilir.

5.3.1. Topraktan ürüne - üründen şekere

Şeker pancarı bir ana kök bitkisidir (napiform şekil) ve şeker bitkinin bu kısmından elde edilir. Depolama köklü bitkilerin topraktaki MP'leri ve çeşitli diğer organik kirleticileri alıp biriktirdiği bilinmektedir. Bitkinin kendisi bir MP kaynağı olma potansiyeline sahip olmasına rağmen, bitkiden kaynaklanabilecek MP'nin boyutu çok küçük olacaktır. Kristal ve pudra şeker paketleri plastiktir (PE ve PP). MP bu paketlerden şekere geçebilir, ancak salınacak polimer türü paketin türü olacaktır. Bu nedenle, burada birçok farklı boyut, renk (kırmızı, siyah, mavi, yeşil, sarı, mavi, yeşil, sarı), yapı ve polimer türünün tespit edilmiş olması, paketleme dışında başka kirlilik kaynakları da olduğunu göstermektedir.

Kirlenmiş topraklarda tarım yapılması nedeniyle , MP kontaminasyonu bitki büyüme aşamalarında topraktan ürüne geçebilir. Şeker pancarının kök kısmı şeker üretiminde kullanılır. Kök bitkilerinin topraktan MP'leri ve diğer kirleticileri aldığı bilinmektedir (Dong, 2021). MP alımında, bitkinin tipi ve yapısı plastiğin özellikleri kadar önemlidir. MP'lerin ve bitkinin Young modülü değeri, MP'leri topraktan bitki köklerine ve sürgünlerine aktarmada önemli olabilir (Li Y. G.-Y., 2021). Tarımsal çalışma sırasında, MP çeşitli MP kaynaklarından (mevcut kirlenmiş toprak, hava, sulama suyu ve yakındaki doğal su kaynakları, gübre-pestisit kaplarının ve diğer plastik katı atıkların kontrolsüz atılması ve yapılmışsa kompost-biyolojik çamur uygulamaları) bitkilere geçebilir.

5.3.2. Üretim sürecinden şekere

Kristal şeker üretimindeki aşamalar şu şekilde sıralanabilir. Üretim aşamaları değirmen istasyonu, arıtma istasyonu, buharlaştırma istasyonu, kristalizasyon istasyonu, yuvarlaklar ve kurutma istasyonudur. Şeker üretimi birçok aşamayı içerir; bu nedenle şeker üretim süreçleri karmaşık ve uzun olabilir. Bu süreçlerde ve paketlemede kullanılan tüm plastik malzemelerden ve ekipmanlardan MP'nin şekere geçmesi mümkün olabilir. Şeker üretiminde MP, sudan ve diğer malzemelerden gelebilir; bu da yine üretimle ilgilidir ve üretimde kullanılan malzeme ve ekipmanların iyileştirilmesi gerektiğini gösterir.

5.3.3. Ortam havasından şekere

Çeşitli renk ve yapılarda büyük ve küçük MP'ler iç ve dış havada bulunabilir. Bu MP'lerin küçük boyutu havada asılı kalabilirken, büyük olanları kolayca çökebilir

(Çelik-Saglam, 2023; Zhang; Kaya, 2018). Bir çalışma, yemek yeme/içme aktiviteleri sırasında bile MP'lerin havadan tabağa biriktirildiğini ve bu MP artıklarının insanlar tarafından yutulabileceğini göstermektedir (Fang, 2022). Bu nedenle, ham maddeden ürüne (beşikten mezara) belirli aşamalarda havadan şekerler üzerinde büyük ve küçük MP'lerin birikmesi mümkün olabilir. Ancak, bunlar genellikle eller serbest sistemlerdir, bu da dikkate değer miktarın havadan gelme olasılığını daha düşük hale getirir.

5.3.4. Ambalajdan şeker

Önceki araştırmalar, tuz örneklerinde tespit edilen bazı plastik parçacıkların ambalajlarına benzer bir bileşime sahip olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, gıda ürünlerindeki MP kontaminasyonunun ambalaj malzemelerinin bozulmasından kaynaklanabileceğini gösterebilir. Gıdalardaki MP kirliliği denildiğinde akla ilk gelen şey plastik ambalajlardır (Fadare, 2020). Öyle ki ambalajı açarken bile farklı şekilde kesmek (bıçakla kesmek, elle makaslamak veya yırtmak), elle çevirmek veya plastik kapları/poşetleri/bantları/kapakları açmak gibi basit işlemlerle bile MP salınmaktadır (Sobhani, 2020).

