T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

SÜTLERDE MİKROPLASTİK VARLIĞININ ARAŞTIRILMASI

SANAE RBAIBI ZİPAK

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. SERKAN KEMAL BÜYÜKÜNAL

ANABİLİM DALI
BESİN HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ

İSTANBUL-2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Sanae RBAIBI ZİPAK tarafından, **Doç. Dr. Serkan Kemal BÜYÜKÜNAL** danışmanlığında hazırlanan **"SÜTLERDE MİKROPLASTİK VARLIĞININ ARAŞTIRILMASI"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **22/12/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Doç. Dr. Serkan Kemal BÜYÜKÜNAL İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Veteriner Fakültesi Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ab.D		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Karlo MURATOĞLU İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Veteriner Fakültesi Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ab.D		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Beren BAŞARAN KAHRAMAN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Veteriner Fakültesi Mikrobiyoloji Ab.D		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr.Öğr.Üyesi Burcu ÇAKMAK SANCAR İstanbul Esenyurt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr.Öğr.Üyesi İlkay TURHAN KARA İstanbul Arel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü		☐ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Sanae Rbaibi ZİPAK

İTAF

Bu çalışmayı bana güzel bir eğitim armağan eden, üzerime titreyen ve eğitim yıllarında bana destek ve teşvikleri sonsuz olan babam ve anneme ithaf ediyorum…

Ayrıca çalışmamın her aşamasında ve sürecinde desteğini esirgemeyen ve hep yanımda olan eşim Enis, çocuklarım Yasmina, Eymen ve Enes'e ithaf ediyorum, sizleri çok seviyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

Sütlerde Mikroplastik Varlığının Araştırılması

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: TDK-2021-35711

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen başta danışman hocam Doç.Dr. Serkan Kemal BÜYÜKÜNAL ve tez izleme komitesi üyesi hocam Doç.Dr. Karlo MURATOĞLU olmak üzere, tez izleme komitesi üyesi hocam Doç.Dr. Beren BAŞARAN KAHRAMAN, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü hocalarım, asistan arkadaşlarım ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma ve çalışmamın örneklerini toplamamda sonsuz sabır ve desteği ile yanımda olan eşim Enis ZİPAK'a, çalışmamın süt örneklerini toplarken karşılaştığım, bana yardım eden tüm süt üreticilerine ve beni bu çalışmayı yapmaya teşvik ve motive eden kardeşim Ali'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım 2022 Sanae RBAIBI ZİPAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ KABUL VE ONAYI	**ii**
BEYAN	**iii**
TEŞEKKÜR	**vi**
İÇİNDEKİLER	**vii**
ŞEKİL LİSTESİ	**ix**
TABLO LİSTESİ	**x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	**xi**
ÖZET	**xii**
ABSTRACT	**xiv**
1. GİRİŞ	**1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	**3**
2.1. Sütün Tanımı	**3**
2.2. Diyetlerde Sütün Yeri ve Önemi	**3**
2.3. Dünya'da Süt Üretimi ve Tüketimi	**5**
2.4. Türkiye'de Süt Üretimi ve Tüketimi	**7**
2.5. Süt Eldesi ve İşlenmesi Sırasında Karşılaşılan Sorunlar ve Gıda Güvenliği Riskleri	**8**
2.5.1. Fiziksel Tehlikeler	**9**
2.5.2. Kimyasal Tehlikeler	**10**
2.5.3. Biyolojik Tehlikeler	**10**
2.5.4. Allerjenler ve Gıda İntoleransı	**11**
2.6. Bir Gıda Güvenliği Sorunu Olarak Plastikler	**12**
2.6.1. Dünya'da Plastik Üretimi ve Tüketimi	**12**
2.6.2. Türkiye'de Plastik Üretimi ve Tüketimi	**14**
2.6.3. Plastiklerin ve Plastik Atık-Artıkların Oluşturduğu Riskler	**15**
2.6.3.1. Plastiklerin Çevre ve Gıda Güvenliği Açısından Oluşturduğu Riskler	**16**
2.6.3.2. Plastiklerin İnsan Sağlığı Açısından Oluşturduğu Riskler	**17**

2.7. Sütlerde Mikroplastik **18**
3. YÖNTEM **23**
3.1. Gereç **23**
3.1.1. Örneklerin Seçimi ve Toplanması **23**
3.1.2. Analize Hazırlık Aşaması **23**
3.1.3. Analiz Güvenliği **24**
3.2. Yöntem **24**
3.2.1. Örneklerin analize hazırlanması **24**
3.2.2. Suni Sindirme **24**
3.2.3. Filtrasyon **25**
3.2.4. Kurutma **25**
3.2.5. Diseksiyon Mikroskobu ile Görüntüleme **25**
3.2.6. MP Boyut Ölçümü ve Morfolojik Yapı Bilgisinin Kaydedilmesi **26**
3.2.7. Elektron Mikroskobu ile Görüntüleme **26**
3.2.8. FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) ile Polimer Yapı Tayini **26**
3.3. İSTATİSTİK **26**
4. BULGULAR **28**
4.1. Koyun Sütü Örneklemi için Analiz Sonuçları **29**
4.2. Keçi Sütü Örneklemi için Analiz Sonuçları **32**
4.3. Manda Sütü Örneklemi için Analiz Sonuçları **34**
4.4. İnek Sütü Örneklemi İçin Analiz Sonuçları **37**
4.5. Tüm Örneklem Kümesi İçin Analiz Sonuçları Değerlendirmesi **40**
5. TARTIŞMA **49**
6. SONUÇ VE ÖNERİLER **54**
KAYNAKLAR **55**
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI **62**
ETİK KURUL VE KURUM İZİNLERİ **63**
ÖZGEÇMİŞ **64**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Gıda üretiminde çevresel etkiye göre hayvansal besinlerin ve sütün rolü (Birleşmiş Milletler 2021 Gıda Raporu) 4
Şekil 2. 2. 1961–2017 yılları arasında tüm dünyada hayvansal gıda tüketim trendleri (Birleşmiş Milletler 2021 Gıda Raporu) 5
Şekil 2. 3. Türkiye'de 2021 itibariyle toplanan inek sütü miktarı (TÜİK, 2022) 7
Şekil 2. 4. Türkiye'de 2021 yılı itibariyle süt ürünleri üretimi (TÜİK, 2022) 8
Şekil 2. 5. Dünyada ve Avrupa'da plastik üretiminin yıllara göre dağılımı (Plastic Europe, 2021) 12
Şekil 2. 6. 2020 yılında AB genelinde plastiklerin temel kulanım alanlarına ve türlerine göre dağılımları (Plastic Europe, 2021) 13
Şekil 2. 7. 2006-2020 yılları arasında AB genelinde plastik malzeme atık yönetimi (Plastic Europe, 2021) 14
Şekil 2. 8. Türkiye'de plastik mamul üretimi ve değerinin yıllara göre dağılımı (PAGEV, 2022) 14
Şekil 2. 9. Türkiye'de 2021 yılı plastik mamullerin üretimi (milyon ton) (PAGEV, 2022) 15

Şekil 4. 1. Araştırma örnekleminin illere göre dağılımı 28
Şekil 4. 2. SEM-EDS görseli 41
Şekil 4. 3. SEM-EDS görseli 41
Şekil 4. 4. SEM-EDS görseli 42
Şekil 4. 5. SEM-EDS görseli 42
Şekil 4. 6. ATR-FTIR grafiği 43
Şekil 4. 7. ATR-FTIR grafiği 43
Şekil 4. 8. ATR-FTIR grafiği 44
Şekil 4. 9. ATR-FTIR grafiği 44
Şekil 4. 10. ATR-FTIR grafiği 45
Şekil 4. 11. ATR-FTIR grafiği 45
Şekil 4. 12. ATR-FTIR grafiği 46

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2. 1. Farklı hayvansal kaynaklarına göre süt temel bileşenleri (SVN, 2017) 3
Tablo 2. 2. Avrupa ülkeleri ve dünyada son on yılda süt üretiminin bölge ve ülkelere göre dağılımı (Eurostat, 2021) 6
Tablo 2. 3. Türkiye'de 2021 itibariyle süt ürünlerinin üretimindeki değişim (TÜİK, 2022) 8

Tablo 4. 1. İllere göre numune sayıları ve dağılımı 29
Tablo 4. 2. Koyun sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları 30
Tablo 4. 3. Koyun sütünde tespit edilen MP polimer dağılımı 30
Tablo 4. 4. Koyun sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı 31
Tablo 4. 5. Koyun sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı 31
Tablo 4. 6. Keçi sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları 32
Tablo 4. 7. Keçi sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı 33
Tablo 4. 8. Keçi sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı 33
Tablo 4. 9. Keçi sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı 34
Tablo 4. 10. Manda sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları 35
Tablo 4. 11. Manda sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı 36
Tablo 4. 12. Manda sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı 36
Tablo 4. 13. Manda sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı 37
Tablo 4. 14. İnek sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları 38
Tablo 4. 15. İnek sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı 38
Tablo 4. 16. İnek sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı 39
Tablo 4. 17. İnek sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı 39
Tablo 4. 18. Tüm süt örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları 40
Tablo 4. 19. Tüm süt örnekleri için MP polimer türünün dağılımı 42
Tablo 4. 20. Tüm örneklemde tespit edilen MP polimer tipine göre dağılımları 46
Tablo 4. 21. Tüm örneklemde tespit edilen MP partiküllerinin renk dağılımları 47
Tablo 4. 22. Tüm örneklemde tespit edilen MP partiküllerinin boyut dağılımları 47
Tablo 4. 23. Tüm örneklemde tespit edilen MP sayılarının iller bazında boyut dağılımları 48

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
p	**:** İstatistik anlamlılık değeri

Kısaltmalar	Açıklama
ATR-FTIR	**:** Zayıflatılmış toplam yansıma Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
CR	**:** Poli kloropren
EA	**:** Etil Akrilat
ECHA	**:** Avrupa Kimya Ajansı (European Chemicals Agency)
EDS	**:** Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi
EP	**:** Etilenpropilen
FTIR	**:** Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
HBNR	**:** Hidrojene nitril bütadien kauçuk
LLDPE	**:** Lineer düşük yoğunluklu polietilen
MP	**:** Mikroplastik
PAH	**:** Akrilamide
PAM	**:** Poly Acrylamide
PBDE	**:** Polibromlu difenil etafen
PCB	**:** Poliklorlu Bifenil
PARA	**:** Poly Aramid
PE	**:** Polietilen
PP	**:** Polipropilen
PS	**:** Polistiren
PTFE	**:** Politetrafluoro etilen
PVC	**:** Polivinil klorür
SEM	**:** Taramalı elektron mikroskobu
TPE	**:** Termoplastik elastomerler

ÖZET

Doktora Tezi

SÜTLERDE MİKROPLASTİK VARLIĞININ ARAŞTIRILMASI

Sanae RBAIBI ZİPAK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Besin Hijyeni ve Teknolojisi Doktora Programı

Danışman: Doç. Dr. Serkan Kemal BÜYÜKÜNAL

Amaç: Bu tezin amacı, çiğ sütlerde mikroplastiklerin varlığını ve olası kaynaklarını araştırmaktır.
Yöntem: Toplanılan örnekler farklı hayvan türlerine (inek, manda, koyun ve keçi) ait çiğ sütleri temsil edecek şekilde Marmara Bölgesi'nden toplanmıştır. Araştırmada toplamda Balıkesir'den 131, Bilecik'ten 23, Bursa'dan 66, Çanakkale'den 70, Edirne'den 59, İstanbul'dan 36, Kırklareli'den 49, Kocaeli'den 33, Sakarya'dan 49, Tekirdağ'dan 52 ve Yalova'dan 20 süt örneği toplanmıştır. Numuneler, enzimatik bir deterjanla yapay olarak sindirilmiştir. Daha sonra vakum pompalı 1 μm gözenek boyutlu cam filtre kullanılarak yaklaşık 0,5 bar basınçta süzme işlemi gerçekleştirilmiştir. Filtre kağıtları, 4x büyütme kamerasına bağlı bir binoküler biyolojik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Morfolojik karakterizasyon ve elemental analiz için SEM-EDS yöntemi kullanılmıştır. Polimer türünün tayini için ATR-FTIR yöntemi kullanılmıştır. Mikropartiküller Cameram Software 1.3.0.8 (Mikrosistem, Türkiye) kullanılarak fotoğraflanmıştır. Parçacıklar, IC Measure (The Imaging Source®, 2.0.0.286, Almanya) kullanılarak renk ve şekillerine göre sınıflandırılmış ve boyutları ölçülmüştür.
Bulgular: Tüm örneklem kümesinin %89,29'unda mikroplastik tespit edilmiştir. Bu mikroplastiklerin %77,36'sının etilenpropilen (EP), %18,82'sinin poli tetra fluoro etilen (PTFE), %1,49'unun Poli Akrilamid (PAM), %1,01'inin Poli Kloropren (CR), %0,81'inin Poli Aramid (PARA), %0,35'inin Etilen Akrilat (EA) ve %0,17'sinin hidrojene nitril bütadien

kauçuk (HNBR) olduğu tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin %52,40'ının fiber, %21,20'sinin film, %14,19'unun küre ve %12,22'sinin fragment şekilli olduğu tespit edilmiştir. Mikroplastikler %24,15'i kırmızı, %20,08'i siyah, %18,69'u mavi, %11,21'i mor, %5,85'i pembe, %5,62'si kahverengi, %5,25'i şeffaf, %4,92'si yeşil, %2,69'u gri, %0,91'i sarı, %0,48'i portakal rengi, %0,1'i mavimsi yeşil ve %0,04'ü kahverengimsi kırmızı renkte görüntülenmiştir. Tespit edilen mikroplastiklerin %0,06'sının 10-20 µm arasında, %32,03'ünün 20-150 µm arasında, %23,88'inin 150-500 µm arasında, %14,70'inin 500-1000 µm arasında ve %29,32'sinin 1000-5000 µm arasında boyutta olduğu tespit edilmiştir.
Sonuçlar: Marmara Bölgesi'nde koyun, keçi, manda ve ineklerden alınan çiğ süt örneklerinde mikroplastiklerin yaygın olduğu görülmüştür.

Kasım 2022, 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: Süt, Mikroplastik, SEM-EDS, ATR-FTIR.

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

INVESTIGATION OF MICROPLASTIC PRESENCE IN MILK

Sanae Rbaibi ZİPAK

İstanbul University-Cerrahpaşa

Graduate School of Education

Department of Food Hygiene and Technology

Food Hygiene and Technology Doctorate Program

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan Kemal BÜYÜKÜNAL

Aim: The aim of this thesis is to investigate the presence and the possible sources of microplastics (MP) in raw milk.
Method: Collected samples were collected to represent raw milk of different animal species (cow, buffalo, sheep and goat). In the research, 131 from Balıkesir, 23 from Bilecik, 66 from Bursa, 70 from Çanakkale, 59 from Edirne, 36 from Istanbul, 49 from Kırklareli, 33 from Kocaeli, 49 from Sakarya, and 59 from Tekirdağ. 52 and 20 milk samples were collected from Yalova. The samples were digested artificially with an enzymatic detergent. Then filtration was carried out at a pressure of approximately 0.5 bar using a 1 μm pore size glass filter with a vacuum pump. The filter papers were examined using a binocular biological microscope attached to a 4x magnification camera. SEM-EDS was used for morphological characterization and elemental analysis. FTIR was used for the determination of polymer type. Microparticles were photographed using Cameram Software 1.3.0.8 (Mikrosistem, Turkey). Particles were classified according to their color and shape and their sizes were measured using IC Measure (The Imaging Source®, 2.0.0.286, Germany).
Results: Microplastic was detected in 89,29% of the entire milk samples. Of these microplastics, 77,36% ethylenepropylene (EP), 18,82% poly tetra fluoro ethylene (PTFE), 1,49% Poly Acrylamide (PAM), 1,01% Poly Chloroprene (CR)), 0,81% was Poly Aramid (PARA), 0,35% was Ethylene Acrylate (EA) and 0,17% was hydrogenated nitrile butadiene

rubber (HNBR). 52,40% of MP particles had fiber, 21,20% film, 12,22% strip and 14,19% spheroidal form. 20,08% black, 18,69% blue, 0,1% bluish green, 5,62% brown, 0,04% brownish red, 4,92% green, 2,69% gray, 0,48% of MP particles orange color, 5,85% pink, 11,21% purple, 24,15% red, 5,25% transparent and 0,91% yellow. Sizes of MP species in the sample: 0,06% between 10-20 μm, 32,03% between 20-150 μm, 23,88% between 150-500 μm, 14,70% between 500-1000 μm, 29,32% 1000-5000 μm.
Results: Microplastics were found to be common in raw milk samples from sheep, goats, buffaloes and cows in the Marmara Region.

November 2022, 79 pages.

Key words: Milk, Microplastic, SEM-EDS, ATR-FTIR.

1. GİRİŞ

Modern toplumun nişanesi olan plastikler tüm çevremizi şekillendirmektedir. Birçok sektörde çözüm alternatifi sunan plastiklerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde plastik kullanılmayan bir sektör mevcut değildir. Otomotivden kozmetiğe, ziraatten inşaata, tekstilden gıdaya her sektör plastiğin sunmuş olduğu inovasyonlardan ziyadesiyle faydalanmaktadır. Plastik kullanımının en yaygın olduğu sektör ise ambalaj sektörüdür. National Geographic'e göre, üretilen plastiğin %40'ını tek kullanımlık ambalajlar oluşturmaktadır. Bu değer plastik kullanımının en yüksek oranıdır. Plastiklerin çevre için oluşturduğu tehlikenin ana nedeni, polimerlerin yüksek oranda dayanıklı olmalarından kaynaklanmaktadır. Doğaya atılan ya da terkedilen plastikler, foto-oksidatif etkiler, rüzgâr, su gibi çevresel koşulların etkisiyle fiziksel erozyona uğramakta ve küçük parçalara bölünerek çevrede senelerce kaybolmadan kalmaktadır (Yurtsever, 2019).

Plastiklerin parçalanmaları ile oluşan 5 mm'den küçük parçacıklara, mikroplastik (MP) adı verilir (GESAMP, 2015; Fonseca ve diğ., 2017; Sharma ve Chatterjee, 2017; Hale ve diğ., 2020). Kişisel bakım ürünleri, şampuanlar, sıvı sabunlar, deterjanlar, diş macunları, tekstil ürünleri, çantalar, ayakkabılar, kırtasiye malzemeleri, araba lastikleri, su ve gıdalar gibi çok yaygın bir ürün yelpazesi kullanımına bağlı olarak havaya, suya ve çevreye mikroplastik parçacıklar saçmaktadır (Aslan ve Terim, 2018). Su kaynakları ve suda yaşayan canlılarda mikroplastik varlığı araştırmaları son yıllarda gündem haline gelmiştir (Welle ve Franz, 2018). Ama mikroplastiklerin gıdalardaki varlığı hakkında yapılan araştırmaların çok sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bilim adamları, politikacılar ve halk haklı olarak plastiğin dramatik çevresel etkisi için endişe duyarken, mikroplastiklerin su ve gıdaya kontaminasyonunun düzeyi ve bu bulaşın insan sağlığı üzerindeki etkisi büyük ölçüde bilinmemektedir (Carbery ve diğ., 2018; Toussaint ve diğ., 2019).

İnsanlar için mikroplastiklere maruz kalma yolları genel olarak; inhalasyon (solunan havadaki mikroplastikler), oral yol (su ve gıda maddeleri) ve cilt teması (sentetik tekstil ürünleri, kozmetik kremleri) olarak sınıflandırılabilir (Wright ve Kelly, 2017; Correia, 2018; Chang ve diğ., 2019; Ertuğrul 2020).

Mikroplastikler başta evsel kullanım, endüstriyel üretim, zirai faaliyetler ve ulaşım araç gereçleri olmak üzere her türlü antropojenik faaliyetten kaynaklanabilir (Aslan ve Terim, 2018). Gıda maddelerinde mikroplastiklerin bulunuşu; hammadde, gıda üretim aşamaları, ambalajlamada kullanılan plastikler veya havadan kaynaklı olabilmektedir. (Correia, 2018; Yurtsever, 2019; Akçay ve diğ., 2020). Plastiklerin gıda sanayindeki yaygın kullanımı sonucu besin zincirine mikroplastiklerin dahil olduğu ve insanların maruziyet durumunun artış gösterdiği düşünülmektedir (Leonard ve diğ., 2020). Mikroplastikler insanlarda iltihap, genotoksisite, oksidatif stres, hücre apoptozu ve doku nekrozu (Leonard ve diğ., 2020) gibi olumsuz biyolojik etkilerin sonucu olarak lokalize hücre ve doku hasarı, fibröz, potansiyel olarak karsinogenezden sorumlu tutulabilir (Deng ve diğ., 2017; Kieran ve diğ., 2019). Bunun yanı sıra mikroplastikler, çevre kirletici maddelerin (Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller, polibromlu bifenil eterler, pestisitler, ağır metaller) veya mikroorganizmaların biyofilm olarak (*E.coli* ve *Vibrio* spp.) taşınmasından da sorumlu olabilirler (Rodrigues ve diğ., 2017). Virüslerin ise plastik yüzeylerden daha hızlı yayıldığı bilinmektedir. Plastikler ayrıca, ftalatlar, alkilfenoller ve bisfenol A gibi sentetik katkı maddelerini de taşıyabilirler (Kosuth ve diğ., 2018).