Şekerlere odaklanan bu çalışmada, tüm şeker küplerinin ambalajı kağıttan yapılmış olsa da, şeker küplerindeki MP sayısının bu kadar yüksek olması, buradaki asıl suçlunun ambalaj olmadığını göstermektedir. Üretilen şekerler ayrıca 1, 2 ve 5 kg'lık küçük plastik ambalajlarda veya "big bag" adı verilen büyük hacimli (1000 kg) torbalarda satılmaktadır. Big bag torbalar genellikle kenarlarında plastik iplik dikişi ve 4 sap (genellikle mavi ve yeşil) bulunan beyaz PP'dir. Bu nedenle, MP parçacıkları ve lifleri "big bag" ana ambalajından küçük paketlere aktarılan şekerlere (torbadan torbaya transfer nedeniyle) geçebilir. Ambalajdan bağımsız olarak, gıdalarda farklı kaynaklardan gelen MP kontaminasyonu da bulunabilir. Gıdalardaki MP kaynakları iç veya dış kaynaklar olarak kategorize edilebilir. İç kaynaklar, doğrudan gıdaya karışan MP kontaminasyonunu ve MP'lerin doğrudan gıdayla birlikte alınmasını tanımlar. Gıdalardaki dış MP kaynakları, gıdanın etrafındaki plastik bir malzemeden (ambalaj gibi) geçen ve/veya zamanla malzeme aşındıkça (mekanik darbeler, pişirme-ısıtma-soğutma-dondurma işlemleri) gıdaya geçmeye devam eden MP'ler olarak tanımlanabilir. Örneğin, şişelenmiş su muhtemelen hem iç hem de dış MP (ve nanoplastikler, NP) içerir. Bunun nedeni, çoğu su kaynağının MP ile kirlenmiş olması ve MP'nin PET şişelerden ve PE kapaklardan da suya salınmasıdır (Kosuth, 2018;

Huan, 2023; Oßmann, 2018). İç MP içeren bir gıdanın kontaminasyonu bununla sınırlı olmayabilir çünkü ambalajdan ve çevreden sürekli bir kontaminasyon vardır, yani kümülatif bir kontaminasyon. Analiz edilen şekerlerden elde edilen tüm bulgular, şekerdeki mevcut iç MP kontaminasyonunun yüksek olduğunu göstermekle birlikte, ambalajdan kaynaklanabilecek diğer dış kontaminasyonlara da işaret etmektedir.

Önceliklendirmeye göre, sonuç en kritik MP kaynağının üretim süreçleri olacağını göstermektedir. Tablo 2'deki ortam havası da bir MP kaynağı olmasına rağmen, süreçler genellikle özel, el değmemiş ortamlarda gerçekleştirildiğinden ve çalışanlar genellikle önlük vb. giydiğinden ana kaynak olarak adlandırılmaz. Bu, giyim ve havadan kaynaklanan MP miktarını azaltır. Sonuç olarak, şeker üretimindeki MP kaynakları ii>iii>iv>i olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca, burada analiz edilen şekerler farklı bölgelerin ürünleridir. Üretim yerlerinden kaynaklanan şekerlerdeki bir kirlilik bağlantısı da değerlendirilmiştir, ancak yakın bir bağlantı kurulamamıştır.

Tablo 5.1. Sofra şekerindeki mikroplastik kaynaklarının ve emisyonlarının önceliklendirilmesi (Yurtsever M. &, 2024).

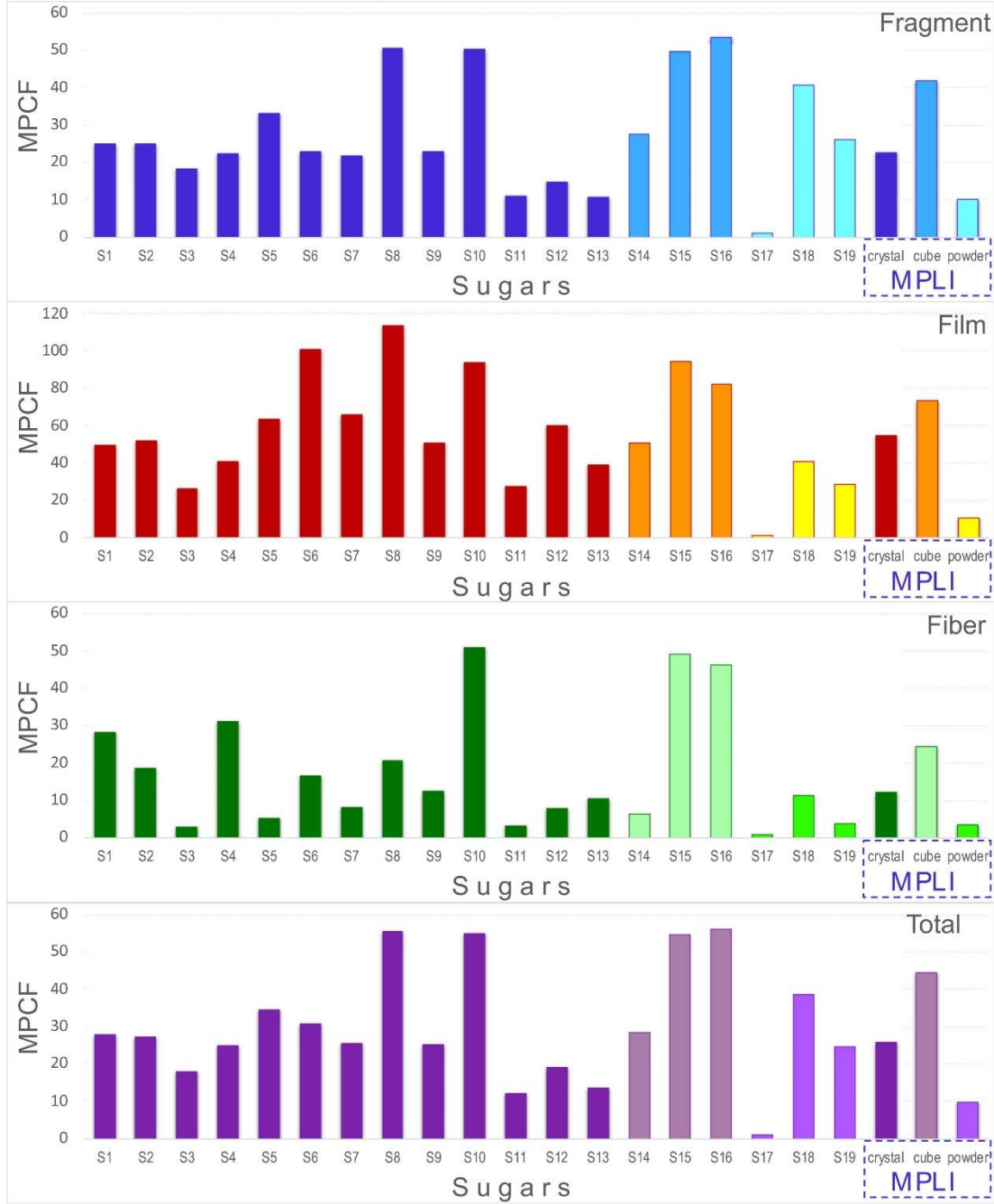
	Pancar şekerindeki mikroplastiklerinin kaynakları			
	Pancar Yetiştiriciliği (Hammadde)	Üretim Prosesleri (makine, ekipman, su ve kimyasallar (H_3PO_4 , $Ca(OH)_2$, aktif karbon)	Hava (havadan, atmosferik birikim vb.) (ancak otomatik ve kapalı sistem)	Ambalajlama
MP küçük parça halinde gelebilir mi?	+	++	++	++
MP küçük lif formunda olabilir mi?	+	++	++	+
MP büyük parça halinde gelebilir mi?	-	++	++	++
MP büyük lif formunda olabilir mi?	-	++	+	+
Çok renkli milletvekili gelebilir mi?	++	++	++	+
Çok çeşitli polimerler gelebilir mi?	++	++	+	+
Aktör/Sektör, ilgili işler *	Tarım, Sulama, Toprak, Atık Yönetimi Taşımacılık	Endüstriyel, Üretim, Teknoloji	Tekstil, Ortam	Ticaret, Perakende, Satış, Tekstil, Teknoloji

* Malzeme türünün seçimi her aşamada en önemli etkidir.

5.4. MP kontaminasyon faktörü (MPCF) ve kirlilik yükü endeksi (MPLI)

Mikroplastik kontaminasyon faktörü (MPCF) değerlendirmesine göre S17 hariç tüm örneklerde çok yüksek kontaminasyon (≥ 6) saptanmıştır. Şekerlerin MPCF değerleri sırasıyla (Şekil 5.5);

S17<S11<S13<S3<S12<S19<S4<S9<S7<S2<S1<S14<S6<S5<S18<S15<S10<S8<S16.



Şekil 5.5. MP kirlenme faktörü (MPCF) ve kirlilik yükü endeksi (MPLI) (Yurtsever M. &, 2024).

En yüksek MP kontaminasyonuna sahip şeker S16 kodlu küp şekerdir. Bunu kristal şeker (S8) takip eder.

5.5. MP Emisyonları Ve İnsan Maruziyeti

Türkiye'de mağazalardan satın alınan şekerlerin tahmini günlük MP alımı (EDI) ve yıllık mikroplastik emisyonları (aMPe) sırasıyla Tablo 3a ve Tablo 3b'de gösterilmektedir.

Tablo 5.2. Şeker için tahmini günlük MP alımı (EDI) (MPs/kg/bw/gün) (a), Türkiye'de mağazalardan satın alınan şekerlerin yıllık MPs emisyonları (aMPe) (trilyon) (b) (Yurtsever M. &., 2024).

a) EDI şeker-MP (adet/kg/v/gün)				
Çocuklar için	Parça	Film	Lif	Toplam
Kristal şeker	621	202	34	857
Küp şeker	1085	250	64	1399
Pudra şekeri	550	75	22	647
Yetişkinler için				
Kristal şeker	142	46	8	196
Küp şeker	248	57	15	320
Pudra şekeri	126	17	5	148
b) aMPe şekerler				
AMPe (trilyon)	Kristal şeker	Küp şeker	Pudra şekeri	
Parça	1.62	2,83	1.43	
Film	0,53	0,65	0,20	
Lif	0,09	0,17	0,06	
Toplam	2.24	3.65	1.69	

Kristal şeker günlük kullanımda en çok tüketilen şekerdir. Kristal şekerlerden MP alım oranları çocuklar ve yetişkinler için sırasıyla 857 parçacık/kişi/gün ve 196 parçacık/kişi/gündür. Türkiye'nin 2022 yılı nüfusu 85.279.553'tür. Türkiye'de kristal şekerlerin yıllık MP emisyonları (aMPe) 2,24 trilyondur. Şeker çayla tüketildiği gibi şekerlemeden fırın ürünlerine kadar birçok gıda ürününe şeker eklenmektedir. Ancak günümüzde tüketilen şekerlerin çoğu, genellikle şeker olarak görülmeyen işlenmiş içeceklerde ve gıdalarda (meyveli sodadan ketçaba kadar) gizlidir. Bu nedenle, ne

yazık ki gerçek alım oranları WHO tarafından önerilen diyet alımından daha yüksektir (WHO, 2023).