Süt doğumdan itibaren yaşamımızın her aşamasında vücudumuz için oldukça gerekli bir gıdadır. Bu gerekliliği sürekli ifade edilen sütün tüketimi gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye'de süt koyun, keçi, manda ve inekten elde edilmektedir. Elde edildiği türe bağlı olarak işlenmemiş haliyle sütlerin mikroplastik varlığı hakkında bildiğimiz kadarıyla şimdiye kadar yapılmış ve yayınlanmış bir çalışma mevcut değildir. Ambalajlı/işlenmiş sütler ile ilgili çalışmalar ise oldukça az sayıda ve metot oluşturmaya yönelik sınırlı çalışmalardır. Bu tezin temel amacı, çiğ sütlerde mikroplastiklerin varlığını araştırmak ve tespit edilen mikroplastiklerin ait olduğu polimer türünü belirlemektir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Sütlerde mikroplastik varlığının araştırılması, olası sağlık risklerinin ortaya koyulması için öncelikle biyolojik bir salgı olan sütün farklı yönleriyle bir bütün olarak incelenmesi, süt üretimi hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Diğer bir yandan bulaşan olarak mikroplastiklerin tanımlanması, kaynaklarının tespiti, analiz yöntemlerinin incelenmesi de önem taşımaktadır.

2.1. Sütün Tanımı

Süt, buzağılamadan 15 gün önce ve 3 gün sonra elde edilenler veya büyük ölçüde serbest süt elde etmek için gerekli olan süreler hariç olmak üzere, bir veya daha fazla sağlıklı süt hayvanının tam sağımıyla elde edilen temiz, taze, tam yağlı süt salgısı olarak tanımlanabilir. Teknik açıdan süt, doğumdan 72 saat sonra sağlıklı bir hayvanın sağılmasıyla elde edilen bütün, normal, temiz ve taze süt salgısı olarak tanımlanmaktadır (OUAT, 2021).

Farklı hayvansal kaynaklarına göre süt temel bileşenleri Tablo 2.1'deki gibidir.

Tablo 2. 1. Farklı hayvansal kaynaklarına göre süt temel bileşenleri (SVN, 2017)

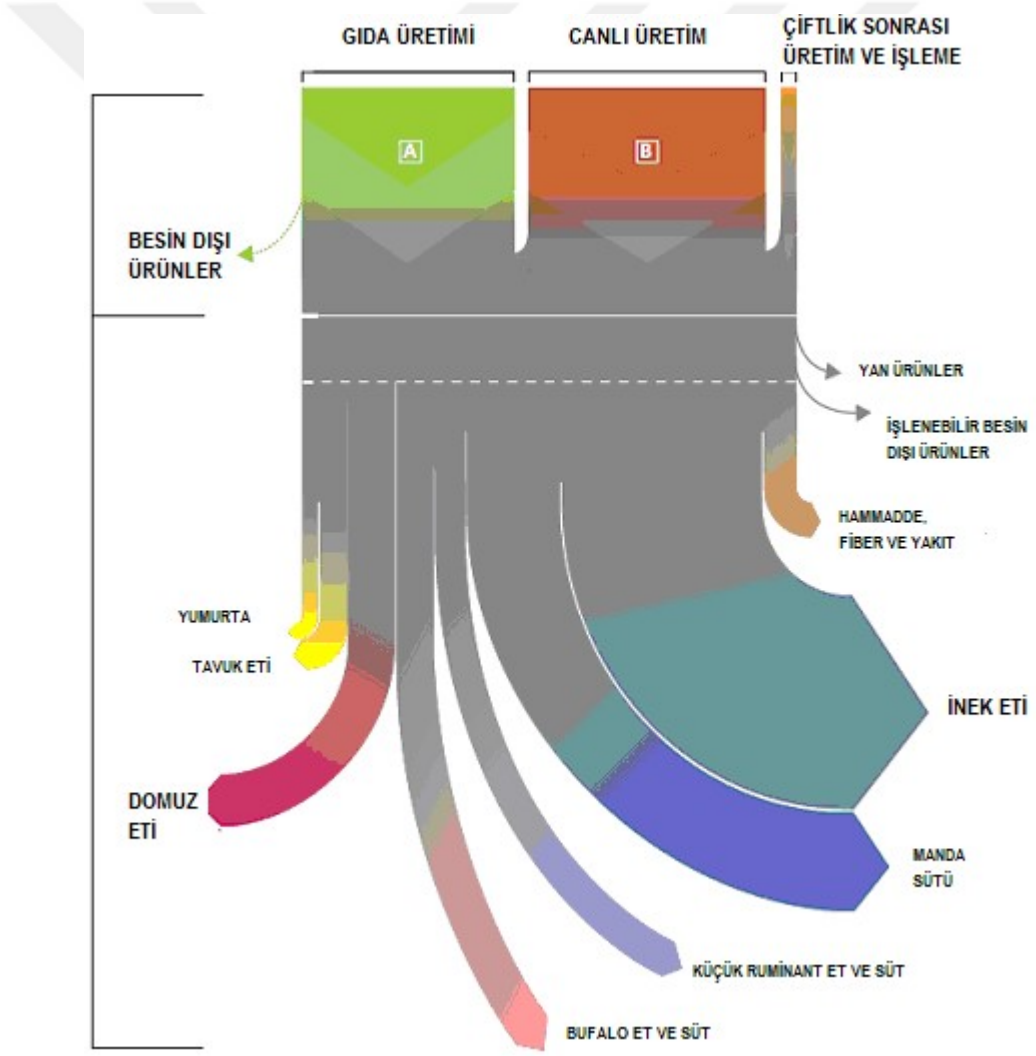
Türler	Toplam katı	Yağ	Protein	Laktoz	Kül
İnsan	12,4	3,8	1,0	7,0	0,2
İnek	12,7	3,7	3,4	4,8	0,7
Keçi	12,3	4,5	2,9	4,1	0,8
Koyun	19,3	7,4	5,5	4,8	1,0
At	11,2	1,9	2,5	6,2	0,5
Eşek	11,7	1,4	2,0	7,4	0,5
Evcil tavşan	32,8	18,3	13,9	2,1	1,8
Deve	12,9	4,2	3,7	4,1	0,9

2.2. Diyetlerde Sütün Yeri ve Önemi

Süt başta olmak üzere, hayvan kaynaklı gıdalar, özellikle çok çeşitli et, balık, kümes hayvanları, yumurta, salyangoz, solucanlar ve diğer küçük hayvanlar, yalnızca yüksek kaliteli ve kolayca sindirilen protein ve enerjiyi değil, aynı zamanda kolayca emilebilen ve biyolojik olarak kullanılabilir mikro besinleri de sağlar. Hayvansal kaynaklı gıdaların diyete dahil

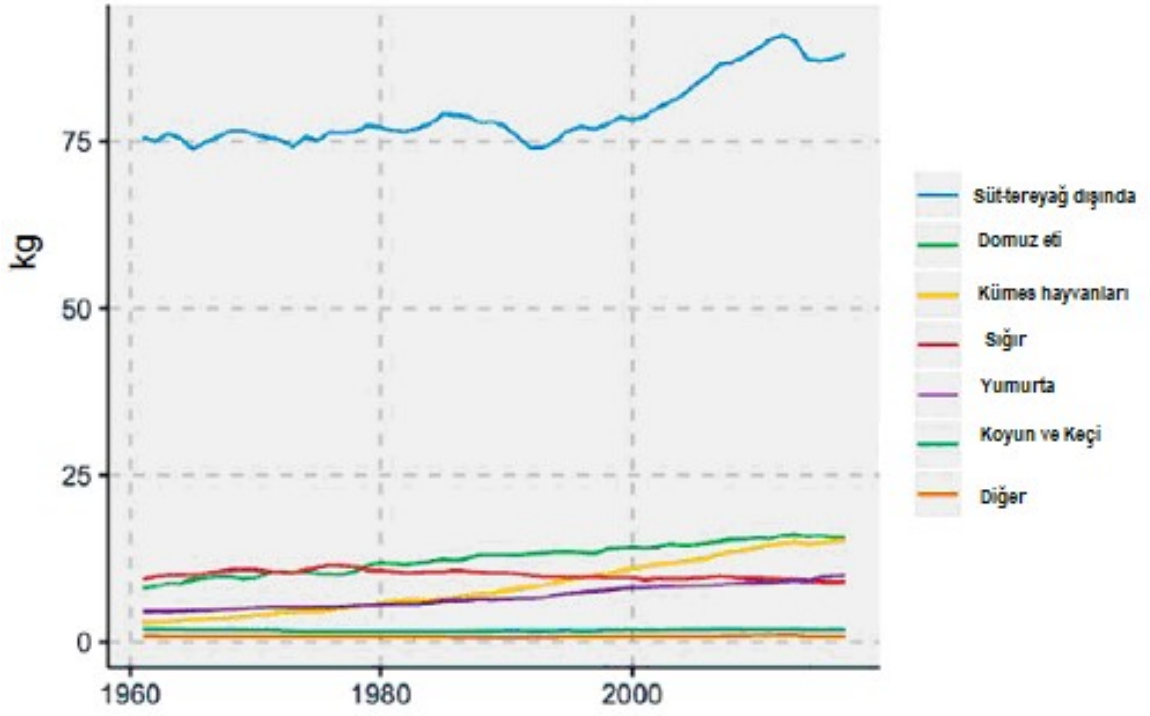
edilmesi büyümeyi, bilişsel işlevi, fiziksel aktiviteyi ve sağlığı destekler ve özellikle çocuklar ve hamile kadınlar için önemlidir (Neumann ve diğ., 2010).

Hayvansal kaynaklı besinlerin ve sütün üretilmesinin ekonomik etkileri, hane düzeyinden yerel ve bölgesel pazarlara kadar tüm değer zinciri boyunca önemli bir konudur. Hane düzeyinde, pazara erişim, sermayenin mevcudiyeti ve ev tüketimi için bazı ürünleri alıkoyma kapasitesi, yeni girişimlerde karar desteği için ön plana çıkan faktörlerdir. Ayrıca, küçük çiftlik sahipleri için beslenme eğitiminin, daha az dış gelir pahasına olsa bile, hayvan kaynaklı gıda tüketiminin öneminin anlaşılmasında önemli role sahiptir (Dahl ve diğ., 2019). Gıda üretiminde çevresel etkiye göre hayvansal besinlerin ve sütün rolü aşağıdaki Şekil 2.1'de göstertilmiştir.



Şekil 2. 1. Gıda üretiminde çevresel etkiye göre hayvansal besinlerin ve sütün rolü (Birleşmiş Milletler Gıda Raporu, 2021)

Süt hayvansal gıdalar içerisinde hem üretimi, hem de tüketimi en fazla olan gıdadır. 1961–2017 yılları arasında tüm dünyada hayvansal gıda tüketim trendleri Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2. 2. 1961–2017 yılları arasında tüm dünyada yıllık gıda tüketim trendleri (Birleşmiş Milletler Gıda Raporu, 2021)

Şekilde de görüleceği gibi, diğer hayvansal gıdalar içerisinde süt hem üretim, hem de tüketim bakımından en fazla paya sahip olan hayvansal gıdadır. Süt üretiminin tarihi süreçte de, et ve diğer hayvansal gıdaların toplamından daha fazla bir üretim ve pazar payına sahip olduğu görülmektedir.

2.3. Dünya'da Süt Üretimi ve Tüketimi

Küresel süt pazarı sürekli gelişmekte olan bir pazardır ve süt üretimi her geçen gün artış gösteren bir trend içerisindedir. Süt ürünleri pazarlama zincirindeki en önemli unsurlardan biri de süt ve işlenmiş süt ürünlerine yönelik tercihleri değişen tüketicilerdir. Değişen tüketici talebi, endüstrinin ürün yelpazesini genişletmesini zorlaştırmaktadır. Gelişmekte olan ekonomilerde süt ürünlerine olan talebin artması, küresel süt ticaretinde artışa yol açmıştır. Süt veriminin artması ve üretim verimliliğinin artması, küçük süt çiftliklerinin sayısının azalması ve süt sürüsü boyutunun genişlemesi sayesinde süt üretimi küresel olarak artmıştır. Piyasada inek sütüne alternatif olarak soya fasulyesi ve kuruyemiş

bazlı süt seçeneklerini tercih eden tüketici sayısındaki artış da bu durumu karmaşıklaştırmaktadır (Bórawski ve diğ., 2020).

Avrupa ülkeleri ve dünyada son on yılda süt üretiminin bölge ve ülkelere göre dağılımı Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2. 2. Avrupa ülkeleri ve dünyada son on yılda süt üretiminin bölge ve ülkelere göre dağılımı (Eurostat, 2021)

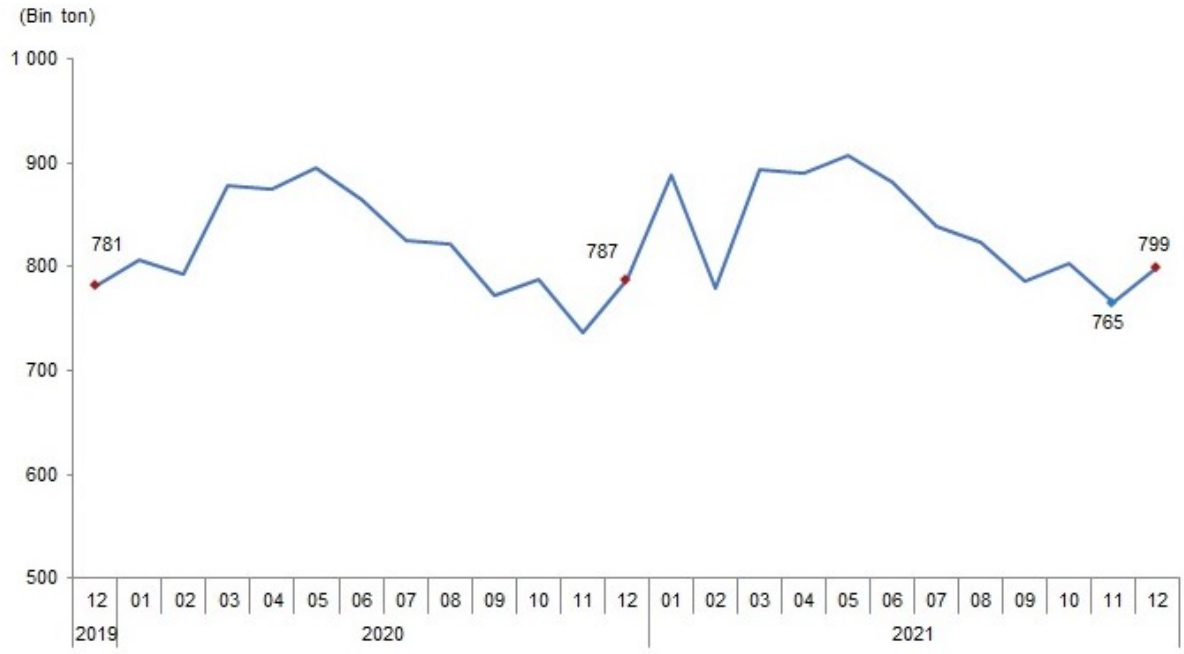
GEO/TIME	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
AB-27 ülke (2020)	-	-	131.080,65	136.699,09	140.181,10	141.480,12	-	145.131,14	146.048,89	-
AB-27 ülke (2013-2020)	-	-	144.767,65	151.528,09	155.372,10	156.164,12	-	160.319,24	161.477,89	-
AB-25 ülke (2004-2006)	140.661,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Belçika	3.013,00	2.980,00	3.390,00	3.575,00	3.683,00	3.825,00	3.970,00	4.122,00	4.231,00	4.385,00
Bulgaristan	580,00	549,00	545,00	532,00	538,98	560,26	630,77	681,32	690,30	721,12
Çekya	2.366,10	2.428,77	2.358,42	2.414,17	2.481,55	2.793,20	-	3.033,06	3.073,56	3.192,02
Danimarka	4.799,90	4.926,80	5.025,80	5.109,70	5.277,10	5.377,10	5.502,20	5.615,20	5.615,00	5.666,00
Almanya		29.864,32	30.314,51	31.388,75	31.892,49	31.332,61	31.270,43	31.732,48	31.762,52	31.842,17
Estonya	642,30	665,10	705,50	730,00	720,40	714,70	726,80	748,10	763,10	787,60
İrlanda	5.536,45	5.379,73	5.581,14	5.802,01	6.585,09	6.853,50	7.480,40	7.812,60	8.225,74	8.541,74
Yunanistan	1.290,20	1.248,20	1.249,10	1.283,70	1.280,60	1.349,50	1.402,90	1.446,30	1.419,54	1.492,85
İspanya	6.996,46	7.072,88	7.278,64	7.510,05	7.765,93	7.899,74	7.997,92	8.111,14	8.248,10	973,29
Fransa	25.605,61	25.116,06	24.834,33	26.121,68	26.262,41	25.602,52	25.489,92	25.521,70	25.545,33	25.640,39
Hırvatistan	634,00	610,00	504,00	523,00	520,00	490,00	484,00	453,00	442,00	441,00
İtalya	11.115,42	12.266,78	11.003,68	11.639,61	11.785,18	12.145,97	12.577,63	12.792,94	12.816,10	13.282,24
Kıbrıs	195,36	191,67	193,56	200,22	201,33	223,40	267,47	285,09	303,79	341,79
Litvanya	661,90	718,40	735,70	804,40	808,60	817,80	831,80	808,80	831,00	845,80
Romanya	917,00	913,00	912,00	1.044,00	967,80	1.007,60	1.078,30	1.163,50	1.193,20	1.190,00
Slovenya	525,72	535,19	517,08	531,85	553,87	574,86	579,02	570,82	564,20	580,34
Slovakya	817,26	857,46	833,01	851,09	871,07	829,68	839,07	826,60	823,62	842,75
Finlandiya	2.255,31	2.254,03	2.286,80	2.357,16	2.394,32	2.389,53	2.365,90	2.353,69	2.329,66	2.362,13
İsveç	2.850,40	2.861,17	2.869,58	2.931,25	2.933,16	2.862,23	2.816,66	2.760,23	2.704,39	2.772,74

Eurostat 2021 yılı verilerine göre, Avrupa ve tüm bölgelerde süt üretimi düzenli artış içerisindedir. Bu üretimi ve buna bağlı olarak tüketimi birçok faktör etkilemektedir (Placce ve diğ., 2009). Uygun barınma olanakları, iyi büyümüş yedek düvelerin 24 aylıkken sağım sürüsüne girmeye hazır olmasını sağlamaya yardımcı olabilir. Buzağının inekten erken ayrılması, süt endüstrisinde popülerdir ve bazıları tarafından üretimi en üst düzeye çıkarmak için gerekli olarak kabul edilir. Buzağıların mümkün olduğu kadar erken sütten kesilmesinin diğer avantajları, süt besleme ile ilişkili hastalık riskinin azalması ve gıda ve işçilik maliyetlerinden tasarruf edilmesidir (Broucek ve diğ., 2006). Çevresel faktörler, yaş, yıl, mevsim, sağım sıklığı vb. gibi etkileri ölçülebilir olan faktörler ve bulaşıcı hastalıklar, paraziter enfestasyonlar gibi etkileri ölçülemeyen faktörler olarak sınıflandırılabilir.

Ölçülebilir etkiler tespit edilebilir ve çiftliğin yönetiminde kullanılabilir (Çilek ve Tekin, 2005).

2.4. Türkiye'de Süt Üretimi ve Tüketimi

Türkiye'de süt üretimi ve tüketimi konusunda ağırlıklı olarak inek sütü üretimi ön planda olup, küçükbaş ve diğer hayvan türlerinin sütlerinin üretimi inek sütüne göre oldukça sınırlıdır. Türkiye'de 2021 itibariyle toplanan inek sütü miktarı ve aylara göre değişimi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. 3. Türkiye'de 2021 itibariyle toplanan inek sütü miktarı (TÜİK, 2022)

Genel olarak aylara göre süt üretimi değerleri incelendiğinde, bahar aylarında süt üretiminin ağırlıklı kısmını oluşturan inek sütü üretimi artmaktadır. Ancak yıllara göre artış görülmemiş olup, nüfus artışı da dikkate alındığında, süt üretim ve arzında düşüş yaşandığı ifade edilebilir.