5.6. Tartışma

Gıda güvenliği konularında çoğunlukla stratejik stok, bireysel tüketim oranı, öz yeterlilik oranı ve gıda güvenliği katsayıları analiz edilmekte olup, gıda güvenliği katsayısını etkileyen en önemli ekonomik faktörler üzerinde durulmaktadır (Saleh Sayed Salah, 2020; Antamoshkina, 2020). Ancak ne yazık ki gıdalardaki evre kirleticilerini ve olası riskleri ortaya koymak yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmanın bulgularının da gösterdiği gibi şekerlerde yüksek düzeyde risk bulunmaktadır. Bu sonuçlar muhtemelen uygunsuz tarım ve üretim uygulamalarının ve en önemlisi aşırı plastik kullanımının yansımasıdır. şekerdeki MP'lerin varlığı ve bolluğu, şekerin tarımsal, endüstriyel ve ticari bir ürün olarak ticaretini ve onu tüketen insanların güvenini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle üreticilerin ve yasa koyucuların şeker üretim aşamalarına odaklanmaları gerekmektedir.

Günümüzde, aşırı nüfus, plansız ve hızlı kentleşme, tahrip edilmiş tarım alanları , ormansızlaşma , küresel ısınma vb. gibi antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan birçok sorun gıda güvenliğini tehdit ediyor. Ayrıca, tüm dünyanın karşı karşıya olduğu gıdalardaki aşırı yüksek miktarda "plastik kirliliği" gıda güvenliği için önemli bir tehdittir ve göz ardı edilmemelidir. şu anda, plastik reçine ve lif üretimi yaklaşık 400 milyon ton olduğunda, çevredeki plastik kirliliğinin bolluğu (~8 milyar Mt) ve bunun gıdalardaki korkunç yansımaları görülmektedir. 2050 yılına kadar yıllık plastik üretiminin 2020 seviyesinin iki katı olması öngörülüyor. Üretim bu şekilde devam ederse, insanlık 2050 yılı sonuna kadar 26 milyar Mt plastik atık (HDPE, LDPE, PP, PS, PVC, PET ve PUR), 6 milyar Mt PP&A (polyester, poliamid ve akrilik) elyaf ve 2 milyar Mt katkı maddesi üretmiş olacak (Geyer, 2017). Eğer bugün yiyecekler bu kadar kirlenmişse, gelecekte plastikleştirilmiş yiyeceklerden (Plastifood) kaçınmak neredeyse imkansız görünüyor.

MP kontaminasyonu açısından incelenen pudra şekerlerinden biri diğer şekerlere göre belirgin şekilde daha temizdir. Küp şeker üretimindeki tek fark sıkıştırma işlemi olmasına rağmen, kp şekerlerin analiz edilen diğer kristal ve pudra şekerlere göre MP açısından daha kirli bulunmasının nedeni düşündürücüdür. Ayrıca, incelenen üç farklı küp şeker markasının ambalajı da karton ambalajdır. Ambalaj zerinde "El değmeden

hijyenik koşullarda tam otomatik Komori Chambon makinelerinde üretilmiştir" ibaresi yer almaktadır. Bununla birlikte, şeker küplerindeki yüksek MP kontaminasyonu seviyesi, üretim aşamalarında kullanılan ekipman veya ortamla ilişkili olabilir. Gıda üretim tesislerinin her aşaması dikkatlice gözden geçirilmeli ve üretilecek gıdaya plastik dökülme olasılığı olan alet, ekipman ve noktalarda, plastik bulunan herhangi bir üretim hattında ve gıdanın yerleştirildiği tanklarda ve ortamlarda partikül yayan plastik malzemenin azaltılması ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Mikro ve nanoplastiklere maruz kalmanın başlıca sonuçları arasında nörotoksisite , oksidatif stres ve immünotoksisite gibi etkiler bildirilmiştir (Garrido G.E., 2022). Gıda alımı, insanların MP'lere maruz kalmasının en önemli yollarından biri olarak kabul edilmektedir, bu nedenle benzer çalışmalarla MP maruziyet konsantrasyonlarını göstermek önemlidir.

Literatürde pancar şekeri işlemede çevresel sorunlara odaklanan ve olası çözümler öneren bir çalışma bulunmaktadır (Vaccari, 2005). Şeker üretimi, birçok değişkenin etkileşime girdiği karmaşık süreçleri içerir. Karmaşık süreçlerin maliyet ve zaman gereksinimleri, bilgisayar tabanlı modelleme teknikleriyle azaltılmakta ve elde edilen ürün kalitesiyle ilgili gerekli eylemler zamanında yapılabilmektedir . Ancak, üretim sırasında MP kontaminasyonunu ortadan kaldırmak için tekniklerin planlanması gerekli görünmektedir.

Malçlanmış ve seralanmış topraklarda yüksek MP konsantrasyonlarına rastlamak mümkündür. Ancak şeker pancarı, malçlama veya sera örtüsüne ihtiyaç duymadan ürün veren ve hasat sırasında otomatik olarak toplanan bir tarımsal-endüstriyel bitkidir. Bu nedenle şeker pancarı gibi bir bitkiden elde edilen bir üründe bu kadar yüksek MP seviyesi bulmak şaşırtıcıdır. Şeker pancarından şeker üretimi ve şeker kamışından şeker üretimi, küçük farklılıklarla benzer aşamaları içerir (Lehnberger, 2015). Yapılan çalışmalarda rafine şekerde (kamış şekeri) ortalama 217 ± 123 /kg şeker lifi ve 32 ± 7 /kg şeker parçacığı bildirmiştir (Liebezeit, 2013). Bir kg şekerde (kamış şekeri) ortalama $343,7 \pm 32$ plastik parçacık bulduklarını bildirmiştir. Literatürde şeker kamışındaki MP'ler ile ilgili bulgular bulunmakla birlikte metodolojik farklılıklar nedeniyle sonuçlar bu çalışma ile karşılaştırılmamıştır. Buna rağmen Bangladeş'te Dakka'da yedi şekerde yapılan MP çalışmasından anlaşılabileceği üzere özellikle kırmızı, mavi ve beyaz olmak üzere benzer renklerde şekerlerde MP'ler bulunmaktadır ve çoğu küçük parçacıklardır ($<300 \mu m$). Makhdoumi, inceledikleri sofralık şekerlerde (pancar

veya kamış şekeri) (çoğunlukla PE ve PP tanımlı) ortalama 226 MP/kg şeker tespit etmişler ve sırasıyla beyaz, kırmızı, siyah, renksiz, mavi ve yeşil renklerin baskın olduğunu bildirmişlerdir (Makhdoumi, 2023). Yapılan çalışmaların ortak noktası şekerlerdeki MP kontaminasyonunun önemli olmasıdır. Bu durumda sonuç olarak benzer bir yöntemle şeker kamışından üretilen şekerdeki MP bolluğunun uyum ve karşılaştırma açısından araştırılması yararlı olacaktır. Ayrıca bitkilerden elde edilen şekerlerdeki MP düzeylerine bir katkısı olup olmadığını belirlemek için pancar ve kamışta MP araştırmasına ihtiyaç vardır.

Sürdürülebilir bir gıda sistemi ayrıca yerel üretim ve dağıtım altyapılarını teşvik eder ve besleyici gıdayı herkes için ulaşılabilir, uygun fiyatlı hale getirir. Gıdalardaki yeni kirleticiler (MP-NP kirliliği ve toksik kimyasallar), Avrupa Yeşil Mutabakatı (EGD) ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ni (SDG 2, 3 ve 12) hedefleyen "çiftlikten çatala yeşil gıda sistemi" kapsamında da dikkate alınmalıdır (Bongardt, 2022). Gıda izleme sistemlerinde tedarik zincirini gerçek zamanlı veri akışıyla birleştiren blok zinciri teknolojisinin benimsendiği bu günlerde (Pandey, 2022), MP tipi kirleticiler bağlamında kontrollü üretim modellerinin yeniden tasarlanması ve düzenlemelerin gözden geçirilmesi gerekebilir. Brix, saflık, pol, pH, kül, renk ve vakum sıcaklığı verileri şeker üretiminde esastır. Bu parametrelerden MP verilerinin şekerdeki saflık düzeylerinin değerlendirilmesinde dikkate alınması ve gıda üretiminde MP kontrolü açısından mikroskopinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Isıl işlemler mikroplastiklerin otofloresansını artırır. Plastiklerle ilişkili otofloresan (birincil floresan) sinyalleri çevresel örneklerdeki MP'leri tanımlamak için kullanılırken, floroforlar (NR gibi floresan boyalar) gibi ikincil floresan sinyalleri MP'lerin daha spesifik ve kantitatif değerlendirmesi için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Monteleone, 2020; Morgana, 2024). NR boyamada yüksek sıcaklıklarda (25 °C - 60 °C) inkübasyon, floresan sinyalinin yoğunluğunu artırarak ve boya moleküllerinin sızmasını önleyerek NR boyama verimliliğini de artırabilir (Morgana, 2024). Şeker üretimindeki yüksek sıcaklık işlemleri plastiklerin parçalanmasında ve MP'lerin floresan yoğunluğunda artışa yol açabilir. NR-Floresan tekniğinin MP tespiti için etkinliği değerlendirildiğinde, Nil kırmızısı çözeltisinin konsantrasyonu optimum şekilde ayarlanmadığında, örneğin düşük NR konsantrasyonlarında plastiklerin parlaklığının düşük olduğu bulunmuştur. Bir diğer sınırlama ise NR boyasının tüm polimerleri aynı şekilde boyamamasıdır, örneğin geri

kazanım testlerinde kullanılan NR boyalı PVC mikrogran  leri PE ve PP'den daha s  n  kt  .





6. SONUÇ

Bu çalışmada şeker pancarından elde edilen şekerlerdeki MP kontaminasyonu araştırıldı. Sonuçlara göre bir çay kaşığı toz şeker 500 MP, bir küp şeker 1208 MP ve bir çay kaşığı pudra şekeri 377 MP içermektedir. Ne yazık ki şekerler çeşitli renk, tip ve boyutlarda polimerlerin bir kokteyline dönüşmüştür. Ayrıca, bu verilerde submikron boyutlar (NP) yer almadığından, burada verilen sonuçlar şekerdeki minimum plastik kontaminasyonunu temsil etmektedir.