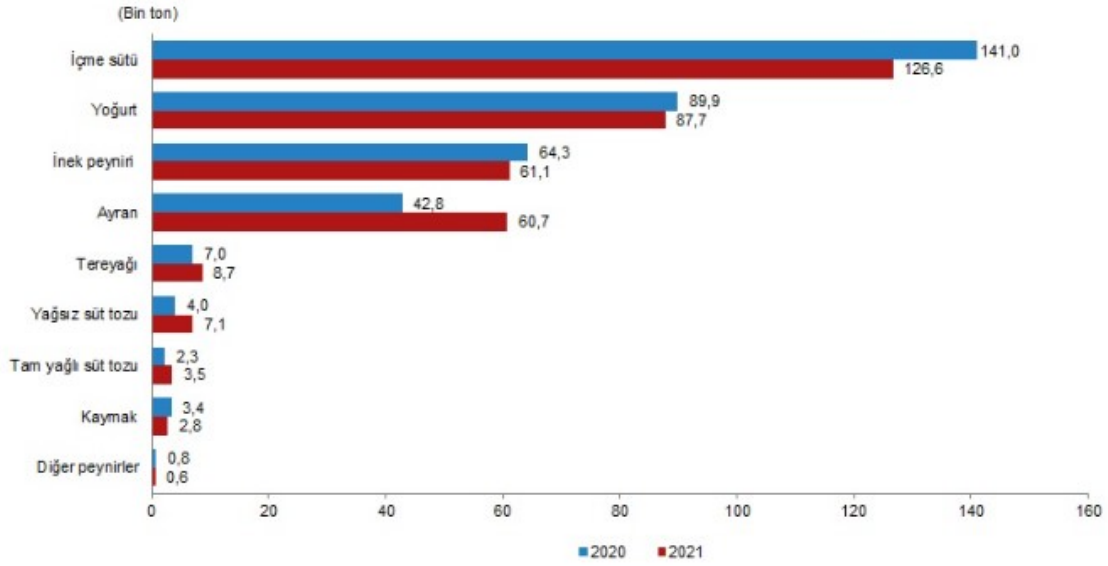
Türkiye'de 2021 itibariyle süt ürünlerinin üretimindeki değişim Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2. 3. Türkiye'de 2021 itibariyle süt ürünlerinin üretimindeki değişim (TÜİK, 2022)

(Ton)

	Aralık			Ocak-Aralık		
	2020	2021	Değişim (%)	2020	2021	Değişim (%)
İçme sütü	140 969	126 633	-10,2	1 613 142	1 523 175	-5,6
Yoğurt	89 871	87 718	-2,4	1 113 782	1 125 958	1,1
İnek peyniri	64 321	61 097	-5,0	739 774	735 733	-0,5
Ayran	42 777	60 719	41,9	587 831	716 882	22,0
Tereyağı	7 016	8 693	23,9	78 610	84 826	7,9
Yağsız süt tozu	3 959	7 112	79,6	69 470	86 089	23,9
Tam yağlı süt tozu	2 301	3 470	50,8	35 571	41 221	15,9
Kaymak	3 399	2 838	-16,5	41 514	41 187	-0,8
Diğer peynirler	753	617	-18,0	27 173	27 533	1,3

İçme sütü, en fazla üretimi yapılan süt türevidir. Bunu yoğurt, inek peyniri, ayran ve tereyağı izlemektedir. Türkiye'de 2021 yılı itibariyle süt ürünleri üretimi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2. 4. Türkiye'de 2021 yılı itibariyle süt ürünleri üretimi (TÜİK, 2022)

2.5. Süt Eldesi ve İşlenmesi Sırasında Karşılaşılan Sorunlar ve Gıda Güvenliği Riskleri

Çiğ süt ve süt ürünleri tüketimi ile ilişkili gıda güvenliği riskleri, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Gelişmiş ülkelerdeki süt sektörü, ileri teknolojilerin rutin uygulamaları ile karakterize edilebilecek sanayileşme ölçeğine sahipken, gelişmekte olan ülkelerdeki süt sektörü halen birçok küçük işletmeci ve süt işletmecisi tarafından yönetilmektedir (Owusu-Kwarteng ve diğ., 2020).

Sürdürülebilir sağlıklı gıdalarda çiftlik hayvanlarından elde edilen gıdaların sağlık ve beslenme üzerindeki etkileri karmaşık bir konudur. Bu konuda üretim düzeyleri sürdürülebilirlik yaşam süresine, hayvancılık türüne ve üretim yöntemlerine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterirler. Sürdürülebilir beslenmede çiftlik hayvanlarından elde edilen gıdalarla ilgili gelişmeler, tüm dünyanın ortak bir ilgi alanını oluşturmaktadır (UN, 2021).

2.5.1. Fiziksel Tehlikeler

Sütte fiziksel tehlikelere neden olan bulaşlar, şu kaynaklardan bulaşabilirler (Çon, 2021):

Hammaddeden gelen fiziksel tehlikeler,

Üretilen ortamdan gelen fiziksel tehlikeler,

Üretilen yöntemden gelen fiziksel tehlikeler,

İşçilerden gelen fiziksel tehlikeler.

Fiziksel tehlikeler, kimyasallara ek olarak süt ürünlerinin güvenliğini potansiyel olarak etkileyebilir. Metal bileşenler, kum veya toprak, taşlar, ahşap, plastik, kauçuk veya cam bileşenler ve saç fiziksel tehlikelere örnektir. Mücevherler, kullanılan makine veya teçhizatın bir parçası, ambalaj malzemeleri, hammadde veya çevrede bulunan fiziksel etkenler nedeniyle süt ürünlerinin imalatı sırasında bu riskler ortaya çıkabilirler. Sağım sırasında çiftlikte fiziksel risklerle karşılaşılabilir. Bununla birlikte, çoğu zaman, süt ürünlerinin imalatının sonraki aşamalarında fiziksel riskler sürece eklenebilir. Üretici birlikleri ve işletmeler bu konuda çeşitli önlemler alarak riskleri yönetmeye çalışmaktadırlar. Hollanda'daki büyük süt üreticileri üretim tesislerinde cam kullanmazlar (Asset ve diğ., 2016).

Fiziksel riskler, gıda ürünlerinde doğal olarak bulunmayan yabancı maddelerdir. Bu maddeler veya nesneler boyut veya sertlik nedeniyle kesici, boğulmaya sebebiyet verici olabilirler. Hayvan gıdası kaynaklı tehlikeler, kir, dışkı veya böcek parçaları nedeniyle irrite edici olabilirler. Fiziksel tehlikeler en sık olarak çiftliklerde ve çoğunlukla da işleme sırasında süt kontaminasyonuna neden olurlar. Bir çiftlikte, toprak, yem, altlık, dışkı veya saç gibi memenin dışına yapışabilecek ve toplanırken sütü kirletebilecek şeylerden fiziksel riskler gelebilir (Leone ve diğ., 2022). Ancak kendi ürünlerini yapan süt üreticileri zaman zaman ürünlerini cam şişelerde paketleyebilmektedir. Süt ürünleri, kötü hijyen nedeniyle saç ve kıl gibi bulaşlar içerebilir. Bunlar mikroorganizmaların kontaminasyonuna da neden olabilir.

Kirliliğin varlığı, yetersiz temizlik ve iyi gerçekleştirilemeyen bir dezenfeksiyon işleminin sonucu olabilir (Asset ve diğ., 2016).

2.5.2. Kimyasal Tehlikeler

Kimyasal olarak gıda güvenliğini etkileyen birtakım maddeler süt ve süt ürünlerine bulaşabilmektedir. Üretim sırasında süte kimyasalların eklenmesinin en yaygın yolları kontamine hayvan yemi veya veteriner hekim tedavisidir. Ancak bu bulaş tipi çevreden de kaynaklanabilir. Mikotoksinler, antibiyotik kalıntıları ve pestisit kalıntıları bu kategoride değerlendirilecek üç ana risktir (Leone ve diğ., 2022).

Sütün kontaminasyonu çiftlikte sağım sırasında ve sonrasında başlamaktadır. Çiftliklerde süt kayıpları dökülme bozulma ve zorunlu tüketim olmak üzere, üç ana biçimde meydana gelir. Dökülme, nakliye sırasında kötü yollardan kaynaklanır; bozulmaya, süt asitliğini kabul edilen seviyelerin üzerine çıkaran laktik asit üreten bozulma mikroorganizmaları neden olur. Süt alkol testini geçemezse, çiftliğe iade edildikten sonra orada reddedilir. Çiftlikte süt, ekonomik kayba yol açacak şekilde zorla tüketilir, atılır veya çöpe atılır fiyatlara satılır (Orwa ve diğ., 2017).

2.5.3. Biyolojik Tehlikeler

Sağlıklı bir hayvandan sağılan sütün mikrobiyolojik kalitesinin teorik olarak insan tüketimi için güvenli olması beklenir. Ancak memeden salgılandıktan sonra süt, hayvan dışkısı, toprak, hava, yem, su, ekipman, hayvan postları ve insanlar dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan bozulmaya neden olan mikroorganizmalar ve gıda kaynaklı patojenler tarafından kolaylıkla kontamine olabilir. Süt ve süt ürünlerinde patojen ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların prevalansı, çok sayıda faktör ve bunların kombinasyonlarından etkilenir. Bu faktörler, süt sürüsünün sağlık durumunu, süt çiftliği ortamındaki hijyen seviyesini, sağım ve ön depolama koşullarını, mevcut depolama tesislerini ve teknolojilerini, çiftlik yönetim uygulamalarını, coğrafi konumu ve mevsimi içerebilir (Owusu-Kwarteng ve diğ., 2020).

Süt, 4 °C'ye kadar uygun düşük sıcaklıkta işlenmesi, olabildiğince hızlı taşınması ve 24 saat içinde işlenmesi gereken kararsız bir üründür. Üretiminden itibaren, zamanla süt içerisindeki bakteri sayısı artar ve metabolik artıklar yoğunlaşır (Bórawski ve diğ., 2020).

Süt, özellikle sıcak koşullarda mikroorganizmaların çoğalması için ideal bir ortamdır. Mikroorganizmalar sütün ekşimesine ve dolayısıyla tüketici veya süt toplayıcı tarafından reddedilmesine neden olabilir. Sağımdan sonra sütü filtrelemek, kıllar ve daha büyük toprak ve gübre parçaları gibi görünür kirleri giderir, ancak çok ince kir parçacıklarını veya görünmez bakterileri temizlemez. Süt fiyatı genellikle kaliteye bağlı olduğundan, sütün ve ürünlerinin kalitesi için olduğu kadar üretici için de iyi hijyen standartları son derece önemlidir; kalitesiz süt reddedilecektir. Bu nedenle süt üreticisi, temiz ve hijyenik süt üretimi için süt çiftliği işletmeciliği faaliyetleri konusunda harekete geçmelidir (SNV, 2017).

2.5.4. Allerjenler ve Gıda İntoleransı

Gıda alerjisi genellikle bağışıklık sisteminin belirli gıda proteinlerine karşı anormal reaksiyonlarının bir sonucu olarak ortaya çıkar. En yaygın gıda alerjileri süt, yumurta, soya, kabuklu deniz ürünleri, ağaç kuruyemişleri, yer fıstığı ve buğday proteinleridir. Bağışıklık sisteminin bir unsuru olan immünoglobulin E antikoru aracılığıyla gıdaya alerjik reaksiyon gelişebilir. Alerjene ilk maruz kalma bir immün yanıt başlatmasa da sonradan alınan alerjen, önceden tanımlanmış IgE antikorunun alerjeni tanımasına neden olur ve mast hücrelerinde mediyatörlerin salınmasıyla alerjik bir reaksiyon oluşur (Barboza, 2018; Tercanlı ve Atasever, 2021).

İnek sütü proteinlerine karşı bağışıklık mekanizmaları ile oluşan reaksiyonlara inek sütü protein alerjisi denir. Gıda alerjileri genel olarak sık görülen hastalıklar açısından yaygın bir durum olmasa da, tanısal sorunlar ve algıdaki netlik eksikliği sosyal bir yük oluşturmaktadır. İnek sütü protein alerjisi inek sütü proteinlerine karşı gelişmektedir (Koca ve Akçam, 2015).

Gıda intoleransı, bir gıda ürünü veya bileşeninin neden olduğu, vücudun olumsuz bir reaksiyonlar olarak tanımlanmaktadır. Gıda intoleransı bir çeşit sindirim sisteminin tepkisidir. Gıda intoleransı her insanda farklı şekilde kendini gösterebilmekte olup, nüfusun yarısından fazlasının gıda hassasiyeti vardır. Bu duyarlılık reaksiyonları, sindirilemeyen veya emilemeyen gıda veya gıda bileşenlerine maruz kalma nedeniyle oluşur. En yaygın gıda

intoleransı, laktoz intoleransıdır; bu, sütte bulunan bir tür karbonhidrat olan laktozu sindirmek için laktaz enziminin eksikliğinden kaynaklanan intoleranstır (Köseoğlu, 2020).

2.6. Bir Gıda Güvenliği Sorunu Olarak Plastikler

Plastik malzemeler çok yönlü kullanım imkanları nedeniyle gıda alanında önemli ölçüde kullanılmaktadır. Plastik malzemelerin ekonomik ve sürdürülebilirlik açısından alternatiflerine göre en iyi ekipmanlardan birisi olduğu kabul edilmektedir. Ancak plastiğin çevreye vermiş olduğu zararlar ya da çevre kirletici yönü nedeniyle, bu özellikleri ikinci planda kalmış, günümüzde bir kirletici kaynak olarak çevre üzerindeki rolü birçok araştırmaya konu olmuştur. Plastiklerin işlenme şekli, bunların yarar ya da zararlarına yönelik önemli bir potansiyel sunmaktadır (Diaz-Basantes ve diğ., 2020).

2.6.1. Dünya'da Plastik Üretimi ve Tüketimi

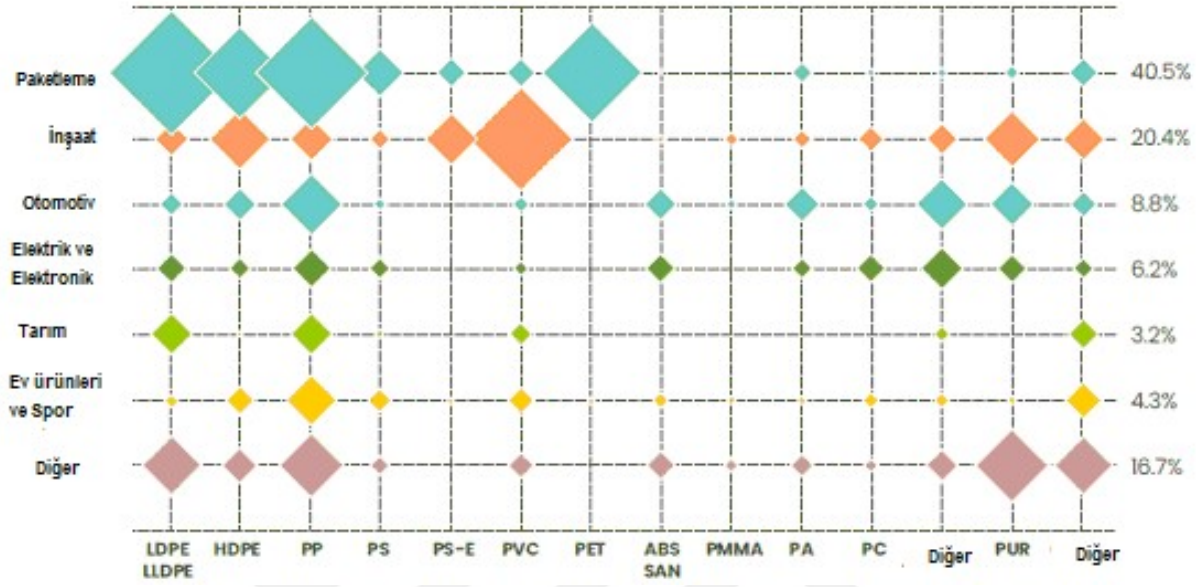
Dünyada ve Avrupa'da plastik üretiminin yıllara göre dağılımı Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2. 5. Dünyada ve Avrupa'da plastik üretiminin yıllara göre dağılımı (Plastic Europe, 2021)

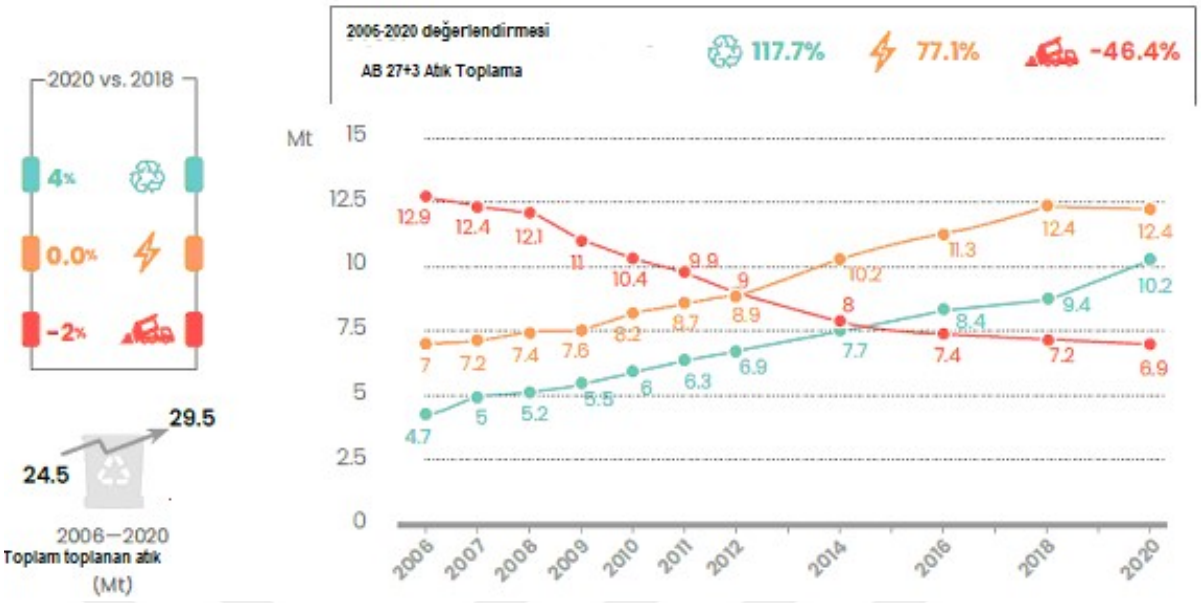
Dünya genelinde, 2016 yılından itibaren plastik üretimi 2019 yılına kadar ciddi bir artış göstersede, AB ülkelerinde bu durum 2017 yılından itibaren düzenli azalış yönündedir. Mikroplastikler (MP) plastik atık parçacıklar olarak tanımlanmaktadır ve boyutları 5 mm'nin

altındadır. Toplam üretim hem birincil MP, hem de ikincil MP için önemli bir kaynak alanı teşkil etmektedir. 2020 yılında AB genelinde plastiklerin temel kulanım alanlarına ve türlerine göre dağılımları Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. 2020 yılında AB genelinde plastiklerin temel kulanım alanlarına ve türlerine göre dağılımları (Plastic Europe, 2021)

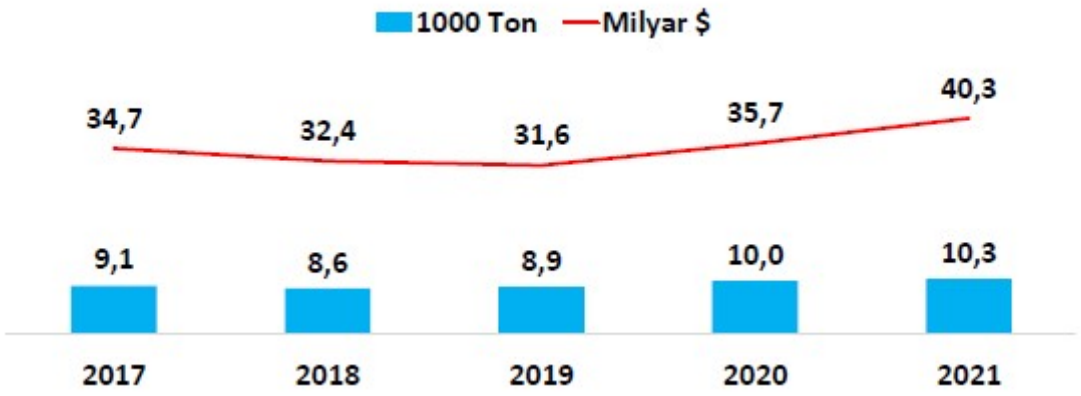
Paketleme tüm sektörler arasında en fazla plastik kullanılan alanların başında gelmektedir. Bunun yanında inşaat, kozmetik, giyim, materyal gibi birçok sektörde plastik kullanılmaktadır. Paketlemede ise LDPE, LLDPE, HDPE, PP ve PET türleri en fazla kullanılan plastik türleridir. Şekil 2.5'te AB ülkelerindeki plastik üretiminin düşüş trendinin tersine, dünya genelinde artış trendi düşünüldüğünde, MP için temel teşkil edecek, ikincil MP kaynaklarında artış görülmektedir. 2006-2020 yılları arasında AB genelinde plastik malzeme atık yönetimi Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2. 7. 2006-2020 yılları arasında AB genelinde plastik malzeme atık yönetimi (Plastic Europe, 2021)

2.6.2. Türkiye'de Plastik Üretimi ve Tüketimi

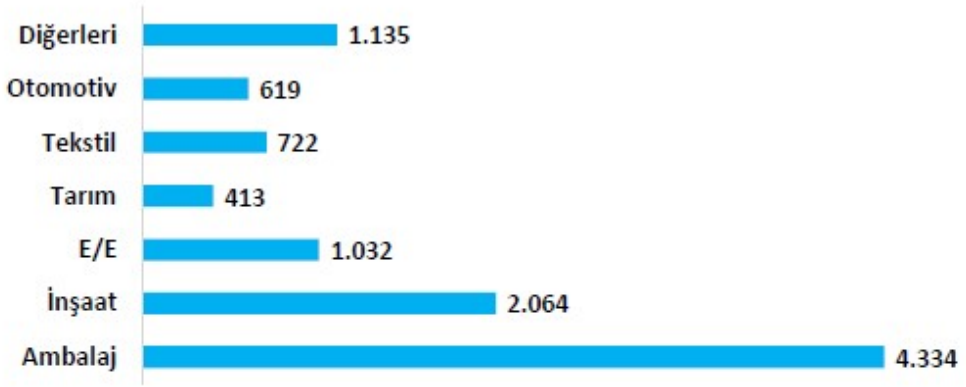
Türkiye'de plastik sektöründe ihracatın üretimdeki payı 2021'in ilk yarısında %25'e yükselirken, ithalatın iç tüketimdeki payı 2021'in ilk yarısında %8'e yükselmiştir. 2020 yılına göre üretimin %10, ithalatın %13,9, ihracatın %10,7 ve iç tüketimin %10,1 artacağı tahmin edilmektedir (PAGEV, 2021). Türkiye'de plastik mamul üretimi ve değerinin yıllara göre dağılımı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. Türkiye'de plastik mamul üretimi ve değerinin yıllara göre dağılımı (PAGEV, 2022)

Şekilde de görüleceği gibi, Türkiye'de plastik mamul üretimi ortalama 10,3 bin ton civarındadır. 2018 ve 2019 yıllarında nispeten düşük üretim görülse de, genel olarak üretim 2020 ve 2021 yıllarında hem miktar bakımından, hem de değer bakımından artış göstermiştir.