Şeker gibi gıdaların günlük tüketiminde MP'lerin kronik olarak yutulması ve gıda yoluyla sürekli maruziyet, insanları potansiyel sağlık risklerine maruz bırakabilir. Pancar yapraklarında fotosentezle üretilen ve köklerde depolanan bir ürün olan pancar şekerinin MP'ler açısından bu kadar kirli olması endişe vericidir. Bu kirliliğin kaynakları, şeker üretim süreçleri ve bu süreçlerde kullanılan malzemeler, araçlar, ekipmanlar ve ortam havasıyla ilişkilendirilebilir. Açıkça söylemek gerekirse, aşırı plastik üretimi ve tüketimi "neden" iken, gıdalardaki aşırı MP kirliliği "sonuç"tur.

Elde edilen bulgular; tarım, tarımsal hammaddeler, endüstriyel üretim ve satış süreçleri kapsamında diğer gıdalardaki mikroplastik kirliliğini araştırmayı hedefleyen gelecekteki çalışmalar için önemli bir referans niteliğindedir. MP maruziyet konsantrasyonları hakkındaki bu tür bilgiler, paydaşların hangi azaltma ve yönetim stratejilerine öncelik vereceğine karar vermelerine ve çevre-gıda-sağlık sorunlarının kaynaklarını ve kesişimlerini tahmin etmelerine yardımcı olabilir.



KAYNAKÇA

- Antamoshkina, E. R. (2020). The model of statistical assessment of food security. Complex systems: innovation and sustainability in the digital age. Springer, Cham,. 471-479.
- Arısoy M., G. D. (2019). Türkiye'deki Deniz Canlılarında Mikroplastik Kirliliği. *Greenpeace Türkiye*. https://www.greenpeace.org/static/planet4-turkey-stateless/2019/10/33abcb16-mikroplastik_rapor_final_rev.pdf adresinden alındı
- Ark, P. v. (2008). *Xeno-estrogenic compounds in precipitation*. *Journal of Environmental Monitoring* (Cilt 10).
- Auta, H. E. (2017). *Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions*.
- Barnes, F. G. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. doi:DOI: 10.1098/rstb.2008.0205
- Bilgin, M. Y. (2020). Microplastic removal by aerated grit chambers versus settling tanks of a municipal wastewater treatment plant. *J. Water Process Eng.*
- Bongardt, A. T. (2022). *The European Green Deal: more than an exit strategy to the pandemic crisis, a building block of a sustainable european economic model*. *JCMS: J. Common Mark. Stud.* (Cilt 60).
- Carpenter, E. J. (1972). *Plastics on the Sargasso Sea surface*. *Science* (Cilt 175).
- Colzi, I. R. (2022). Impact of microplastics on growth, photosynthesis and essential elements in *Cucurbita pepo* L. J.
- Conti, G. F. (2020). *Micro-and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population*.
- Cox. (2019). Human Consumption of Microplastics. *nvironmental Science & Technology*,, 7068-7074.
- Çelik-Saglam, I. Y. (2023). *Evaluation of levels and sources of microplastics and phthalic acid esters and their relationships in the atmosphere of highly industrialized and urbanized Gebze, Türkiye*. *Sci. Total Environ.* 881, 163508.
- Darwish, T. v. (2019). *Environmental Chemical Contaminants in Food: Review of a Global Problem*. *Journal of Toxicology*. 2019 tarihinde alındı
- Dolgoplova, N. K. (2021). *State-of-the-Art Methods for Eradication of Pathogenic Microflora in Sugar Production*. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 666. IOP Publishing.
- Dong, Y. G. (2021). *Uptake of microplastics by carrots in presence of As (III): Combined toxic effects*. *J. Hazard. Mater.* (Cilt 411).

- Dunzhu Li, Y. S. (2020). Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nature Food*, 746-754. <https://www.nature.com/articles/s43016-020-00171-y#citeas> adresinden alındı
- EC. (2022). Mayıs 11, 2023 tarihinde https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/sugar_en Agriculture and rural development adresinden alındı
- Erdem, . I. (2024). *Determination of Microplastics in Drinking Water Treatment Plants in Kocaeli, Turkey*.
- Fadare, O. W. (2020). Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it?
- Fang, M. L. (2022). *Microplastic ingestion from atmospheric deposition during dining/drinking activities*.
- FAS-USDA. (2023, JULY 11). <https://www.fas.usda.gov/data/turkey-sugar-annual-6> (accessed 11 July 2023). adresinden alındı
- Garrido G.E., C. V. (2022). *Microplastics in food commodities: A food safety review on human exposure through dietary sources. Food Safety and Quality Series, 18. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Rome, Italy*.
- Geyer, R. J. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. (Cilt 3).
- Gıdahattı. (2020). Gıdalarda Mikroplastik: Mikroplastik'ler bir sağlık sorunu mu? <https://www.gidahatti.com/gidalarda-mikroplastik-mikroplastikler-bir-saglik-sorunu-mu-148362/> adresinden alındı
- Hernandez, L. M. (2019). Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300-12310. doi:10.1021/acs.est.9b02540 adresinden alındı
- Huan, L. L. (2023). *Occurrence of microplastics in commercially sold bottled water*.
- Huang, D. C. (2022). *Recent advances on the transport of microplastics/nanoplastics in abiotic and biotic compartments. J. Hazard. Mater.*
- Huang, F. H. (2023). *Microplastics may increase the environmental risks of Cd via promoting Cd uptake by plants: A meta-analysis. J. Hazard. Mater., 130887*.
- İndriyani, D. S. (2016). *Scheduling of the crystal sugar production system in sugar factory using max-plus algebra. IJCSAM (Int. J. Comput. Sci. Appl. Math.)* (Cilt 2).
- İñiguez. (2017). *Microplastics in Spanish Table Salt. Microplastics in Spanish Table Salt*, (Cilt 7). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09128-x>. adresinden alındı
- Iqbal, B. Z. (2023). *Impacts of soil microplastics on crops: A review. Appl. Soil Ecol.* (Cilt 181).
- İrem Öztürk, D. C. (2024). Çevresel Mikroplastik Analizlerindeki Geri Kazanımı Değerlendirmeye Yönelik Bir Ön Çalışma. *Dogal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1).
- isosuger. (2022). <https://www.isosugar.org/publication/293/world-sugar-balance-august-2022> adresinden alındı

- Karami, A. G. (2017). *The presence of microplastics in commercial salts from different countries*. doi:doi: 10.1038/srep46173.
- Karami, A. G. (2018). *Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats*. (Cilt 612).
- Kaya, A. Y. (2018). *Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air*. (Cilt 133).
- Koelmans, A. A. (2016). *Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies*. *Environmental science & technology*, (Cilt 50).
- Kosuth, M. M. (2018). *Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt*. (Cilt 13).
- Kuriş, M. (2022). GIDA TEMASLI DOKUMASIZ KUMAŞLARIN MİKROPLASTİK SALIM POTANSİYELİNİN FARKLI YIRMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ. 7-7.
- Lehnberger, A. (2015). *Challenges by transferring proven efficient design from beet to cane based on practical experience*. *Int Sugar J*. (Cilt 117).
- Lehner, R. W.-F.-R. (2019). Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environmental Science & Technology*, 53(4), 1748-1765.
- Li, J. L. (2018). *Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection*.
- Li, Y. G.-Y. (2021). *Quantification of Nanoplastic Uptake in Cucumber Plants by*. : *Environ. Sci. Technol*. doi:10.1021/acs.estlett.1c00369 , 633–638.
- Liebezeit, G. L. (2013). *Non-pollen particulates in honey and sugar*. *Food Addit. Contam.* (Cilt 30).
- Lwanga, E. V. (2023). *Microplastic appraisal of soil, water, ditch sediment and airborne dust: The case of agricultural systems*. (Cilt 316).
- Makhdoumi, P. P. (2023). *Microplastic pollution in table salt and sugar: occurrence, qualification and quantification and risk assessment*. *J. Food Compos. Anal*.
- Monteleone, A. B. (2020). *Using autofluorescence for microplastic detection–Heat treatment increases the autofluorescence of microplastics*. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* (Cilt 76).
- Morgana, S. C. (2024). *Fluorescence- based detection: A review of current and emerging techniques to unveil micro/ nanoplastics in environmental samples*. *TrAC Trends Anal. Chem*.
- Murat Arı, S. Ö. (2021). Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 864-877.
- Napper, I. D. (2023). *Protect Earth's orbit: Avoid high seas mistakes*. (Cilt 379).
- Nel, T. X. (2006). *Toxic Potential of Materials at the Nanolevel*. *SCIENCE*,. doi:10.1126/science.1114397, 622 627.
- Okoffo, E. O. (2021). *Plastic particles in soil: state of the knowledge on sources, occurrence and distribution, analytical methods and ecological impacts*. (Cilt 23).

- Oßmann, B. S. (2018). *Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water*.
- Pandey, V. P. (2022). *Blockchain technology in food supply chains: Review and bibliometric analysis*. *Technol. Soc.* 69, 101954.
- Pubcehem. (2023). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sucrose#section=2D-Structure>. adresinden alındı
- Rillig, M. K. (2021). *The global plastic toxicity debt*. (Cilt 55).
- Rukmangada, R. N. (2023). *Microplastic contamination in salted and sun dried fish and implications for food security—A study on the effect of location, style and constituents of dried fish on microplastics load*. *Mar. Pollut. Bull.*
- Saleh Sayed Salah, S. S. (2020). Analysis Study of The Food Security Factor for Sugar in Egypt. *Fayoum J. Agric. Res. Dev.*, 34(2), 101-107.
- Schmidt, C. L. (2013). Nano-and microscaled particles for drug targeting to inflamed intestinal mucosa—A first in vivostudy in human patients. *Journal of Controlled Release*. 169(2), 139-145.
- Shams, M. A. (2021). *Plastic pollution during COVID-19: Plastic waste directives and its long-term impact on the environment*. *Environ. Adv.* 5, 100119.
- Sharma, S. C. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a shortreview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24-27, 21530-21547.
- Shruti, V. P.-G.-M. (2022). *Analyzing microplastics with Nile Red: Emerging trends, challenges, and prospects*. *Analyzing microplastics with Nile Red: Emerging trends, challenges, and prospects*. *J. Hazard. Mater.* .
- Sobhani, Z. L. (2020). Microplastics generated when opening plastic packaging. 10(1), 4841.
- Sosyal, A. (2020). *Yeşil Gazete*. <https://yesilgazete.org/gunden-gune-buyuyen-tehlike-mikroplastikler/> adresinden alındı
- Spiritüeller. (2018). *SPİRİTÜELLER*. *SPİRİTÜELLER*: <https://www.spirituel.com/konu-gorunmeyen-tehlike-yiyoruz-iciyoruz-soluyoruz.html> adresinden alındı
- Tang Xingzhen Ni, Z. Z. (2018). *Acute microplastic exposure raises stress response and suppresses detoxification and immune capacities in the scleractinian coral Pocillopora damicornis*. *Environmental Pollution (Oxford, United Kingdom)*,. doi:10.1016/j.envpol.2018.08.045
- Thompson, R. C. (2004). *Lost at sea: where is all the plastic?* (Cilt 304).
- Tomaszewska, J. B. (2018). *Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers*. *RSC Adv.* (Cilt 8).
- Tomlinson, D. W. (1980). *Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index*. *Helgol. nder Meeresunters.*
- Turkseker. (2022). July 11, 2023 tarihinde <https://www.turkseker.gov.tr/?ModulID=3&MenuID=55> adresinden alındı