Türkiye'de 2021 yılı plastik mamullerin üretimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 9. Türkiye'de 2021 yılı plastik mamullerin üretimi (milyon ton) (PAGEV, 2022)

Şekilde de görüldüğü gibi, ambalaj Türkiye'de plastiğin en fazla kullanıldığı alandır ve bunu inşaat izlemektedir.

2.6.3. Plastiklerin ve Plastik Atık-Artıkların Oluşturduğu Riskler

Plastik atık genel tanımıyla kullanım imkânı bitmiş olan ve atık hale gelen plastik malzemeleri ifade ederken, plastik ortam ise plastikçe zengin ortamlardır. Plastikler ve plastik atıkların çevreye olan olumsuz etkileri günümüzde oldukça üzerinde durulan bir konudur. Çevrenin bir bölgesinde biriken plastik kirliliğin, orada meydana gelen doğal mineralizasyon süreçleri yavaş ve mühendislik ürünü iyileştirici çözümlerin olmaması durumunda, kötü bir şekilde doğaya zarar verdiği bilinmektedir. Çevresel anlamda plastik kirliliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkan durumlar genellikle geri dönüşü çok güç kirliliklerdir. Geri dönüşü olmayan plastik kirliliğinin potansiyel etkileri arasında karbon ve besin döngülerindeki değişiklikler; toprak, tortu ve su ekosistemlerindeki habitat değişiklikleri; önemli veya tehlike altındaki türler üzerinde eşzamanlı biyolojik etkiler; ekotoksisite ve ilgili sosyal etkiler gelmektedir. Geri dönüşü olmayan plastik kirliliği ve birikiminin yol açtığı küresel tehdide rasyonel yanıt, atık yönetimi için uluslararası eşgüdümlü stratejilerle birlikte kullanılmamış

plastik malzemelerin tüketimini azaltarak plastik emisyonlarını hızla azaltmaktır (MacLeod ve diğ., 2021). Devam eden başlıklarda, plastiklerin çevreye olan zararları çevre ve gıda ile insan sağlığı açılarından incelenmiştir.

2.6.3.1. Plastiklerin Çevre ve Gıda Güvenliği Açısından Oluşturduğu Riskler

Bazı kimyasallar, plastiklerin yüzeyine adsorbe olma eğilimindedir ve belirli madde ve plastik türlerinin kombinasyonlarında, maddeler plastiğe göç eder ve potansiyel olarak plastikte çevreleyen ortama kıyasla daha yüksek konsantrasyonlara neden olur (MEFD, 2015).

Araştırmalarda, çeşitli antropojenik kaynaklardan gelen sentetik polimerler de dahil olmak üzere havada yüksek düzeyde MP rapor edilmiştir (Diaz-Basantes ve diğ., 2020). Gıda teknolojisinin farklı aşamalarında bileşenlerin sürtünmesi, çamaşırların yıkama ve kurutma işlemlerinde bozulmasından çevreye yayılan mikropartiküller, mikroplastiklerin işlenmemiş ve sanayileşmiş gıdalara katkısının en basit kaynaklarıdır (Diaz-Basantes ve diğ., 2020).

Mikroplastikler, deniz hayvanlarının mide-bağırsak sisteminde ve insan bağırsağında tespit edilmiştir. Dokuların içinde, mikroplastikler konakçı organizma tarafından yabancı cisimler olarak kabul edilir ve bu nedenle lokal immunreaksiyonları tetikler. Ek olarak mikroplastikler, salınabilen ve zararlı etkileri olduğu bilinen çevresel kirleticiler ve plastik katkı maddeleri gibi diğer kimyasallar için taşıyıcı görevi görebilir (Ragusa ve diğ., 2021).

Balıklar, mikroplastik oluşumu açısından deniz ortamında açık ara en çok çalışılan organizma sınıfıdır. Balık türlerinin yanı sıra, midye ve istiridye gibi bentik türlerin de ortak insan gıda türlerini temsil ettiği diğer pelajik ve bentik türlerdeki mikroplastik konsantrasyonlarını ölçen nispeten az sayıda çalışma vardır. Balık türleri için tahmini mikroplastik konsantrasyon aralığı $3x10^{-2}$ kg^{-1} ile 7,2 kg^{-1} arasındadır ve ortalama konsantrasyon 1,46 kg^{-1}'dir. Yüzey sularında kilogram başına 0,79, su borularında $4,2x10^{-2}$, sahillerde 334,23, kıyı sedimentlerinde 473,17, balık türlerinde 1,46 ve bentiklerde 1724,44 olarak rapor edilmiştir (Booth ve diğ., 2017).

Plastikler okyanusa girdiğinde, plastiğin bozunma ve kalıcılık oranı, plastiğin kendisinin polimerine, şekline, yoğunluğuna ve amacına bağlı olarak değişir. Bu özellikler aynı zamanda plastiklerin su sütununda nerede bulunabileceğini de belirler. Örneğin, daha fazla yüzen plastiklerin okyanus akıntıları ve rüzgâr tarafından çevre yoluyla taşınması daha olasıdır. Ek olarak, plastikler güneş ışığı ve dalga hareketi gibi doğal kuvvetlere maruz kaldığında, plastikler 5 mm'den küçük plastik parçacıklar olarak tanımlanan mikroplastiklere ayrışır (Smith ve diğ., 2018).

Mevcut çalışmalar, balık ve kabuklu deniz hayvanlarındaki mikroplastiklerin insan sağlığı için ihmal edilebilir bir risk oluşturduğunu öne sürerken, mikroplastiklerle kirlenmiş gıdaların tüketiminin plastiklerle ilişkili kimyasalların insanlara transferini kolaylaştırabileceği öne sürülmüştür. Bununla birlikte, bu süreç hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır ve bunun kesin olarak kanıtlanması gerekmektedir (Booth ve diğ, 2017).

Deniz organizmalarındaki deneysel kanıtlar, mikroplastiklerin trofik seviyeler arasında transfer olma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Balık unu, kümes hayvanı üretimi ve domuz yetiştiriciliğinde bir miktar kullanıma sahiptir, bu nedenle mikroplastikler deniz dışı gıdalara geçebilir. Gıdalarda mikroplastiklerin oluşumu hakkında sınırlı veri mevcuttur. Mevcut veriler balık, karides ve çift kabuklular gibi deniz ürünleri türlerinin yanı sıra bal, bira ve sofra tuzu gibi diğer gıdalarda da mikroplastik kullanımını göstermiştir. Su ürünleri türlerinin mikroplastik içeriğinin belirlendiği çalışmalarda mikroplastik içeriği farklı birimlerde verilmektedir (EFSA, 2016).

2.6.3.2. Plastiklerin İnsan Sağlığı Açısından Oluşturduğu Riskler

En yaygın olarak, mikroplastikler vücuda ağızdan alınmaktadır ve çeşitli gıdalarda tespit edilmiştir. Bunun yanında, çok az da olsa, temasla alınabilmektedir. Araştırmalar omurgasızlar, kabuklular ve balık dahil olmak üzere deniz kaynaklı gıdalara odaklanmıştır, ancak mikroplastikler, farklı ülkelerden deniz tuzunda, çoğunlukla parçalarda, aynı zamanda fragmentlerde ve filmlerde de bulunmuştur (Street ve Bernasconi, 2021).

Farklı plastiklerin farklı yoğunlukları vardır, bu da dünya okyanuslarında ve denizlerinde bulunma olasılıklarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Düşük yoğunluklu polimerlerden yapılan plastiklerin genellikle yüzmesi beklenmektedir ve bu nedenle aynı

yüzeyde önemli bir zaman periyodu geçirir. Deniz suyundan daha yüksek yoğunluğa sahip plastik türlerinin su sütunundan deniz tabanına hemen batması beklenir (Booth ve diğ., 2017).

Plastik lifler, ≥300 µm mikroplastik partiküllerin en büyük grubunu oluşturur, bu da fiberlerin atık sudaki ≥20 µm mikroplastiklerin ana kaynağı olduğunu düşündürmektedir. 20 ila 300 µm boyut aralığındaki partikül sayısı, ≥300 µm partikül sayısından ciddi derecede daha fazladır. 20-300 µm boyut aralığındaki lifler partiküllerin yaklaşık üçte birini oluşturur. Atık sulardaki sentetik olmayan liflerin sayısı, tipik olarak toplam mikroplastik partikül sayısından 5-10 kat daha fazladır (MEFD, 2015).

Sıvı ve katı gıdalarla da ilişkili olarak, atıksularda mikroplastiklerin varlığının iki ana kaynağı vardır. Birincil kaynak, yeni plastik ürünleri kalıplamak için kullanılan granüler hammaddeden ve ayrıca kozmetik ürünlere eksfolyantlar ve aşındırıcılar olarak eklenen polimerlerin mikropartiküllerinden gelir. İkincil kaynak, daha büyük plastiklerin aşınmasına ve parçalanmasına karşılık gelir (Diaz-Basantes ve diğ., 2020).

Araştırmalar yeryüzü sularında, tortularda, atık sularda, şişelenmiş su ve belirli ürünler dahil olmak üzere çeşitli çevresel matrislerde mikroplastik varlığını bildirmiştir. Su ortamında, özellikle okyanus ortamında mikroplastik kirliliğine ilişkin çalışmalar giderek artmaktadır. Mikoplastiğin gıdalardaki varlığı özellikle paketli süt, bal, bira, içme suyu gibi sıvı gıdalarda incelenmiştir (Kannan ve Vimalkumar, 2021).

2.7. Sütlerde Mikroplastik

MP'ler plastik atık parçacıklar olarak tanımlanmakta olup, boyutları 5 mm'nin altındadır. MP için minimum boyutun ne olduğu konusunda net bir sınır yoktur. Ancak boyutu 1 ile 1.000 nm arasında değişen nanoplastik malzemeler için SI terminolojisi ile uyumlu olacak şekilde, 1 µm düzeyinde bir değişimle, 100-1.000 nm arasındaki değerler, alt MP kategorisi olarak kabul edilmiştir (Filho ve diğ., 2021).

Diğer bir tanıma göre, uzunluğu bir nanometre ile beş milimetre arasında olan parçalara, granüllere, liflere, pullara ve topaklara MP denmektedir. Bu boyuttaki partiküller, kendilerini geniş bir toksik ve mikroorganizma spektrumunun kontaminasyon türevlerine dönüştürmeye olanak veren spesifik bir yüzey sunmaktadır (Diaz-Basantes ve diğ., 2020).

MP kökenine göre birincil ya da ikincil materyaller olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil MP grubu giyim, kozmetik, temizlik ve kişisel bakım ürünlerinde uygulanan işlenmemiş reçine peletlerinde bulunan mikro plastikler ile özel olarak üretilen MP parçacıklarından oluşmaktadır. İkincil MP grubu ise çevresel bozulmanın neden olduğu ve temel malzemesi MP olmayan, mekanik yırtılma, aşınma ve sonucunda daha büyük plastik nesnelerin veya ilgili döküntülerin parçalanması gibi nedenlerle, sonradan oluşan mikropartiküllerdir (Filho ve diğ., 2021).

Termoplastikler; polietilen tereftalat (PET), polivinilklorür (PVC), poliamid (PA), polistiren (PS), akrilonitril-bütadien-stiren (ABS), politetrafloroetilen (PTFE), polimetilmetakrilat (PMMA) polikarbonat (PC) gibi farklı polimerlerin türevlerini içermektedir. Polietilen (PE) ve polipropilen (PP)reçinelerine dayalı termoplastikler, dünyada üretim hacmi bakımından bugün en yaygın olarak üretilen MP'lerdir (Filho ve diğ., 2021).

Mikroplastik bileşiklerin bazıları, eğer toplam konsantrasyonlar eşik etki konsantrasyonlarının üzerindeyse risk oluştururken kanserojen bileşiklerin eşik dozu yoktur. Bir kimyasal taşıyıcı olarak mikroplastiklerin gerçek riskini ve göreceli önemini değerlendirmek için, bilinen gıda türlerinden alınan gerçek mikroplastik miktarı ve bununla ilişkili belirsizliklerle birlikte sızan kimyasal fraksiyonu, tam mikroplastik sürekliliği ve partikülde yerleşik kimyasallar için ölçülmelidir (Nor ve diğ., 2021).

Özdemir ve Kahyaoğlu (2020) çalışmalarında, Kastamonu bölgesindeki sütlerin mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada sütlerin kuru madde, yağ, yağsız kuru madde, laktoz, protein, kül, pH, titre edilebilir asitlik, kırılma indisi ve özgül ağırlık değerleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre süt içerisinde bulunan partiküllerin kaynağı olarak beslenme, mevsim, tür değişkenlerinin etkili olduğu rapor edilmiştir.

Oliver ve diğ. (2005) çalışmalarında, sütte ve süt çiftliği ortamında gıda kaynaklı patojenleri ve süt içerisindeki mikropartikülleri incelemişlerdir. Literatür taramasına dayanan çalışma da doğrudan temas, çiğ kontamine süt veya peynirin yutulması veya süt ürünlerinin işlenmesi sırasında kontaminasyon yoluyla insanlara ulaşabilen gıda kaynaklı patojenlerin sürekli olarak vücuda alındığını bildirmektedir.

Montagne ve diğ. (1998) ise hem sütte, hem de diğer insan sıvılarında mikropartiküller aracılığı ile lisozim (lysozyme) düzeyini nefelometrik olarak ölçmüşlerdir. Nefelometrik ölçüm, çözeltideki parçacıkların ışığı emmek yerine çözeltiden geçen ışığı dağıtacağı

kavramına dayanmaktadır. Bu ve önceki çalışmalar, günümüzde sütlerde mikropartiküllerin tespitinin temeline dayanan yöntemlerdir.

Cuillière ve diğ. (1997) çalışmalarında, insan sütünde laktoferrin değerini ölçmek için mikropartikül ile zenginleştirilmiş yöntem kullanmışlardır. Çalışmada, mikropartikül-laktoferrin konjugatının bir antilaktoferrin antiserumuyla immünoaglütinasyonu sırasında saçılan ışığın nefelometrik ölçümünden yararlanılmıştır. Çalışma mikropartiküller konusunda literatürde öncü çalışmalardan birisi olması bakımından önemlidir.

2017 AB raporuna göre, Avrupa Kimya Ajansının (European Chemicals Agency-ECHA) (2016) metodolojisi, sütteki konsantrasyonun bir biyotransfer faktörü kullanılarak sığırların iç dokularındaki konsantrasyondan tahmin edilebileceğini varsaymaktadır. Sütteki konsantrasyon, peynir ve yoğurt gibi tüm süt ürünlerine olası maruziyeti temsil etmek için kullanılmaktadır. Mikroplastikler muhtemelen sadece sığırların bağırsak içeriğinde bulunmaktadır ve bu nedenle süte geçişlerinin olası olmadığı varsayılabilir. Bu nedenle, sütün yutulmasından kaynaklanan insan maruziyeti, diğer kaynaklara kıyasla ihmal edilebilir olarak kabul edilebilmektedir (EC, 2017). Öte yandan AB'nin bu raporundan sonra yapılan çalışmalarda, ambalaj ve açık sütlerde mikroplastik varlığını rapor eden çalışmalar yapılmıştır.

Kutralam-Muniasamy ve diğ. (2020) çalışmalarında, Meksika'da 22 adeti yetişkinler için ve 1 adeti çocuklar için olmak üzere, toplam 23 ticari süt örneğinde mikroplastik varlığını incelemişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, analiz edilen numunelerde mikroplastiklerin sütlerde yaygın olarak bulunduğunu göstermiştir. Sonuçlara göre tüm örneklerde mikroplastik varlığı genel ortalama olarak 6.5 ± 2.3 L partikül ile 3 ± 2 ve 11 ± 3.54 L partikül arasında değişmektedir. Mikroplastik parçacıklar mavi, kahverengi, kırmızı ve pembe olmak üzere çeşitli renkler ve lifler ile parçalar olmak üzere şekillerde bildirilmiştir. Rapor edilen mikroplastik boyutları 0,1 ila 5 mm arasında değişmektedir.

Bebekler ve çocuklar süt tozu ve su tükettiğinde, mikroplastikler süt tozunun çözünür bileşenleriyle kolayca birleşir, bu nedenle bebekler ve çocuklar kaçınılmaz olarak mikroplastikleri ve mikropartikülleri yutarlar. Öte yandan, aşınma sonucu oluşan mikropartiküller çevresel su sistemlerine girerek kaçınılmaz olarak ikincil kirliliğe neden olmakta ve bu toz ürünleri içen bebekler ve çocuklar için riskleri artırmaktadır (Song ve ark, 2021).

Diaz-Basantes ve diğ., (2020) çalışmalarında, Ekvator'da bira, süt, bal ve ikramlıklarda mikroplastiklerin varlığını analiz etmişlerdir. Çalışmada antropojenik aktivitenin yoğunluğu ile korelasyonları belirlemek için hem endüstriyel olarak işlenmiş hem de el yapımı ürünlerden örnekler incelenmiştir. Analiz için, baldaki MP'leri belirlemek için kullanılan önceki tekniklerin geliştirilmiş bir yöntemi uygulanmıştır. Bu teknik, mikrofiltrasyonu, ardından organik maddenin hidrojen peroksit ile bozunmasını ve son olarak deiyonize su ile sürekli durulamayı içermektedir. Boyut aralıkları 0,8–200 mm arasında belirlendi. Bulunan mikroplastiklerin sayısı 10 ila 100 MP/L arasındaydı ve ortalama 40 MPs/L civarında saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre muhtemelen çevre kirliliğinden ziyade işleme yöntemleri nedeniyle, Avrupa'da bildirilen MP oranlarına kıyasla genel olarak daha fazla MP tespit edilmiştir. En fazla bulunan ana mikroplastikler polietilen, polipropilen ve poliakrilamiddir.

Shruti ve diğ., (2020) çalışmalarında, sıvı içeceklerde mikroplastik varlığını incelemişlerdir. Çalışmada 19 meşrubat, 8 enerji içeceği, 4 soğuk çay ve 26 bira incelenmiştir. Toplam 57 içecek örneğinin 48'inde mikroplastik olduğu rapor edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre tespit edilen mikroplastikler 28 ± 5,29 parçacık/L arasında değişen miktarda, lif ve parçacık şeklinde, 0,1 ila 3 mm arasındaki boyutlarda; mavi, kırmızı, kahverengi, siyah ve yeşil renklerde rapor edilmiştir. Mikro-Raman spektroskopisi, poliamid, poli(ester-amid), akrilonitril-bütadien-stiren ve polietilen-tereftalat gibi partikülleri tanımlamıştır.

Polietersülfon ve polisülfon, markalı süt örneklerinde tespit edilen yaygın PM türleri olarak rapor edilmiştir ve ayrıca şişelenmiş su, bal, bira, plastik çay poşetleri ve meşrubatta bulunmuştur (Street ve Bernasconi, 2021).

Costa Filho ve diğ. (2021) çalışmalarında, süt ürünlerinde küçük-boyutlu mikropartikülleri incelemişlerdir. Çalışmada, küçük boyutlu MP'ler oluşturan 5 farklı polimer (polipropilen (PP), polietilen (PE), polistiren (PS), poliamid (PA) ve polimetilmetakrilat (PMMA)) için yeni bir metodoloji geliştirilmiş ve geçerliliği analiz edilmiştir. Hızlı ve verimli bir MP ekstraksiyonu kullanılarak inek sütü örneklerinde Tis metodolojisi uygulanmıştır. Bu yöntem, sıcak alkali hidrolizi ve ardından bir silikon (Si) filtre aracılığıyla son bir süzme aşamasını takip eden çoklu enzimatik sindirimi içeren iki aşamalı bir hazırlamaya dayanmaktadır. Çalışmada, çiftlikten yeni toplanan ve sağım makinesinden yeni çıkmış süt içerisinde 5 µm düzeyinin altında mikroplastik tespit edilmiştir.

Costa Filho ve diğ. (2021b) bir başka çalışmalarında ise sütte 4 µm düzeyinin altındaki mikroplastikleri incelemişlerdir. Numuneler yüksek çözünürlüklü µRaman ekipmanı kullanılarak analiz edilmiştir. Toplanan spektrumlar daha sonra, yüksek çözünürlüklü µRaman ve SEM-EDX teknolojileri kullanılarak çiftlik sütünde ve işlenmiş inek sütü ürünlerinde ilk kez mikro boyutlu MP'leri (≥ 4 µm) güvenilir bir şekilde karakterize etmek için şirket içi bir yazılımla analiz edilmiştir. Çalışmada ham inek sütünde, sağım makinesinden hemen sonra elde edilen sütlerde, 4µm düzeyini altında mikroplastiklerin varlığı rapor edilmiştir.

Çok sınırlı çalışmalarda olsa bile, gıdalardaki (şişelenmiş içme suyu, şebeke suyu, tuz, meyve, sebze, bal, süt, balık ürünleri, içecekler ve alkolde, çay) mikroplastiklerin varlığını tespit edilmiştir (Gündoğdu, 2018;Cox, 2019). Mikroplastik tespiti ile ilgili, balık örnekleri üzerinde, yapılan çalışmalar, Türkiye'nin Akdeniz kıyılarında, liflerin (%70) ve sert plastiklerin (%20,8) olmak üzere 1622 mikroplastik parçacığı tespit edilmiştir (Güven ve diğ., 2017). Çin Denizlerinden ve göllerinden ise, 26'dan fazla türde mikroplastik tespit etmişlerdir (Jabeen ve diğ., 2017). Diğer bir çalışmada, Alman (0.36 0.07 partikül/g) ve Fransız/Belçika/Hollanda çiftliklerinden (0.2 0.3 partikül/g) yetiştirilen çift kabuklularda düşük miktarlarda mikroplastik bulunmuştur (Cauwenberghe ve diğ., 2014-2015). Bal Çalışmalarda, 166 ± 147 MP lif/kg ve ± 9 MP parça/kg 10–20µm boyutunda 9 bulundu (Liebezeit ve diğ., 2013), Şekerde ise, 217 ± 123 MP lif/kg ve 32 ± 7 MP parça/kg 10–20µm boyutunda bulundu (Liebezeit ve diğ., 2013). Tuz çalışmalarında yapıldığında, her tuz türünde (deniz tuzu, kaya tuzu, göl tuzu), MPS varlığını tespit edildi, 1–10 MP/kg deniz tuzu >149µm boyutta (Karami, 2017), 16–84 MP/kg deniz tuzu/ 8–102 MP/kg göl tuzu/ 9–16 MP/kg kaya tuzu, 20–5000 µm boyutunda lif, film ve parçacıklar bulundu (Gündoğdu, 2018). Meksika'da satılan 5 uluslararası ve 3 yerel markaya ait 23 süt örneği incelendiğinde, ortalama tespit edilen MP konsantrasyonu 3-11 partikül/l 0.5 ve 2 mm boyutta (Gurusamy ve diğ., 2020). Almanya'da yerel marketlerden satılan hem cam ve tek kullanımlık ve geri dönüştürülebilir plastik şişe içme suyu ve kaynak suyu örneklerini araştırıldığında, 5-20 µm PET, PP, PE plastik türünden parçacık bulundu (Schymanski ve diğ., 2018).

3. YÖNTEM

3.1. Gereç

3.1.1. Örneklerin Seçimi ve Toplanması

Türkiye'de, 2019 yılında iller bazında sığır, manda, koyun ve keçilerden sağılan süt miktarları incelenmiş, toplam çiğ sütün %11,39'unun Marmara Bölgesi'nden sağlandığı görülmüştür (Ulusal Süt Konseyi, 2019). Bölge sanayi, turizm, tarım ve hayvancılık faaliyetleri yönünden aktif ve gelişmiş olması sebebiyle örneklem kümesi olarak belirlenmiştir. Nüfus büyüklüğü ve trafik hareketlerindeki yoğunluk mikroplastik varlığına sebep olabilecek önemli faktörler olarak düşünülmüştür. Çalışmamızda örneklem kümesi olarak seçilen Marmara Bölgesi'nde çiğ süt üretim kapasiteleri dikkate alınarak, tabakalı rastgele örneklem metodu kullanılarak örneklem yapılması tercih edilmiştir. Toplanılan örnekler farklı hayvan türlerine (inek, manda, koyun ve keçi) ait çiğ sütleri temsil edecek şekilde toplanmıştır. Bölge içinde, her ilden ve her hayvan türünden alınacak çiğ süt örnek sayısı toplam örnek sayısının içinde üretim miktarlarına göre oranlanarak oluşturulmuştur. Hayvan türlerine ait örnek çiğ süt sayısı en az 5 olacak şekilde planlanmıştır.

Örnekler sütün sağıldığı çiftliklerden alınmıştır. Süt örnekleri 100 mL hacimde MP içermeyen ultrasaf su ile yıkanmış cam şişelere doldurulmuş ağızları mantar meşesi ağacının kabuğundan elde edilen doğal mantar tıpası ile kapatılmıştır. 4-7 °C soğuk muhafaza koşullarında 24 saat içinde laboratuvara getirilmiştir.

3.1.2. Analize Hazırlık Aşaması

Ultra saf su, analiz protokolüne kör kontrol olarak dahil edilmiştir. Ultra saf suya polipropilen (PP), polistiren (PS), polietilen (PE), polivinil klorür (PVC), lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), termoplastik elastomerler (TPE) eklenerek pozitif kontrol

numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler analiz protokolüne pozitif kontrol olarak dahil edilmiştir.

3.1.3. Analiz Güvenliği

Numune almak için kullanılan malzemeler, analiz sarf malzemeleri ve analiz sırasında numune ile temas edebilecek ekipmanlar plastik içermeyen malzemeler olarak seçilmiştir. Ultra saf su, çoklu enzimatik deterjan, sodyum etilen diamin tetra asetat (EDTA) ve tetrametilamonyum hidrat çözeltileri, MP'nin varlığı için analiz edilmiştir. Kullanımdan önce boş numune şişeleri MP içermeyen su ile durulanmış ve mikroskobik incelemeye tabi tutulmuştur. Havadaki partiküller tarafından MP kontaminasyonunu önlemek için filtrasyon işlemleri laminer akış kabininde gerçekleştirilmiştir. Laminer akışlı kabin havası ve ultra saf su bankası örnekleri mikroskop altında incelenmiştir. Bu numunelerde analiz yönteminden kaynaklanan herhangi bir kontaminasyon olmadığı belirlenmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Örneklerin analize hazırlanması

Örnekler analize başlanmadan önce oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir. Filtrasyon için kullanılan membran filtrasyon düzeneği, karbon filtreleri de dahil olmak üzere %70'lik etil alkol ile temizlenmiş ve MP içermediği önceden kontrol edilmiş ultra saf su ile yıkanmıştır.

3.2.2. Suni Sindirme

Cam şişe içindeki her süt örneği ters çevrilerek yavaşça karıştırılmıştır. 25 mL süt örneği MP içermeyen ultra saf su ile yıkanmış bir erlenmayere aktarılmıştır. Üzerine 20 mL ultra saf su ve 2 mL multi-enzimatik deterjan (Deconex® PROZYME ACTIVE) eklenmiştir. Enzim aktivitesinin daha hızlı görülmesi için 40 °C'de 2 dakika çalkalamalı inkübatörde karıştırılarak inkübe edilmiştir. Ardından karışıma 10 mL sodyum etilen diamin tetra asetat (ThermoFischer 15576028) ilave edilip ve 40 °C'de 3 dakika daha karıştırılmıştır. Son olarak

2 mL alkalin çözelti tetrametil amonyum hidroksit (Merck 331635) ilave edilmiştir. Örnekler 1000 watt güçte mikrodalga fırına konulup azami bir dakika içinde yaklaşık 80 °C sıcaklığa ulaşması için beklenmiştir. Sıcak sindirilmiş süt örneği daha sonra hemen filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur (Diaz-Basantes ve diğ., 2020; Kutralam-Muniasamy ve diğ., 2020; Costa Filho ve diğ., 2021).

3.2.3. Filtrasyon

Filtrasyon vakum pompası aracılığıyla 1 µm gözenek boyutlu filtre (Whatman Grade GF/B circles, 47 mm) kullanarak yaklaşık 0,5 bar basınçta yapılmıştır. Sütteki yağ ve kazeinin filtrelerden kolayca geçemez. Tüm örnekler için katı parçacıkların filtreyi tıkamasını önleyebilmek için sıcak sindirilmiş süt örneği hemen filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur (Diaz-Basantes ve diğ. (2020); Kutralam-Muniasamy ve diğ. (2020); Costa Filho ve diğ. (2021).

Sütün soğutulmadan önce süzülmesi sağlanmıştır. Tüm filtreler metal cımbız kullanarak dikkatlice cam petri kaplara aktarılmıştır (Liebezeit ve Liebezeit, 2014; Kosuth ve diğ., 2018; Schymanski ve diğ., 2018).

3.2.4. Kurutma

Cam petrilere aktarılan örneklerin süzüldüğü filtreler 20-22 °C oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmıştır. Böylece örnekler mikroskop altında MP inceleme ve sınıflandırma işlemleri için hazır hale getirilmiştir (Liebezeit ve Liebezeit, 2014; Kosuth ve diğ., 2018; Schymanski ve diğ., 2018).

3.2.5. Diseksiyon Mikroskobu ile Görüntüleme

MP tanımlama, Masura ve diğ. (2015) belirtilen mikroskobik talimatlara göre yapılmıştır. Hatalı değerlendirmelerden kaçınmak için cam elyaf filtrelerin optik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu işlemden sonra 4x büyütmeli bir kameraya (Canon A640) bağlı binoküler biyolojik mikroskop (Olympus CX31) kullanılarak filtre kağıtları incelenmiştir.

3.2.6. MP Boyut Ölçümü ve Morfolojik Yapı Bilgisinin Kaydedilmesi

MP olduğuna inanılan parçacıklar Kameram Yazılımı 1.3.0.8 (Mikrosistem, Türkiye) kullanılarak fotoğraflanmıştır. Parçacıklar, IC Measure (The Imaging Source®, 2.0.0.286, Almanya) kullanılarak renk ve şekillerine göre sınıflandırılmış ve boyutları ölçülmüştür.

3.2.7. Elektron Mikroskobu ile Görüntüleme

Yüksek çözünürlüklü Fei QuantaTM 450 FEG-ESEM taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikroplastik tespit edilen filtrelerdeki mikroplastiklerin yüzey morfolojisini ve elementel bileşimini incelemek için kullanıldı. Filtrelerin mikroplastik içeren kısımlarının yakın çevresi 0,01 mm uçlu mimari çizim kalemleri ile binoküler biyolojik mikroskop altında işaretlenmiştir. Bu parçalar çift taraflı karbon bant üzerine yerleştirilmiştir.

SEM gözlemleri, üstün düşük vakum basınç modunda ve ikincil elektron ve geri saçılma modunda 10,00 kV'luk bir ivme voltajında çalışan farklı büyütmelerde yapılmıştır. MP parçacıklarının seçilen alanının kimyasal karakterizasyonu/element analizi, yarı nicel bir yöntem olan Enerji Dağıtıcı X-ışını Spektroskopisi (EDS) ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.8. FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) ile Polimer Yapı Tayini

Filtre üzerinde kalan mikroplastiklerin polimer türünün (karbon içeren) analizi için dipol momente sahip polar moleküllerde molekül içi bağlar üzerine düşürülen kızılötesi ışınların, bağların titreşim ve dönme hareketleri ile soğurulması prensibi ile çalışan FTIR (fourier dönüşümlü kızılötesi) spektroskopisi kullanılmıştır. Agilent Cary 630 model ATR-FTIR'dan elde edilen sonuçlar, Agilent Polymer El Tipi ATR Kütüphanesi, Agilent Elastomer Oring ve Seal El Tipi ATR Kütüphanesi ve Agilent ATR Genel Kütüphanesi kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.3. İSTATİSTİK

Veri seti özelliklerini ve dağılım bilgilerini özetlemek için SPSS 21.0 kullanılmıştır. Çiğ süt örneklerinde (inek, koyun, keçi ve manda sütü) MP sayısı ve boyut dağılımı ANOVA ve post hoc Tukey HSD testi kullanılarak analiz edilmiş ve iller arası MP'lerin ortalama

sayısının anlamlılık düzeyi karşılaştırması ANOVA ve post-hoc LSD testleri kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

Araştırmada süt örnekleri alınan iller Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. Araştırma örnekleminin illere göre dağılımı

İllere göre numune sayıları ve dağılımı Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4. 1. İllere göre numune sayıları ve dağılımı

İller	Toplam örnek sayısı	Keçi sütü	Koyun sütü	Manda sütü	İnek sütü
Balıkesir	131	5	5	5	116
Çanakkale	70	5	5	5	55
Bursa	66	5	5	5	51
Edirne	59	5	5	5	44
Tekirdağ	52	5	5	5	37
Kırklareli	49	5	5	5	34
Sakarya	49	5	5	5	34
İstanbul	36	5	5	5	21
Kocaeli	33	5	5	5	18
Bilecik	23	5	5	5	8
Yalova	20	5	5	5	5

Araştırmada toplamda Balıkesir ilinden 131, Bilecik ilinden 23, Bursa ilinden 66, Çanakkale ilinden 70, Edirne ilinden 59, İstanbul ilinden 36, Kırklareli ilinden 49, Kocaeli ilinden 33, Sakarya ilinden 49, Tekirdağ ilinden 52 ve Yalova ilinden 20 süt örnekleri alınmıştır. Her ilden keçi, koyun ve manda sütleri 5'er örnek alınırken, illerin toplam örnek farklıkları inek sütü sayısından ileri gelmektedir.

4.1. Koyun Sütü Örneklemlerinin Analiz Sonuçları

Koyun sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4. 2. Koyun sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları

İller	Koyun sütü örneklem sayısı	Pozitif örnek sayısı	MP sayısı	MP min uzunluk	MP max uzunluk	MP ortalama uzunluk±standart sapma	Medyan
Balıkesir	5	4	128	43	3223	840,15±797,86	509
Bilecik	5	4	40	38	4378	895,03±841,36	316
Bursa	5	5	53	47	3716	638,15±875,49	238
Çanakkale	5	5	37	23	3150	645,51±678,54	400
Edirne	5	5	55	24	3295	565,53±670,27	230
İstanbul	5	5	60	24	4761	699,38±976,52	726
Kırklareli	5	4	46	44	3568	634,54±844,66	281
Kocaeli	5	5	56	34	4405	1072,14±864,75	394
Sakarya	5	4	49	22	3621	644,73±982,98	206
Tekirdağ	5	5	98	40	3700	481,22±579,77	266
Yalova	5	5	30	24	4240	825,06±1019,90	179
Total	55	51	652	22	4761	709,41±879,61	324

Tablo 4.2'de görüleceği gibi, MP sayısı en fazla olan il Balıkesir (128) olup, bunu sırasıyla Tekirdağ (98), İstanbul (60), Kocaeli (56), Edirne (55), Bursa (53), Sakarya (49), Kırklareli (46), Bilecik (40), Çanakkale (37) ve Yalova (30) izlemektedir. Ancak MP ortalama uzunluk dağılımında Kocaeli en azla MP ortalamasına sahip olup, en az ortalama değer ise Tekirdağ örnekleminde tespit edilmiştir.

Koyun sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4. 3. Koyun sütünde tespit edilen MP polimer dağılımı

Mikroplastik türü	Sayı	%
EP	542	83,13
PTFE	93	14,26
PAM	5	0,77
PARA	5	0,77
CR	5	0,77
EA	2	0,31
HNBR	0	-

Koyun sütü örneklemlerinin %0,31'inde EA, %83,13'ünde EP, %0,77'sinde PAM, %0,77'sinde PARA, %0,77'sinde CR ve %14,26'sında PTFE tespit edilmiştir.

Koyun sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4. 4. Koyun sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı

Mikroplastik şekli	Sayı	%
Fiber	351	53,83
Fragment	146	22,39
Film	93	14,26
Küre	62	9,51

MP şekli %53,83 fiber, %14,26 film, %22,39 fragment, %9,51 küre olarak tespit edilmiştir.

Koyun sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4. 5. Koyun sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı

Mikroplastik rengi	Sayı	%
Mavi	211	32,36
Kırmızı	175	26,84
Siyah	84	12,88
Mor	42	6,44
Yeşil	36	5,52
Pembe	34	5,21
Şeffaf	33	5,06
Kahverengi	28	4,29
Gri	2	0,31
Portakal rengi	2	0,31
Kahverengimsi kırmızı	0	0,00
Mavimsi yeşil	0	0,00

Renk olarak en fazla %32,36 mavi renk tespit edilmiştir. En az tespit edilen renkler gri ve portakal rengidir. Mavimsi yeşil ve kahverengimsi kırmızı ise tespit edilemeyen renklerdir.

4.2. Keçi Sütü Örneklemi İçin Yapılan Analiz Sonuçları

Keçi sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4. 6. Keçi sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları

İller	Keçi sütü örneklem sayısı	Pozitif örnek sayısı	MP sayısı	MP min uzunluk	MP max uzunluk	MP ortalama uzunluk±standart sapma	Medyan
Balıkesir	5	4	30	23	3980	798,07±895,60	243
Bilecik	5	3	28	61	3190	785,82±1197,83	253
Bursa	5	4	61	26	4430	601,79±1317,42	274
Çanakkale	5	5	46	35	3216	506,83±624,24	197
Edirne	5	4	31	81	3874	1092,42±1039,09	642
İstanbul	5	5	40	28	3561	654,18±1271,62	372
Kırklareli	5	3	30	34	3260	729,30±906,52	230
Kocaeli	5	5	66	19	4490	792,80±1238,22	325
Sakarya	5	4	27	77	3774	841,52±1694,97	412
Tekirdağ	5	4	15	100	2072	624,33±1152,27	247
Yalova	5	5	64	34	4988	1096,94±994,22	304
Total	55	46	438	19	4988	781,95±953,24	330

Tablo 4.4'e göre, MP sayısı en fazla olan il Kocaeli (66) olup, bunu sırasıyla Yalova (64), Bursa (61), Çanakkale (46), İstanbul (40), Edirne (31), Balıkesir (30), Kırklareli (30), Bilecik (28), Sakarya (27) ve Tekirdağ (15) izlemektedir. Ancak MP ortalama uzunluk dağılımında Yalova en azla MP ortalamasına sahip olup, en az ortalama değer ise Çanakkale örnekleminde tespit edilmiştir.

Keçi sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4. 7. Keçi sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı

Mikroplastik türü	Sayı	%
EP	336	76,71
PTFE	92	21,00
CR	7	1,60
PARA	2	0,46
EA	1	0,23
HNBR	0	-
PAM	0	-

Keçi sütü örneklemlerinin %0,23'ünde EA, %76,71'inde EP, %0,46'sında PARA, %1,60'ında CR ve %21,00'inde PTFE tespit edilmiştir.

Keçi sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4. 8. Keçi sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı

Mikroplastik şekli	Sayı	%
Fiber	230	52,51
Fragment	99	22,60
Film	84	19,18
Küre	25	5,71

MP şekli %52,51 fiber, %19,18 film, %22,60 fragment, %5,71 küre olarak tespit edilmiştir.

Keçi sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4. 9. Keçi sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı

Mikroplastik rengi	Sayı	%
Kırmızı	110	25,11
Mavi	94	21,46
Mor	57	13,01
Şeffaf	53	12,10
Siyah	39	8,90
Pembe	37	8,45
Kahverengi	21	4,79
Gri	13	2,97
Yeşil	9	2,05
Portakal rengi	3	0,68
Sarı	2	0,46
Mavimsi yeşil	0	0,00
Kahverengimsi kırmızı	0	0,00

Renk olarak en fazla %25,11 kırmızı renk tespit edilmiştir. En az tespit edilen renkler sarı ve portakal rengidir. Mavimsi yeşil ve kahverengimsi kırmızı ise tespit edilemeyen renklerdir.

4.3. Manda Sütü Örneklemlerinin Analiz Sonuçları

Manda sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4. 10. Manda sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları

İller	Manda sütü örneklem sayısı	Pozitif örnek sayısı	MP sayısı	MP min uzunluk	MP max uzunluk	MP ortalama uzunluk±standart sapma	Medyan
Balıkesir	5	5	28	47	2086	796,79±1162,54	585
Bilecik	5	5	34	26	3864	977,59±1224,41	436
Bursa	5	5	70	24	4034	815,17±1339,61	431
Çanakkale	5	5	35	54	4006	704,31±977,45	274
Edirne	5	4	33	35	2857	790,82±832,62	586
İstanbul	5	5	60	27	4256	756,80±992,59	392
Kırklareli	5	5	62	48	4892	986,34±1186,86	385
Kocaeli	5	4	30	35	4032	1186,23±1271,50	731
Sakarya	5	4	27	23	4118	771,30±1337,20	366
Tekirdağ	5	5	66	53	2739	779,64±805,91	323
Yalova	5	4	126	31	4991	815,48±995,44	400
Total	55	51	571	23	4991	841,57±990,82	402

Tablo 4.10'a göre, MP sayısı en fazla olan il Yalova (126) olup, bunu sırasıyla Bursa (70), Tekirdağ (66), Kırklareli (62), İstanbul (60), Çanakkale (35), Bilecik (34), Edirne (33), Kocaeli (30), Balıkesir (28) ve Sakarya (27) izlemektedir. Ancak MP ortalama uzunluk dağılımında Kocaeli en fazla MP ortalamasına sahip olup, en az ortalama değer ise Çanakkale örnekleminde tespit edilmiştir.

Manda sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4. 11. Manda sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı

Mikroplastik türü	Sayı	%
EP	387	67,78
PTFE	129	22,59
PAM	39	6,83
PARA	9	1,58
CR	4	0,70
HNBR	2	0,35
EA	1	0,18

Manda sütü örneklemlerinin %0,18'inde EA, %67,78'inde EP, 0,35'inde HNBR, %6,83'ünde PAM, %1,58'inde PARA, %0,70'inde CR ve %22,59'unda PTFE tespit edilmiştir.

Manda sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4. 12. Manda sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı

Mikroplastik şekli	Sayı	%
Fiber	335	58,67
Film	109	19,09
Fragment	74	12,96
Küre	53	9,28

MP şekli %58,67 fiber, %19,09 film, %12,96 fragment, %9,28 küre olarak tespit ediliştir.

Manda sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4. 13. Manda sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı

Mikroplastik rengi	Sayı	%
Mavi	146	25,57
Kırmızı	116	20,32
Siyah	81	14,19
Mor	73	12,78
Yeşil	66	11,56
Şeffaf	30	5,25
Kahverengi	19	3,33
Pembe	15	2,63
Portakal rengi	11	1,93
Gri	9	1,58
Sarı	4	0,70
Mavimsi yeşil	1	0,18
Kahverengimsi kırmızı	0	0,00

Renk olarak en fazla %25,57 mavi renk tespit edilmiştir. En az tespit edilen renk mavimsi yeşil olup, kahverengimsi kırmızı renk tespit edilmemiştir.

4.4. İnek Sütü Örneklemi İçin Yapılan Analiz Sonuçları

İnek sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4. 14. İnek sütü örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları

İller	İnek sütü örneklem sayısı	Pozitif örnek sayısı	MP sayısı	MP min uzunluk	MP max uzunluk	MP ortalama uzunluk±standart sapma	Medyan
Balıkesir	116	101	872	17	4997	1029,11±1737,53	472
Bilecik	8	5	46	45	4100	1417,94±1107,83	204
Bursa	51	46	469	21	4782	744,88±1084,07	261
Çanakkale	55	52	335	23	4891	1104,57±1707,18	482
Edirne	44	40	339	33	4933	1161,41±1328,34	313
İstanbul	21	18	278	35	4897	884,10±1100,92	278
Kırklareli	34	27	237	25	4922	1009,70±1107,17	283
Kocaeli	18	18	155	33	4530	633,34±1223,63	271
Sakarya	34	32	209	32	4971	884,86±1112,11	379
Tekirdağ	37	34	218	32	4928	1165,57±1344,99	417
Yalova	5	4	17	23	2219	640,65±995,97	188
Total	423	377	3175	17	4997	970,49±1242,82	372

Tablo 4.14'e göre, MP sayısı en fazla olan il Balıkesir (872) olup, bunu sırasıyla Bursa (469), Edirne (339), Çanakkale (335), İstanbul (278), Kırklareli (237), Tekirdağ (218), Sakarya (209), Kocaeli (155), Bilecik (46) ve Yalova (17) izlemektedir. Ancak MP ortalama uzunluk dağılımında Bilecik en fazla MP ortalamasına sahip olup, en az ortalama değer ise Yalova örnekleminde tespit edilmiştir.

İnek sütünde tespit edilen MP polimer tür, şekil ve renk dağılımı Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4. 15. İnek sütünde tespit edilen MP polimer tür dağılımı

Mikroplastik türü	Sayı	%
EP	2476	77,98
PTFE	596	18,77
CR	33	1,04
PAM	28	0,88
PARA	23	0,72
EA	13	0,41
HNBR	6	0,19

İnek sütü örneklemlerinin %0,41'inde EA, %77,98'inde EP, %0,19'unda HNBR, %0,88'inde PAM, %0,72'sinde PARA, %1,04'ünde CR ve %18,77'sinde PTFE tespit edilmiştir.

İnek sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4. 16. İnek sütünde tespit edilen MP polimer şekil dağılımı

Mikroplastik şekli	Sayı	%
Fiber	1618	50,96
Film	739	23,28
Küre	546	17,20
Fragment	272	8,57

MP şekli %50,96 fiber, %23,28 film, %8,57 fragment, %17,20 küre olarak tespit edilmiştir.

İnek sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4. 17. İnek sütünde tespit edilen MP polimer renk dağılımı

Mikroplastik rengi	Sayı	%
Siyah	767	24,16
Kırmızı	767	24,16
Mavi	453	14,27
Mor	370	11,65
Kahverengi	204	6,43
Pembe	197	6,20
Yeşil	127	4,00
Şeffaf	138	4,35
Gri	106	3,34
Sarı	33	1,04
Portakal rengi	7	0,22
Mavimsi yeşil	4	0,13
Kahverengimsi kırmızı	2	0,06

Renk olarak en fazla %24,16 oranla siyah ve kırmızı renk tespit edilmiştir. En az tespit edilen renk ise kahverengimsi kırmızı rengidir.

4.5. Tüm Örneklem Kümesi İçin Analiz Sonuçları Değerlendirmesi

Tüm süt örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları Tablo 4.18'de verilmiştir.

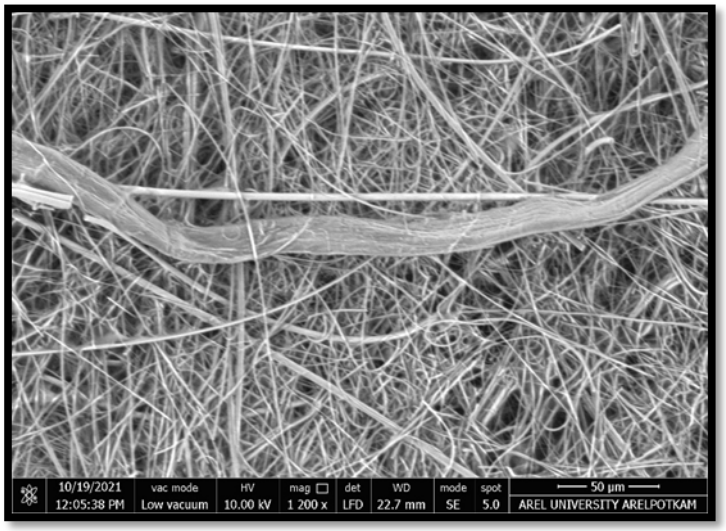
Tablo 4. 18. Tüm süt örnekleri için analiz sonuçları ve illere göre dağılımları

Parametreler	Koyun	Keçi	Manda	İnek	Toplam
Örneklem sayısı	55	55	55	423	588
Pozitif örnek sayısı	51	46	51	377	525
Pozitif örneklem yüzdesi	92,73[b]	83,64[a]	92,73[b]	89,13[b]	89,29
MP sayısı	652	438	571	3175	4836
Ortalama MP sayısı	12,78[d]	9,52[b]	11,20[c]	8,42[a]	9,21
MP minimum uzunluk	22	19	23	17	17
MP maksimum uzunluk	4761	4988	4991	4997	4997
MP ortalama uzunluk±standart sapma	709,41±879,61[a]	781,95±953,24[a]	841,57±990,82[ab]	970,49±1242,82[b]	902,99±1151,45
Medyan	324	330	402	372	370

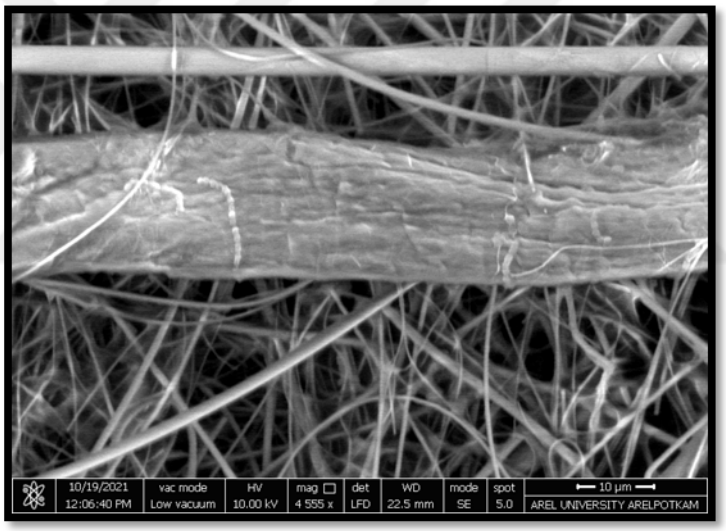
*Farklı bir harfin tarafından takip edilen ortalamalar, $p<0.05$'te her satırda önemli farklılıkları gösterir.

Tüm illerden elde edilen sütlerden koyun sütünün %12,78'inde, keçi sütünün %9,52'sinde, manda sütünün %11,20'sinde, inek sütünün %8,42'sinde ve tüm illerdeki tüm sütlerin %9,21'inde MP tespit edilmiştir. Örneklerde polimer türünün tayini için kullanılan SEM-EDS'den elde edilen temsili yüzey morfolojileri Şekil 4.2, Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5.'de verilmiştir.

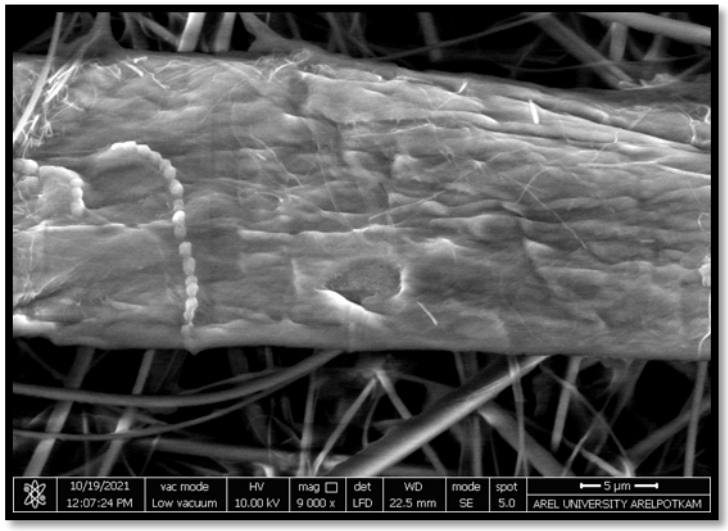
Tüm süt örnekleri için MP polimer türünün dağılımı Tablo 4.19'da verilmiştir.



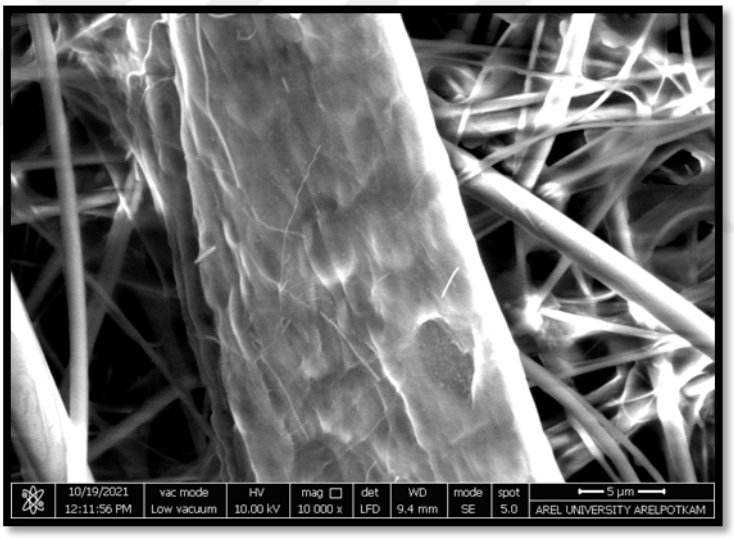
Şekil 4. 2. SEM-EDS görseli



Şekil 4. 3. SEM-EDS görseli



Şekil 4. 4. SEM-EDS görseli

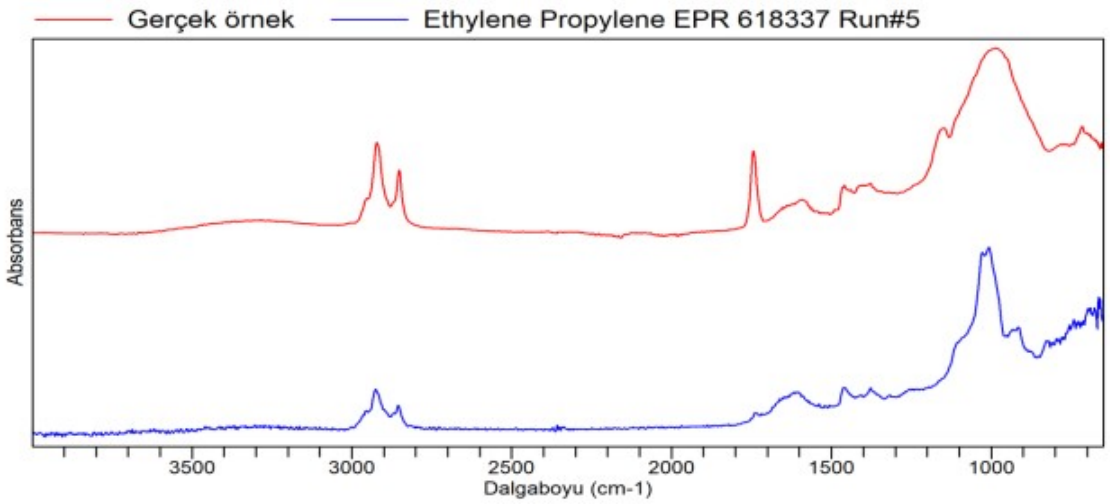


Şekil 4. 5. SEM-EDS görseli

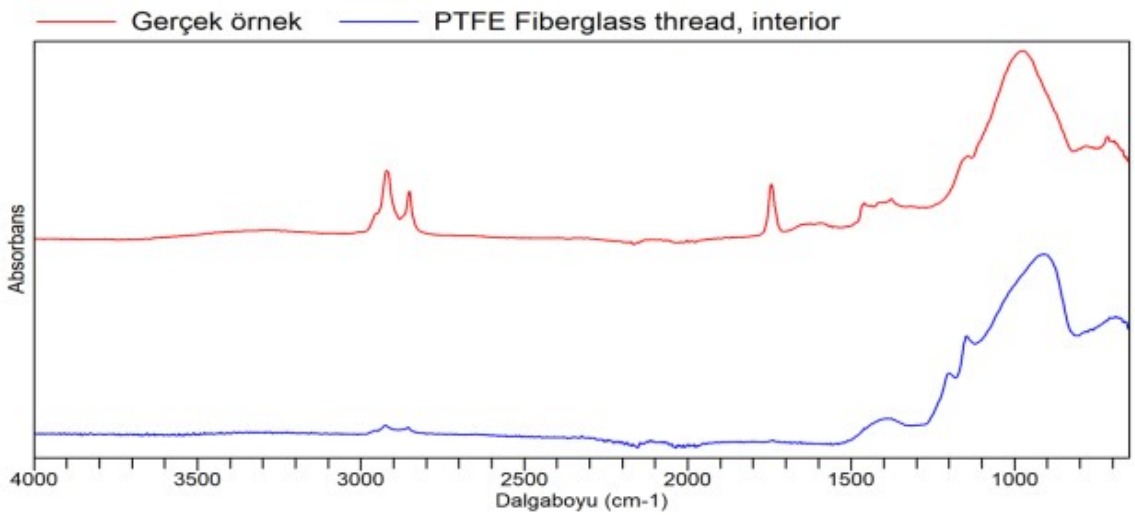
Tablo 4. 19. Tüm süt örnekleri için MP polimer türünün dağılımı

Süt türü	EA	EP	HNBR	PAM	PARA	CR	PTFE
Koyun sütü	2	542	0	5	5	5	93
Keçi sütü	1	336	0	0	2	7	92
Manda sütü	1	387	2	39	9	4	129
İnek sütü	13	2476	6	28	23	33	596
Toplam	17	3741	8	72	39	49	910
Yüzde	0,35	77,36	0,17	1,49	0,81	1,01	18,82

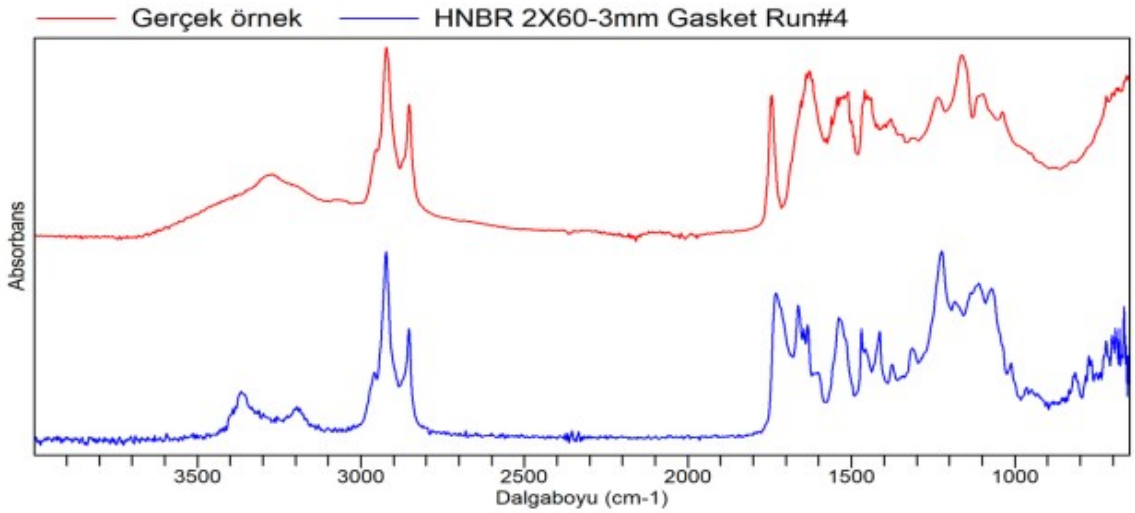
Tüm örneklemlin %0,35'inde EA, %77,36'sında EP, %0,17'sinde HNBR, %1,49'unda PAM, %0,81'inde PARA, %1,01'inde CR ve %18,82'sinde PTFE tespit edilmiştir (Şekil 4.6., Şekil 4.7., Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12.)



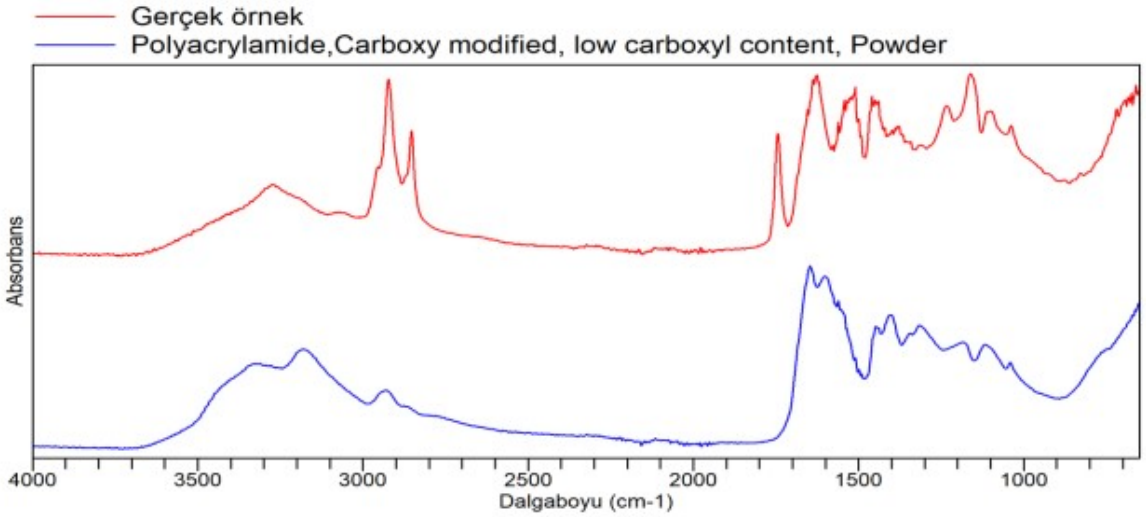
Şekil 4. 6. ATR-FTIR grafiği



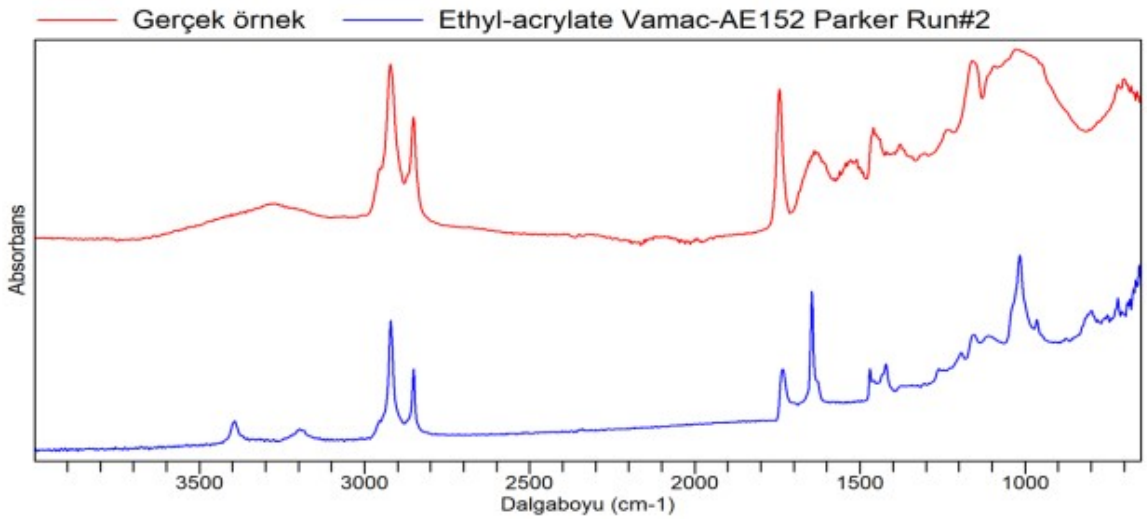
Şekil 4. 7. ATR-FTIR grafiği



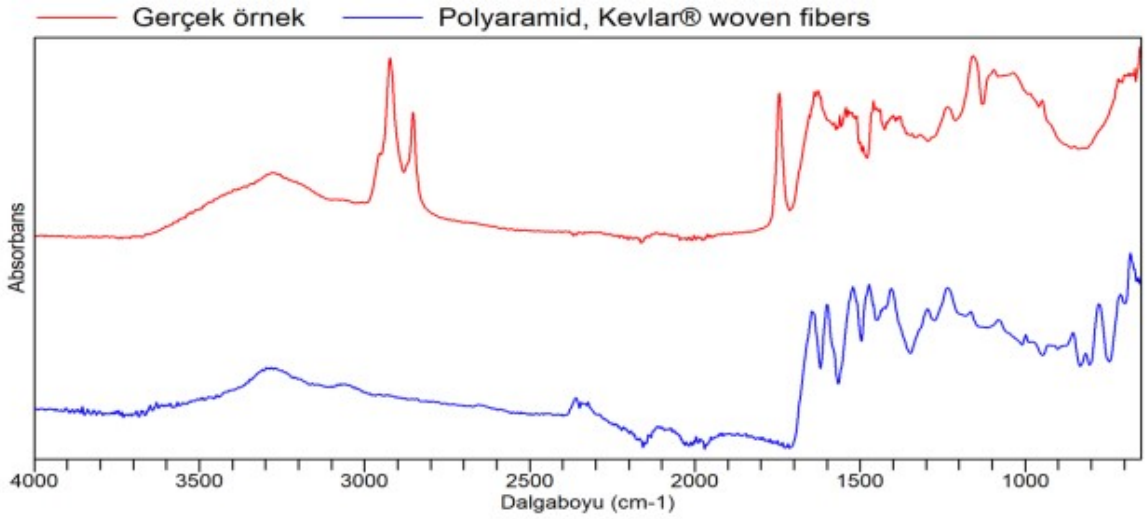
Şekil 4. 8. ATR-FTIR grafiği



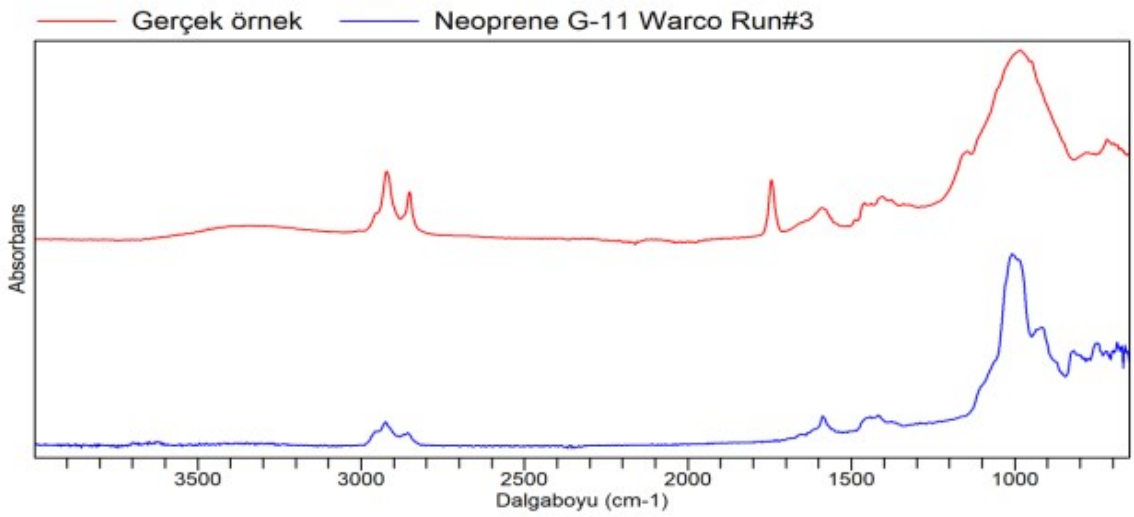
Şekil 4. 9. ATR-FTIR grafiği



Şekil 4. 10. ATR-FTIR grafiği



Şekil 4. 11. ATR-FTIR grafiği



Şekil 4. 12. ATR-FTIR grafiği

Tüm örneklemde tespit edilen MP polimer tipine göre dağılımları Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4. 20. Tüm örneklemde tespit edilen MP polimer tipine göre dağılımları

Süt türü	Fiber	Film	Fragment	Küre
Koyun sütü	351	93	146	62
Keçi sütü	230	84	99	25
Manda sütü	335	109	74	53
İnek sütü	1618	739	272	546
Toplam	2534	1025	591	686
Yüzde	52,40	21,20	12,22	14,19

Tüm örneklemdeki sütlerin %52,40'ında fiber, %21,20'sinde film, %12,22'sinde ragment ve %14,19'unda küre tipli MP tespit edilmiştir.

Tüm örneklemde tespit edilen MP partiküllerinin renk dağılımları Tablo 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4. 21. Tüm örneklemde tespit edilen MP partiküllerinin renk dağılımları

Mikroplastik rengi	Koyun sütü	Keçi sütü	Manda sütü	İnek sütü	Toplam	%
Siyah	84	39	81	767	971	20,08
Mavi	211	94	146	453	904	18,69
Mavimsi yeşil	0	0	1	4	5	0,1
Kahverengi	28	21	19	204	272	5,62
Kahverengimsi kırmızı	0	0	0	2	2	0,04
Yeşil	36	9	66	127	238	4,92
Gri	2	13	9	106	130	2,69
Portakal rengi	2	3	11	7	23	0,48
Pembe	34	37	15	197	283	5,85
Mor	42	57	73	370	542	11,21
Kırmızı	175	110	116	767	1168	24,15
Şeffaf	33	53	30	138	254	5,25
Sarı	5	2	4	33	44	0,91

Tüm örneklemdeki sütlerin %20,08'i siyah, %18,69'u mavi, %0,1'i mavimsi yeşil, %5,62'si kahverengi, %0,04'ü kahverengimsi kırmızı, %4,92'si yeşil, %2,69'u gri, %0,48'i portakal rengi, %5,85'i pembe, %11,21'i mor, %24,15'i kırmızı, %5,25'i şeffaf ve %0,91'i sarı renkte tespit edilmiştir.

Tüm örneklemde tespit edilen MP partiküllerinin boyut dağılımları Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4. 22. Tüm örneklemde tespit edilen MP partiküllerinin boyut dağılımları

Örneklem	1-10 µm	10-20 µm	20-150 µm	150-500 µm	500-1000 µm	1000-5000 µm
Koyun sütü	0	0	187	210	100	155
Keçi sütü	0	2	141	107	65	123
Manda sütü	0	0	140	162	104	165
İnek sütü	0	1	1081	676	442	975
Toplam	0	3	1549	1155	711	1418
Yüzde	0,00	0,06	32,03	23,88	14,70	29,32

Tüm örneklemdeki MP boyutları %0,06'sı 10-20 µm arasında, %32,03'ü 20-150 µm arasında, %23,88'i 150-500 µm arasında, %14,70'i 500-1000 µm arasında ve %29,32'si 1000-5000 µm arasında tespit edilmiştir.

Tüm örneklemde tespit edilen MP sayılarının iller bazında boyut dağılımları Tablo 4.23'te verilmiştir.

Tablo 4. 23. Tüm örneklemde tespit edilen MP sayılarının iller bazında boyut dağılımları

İller	Toplam süt örnek sayısı	Pozitif süt örnek sayısı	Toplam MP sayısı	Ortalama MP sayısı ±SD
Balıkesir	131	114	1058	8,23±9,64^{c}
Çanakkale	70	67	453	8,16±10,17^{c}
Bursa	66	60	653	8,68±11,24^{ab}
Edirne	59	53	458	8,35±10,66^{b}
Tekirdağ	52	48	397	7,79±9,76^{c}
Kırklareli	49	39	375	8,57±11,36^{c}
Sakarya	49	44	312	8,47±11,07^{bc}
İstanbul	36	33	438	8,70±11,51^{a}
Kocaeli	33	32	307	8,49±11,02^{ab}
Bilecik	23	17	148	9,59±12,11^{c}
Yalova	20	18	237	9,70±12,49^{ab}

*Farklı bir harfin takip ettiği ortalamalar, $p<0.05$'te ilgili sütunda önemli farklılıkları gösterir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışma sonuçları, Marmara Bölgesi'nde koyun, keçi, manda ve ineklerden alınan çiğ süt numunelerinde mikroplastiklerin yaygın olduğunu ortaya koymuştur. Marmara bölgesi Türkiye'deki kayıtlı toplam sütünün %11,39'unu sağladığı için iyi bir örneklem grubudur. Avrupa ve Asya arasında köprü görevi gören bu bölge, yüzölçümü olarak Türkiye'nin %8,5'ini, nüfusun ise %31,47'sini temsil etmektedir. Dünyada sütü en çok tüketilen dört hayvan türünün sütü de dahil olmak üzere on üç farklı ilden toplanan ve bir coğrafi bölgeyi kapsayan çiğ süt örnek seti ile yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tespit edilen üç makale, sütte bir mikroplastik tespit yöntemi oluşturmak için tasarlanmış dar bir örnek setine sahip çalışmalardan oluşmaktadır.

Meksika'da 8 farklı markaya ait 5 uluslararası ve 3 bölgesel ambalajlı sütün örnekleme dahil edildiği bir çalışma yapılmıştır. Farklı türlerde hem yetişkin hem de çocuk sütleri olmak üzere 23 süt örneğinde gerçekleştirilen çalışmada, analiz edilen örneklerin yarısından fazlası (%52) 6-9 partikül/L mikroplastik varlığı rapor edilmiştir. Süt örneklerinin %39'u 3-5 partikül/L mikroplastik olup, süt örneklerinin sadece %9'u 10-11 partikül/L aralığındaydı. Süt hacmini genişletmek için hem üreticiler hem de taşıyıcılar tarafından süte eklenen suyu ve süt endüstrisinde kullanılan filtrasyon ünitelerini mikroplastiklerin süt ürünlerinde varlığının sebebi olabileceği rapor edilmiştir (Kutralam-Muniasamy, 2020).

Diaz-Basantes ve diğ. (2020), Ekvador pazarından polietilen örtüyle sarılmış veya Tetra Pak içinde paketlenmiş, ağırlıkça <%1 yağ özelliklerine sahip toplam 10 yağsız süt numunesi toplanmıştır. Bu örneklerde partikül boyutu 2.48-183.37 µm olan 403 MP tespit etmişlerdir. FTIR veya floresan mikroskopisi ile tanımlanan bileşim analizi, polipropilen, düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen ve poliakrilamidin varlığını rapor etmişlerdir.

Costa Filho ve diğ. (2021), Raman yöntemiyle inek sütü numunelerindeki MP konsantrasyonu, 100 mL numune başına 204 ila 625 MP arasında rapor etmişlerdir. Tespit ettikleri başlıca polimer türleri; PE (polietilen), PES (polieter sülfon), PP (polipropilen), PTFE (politetrafloroetilen), PS (polistiren); ve nadiren PU (poliüretan), PA (poliamid), PSU (polisülfon) ve PVA (polivinil asetat). Paketlenmiş sütlerin İsviçre'deki 3 ana süpermarket

zincirinden en yüksek satış rakamlarına sahip ürünler seçilerek satın alındığı, çiğ sütün doğrudan Fransa'daki bir çiftlikten sağım makinesinden partikül sertifikalı bir cam kapta numune alındığı bildirilmiştir (5'ten az parçacık içeren). Süt işleme ve paketleme koşullarının MP'lerde hafif bir artış eğilimine neden olduğu bildirilmiştir.

Çalışmamızın örnek setinde yer alan süt örneklerinin %89,29'unda MP varlığı tespit edildi. Koyun sütünde MP kontaminasyonunun en yüksek oranda (%92.73) olduğu belirlendi. Örnek kümeye ait koyunların beslenmesinde mera önemli bir yere sahiptir. Türkiye'nin gelişmişlik düzeyi en yüksek bölgesi olan Marmara Bölgesi'nde meralar yerleşim alanları arasında sıkışmış durumdadır. İnsan ve trafik hareketlerinin yoğunluğu mera alanlarının sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır. Pozitif numune başına ortalama 128 MP L^{-1} verisi ile koyun sütü yine MP kirlilik düzeyi en yüksek süt olarak görülmektedir. Bu veriler iddiamızı destekleyecek kanıt olarak kabul edilmektedir. %7.27'si mikroplastik tespit edilemeyen süt örneklerinin alındığı koyunların yoğun yerleşim yerlerinden (Kırklareli Demirköy, Bilecik Akpınar, Bilecik Küreköy, Sakarya Dağdibi) uzak köylerde, sanayi bölgelerinden, yoğun trafikten uzak köylerde yetiştirildiği belirlenmiştir (SEGE, 2019). Çevrenin plastik kirliliğine daha az maruz kaldığı düşünülen yerlerden alınan 9 keçi sütünde (%16.36), 4 manda sütünde (%7.27) ve 46 inek sütünde (%10.87) MP kontaminasyonuna rastlanmadığı belirlenmiştir. Öte yandan keçi sütü örneklerinin toplandığı keçi yetiştirme yerleri (Kırklareli Demirköy, Bilecik Akpınar, Bilecik Küreköy, Balıkesir Gökköy, Balıkesir Balıklı, Tekirdağ Çimendere, Edirne Büyükdöllü, Sakarya Dağdibi, Sakarya Eskibedir) daha az yerleşim olan alanlardır. Merkez yerleşimlerden nispeten uzak dağ köyleridir. Bu faktör, keçi sütünde koyun sütüne göre MP kontaminasyonunun daha az görülmesinin nedeni olarak görülmektedir.

Marmara, inek ve manda yetiştiriciliğinin organize bir şekilde yapıldığı bir bölgedir. Kontrollü koşullar altında numune alınan bu sütlerin kontaminasyon kaynağının birinci derecede sorumlu sağım ekipmanı olduğu kabul edilir. MP'ler, sağım sırasında oda havasından, sağım makinesinin dört emziğine takılı titreşimli vakumlu kauçuk kaplı emzik kaplarından gelebilir. Süt toplama tesislerinde polietilenden yapılmış boru hatlarından kontaminasyon meydana gelebilir. Süt numuneleri ayrıca malzeme torbaları, önlükler, eldivenler, ekipman ve donanımlar gibi plastikten yapılmış ek kaynaklardan da kontamine olabilmektedir.

Çalışmamızda MP'ler çeşitli renklerde (siyah, mavi, mavimsi yeşil, kahverengi, kahverengimsi kırmızı, yeşil, gri, turuncu, pembe, mor, kırmızı, şeffaf, sarı gibi) ve çeşitli şekillerde (lif, film, fragment, küre) gözlenmiştir. MP'lerde tanımlanan renk faktörü, kimyasal bileşimleri görsel olarak ayırt etmek ve önceden tanımlamak için kullanılabilen MP'lerin bir özelliğidir. Çalışmalar renkleri şeffaf partikülleri polipropilen, beyaz ve şeffaf, beyaz ve opak renkleri (mavi, kırmızı, kahverengi ve siyah renkli) polietilen olarak değerlendirmişlerdir (Rocha-Santos ve Duarte, 2017). MP'ler, parçalar, lifler, filmler, köpükler, folyolar, küreler ve topaklar gibi şekillerinde farklılık gösterir (Mason ve diğ., 2016; Anderson ve diğ., 2017; Leslie ve diğ., 2017). Çalışmamızda her şekle özgü bir renk skalası belirlenememiştir. MP'nin tarif ettiği dört farklı şekil için hemen hemen tüm renkler gözlenmiştir. Kesin tanı için FTIR doğrulaması gerekli kabul edilir. Polimer üretim sürecinde polimer karışımlarına renk pigmentleri eklenebilir. Mikroskop ile tespit edilen renklerin plastik malzemelerin üretimi sırasında kullanılan renk pigmentleri ve katkı maddelerinden kaynaklanabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Oßmann ve diğ., 2018).

Çalışmamızda MP'ler çeşitli renklerde (siyah, mavi, mavimsi yeşil, kahverengi, kahverengimsi kırmızı, yeşil, gri, turuncu, pembe, mor, kırmızı, şeffaf, sarı gibi) ve çeşitli şekillerde (fiber, film, fragman, küre) gözlenmiştir. MP'lerde tanımlanan renk faktörü, kimyasal bileşimleri görsel olarak ayırt etmek ve önceden tanımlamak için kullanılabilen MP'lerin bir özelliğidir. Şeffaf partikülleri polipropilen, beyaz ve şeffaf, beyaz ve opak renkleri (mavi, kırmızı, kahverengi ve siyah renkli) polietilen olarak değerlendirmişlerdir (Rocha-Santos ve Duarte, 2017). MP'ler, parçalar, lifler, filmler, köpükler, folyolar, küreler ve topaklar gibi şekillerde farklılık gösterirler (Mason ve diğ., 2016; Anderson ve diğ., 2017; Leslie ve diğ., 2017). Çalışmamızda her şekle özgü bir renk skalası belirlenememiştir. MP'nin tarif ettiği dört farklı şekil için hemen hemen tüm renkler gözlendi. Kesin tanı için FTIR doğrulaması gerekli kabul edilir. Polimer üretim sürecinde polimer karışımlarına renk pigmentleri eklenebilir. Mikroskop ile tespit edilen renklerin plastik malzemelerin üretimi sırasında kullanılan renk pigmentleri ve katkı maddelerinden kaynaklanabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Oßmann ve diğ., 2018).

Süt örneklerinde tespit edilen mikroplastiklerin ATR-FTIR ile yapılan karakterizasyonu kontaminasyon kaynağını tespiti için önemlidir. Çalışmamızda, ethylene propylene tüm süt örneklerinde en yüksek oranda bulunan polymer tipi olmuştur. Koyun sütlerinde tespit edilen mikroplastiklerin %83,13'ünün, keçi sütlerinde %76,71'inin, manda

sütlerinde %67,78'inin ve inek sütlerinde %77,98'inin ethylene propylene mikroplastiklerden ibaret olduğu tespit edilmiştir.

EP, kauçuk olarak da adlandırılan etilen-propilen kopolimeri, etilen ve propilenin kopolimerleştirilmesiyle üretilen bir sentetik kauçuk sınıfıdır. Bu polimer elastiktir, elektriğe ve ozona karşı mükemmel direnç gösterir. Otomotiv motorlarında, elektrik kablolarında ve inşaatta kullanılan ürünlerin hammaddesi olarak bilinir. Başlıca kullanım alanları, otomobiller için esnek contalar, tel ve kablo yalıtımı, hava sıyırma, lastik yan duvarları, hortumlar ve çatı kaplama filmleridir (Britannica Encyclopaedia, 2016).

PTFE'nin süt örneklerinde tespit edilen microplasticlerin %18,82'sini oluşturduğu belirlenmiştir. Bu oranla PTFE'nin tüm süt örneklerinde tespit edilen ikinci sıklıkta polymer olduğu görülmüştür. PTFE, tetrafloroetilenin polimerizasyonu ile üretilen güçlü, sert, mumsu, yanıcı olmayan sentetik bir reçinedir. Yapışmaz pişirme kapları, rulmanlar, boru gömlekleri, valf ve pompa parçaları dahil olmak üzere endüstriyel ürünlerde kaplamada kullanım alanı bulur (Britannica Encyclopaedia, 2019).

Süt örneklerimizde tespit edilen mikroplastiklerin %1,49'u PAM'dan oluşmaktadır. PAM sulama arazilerinde toprak düzenleyici olarak kullanılmaktadır. PAM gibi sentetik polimer şartlandırıcılar, toprak stabilitesini, sızma oranını ve erozyon direncini arttırmada organik veya inorganik şartlandırıcılardan daha etkili seçeneklerdir. PAM, sulama kaynaklı erozyonu önleyen ve toprağın hidrolik iletkenliğini artıran agregalar oluşturan elektrostatik etkileşimler yoluyla toprak parçacıklarına bağlanır. Düşük kalıntı akrilamid monomer seviyesi (<0.05%) nedeniyle en yaygın olarak toprak şartlandırmada kullanılır (Xiong ve diğ., 2018).

Polikloropren, kaplamalar, yapıştırıcılar ve contalar, kablo ceketleri, borular, contalar, O-ringler, lastik yan duvarları, benzin hortumları, elektrik yalıtımları ve ıslak giysiler ve ortopedik diş telleri gibi hava koşullarına dayanıklı ürünler gibi kalıplanmış elastomerik ürünlerde kullanılır.

PARA, kumaşlara kalıcı baskı apreleri uygulayan presler için giysiler, kağıt üreticileri için kurutucu kayışlar, elektrik motorları için yalıtım kağıdı ve örgüler, itfaiyeciler, askeri pilotlar ve yarış arabası sürücüleri için aleve dayanıklı giysiler ve otomobil v-kayışları ve hortumlarında kullanılan özel bir polymerdir.

EA, akrilik asidin asit katalizli esterifikasyonu ile üretilir ve bu da propilenin oksidasyonu ile üretilir. Bu kopolimerler, çeşitli sıcaklıklarda yüksek dolgu kabulü,

mükemmel tokluk, termal kararlılık, esneklik ve yapışmayı birleştirir. Etilen etil akrilat kopolimerleri hortum ve tüpte, filmde, polimer modifikasyonunda, konsantreler için taşıyıcı reçineler olarak, bağdaştırıcılar olarak, tel ve kablo bileşiklerinde ve sıcak eriyik yapışkan formülasyonlarında kullanılır. Ayrıca, sert ve esnek enjeksiyonla kalıplanmış ve ekstrüde edilmiş ürünler için kullanılabilirler. Yapılan bir çalışmada, kronik (uzun süreli) bir süre boyunca inhalasyona maruz kalan sıçanlarda ve farelerde kanserli olmayan lezyonlar ve nazal mukoza iltihabı ve depresif vücut ağırlığı artışı gözlemlenmiştir. Ulusal Toksikoloji Programı (NTP) kısa süre önce EA'yı kanserojen listesinden çıkardı. EPA, EA Grup B2, olası insan kanserojeni olarak sınıflandırmıştır, ancak inhalasyon yoluyla riski ölçmek için bir potens tahmini geliştirmemiştir (Ohara ve diğ., 2020).

Düşük sıcaklıklarda esnekliği ve mükemmel yağ ve sıcak hava yaşlanma direncine sahip hidrojene nitril-bütadien kauçuk (HNBR), özellikle yüksek sıcaklıklarda otomobil ve petrol çıkarma gibi endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ticari HNBR bileşikleri, çeşitli sertleştirme maddeleri, stabilizatörler ve işleme yardımcıları ile birlikte genellikle karbon siyahı, silika veya killer gibi dolgu maddeleri ile birleştirilerek kullanılırlar (Chen ve diğ, 2009; Alcock ve diğ, 2018).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada elde edilen sonuçlara dayalı olarak, süt üreticileri, bu alanda çalışma yapmak isteyen akademisyenler ve alan çalışanlarına şu önerileri getirmek mümkündür: İncelenen örneklerde MP varlığı ciddi seviyelerde tespit edilmiştir. Bu seviyelerin insan sağlığına zararları, kaynağı ve bertaraf edilme yöntemleri üzerine ileri çalışmalar yapılabilir. Daha farklı bölgelerden alınacak olan örneklerle, araştırma örneklemi sonuçları çapraz kıyaslanabilir. Araştırmada elde edilen bulguların sağlık açısından zarar ve risklerine yönelik ileri çalışmalar yapılabilir. Ülke genelinde, sütlerde MP ve benzeri analizlerin yapıldığı, sonuçların yayınlandığı geniş ölçekli bir portal ve bilgi paylaşım aracı geliştirilebilir. Hayvanların sütlerinde tespit edilen bu kontaminasyonların sadece süt ile mi sınırlı kaldığı, yoksa ette de benzer bir kirliliğin olup olmadığı üzerine hem çalışma, hem de kamusal otoriteler tarafından incelemeler yapılabilir ve bu incelemelerin sonuçları paylaşılabilir. Farklı hayvan türlerinde de, hayvansal gıdalarda MP varlığına ilişkin benzer çalışmalar yapılarak, sonuçlar kıyaslanabilir. Bu sayede, kontaminasyon kaynaklarının daha etkili bir şekilde tanımlanması ve önlemlerin alınması mümkün olabilir. Süt türlerinde ölçülen MP düzeylerinin süt ürünlerinde de tespiti ve bu ürünleri tüketen bireyler için de risk değerlendirmesi yöntemleri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Akçay S., Fatih T., Yetim H, (2020). Mikroplastikler: Gıdalarda Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 20(1), 530-538.

Alcock, B., Olafsen, K., Huse, J., & Grytten, F. (2018). The low temperature crystallization of hydrogenated nitrile butadiene rubber (HNBR*). Polymer Testing,* 66, 228-234.

Anderson P.J., Warrack S., Langen V., Challis J.K., Hanson M. L. ve Rennie M. D. (2017). Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environmental Pollution,* 225 (2017) 223e231.

Aslan R. ve Terin M., (2018). Mikroplastikler: hayati kuşatan yeni tehlike. *Ana sayfa,* cilt 6, sayı 66.

Asselt, E.D. van, H.J.P. Marvin, P.E. Boon, M. Swanenburg, M. Zeilmaker, M.J.B. Mengelers ve H.J. van der Fels-Klerx, (2016). Chemical and physical hazards in the Dairy Chain. Wageningen, RIKILT Wageningen UR (University & Research centre), *RIKILT report* 2016.003. 46.

Barboza LGA, Dick Vethaak A, Lavorante BRBO, Lundebye AK, Guilhermino L. (2918). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Mar Pollut Bull.,* Aug;133:336-348.

Booth A.M., Stephan Kubowicz, CJ Beegle-Krause, Jørgen Skancke, Tor Nordam, Eva Landsem, M., & Throne-Holst, S. J. (2017). Microplastic in global and Norwegian marine environments: Distributions, degradation mechanisms and transport. *Sintef*, *M–918*(April), 1–147.

Borawski P, Pawlewicz A, Parzonko A, Harper JK ve Holden L. (2020). Factors Shaping Cow's Milk Production in the EU. *Sustainability 2020,* 12, 420, 1-15.

Britannica Encyclopaedia, (2016). Microplastics.

Broucek, J., Arave, C. W., Kisac, P., Mihina, S., Flak, P., Uhrincat, M., & Hanus, A. (2006). Effects of some management factors on milk production in first-calf heifers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *19*(5), 672–678.

Carbery M, O'Connor W, Thavamani P. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ Int.* 115:400–409. doi:10.1016/j.envint.2018.03.007

Cauwenberghe, M. Claessens , M. B. Vandegehuchte ve C. R. Janssen (2014). "Microplastics are taken up by mussels (Mytilus edulis) and lugworms (Arenicola marina) living in natural 861 habitats", *Environmental Pollution,* 199(1), 10-17.

Chang X, Xue Y, Li J, Zou L ve Tang M. (2019). Potential health impact of environmental micro- and nanoplastics pollution. *Journal of Applied Toxicology,* 40(1), 4-15.

Chen, S., Yu, H., Ren, W., & Zhang, Y. (2009). Thermal degradation behavior of hydrogenated nitrile-butadiene rubber (HNBR)/clay nanocomposite and HNBR/clay/carbon nanotubes nanocomposites. *Thermochimica Acta,* 491(1-2), 103-108.

Cuillière, M. L., Abbadi, M., Molé, C., Montagne, P., Béné, M. C., & Faure, G. (1997). Microparticle-enhanced nephelometric immunoassay of alpha-lactalbumin in human milk. *Journal of Immunoassay*, *18*(1), 97–109.

Correia Joana Prata, (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental pollution,* 234(2018)115-126.

Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., & Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics (≥ 5 μm) in milk products. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–13.

Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., & Poitevin, E. (2021b). Detection and characterization of small-sized microplastics (≤ 5 μm) in milk products. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–23.

Cox, K.D. (2019). Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F., Juanes, F., Dudas, S.E., Human consumption of microplastics. *Environ. Sci. Technol.,* 53, 7068–7074.

Çilek, S., & Tekin, M. E. (2005). Environmental factors affecting milk yield and fertility traits of Simmental cows raised at the Kazova state farm and phenotypic correlations between these traits. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, *29*(4), 987–993.

Çon, A. H. (2021). *Gıdaların Fiziksel ve Kimyasal Kontaminasyon Kaynakları ve Önlenmesi.* Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ders Notları.

Dahl GE, Hendricx S, Adesogan AT, Havelaar AH, McKune SL ve Vipham J. (2019). Animal source foods: contributions to food and nutrition security.

http://www.livestockdialogue.org/fileadmin/templates/res_livestock/docs/2019_Sept_Kansas/1_Food_and_Nutrition_Security_-_Online_consultation.pdf

Deng, Y.; Zhang, Y. (2017). Response to Uptake of microplastics and related health effects: A critical discussion of Deng et al., Scientific reports 7: 46687, *Arch. Toxicol.,* 93, 213–215.

Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(12).

EC (2017). European Commission (DG Environment) Intentionally added microplastics in products Final report.

EFSA (2016). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood *EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain* (CONTAM).

Ertuğrul E., Cevat A. (2020). Mikroplastikler, Çevre-İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri ve Analiz Yöntemleri, *Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 8 (2020) 839-868.

Eurostat, 2021, https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/setupDownloads.do

Filho PAC et al (2021). Detection and Characterization of Small-Sized Microplastics (≥ 4 μm) in Milk Products. *Article in Press.*

Fonseca, M. M. A., Gamarro, E. G., Toppe, J., Bahri, T., & Barg, U. (2017). The Impact of Microplastics on Food Safety: the Case of Fishery and Aquaculture Products. *FAO Aquaculture Newsletter,* (57), 43-45.

GESAMP (2015). "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment" (Kershaw, P.J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.

Gurusamy K-M a, Fermín P-G a,b, I. Elizalde-Martínez c, V.C. Shruti C. (2020). Branded milks – Are they immune from microplastics contamination? *Science of the Total Environment*, 714 (2020) 136823

Gündoğdu, S., (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. Food Addit. Contam. Part A *Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* 35 (5), 1006–1014.

Güven, K. O., Gökdag, B. Jovanovic ve A. E. Kõdeys, (2017). "Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish", *Environmental Pollution,* vol. 223, pp. 286-294.

Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng, E. Y. (2020). A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2018JC014719.

Jabeen, L. K., Su , J. Li , D. Yang , C. Tong , J. Mu ve H. Shi (2017). "Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China", *Environmental Pollution,* vol. 221, pp. 141-149.

Kannan, K., & Vimalkumar, K. (2021). A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens. *Frontiers in Endocrinology*, *12*(August), 1–19.

Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C., Larat, V., Galloway, T., & Salamatinia, B. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports,* 7, 46173.

Kieran D. Cox, Garth A. Covernton, Hailey L. Davies, John F. Dower, Francis Juanes, and Sarah E. Dudas. Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology* 2019 *53* (12), 7068-7074

Koca, T., & Akçam, M. (2015). İnek Sütü Protein Alerjisi. *Dicle Medical Journal / Dicle Tip Dergisi*, *42*(2), 268–273.

Kosuth M., Mason Sh. A. ,. Wattenberg E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *Plos One,* https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970 April 11, 2018

Kösenoğlu, S.Z.A. (2020). Besin İntoleransı ve Tanı Testleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 18(1), 616-620.

Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Shruti, V. C. (2020). Branded milks – Are they immune from microplastics contamination? *Science of the Total Environment*, *714*(Cdc), 31991276.

Leonard W. D. van Raamsdonk, Meike van der Zande , Albert A. Koelmans , Ron L. A. P. Hoogenboom, Ruud J. B. Peters, Maria J. Groot, Ad A. C. M. Peijnenburg and Yannick J. A. Weesepoel (2020). Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain, *Foods* 2020, 9, 72

Leslie H.A., Brandsma, S. H., Velzen M. J. M. ve Vethaak, A. D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environ Int,* 101(1), 133-142

Leone, C.; Thippareddi, H.; Ndiaye, C.; Niang, I.; Diallo, Y.; Singh, M. (2022). Safety and Quality of Milk and Milk Products in Senegal—A Review. *Foods,* 11, 3479.

Liebezeit, G., Liebezeit, E., (2014). Synthetic particles as contaminants in German beers. Food Addit. Contam. Part A 31: 1574–1578. https://doi.org/10.1080/19440049.2014.945099

Liebezeit G.ve diğ. (2013). "Non-pollen particles in honey and sugar", *Food Additives & Contaminants,* vol. 30, pp. 2136-2140.

MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., & Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution. *Science*, *373*(6550), 61–65.

Mason S.A., D. Garneau, R. Sutton, Y. Chu, K. Ehmann, J. Barnes, P. Fink, D. Papazissimos, D.L. Rogers (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent, *Environ. Pollut.,* 218 (2016), pp. 1045-1054.

MEFD, (2015). Microplastics Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark.

Montagne, P., Cuilliere, M. L., Mole, C., Bene, M. C., & Faure, G. (1998). Microparticle-enhanced nephelometric immunoassay of lysozyme in milk and other human body fluids. *Clinical Chemistry*, *44*(8 I), 1610–1615.

Neumann CG, Bwibo NO, Gewa CA ve Drorbaugh N. (2010). Animal Source Foods As A Food-Based Approach To Improve Diet and Nutrition Outcomes. *International Symposium,* 7-9 December 2010, Rome.

Nor, Mohamed N. H., Kooi, M., Diepens, N. J., & Koelmans, A. A. (2021). Lifetime Accumulation of Microplastic in Children and Adults. *Environmental Science and Technology*, *55*(8), 5084–5096.

Oßmann B.E. ve diğ., (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research,* 141(15), 307-316.

Ohara, Takashi; Sato, Takahisa; Shimizu, Noboru; Prescher, Günter; Schwind, Helmut; Weiberg, Otto; Marten, Klaus; Greim, Helmut; Shaffer (2020). "Acrylic Acid and Derivatives". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. *Weinheim: Wiley-VCH.* pp. 1–21

Oliver, S. P., Jayarao, B. M., & Almeida, R. A. (2005). Foodborne pathogens in milk and the dairy farm environment: Food safety and public health implications. *Foodborne Pathogens and Disease*, *2*(2), 115–129.

Orwa, J. D., Matofari, J. W., & Muliro, P. S. (2017). Handling practices and microbial contamination sources of raw milk in rural and peri urban small holder farms in Nakuru County, Kenya. *International Journal of Livestock Production*, *8*(1), 5–11.

OUAT, (2021). OUAT- College of Agricultural Engineering and Technology

Owusu-Kwarteng, J., Akabanda, F., Agyei, D., & Jespersen, L. (2020). Microbial safety of milk production and fermented dairy products in africa. *Microorganisms*, *8*(5), 1–24.

Özdemir, D., & Kahyaoglu, D. T. (2020). Identification of microbiological, physical, and chemical quality of milk from milk collection centers in Kastamonu Province. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, *44*, 118–130.

PAGEV, (2021). Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2021/6.

Placce, F. (2009). *The impact of fodder trees on milk production and income among smallholder dairy farmers in East Africa and the role of research*.

Plastics Europe. (2021). Plastics the fact 2021. *Plastics Europe Market Research Group (PEMRG) and Conversio Market & Strategy GmbH.*, 1–34. https://plasticseurope.org/

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, *146*, 106274.

Rocha-Santos, T. ve Duarte, A. (2017). Characterization and Analysis of Microplastics. 1st Edition - March 19, 2017, Elsevier.

Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., Da Costa, J., Duarte, A. C., Vala, H. & Pereira, R. (2017). Histopathological and molecular effects of microplastics in Eisenia andrei Bouché. Environmental Pollution, 220: 495-503.

Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.U., Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. Water Res. 129, 154–162.

Sharma, S. ve Chatterjee, S. (2017) Microplastic Pollution, a Threat to Marine Ecosystem and Human Health: A Short Review. Environmental Science and Pollution Research, 24, 21530-21547.

Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *Science of the Total Environment*, *726*, 28–30.

Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, *5*(3), 375–386.

SNV Ethiopia. (2017). Hygienic and Quality Milk Production Training Package for Dairy Extension Wokers. *Scientia Agricola*, *70*, 21-26.

Song, K., Ding, R., Sun, C., Yao, L., & Zhang, W. (2021). Microparticles and microplastics released from daily use of plastic feeding and water bottles and plastic injectors: potential risks to infants and children in China. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(42), 59813–59820.

Street, M. E., & Bernasconi, S. (2021). Microplastics, environment and child health. *Italian Journal of Pediatrics*, *47*(1), 47–49.

Tercanli, E., & Atasever, M. (2021). Besin Alerjileri. *Academic Platform Journal of Halal Lifestyle*, *3*(1), 31–53.

Toussaint B., Barbara R., Alexandre A-L., Douglas G., Vikram K.,Mauro P, Iria M. Rio-Echevarria and Guy Van den Eede,Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain, (2019). *Food Additives & Contaminants: Part A,* Vol. 36, No. 5, 639–673.

UN (2021). Livestock-derived foods and sustainable healthy diets, *Birleşmiş Milletler Raporu,* Genova.

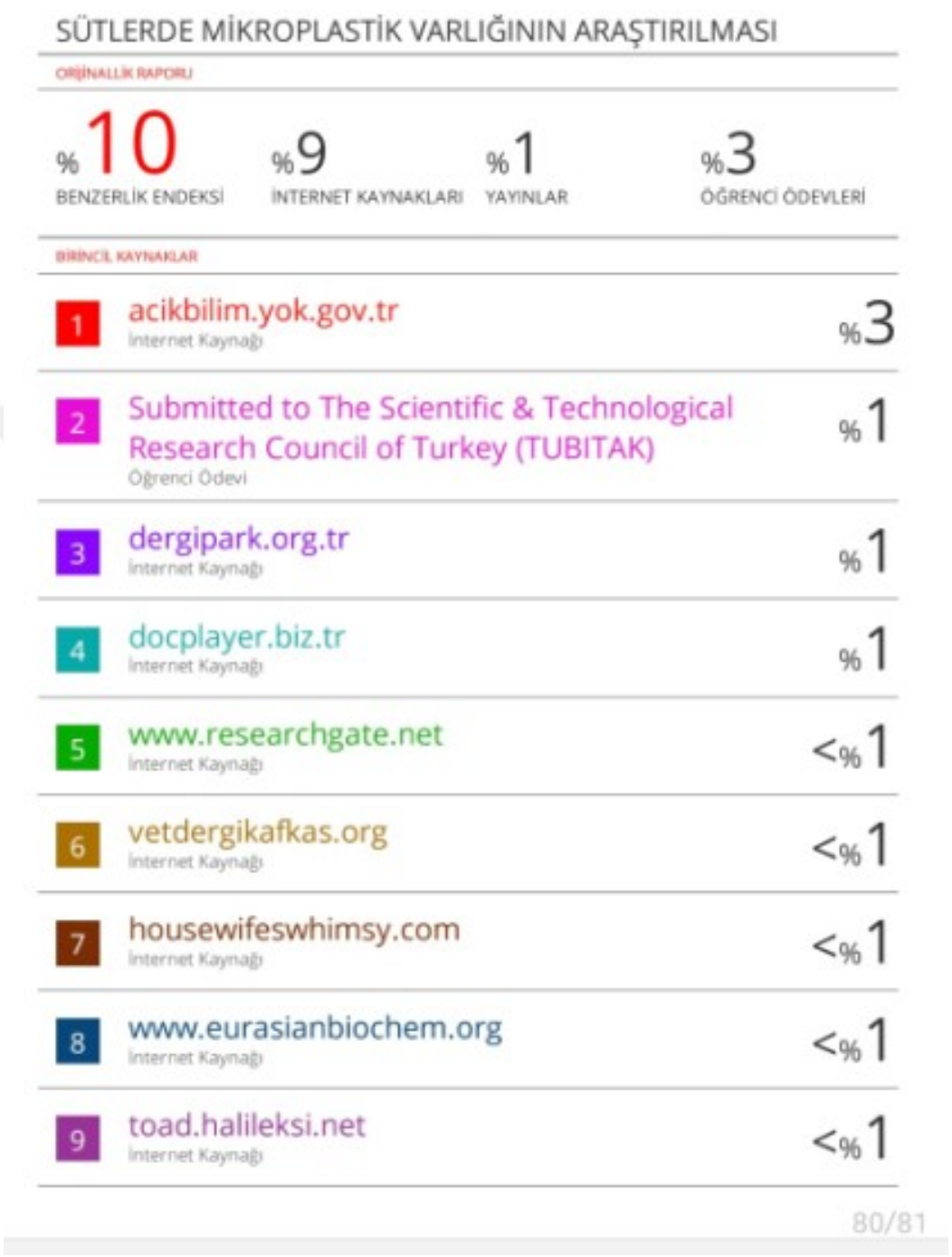
Welle, F., & Franz, R. (2018). Microplastic in bottled natural mineral water–literature review and considerations on exposure and risk assessment. *Food Additives & Contaminants: Part A,* 35(12), 2482-2492.

Wright, S. L. ve Kelly, F. J.(2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*, *51* (12), 6634-6647

Xiong, B., Loss, R.D., Shields, D. et al. Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. *npj Clean Water* 1, 17 (2018). https://doi.org/10.1038/s41545-018-0016-8.

Yurtsever, M. (2019). Nano-ve Mikroplastik'lerin İnsan Sağlığı ve Ekosistem Üzerindeki Olası Etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi,* 5(2), 17-24.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI



SÜTLERDE MİKROPLASTİK VARLIĞININ ARAŞTIRILMASI

ORİJİNALLİK RAPORU

%10	%9	%1	%3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%3
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%1
3	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
4	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	%1
5	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	<%1
6	vetdergikafkas.org İnternet Kaynağı	<%1
7	housewifeswhimsy.com İnternet Kaynağı	<%1
8	www.eurasianbiochem.org İnternet Kaynağı	<%1
9	toad.halileksi.net İnternet Kaynağı	<%1

80/81

ETİK KURUL VE KURUM İZİNLERİ

İÜC Tarih ve Sayı: 15.01.2021-8100

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
REKTÖRLÜĞÜ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Sayı : E-13022260-199-8100
Konu : Sanae RBAIBI ZIPAK

BESİN HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI
BAŞKANLIĞINA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13.01.2021 tarih ve 02 sayılı oturumunda alınan 77 numaralı karar aşağıda belirtilmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Karar 77. Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Doktora Programına 2702170093 numara ile kayıtlı Sanae RBAIBI ZIPAK'ın, Doç. Dr. Serkan Kemal BÜYÜKÜNAL danışmanlığında "Sütlerde Mikroplastiklerin Varlığının Araştırılması" [Investigation of Microplastics Presence in Milk] şeklinde teklif edilen tez adı değişikliği öneri formu hakkında Anabilim Dalı Başkanlığı'ndan gelen 07.01.2021 tarih ve 2844 sayılı yazı görüşüldü; oybirliğiyle uygun görüldü.

Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN
Enstitü Müdürü