- Tutoğlu N, .. (2019). Sucul Ortamdaki Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkisi ve Arıtma Yöntemlerinin Araştırılması. 57-58. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/TEZLER/UZMANLIK%20TEZ%C4%B0%20-%20N%C4%B0L%C3%9CFER%20TUTOGLU.pdf> adresinden alındı
- Vaccari, G. T. (2005). *Overview of the environmental problems in beet sugar processing: possible solutions. J. Clean. Prod.* (Cilt 13).
- Wagner., L. v. (2016 b). Formation of microscopic particles during the degradation of different. 510-517.
- Wang, K. C. (2022). *Accumulation of microplastics in greenhouse soil after long-term plastic film mulching in Beijing, China.*
- Wanger, L. v. (2016 a). *Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene.* <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.078> adresinden alındı
- WHO. (2023). Mayıs 8, 2023 tarihinde <https://www.who.int/news/item/04-03-2015-who-calls-on-countries-to-reduce-sugars-intake-among-adults-and-children> adresinden alındı
- Wiggin, K. H. (2019). *Validation and application of cost and time effective methods for the detection of 3–500 μ m sized microplastics in the urban marine and estuarine environments surrounding Long Beach, California.*
- Wu, X. H. (2022). Microplastics affect rice (*Oryza sativa* L.) quality by interfering metabolite accumulation and energy expenditure pathways: A field study. *J. Hazard. Mater.*
- XD, Y. X. (2020). *Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in Arabidopsis thaliana.* *Nat. Nanotechnol.* doi:10.1038/s41565-020-0707-4, 55–762.
- Xu, C. W. (2023). *Phenotypic and transcriptomic shifts in roots and leaves of rice under the joint stress from microplastic and arsenic. J. Hazard. Mater., 130770.*
- Yang, L. Z. (2021). *Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk.*
- Yurtsever M. (2019). Nano ve Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı Ve Ekosistem Üzerine Olası Etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 18-19.
- Yurtsever, M. &. (2024). Abundance of microplastics in the agro-industrial product beet sugar; food or plastifood. *Process Safety and Environmental Protection.*
- Yurtsever, M. (2015). *Mikroplastiklere Genel Bir Bakış. DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ.*
- Yurtsever, M. (2017). *KÜRESEL PLASTİK KİRLİLİĞİ, NANOMİKROPLASTİK TEHLİKESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK. KÜRESEL PLASTİK KİRLİLİĞİ, NANOMİKROPLASTİK TEHLİKESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: https://mevci.sakarya.edu.tr/sites/mevci.sakarya.edu.tr/file/MYurtseverKurese1_Plastik_Kirlilgi_NMP_Tehlikesi_ve_Surdurulebilirlik.pdf adresinden alındı*

- Yurtsever, M. (2018). *Küresel plastik kirliliği nano-mikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik. Çevre Bilim ve Teknoloji Dergisi* (1 b.).
- Yurtsever, M. (2021). *Are nonwoven fabrics used in foods made of cellulose or plastic? Cellulose/plastic separation by using Schweizer's reagent and analysis based on a sample of tea bags. Process Saf.* (Cilt 151).
- Yurtsever, M. Y. (2017). *Commonly used disposable plastic bags as a source of microplastic in environment. Micromed International Conference On Microplastic Pollution In The Mediterranean Sea Capri (na). Capri, Italy. September 26-29, 2017 tarihinde alındı*
- Zhang, Q. Z. (tarih yok). *Microplastic fallout in different indoor environments.* (Cilt 54).



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Muhammet Abdullah CÜVELEK

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2022, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
- Yükseklisans** : 2025, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden bölüm birincisi olarak mezun oldu.
- 2023 yılı Jandarma Genel Komutanlığı Bünyesinde subay olarak istihdam edildi.
- 2025 yılında Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademisinden Teğmen rütbesi ile mezun oldu.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

Yurtsever, M., & Cuevelek, M. A. (2024). Abundance of microplastics in the agro-industrial product beet sugar; food or plastifood. Process Safety and Environmental Protection, 188, 467-479.

DİĞER ESERLER: