

Hayvansal Gıdalarda Mikroplastik Varlığı: Geleneksel Derleme

Presence of Microplastics in Animal Foods: Traditional Review

^{ID} Alp Emre YILDIZ^a, ^{ID} Samet TOPÇUOĞLU^b

^aİstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi AD, İstanbul, Türkiye

^bİstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Doktora Programı, İstanbul, Türkiye

ÖZET Mikroplastik kirliliği, çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Hayvansal gıdalarda mikroplastik varlığına ilişkin yapılan çalışmalarda, süt, yoğurt, ayran, et, su ürünleri, yumurta ve bal gibi temel besin kaynaklarında mikroplastik partikülleri tespit edilmiştir. Bu kontaminasyonun başlıca nedenleri arasında çevresel kirlilik, üretim süreçleri ve plastik bazlı ambalaj malzemeleri yer almaktadır. Mikroplastikler, besin zinciri yoluyla insan vücuduna girebilmekte ve içerdikleri toksik kimyasallar ile ağır metaller dolayısıyla potansiyel sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Deniz ürünlerinde mikroplastik tespiti yaygın olup, balık ve midyeler gibi sucul canlılar, çevresel mikroplastiklerin besin zincirine taşınmasında önemli bir role sahiptir. Ticari olarak üretilen et ürünlerinde de mikroplastik kontaminasyonu belirlenmiş ve bu durumun, hem hayvanların yetiştirilme süreci hem de işleme ve ambalajlama aşamalarından kaynaklanabileceği tespit edilmiştir. Süt ve süt ürünlerinde yapılan araştırmalarda, özellikle işlenmiş süt tozlarının çiğ süte kıyasla daha yüksek mikroplastik seviyelerine sahip olduğu görülmüştür. Balda ise mikroplastiklerin çevresel kaynaklar ve işleme süreçleriyle ilişkilendirildiği belirtilmiştir. Avrupa ülkelerinde yağsız süt tozu ve paketlenmiş et ürünleri üzerinde yapılan analizler, plastik ambalaj kaynaklı bulaşmanın önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Bu kirliliğin önlenmesi için gıda üretim süreçlerinde plastik kullanımının azaltılması, biyobozunur ambalaj malzemelerinin teşvik edilmesi ve düzenleyici önlemlerin artırılması gerekmektedir. Ayrıca mikroplastiklerin, insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kapsamlı bilimsel araştırmalar yapılmalıdır.

ABSTRACT Microplastic pollution poses a significant threat to the environment and human health. Studies on the presence of microplastics in animal foods show that microplastic particles are detected in basic food sources such as milk, yoghurt, buttermilk, meat, seafood, eggs and honey. The main causes of this contamination include environmental pollution, production processes and plastic-based packaging materials. Microplastics can enter the human body through the food chain and may pose potential health risks due to the toxic chemicals and heavy metals they carry. Detection of microplastics in seafood is common and aquatic organisms such as fish and mussels have an important role in the transport of environmental microplastics into the food chain. Microplastic contamination has also been detected in commercially produced meat products and it has been determined that this may be caused by both the breeding process of animals and the processing and packaging stages. In studies on milk and dairy products, it has been observed that especially processed milk powders have higher microplastic levels compared to raw milk. In honey, microplastics were associated with environmental sources and processing processes. Analyses of skimmed milk powder and packaged meat products in European countries revealed that contamination from plastic packaging is an important factor. In order to prevent this pollution, it is necessary to reduce the use of plastics in food production processes, promote biodegradable packaging materials and increase regulatory measures. In addition, comprehensive scientific research should be conducted to better understand the long-term effects of microplastics on human health.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik; hayvansal gıdalar; gıda güvenliği; çevre kirliliği; halk sağlığı

Keywords: Microplastic; animal foods; food safety; environmental pollution; public health

MİKROPLASTİKLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Plastik kelimesi, Yunanca kökenli olup “şekillendirilebilen veya kalıplanabilen” anlamına gelmektedir. İlk sentetik plastik olan bakalit 1907

yılında keşfedilmesi, çeşitli polimerleri ve plastik formülasyonları günlük hayatımıza sokarak polimer biliminde ve modern yaşamda devrim yaratmıştır.¹ Plastikler; hafif, güçlü, esnek, nispeten ucuz, su ve korozyona dayanıklı olduklarından

Correspondence: Alp Emre YILDIZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi AD, İstanbul, Türkiye

E-mail: alp.yildiz@iuc.edu.tr



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences.

Received: 20 Mar 2025

Received in revised form: 26 May 2025

Accepted: 28 May 2025

Available online: 17 Sep 2025

2146-8850 / Copyright © 2025 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

yaygın olarak ticari ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte doğada çok yavaş bir şekilde bozunmaya uğradığı için kalıcı ve geri dönüşü olmayan zararlara neden olabilmektedir. Tek kullanımlık plastikler ve geri dönüştürülmeden çöp hâline getirilen plastikler, hava, toprak ve denizde plastik kirliliğine neden olarak günümüzde plastik kirliliği çevre için artan bir sorun hâline gelmiştir.² Bu plastikler, ekosistemlerin içindeki koşullar, özellikle okyanus akıntı dinamikleri, güneş radyasyonu, aşınma, gemilerle etkileşimler ve organizmalar ile yavaşça bozunup parçalanarak mikroplastik olarak bilinen daha küçük parçacıklara dönüşmektedir.³ Mikroplastikler, ilk olarak Kuzey Amerika'da 1970'li yıllarda New England kıyılarındaki plankton çekimlerinde kürecikler hâlinde kaydedilmiştir.⁴ Thompson, 2004 yılında yazdığı bir makalesinde plastik parçacıklara mikroplastik ismini vererek bu terimi kullanan ilk kişi olmuştur.⁵ Daha sonra mikroplastik parçalarının boyutlarını tanımlamak için bir üst limit belirlenerek "5 mm'den küçük plastik parçacıklar" mikroplastik olarak adlandırılmıştır.⁶ Plastik kirleticiler genel olarak boyutlarına göre megaplastik (>100 mm), makroplastik (>25 mm), mezoplastik (25-5 mm), mikroplastik (5 mm-1 µm) ve nanoplastik (<1 µm) olarak sınıflandırılmaktadır.⁷ Deniz biyolojisi alanında profesör olan Richard Thompson'ın (Father of Microplastic) dâhil olduğu alanında deneyimli bir ekip tarafından plastik parçacıkları boyutlarına göre sınıflandırılmıştır.⁸

Düzenlenen yeni sınıflandırmaya göre plastikler aşağıda büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır:

- Makroplastikler: >10 mm
- Mezoplastikler: 1 mm-10 mm
- Mikroplastikler: 1 µm-1.000 µm
- Nanoplastikler: 1 nm-1.000 nm

MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN KAYNAKLARI

Çevremizde, mikroplastik kirliliğine kaynak oluşturan birçok etmen bulunmaktadır. Büyük plastik döküntülerin parçalanması, kişisel bakım ürünlerinin içinde bulunan mikrokürecikler,

yıkama sırasında tekstil ürünlerinden dökülen lifler ve araba lastiklerinin ve yol işaretlerinin aşınması sonucundaki oluşumlar, mikroplastiklerin kaynakları arasında yer almaktadır.⁹ Mikroplastikler, kaynaklarına göre birincil ve ikincil mikroplastikler olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil mikroplastikler, küçük boyutlarda üretilen mikroplastiklerdir. Birincil mikroplastikler, temizlik maddeleri, kişisel bakım malzemeleri, dermal eksfoliyatörler ve kumlama makinelerinde kullanılmak için kimyevi sanayi tesislerinde üretilmektedir. Ayrıca günümüzde tekstil, el işi ve kozmetik sektöründe kullanılan simler ve 2017 yılına kadar kozmetik ürünlerine eklenen ancak günümüzde neredeyse tüm dünyada yasaklanmış olan mikroboncuklar birincil mikroplastik sınıfında yer almaktadır.¹⁰ Kişisel bakım ürünlerinde kullanılan mikroboncuklar, birincil mikroplastiklerin çevreye yayılmasında önemli bir unsur olarak tanımlanmaktadır.¹¹⁻¹³

Daha büyük plastiklerin kimyasal, biyolojik ve fiziksel bozunması ile oluşan mikroplastikler ikincil mikroplastikler olarak adlandırılmaktadır.¹⁴ Bu bozunma, çevresel şartlar, plastik türü ve maruz kalma süresi gibi farklı etkenlere bağlı bir süreçtir.¹⁵ Doğal etkiler (rüzgâr, hava, su vb.), ultraviyole ışınları veya antropojenik etkilerle oluşabilmektedir.¹⁶ Kasalar, şişeler, plastik torbalar, özellikle halat ve ağlar gibi büyük plastik parçalar güneş kaynaklı ultraviyole ışınların etkileri ve gelgit dalgaları gibi mekanik etkilerden dolayı daha ufak parçalara ayrılmaktadır. Ayrıca plastik parçalanmaya devam ettiği sürece, bir organizmanın fagositik hücreleri ve dolaşım sıvısında birikme olasılığı artmaktadır.

Mikroplastiklerin boyutunun küçük olması; ortamı translokasyon işlemi için daha elverişli yapmaktadır.¹⁷ Mikroplastik boyutu, canlı organizmalarda translokasyon için önemli bir parametredir. Bu parametre gastrointestinal, alveoler ve dermal epitel yoluyla emilim verimliliğini belirler. Gastrointestinal epitel, 150 µm'lik parçacıklara geçirgindir. 150 µm'den büyük parçacıkların %90'ından fazlası dışkı yoluyla atılır. Alveoler epitel, 10 µm'lik parçacıkları emer. Ancak 0,1-10 µm'lik parçacıkların kan-beyin bariyerini ve plasentayı

geçebildiği ve 2,5 µm ve üzeri parçacıkların endositoz ve fagositoz yoluyla sistemik dolaşıma girdiği bildirilmiştir.¹⁸⁻²¹

■ MİKROPLASTİKLERİN HALK SAĞLIĞI AÇISINDAN ÖNEMİ

Besin zinciri veya gıdalarda bulunabilecek mikroplastik kirliliğinin, maksimum seviyelere ulaşmadıkça insan vücudunda ciddi toksik etkiye sebep olamayacağı, ancak yüksek dozlarda risk oluşturabileceği bildirilmektedir.²² Ayrıca halk sağlığı açısından mikroplastik risklerini tespit edebilmek için solunum veya sindirim yoluyla alınan mikroplastik dozunun da bilinmesi önem taşımaktadır. Birincil ve ikincil mikroplastiklerin insan vücuduna girişleri inhalasyon, deri teması ve gıda maddeleri ile alınması sonucu olmaktadır. Özellikle yutma, insanların mikroplastiklere maruz kalmasının ana yolu olarak kabul edilmektedir.²³ Ağız yoluyla alındıktan sonra mikroplastikler ve nanoplastikler gastrointestinal sistemden emilim yoluyla kan ve lenfatik sisteme ve ardından karaciğere dağılmaktadır.²⁴ Yapılan bir çalışmada, bir erişkinin ağız yoluyla yılda yaklaşık 39.000-52.000 parçacık mikroplastik aldığı bildirilmiştir. Inhalasyon da dâhil olmak üzere bu sayı yılda 74.000-121.000 parçacığa çıkmaktadır.²⁵ Mikroplastikler, belirli boyutlarda canlı hücreler arasında; insanlarda (partikül büyüklüğü 0,2-1.501 µm), kemirgenlerde (30-40 µm), tavşanlarda (0,1-10 µm) ve köpeklerde (3-100 µm) lenfatik ve dolaşım sistemine geçme kapasitesine sahiptir.²²

Gıda ürünlerindeki mikroplastiklerin risk değerlendirmesi sadece mikroplastiklerin etkilerine değil, aynı zamanda onlar tarafından emilen kimyasal kirleticilerin etkilerine de bağlıdır. Mikroplastikler, kalıcı organik kirleticiler (DDT, PBDE, PAH, PCB) ve toksik pestisitleri yüzeylerinde adsorplayarak, besin zinciri yoluyla taşınımına neden olmaktadır.^{26,27} Kalıcı organik kirleticilere ve mikroplastiklerin adsorbe ettiği kimyasallara maruz kalmanın, biyolojik sistemleri etkilediği ve düşük dozlarda bile insan ve hayvanlar için tehdit oluşturduğu bildirilmiştir.²⁸ Plastiklere mukavemet ve esneklik kazandırmak amacıyla bisfenol A (BPA), kurşun, bakır, kadmiyum ve

ftalatlar gibi zararlı katkı maddeleri eklenmektedir. İstanbul'da 2023 yılında yapılan bir çalışmada, musluk sularında östrojenin vücuttaki etkilerini taklit eden bir ksenoöstrojen olan BPA içeren mikroplastikler tespit edilmiştir.²⁹ Henüz insan sağlığına ciddi bir etkisinin bulunup bulunmadığı tam olarak kanıtlanmamış olan mikroplastiklerin zararlarını anlamak amacıyla çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir.^{30,10} Almanya'da 2019 yılında yapılan bir çalışmada, günlük hayatta sıklıkla kullanılan ve gıda teması bulunan bazı plastik ürünlerin *in vitro* toksisitesi ve kimyasal bileşimi araştırılarak kıyaslanmıştır. Çalışmada, polivinil klorür ve poliüretan ekstraktları en yüksek toksisiteyi oluştururken, polietilen (PE) tereftalat ve yüksek yoğunluklu PE'nin hiç veya düşük toksisiteye neden olduğu gösterilmiştir.³¹

İnsanlar, mikroplastiklere birçok gıda yoluyla maruz kalabilmektedir. Örneğin musluk suyu, soda, bira, hayvansal gıdalar, bal, şeker gibi insan tüketiminde sıkça kullanılan gıdalarda mikroplastik varlığı tespit edilmiştir.^{29,32-36} Gıdaların mikroplastik kirliliği açısından incelenmesi, insan sağlığına olası etkilerinin ortaya çıkarılması konusunda eksiklikler vardır ve bu araştırmaların yapılması oldukça önemlidir.³⁷

■ HAYVANSAL GIDALARDA MİKROPLASTİK VARLIĞI

SU VE SU ÜRÜNLERİNDE MİKROPLASTİK VARLIĞI
Denizlerdeki canlıların sindirim sistemine giren mikroplastikler, gıda zincirine dâhil olarak insanlarda tehdit oluşturmaktadır.³⁸ Mikroplastiklerin ve bunlarla ilişkili kimyasal bileşenlerin yoğun olarak bulunduğu sucul ekosistemdeki canlılar aracılığıyla insanlara geçişi ve tüketici sağlığına olan etkileri üzerine henüz yeterli çalışma bulunmamaktadır. Silva-Cavalcanti ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, Güney Amerika'nın yarı kurak bölgelerinde yoğun olarak tüketilen tatlı sularda yetişen yayın balığı (*Hoplosternum littorale*) örneklerinin %83'ünün sindirim sistemlerinde mikroplastiklerin bulunduğu bildirilmiştir.³⁹ Mathalon ve Hill'in, Kanada'nın Halifax Limanı'ndaki (Nova Scotia) mavi midye

(*Mytilus edulis*) üzerindeki çalışmasında, kişi başına 178 mikrolif (mikrofiber) kadar mikroplastik konsantrasyonu kaydetmiştir.⁴⁰ Bir diğer 2013 yılında yapılan araştırmada, mikroplastik içeren balığın %80'inden fazlasının yalnızca bir parçacık içerdiğini, mikroplastiklerin balıkların gastrointestinal kanallarında uzun süre kalmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte midyelerde mikroplastiklerin varlığı daha yüksektir ve midye başına 178 mikrofiber konsantrasyonu bildirilmiştir.⁴¹ Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan bir işletmede yapılan çalışmada, balıklarda tespit edilen mikroplastik varlığı; çevredeki suya oranla 100-5.000 kat daha fazla tespit edilmiştir. Bu durumun, balık ve insan sağlığı için risk oluşturduğu bildirilmiştir.⁴² Mikroplastiklerin gıda güvenliği üzerindeki etkileri de göz ardı edilmemelidir. Örneğin balık popülasyonlarındaki mikroplastiklerin doğrudan ve dolaylı etkileri, insan beslenmesinde yetersizliklere yol açabilmektedir. Çünkü dünya genelinde toplam hayvansal protein alımının %20'si balık tüketiminden sağlanmaktadır.⁴³

ETLERDE MIKROPLASTİK VARLIĞI

Ticari olarak üretilen sığır hamburgerlerinde mikroplastik varlığını inceleyen bir çalışmada, analiz edilen tüm örneklerde mikroplastik tespit edilmiştir. Numunelerdeki mikroplastik miktarı 200-30.300 mikroplastik/kg arasında değişmekte olup, en yaygın bulunan polimer türleri polikarbonat (30.300 mikroplastik/kg), PE (1.580 mikroplastik/kg) ve polipropilen (PP) (750 mikroplastik/kg) olarak belirlenmiştir.⁴⁴

Mikroplastiklerin büyük bir kısmının düzensiz şekilli (%95,99) ve gri renkli (%70,16) olduğu, boyutlarının ise genellikle 51-100 µm aralığında değiştiği tespit edilmiştir.⁴⁴ Mikroplastiklerin, etlerde kontaminasyon kaynağı tam olarak belirlenememekle birlikte hayvan vücudu, endüstriyel işleme süreçleri ve ambalaj malzemelerinin olası etkenler olduğu öngörülmektedir. Özellikle PE bazlı “skin-packaging” ve “flow-packaging” ambalaj kullanılan hamburgerlerde mikroplastik varlığının tespit edilmesi, ambalaj malzemelerinin potansiyel bir

kontaminasyon kaynağı olabileceğini düşündürmektedir.⁴⁴ Ayrıca doğrama, öğütme, karıştırma ve şekillendirme gibi etin işleme aşamalarının, mikroplastiklerin parçalanarak daha küçük boyutlara ayrılmasına neden olabileceği değerlendirilmektedir. Kırmızı et ürünlerinde mikroplastik varlığına ilişkin çalışmalar sınırlı olmakla birlikte işlenmiş sığır eti ürünleri özelinde yapılan araştırmalar oldukça yetersizdir. Bu çalışma, işlenmiş et ürünlerinde mikroplastik kontaminasyonunu ortaya koyarak, gıda güvenliği açısından önemli bulgular sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, mikroplastik kontaminasyonunun kaynaklarını belirleyerek, işlenmiş et ürünlerinde bu kirliliği azaltmaya yönelik önlemlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda et işleme ve ambalajlama süreçlerinin mikroplastik bulaşı açısından daha detaylı araştırılması gerekmektedir.⁴⁴ Fransa’da yapılan bir çalışmada, marketlerde ekstrüde polistiren (PS) köpük tepsilerde satılan tavuk eti örneklerinde önemli sonuçlar elde edilmiştir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ve mikroskop kullanılarak 4 farklı markaya ait paketlenmiş tavuk etleri üzerinde yapılan incelemede, paketlerin iç kısmında, et ile tepsisi arasında ve ambalajın dış kısmında mikroplastik varlığı saptanmıştır.⁴⁵ Çalışmanın önemli bulgularından biri, yıkama sonucunda mikroplastik parçacıklarının etten kolayca uzaklaşmamasıdır. Bu durum, pişirme öncesi eti yıkamanın mikroplastik yüküne etkisinin çok az olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla mikroplastiklerin önemli bir kısmı pişirme sırasında etin yüzeyinde kalmaktadır. Ayrıca çalışmada tespit edilen mikroplastik varlığına dayanarak yapılan hesaplamalar, erişkin bir insanın günde yaklaşık 1,4 mg mikroplastik tükettiğini ortaya koymuştur.⁴⁵

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE MIKROPLASTİK VARLIĞI

Süt ve süt ürünlerindeki küçük boyutlu (≥ 5 µm) mikroplastiklerin varlığı ve özelliklerini belirlemek amacıyla mikro-Raman (µRaman) teknolojisi kullanılarak, enzimatik ve kimyasal sindirim adımlarını içeren yeni bir metodoloji geliştirilmiştir.⁴⁶

Geliştirilen bu yöntem, farklı polimer türlerini [PP, PE, PS, poliamid (PA) ve polimetil metakrilat] içeren küçük boyutlu mikroplastiklerin hızlı ve etkili bir şekilde ekstraksiyonunu sağlamaktadır. Metodoloji geliştirme sürecinde yapılan kör testler, mikroplastik kontaminasyonunun laboratuvar ortamı, kimyasal reaktifler, kaplar ve laboratuvar kıyafetlerinden kaynaklanabileceğini göstermiştir.⁴⁶ Ultra saf su ve pastörize sıvı süt örneklerine eklenen mikroplastik standartlarının geri kazanım oranları %78-141 arasında değişmiştir. Çiftlik sütü (çiğ süt), ısıtılmış işlem görmüş süt ve sulandırılmış süt tozu örneklerinde PE, PES, PP, PTFE ve PS parçacıkları bulunurken, daha az miktarda PA, PU, PSU ve PVA polimerleri de tespit edilmiştir.⁴⁶ Genel bir değerlendirme yapılabilecek bu çalışmada, Süt tozları, çiftlik sütü ve içime hazır sütlere kıyasla daha yüksek mikroplastik seviyeleri içermektedir. Çiftlik sütünden işlenmiş süt tozlarına doğru bir artış eğilimi gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan sindirim prosedürü, süt bileşenlerini etkili bir şekilde uzaklaştırırken test edilen mikroplastikleri bozmamış ve Raman metodu ile polimer yapılarında önemli bir fizikokimyasal değişiklik tespit edilmemiştir. Bu bulgular, süt ve süt ürünlerinin mikroplastikler ile kontamine olabileceğini ve bu durumun insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri hakkında daha fazla araştırma yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.⁴⁶ Süt işleme sürecinde kullanılan ekipmanların aşınması, filtreleme aşamalarının yetersizliği ve ambalaj malzemeleri, süt ürünlerindeki mikroplastiklerin olası kaynakları arasında gösterilmektedir. Ayrıca sütün üretildiği bölgenin çevresel kirlilik düzeyine bağlı olarak mikroplastik yoğunluklarının değişkenlik gösterdiği rapor edilmiştir.³⁴

Türkiye’de Marmara Bölgesi’nde yapılan bir çalışmada, koyun, keçi, manda ve ineklerden elde edilen çiğ süt örneklerinde mikroplastiklerin yaygın olduğu tespit edilmiştir. Toplamda 588 süt örneğinin 525’inde (%89,28) mikroplastik bulunmuştur.⁴⁷ Keçi, inek, koyun ve manda sütü numunelerinde sırasıyla %83,64, %89,13, %92,73 ve %92,73 oranında mikroplastik kontaminasyonu belirlenmiştir. En yüksek mikroplastik içeriğine sahip

süt örnekleri koyunlardan (128 mikroplastik/L) elde edilmiştir. Araştırmada mikroplastikler, binoküler biyolojik mikroskop altında siyah, mavi, mavimsi-yeşil, kahverengi, kahverengimsi-kırmızı, yeşil, gri, turuncu, pembe, mor, kırmızı, şeffaf ve sarı renkte görülmüştür. Mikroplastik parçacıkların %52,40’ı fiber, %21,20’si film, %14,19’u küre ve %12,22’si fragment şeklinde tespit edilmiştir.⁴⁷ Mikroplastiklerin boyut aralığı incelendiğinde, 20-150 µm aralığında (%32,03) olanlar toplam mikroplastiklerin en büyük kısmını oluşturmuştur. Mikroplastiklerin %29,32’si 1.000-5.000 µm, %23,88’i 150-500 µm, %14,70’i 500-1.000 µm ve %0,06’sı 10-20 µm boyutundadır. Temsili mikroplastik parçacıkların yüzey morfolojileri, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, 7 tür mikroplastik tanımlanmıştır; polietilakrilat, etilen-propilen kopolimer, hidrojene nitril bütadien kauçuğu, poliakrilamid, poliamid, polikloropren ve PTFE. Tüm türler arasında en sık tespit edilen mikroplastik, %77,36 oranıyla etilen-propilen kopolimer olmuştur.⁴⁷

Meksika’da yapılan bir çalışmada, 5 adet uluslararası ve 3 adet ulusal markaya ait 23 içme sütü örneği üzerinde yapılan analizler, mikroplastiklerin yaygınlığını doğrulamış ve sıvı gıda ürünlerinde bildirilen seviyelerden daha düşük olmak üzere genel ortalaması $6,5 \pm 2,3$ parçacık/L olan 3 ± 2 ile $11 \pm 3,54$ parçacık/L arasında değişen değişkenlik göstermiştir.⁴⁸ Araştırmada, mikroplastik parçacıklar çeşitli renklerde (mavi, kahverengi, kırmızı ve pembe), şekillerde (lifler ve parçalar) ve boyutlarda (0,1-5 mm) bulunmuştur. Mavi renkli lifler ($\leq 0,5$ mm) baskın tür olarak tespit edilmiştir. µRaman tanımlama sonuçları, süt örneklerinde termoplastik sülfon polimerlerinin (polietersülfon ve polisülfon) yaygın mikroplastik türleri olduğunu ortaya koymuştur; bu polimerler, süt işleme süreçlerinde membran malzemesi olarak kullanılmaktadır.⁴⁸

Sekiz farklı Avrupa ülkesinden alınan 16 adet yağsız süt tozu örneği ile yapılan bir çalışmada; mikroplastiklerin nitel ve nicel olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Mikroplastiklerin tespiti amacıyla

Fourier dönüşümlü kızılötesi mikrospektroskopisi kullanılmıştır.⁴⁹ Süt tozu örneklerinden organik bileşenleri uzaklaştırmak için sıcak alkali sindirim yöntemi kullanılmıştır. Mikroplastikler, Fourier dönüşümlü kızılötesi mikrospektroskopisi ile tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Çalışma, Avrupa ülkelerinde peynir yapımında kullanılan yağsız süt tozlarında mikroplastiklerin yaygın bir şekilde bulunduğunu göstermiştir. Toplamda 536 plastik parçacığı tespit edilmiş ve 29 farklı polimer türü belirlenmiştir.⁴⁹ Araştırmada en sık rastlanan mikroplastikler; PP, PE, PS ve PET olmuştur. Üç farklı şekilde (lif, küre ve düzensiz parçacıklar) ve 6 farklı renkte (siyah, mavi, kahverengi, fuşya, yeşil ve gri) bulunmuştur. Tüm yağsız süt tozu örneklerinde mikroplastiklere rastlanması, genel bir kontaminasyon olduğunu düşündürmektedir.⁴⁹

Yoğurt üretim basamaklarında mikroplastik partiküllerin varlığını belirtmek amacıyla yapılan bir araştırma için İstanbul'da faaliyet gösteren orta ölçekli bir ulusal yoğurt üretim tesisinden örnekler alınmıştır. Toplanan örnekler yapay sindirim ve filtrasyon gibi işlemlerden geçirilerek sınıflandırılmış ve son olarak taramalı elektron mikroskopu ve zayıflatılmış toplam yansıma-Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi teknikleri kullanılarak mikroplastikler karakterize edilmiştir. Sonuçlara göre 12 işlem aşamasının/örnekleme lokasyonunun filtrelerinin toplam 171 mikroplastik parçacık içerdiği tespit edilmiştir.⁵⁰ Mikroplastikler, 20-580 partikül L-1 aralığında bulunmuştur. Çiğ süt ve yoğurt kaplarındaki mikroplastik konsantrasyonunun son derece yüksek olduğu görülmüştür.⁵⁰

Geleneksel bir Türk içeceği olan ayran, mikroplastik kirliliğinin etkisini ortaya koymak için yapılan bir çalışmada, ayran üzerindeki mikroplastik kirlilik oranı incelenmiş; su, tuz, krema, başlangıç kültürü, bardaklar ve son olarak ayranın üretim süreçlerinden ve kullanılan malzemelerden örnekle alınmıştır.⁵¹ En yüksek mikroplastik sayısına sahip örnekler, tuzlu su (100 mL başına 43 mikroplastik sayısı), tuz (100 g başına 33 mikroplastik sayısı) ve homojenizasyon ve pastörizasyon aşamalarından alınan süt örnekleri (100 mL başına 26

mikroplastik sayısı) olarak belirlenmiştir.⁵¹ Ayrıca son ürün olan ayran örneğindeki kontaminasyon miktarı 18 mikroplastik sayısı/100 mL ve en sık tanımlanan polimer türü ise etilen propilen olarak tespit edilmiştir (%39,30).⁵¹

YUMURTADA MIKROPLASTİK VARLIĞI

Çin'de yapılan bir çalışmada, 5 farklı üreticiden alınan yumurta örneklerinde mikroplastiklerin varlığı ve kirlilik derecesi belirlenmiştir.⁵² Çalışmanın amacı, mikroplastiklerin miktarını, dağılımını, özelliklerini (şekil, boyut ve kimyasal bileşim) ve kaynağını belirlemektir. Analiz edilen tüm yumurtalarda, mikroplastiklerin varlığı doğrulanmış ve yumurta başına ortalama içerik $11,67 \pm 3,98$ parçacık/yumurta olarak tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin çoğu, küresel şekilli ve 50-100 µm boyut aralığındadır. Kızılötesi sonuçlar, yumurtalardaki ana mikroplastik türünün PE olduğunu göstermiştir.⁵² Yumurta sarısındaki mikroplastik sayısı, yumurta akına göre daha yüksek tespit edilmiştir. Pişirme işleminden sonra önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Bu araştırma, yumurtalarda mikroplastiklerin ilk kez tespit edildiği bir çalışma olmuştur. Gelecekteki değerlendirmeler için bir ölçüt olarak hizmet edeceği düşünülmektedir.⁵²

BALDA MIKROPLASTİK VARLIĞI

Liebezeit ve Liebezett'in 2013 yılında yaptığı çalışmada, Avrupa ve Meksika'dan alınan 66 bal örneğinde lif ve parçacık formunda mikroplastikler tespit etmişlerdir.³⁶ Bu çalışmalarda, balda 10-660 lif/kg ve 2-82 parçacık/kg arasında değişen mikroplastik yoğunlukları rapor edilmiştir. Araştırmacılar, mikroplastiklerin kaynağı olarak çevresel kontaminasyonu, arıların mikroplastik içeren çiçeklerden nektar toplamasını ve işleme süreçlerini öne sürmüştür.³⁶ Ekvador'da yapılan bir başka çalışma kapsamında alınan bal örneklerinde yapılan analizler, 10-100 mikroplastik/L arasında değişen mikroplastik yoğunluklarını göstermektedir. Tespit edilen mikroplastiklerin büyük çoğunluğunun PE, PP ve poliakrilamid gibi sentetik polimerlerden oluştuğu belirlenmiştir. Mikroplastiklerin boyutları 13,45-6.742,48 µm arasında değişen lifler ve 2,48-

247,54 µm arasında değişen parçacıklar şeklinde sınıflandırılmıştır.³⁴ Balın üretim süreci incelendiğinde, mikroplastik kontaminasyonunun çevresel faktörlerden, arıların polen toplama sürecinden ve ambalaj malzemelerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca balın işleme ve paketlenme aşamalarında atmosferik mikroplastiklere maruz kaldığı ve bu durumun kontaminasyonu artırdığı öne sürülmektedir.³⁴ İsviçre’de yapılan bir başka çalışmada, farklı bölgelerden toplanan 5 farklı bal örneği analiz edilerek mikroplastik kontaminasyonunun varlığı araştırılmıştır. Spektroskopik analizler sonucunda, örneklerde siyah partiküller, beyaz lifler, renkli lifler ve şeffaf partiküller tespit edilmiştir.⁵³ Ancak bu partiküllerin çoğunluğunun plastik kökenli olmadığı belirlenmiş, siyah partiküllerin büyük ölçüde arıcılıkta kullanılan dumanlama yönteminden kaynaklanan karbon bazlı materyaller olduğu sonucuna varılmıştır. Liflerin büyük kısmının ise tekstil kökenli selüloz olduğu belirlenmiştir.⁵³ Plastik içerdiği düşünülen bazı partiküller spektroskopik analizlerle incelendiğinde, bunların doğal bileşenler olan polisakkaridler veya kitin ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Bu bulgular, balda önemli seviyelerde mikroplastik kontaminasyonu bulunmadığını göstermektedir. Çevresel mikroplastiklerin bala doğrudan bulaştığına dair güçlü kanıtlar sunulamamış olup, gözlemlenen partiküllerin büyük bir kısmının doğal veya arıcılık uygulamalarına bağlı olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte arıların çevresel kirlilikten etkilenme potansiyeli göz önüne alındığında, balda mikroplastik varlığını kesin olarak dışlamak yerine daha kapsamlı ve standart analiz yöntemleri ile desteklenmiş çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.⁵³ Balda mikroplastiklerin varlığına ilişkin mevcut literatür incelendiğinde, araştırmacılar arasında bir fikir birliği olmadığı görülmektedir. Bir dizi çalışma, bal örneklerinde mikroplastik partiküllerin varlığını rapor ederken, diğerleri bu bulguları tekrarlayamamıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Mikroplastik kirliliğinin, çevresel sürdürülebilirliği tehdit eden önemli bir sorun olduğu ve hayvansal gıdalar aracılığıyla insan sağlığı üzerinde potansiyel

riskler oluşturabileceği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar, süt, yoğurt, ayran, balık, tavuk ve bal gibi çeşitli hayvansal ürünlerde mikroplastik kontaminasyonunun tespit edildiğini göstermektedir. Besin zinciri yoluyla insan vücuduna ulaşan bu partiküllerin toksik kimyasallar ve ağır metaller taşıdığı, uzun vadede sağlık üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği düşünülmektedir. Ancak bu etkilerin tam olarak anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorunun azaltılması adına çeşitli önlemlerin alınması gerekmektedir. Öncelikle gıda üretim süreçlerinde, plastik kullanımını en aza indirmek için çeşitli düzenlemelerin yapılması önerilmektedir. Gıda ambalajlarından kaynaklanan mikroplastik yayılımını önlemek amacıyla biyobozunur ve alternatif malzemelerin kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir. Ayrıca mikroplastiklerin, gıdalardaki varlığının daha kapsamlı şekilde incelenebilmesi için denetim mekanizmalarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Tüketicilerin bilinçlendirilmesi, mikroplastik maruziyetinin azaltılmasında önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Plastik ambalajlı gıdalar yerine cam veya metal ambalajlı alternatiflerin tercih edilmesi, tek kullanımlık plastik tüketiminin sınırlandırılması ve su filtreleme sistemlerinin yaygınlaştırılması mikroplastik kirliliğine önlem olarak önerilmektedir. Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerinde etki yaratabileceği düşünülmektedir. Ancak bu etkilerin tam olarak ortaya konulabilmesi için bilimsel araştırmaların artırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda uluslararası düzeyde iş birliği sağlanmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak mikroplastiklerin, hayvansal gıdalardaki varlığının ve insan sağlığı üzerindeki olası etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu kapsamda bireysel, kurumsal ve yasal düzeyde alınacak önleyici tedbirler, daha güvenli ve sağlıklı bir gıda sistemine ulaşmamızda önemli bir rol oynayacaktır.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz

etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite

üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Bu çalışma hazırlanırken tüm yazarlar eşit katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Shashoua Y, Keneghan B, Egan L. Conservation of plastics: Is it possible today? Plastics-Looking at the Future and Learning from the Past, 24 May 2007. London, United Kingdom: 2008. p.8.
2. Tokaç A, Hermann B, Gökçe G, Krag LA, Nezhad DS. The influence of mesh size and shape on the size selection of European hake (*Merluccius merluccius*) in demersal trawl codends: an investigation based on fish morphology and simulation of mesh geometry. *Sci Mar*. 2018;82(3):147-57. <https://scintiamarina.revistas.csic.es/index.php/scintiamarina/article/view/1765/2412>
3. Frias JPGL, Nash R. Microplastics: finding a consensus on the definition. *Mar Pollut Bull*. 2019;138:145-7. PMID: 30660255
4. Carpenter EJ, Smith KL Jr. Plastics on the Sargasso sea surface. *Science*. 1972;175(4027):1240-1. PMID: 5061243
5. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AW, et al. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*. 2004;304(5672):838. PMID: 15131299
6. Arthur C, Baker JE, Bamford HA, eds. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris; September 9-11, 2008; WA, USA. 2009.
7. GESAMP. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. GESAMP Reports Stud, 99, 130. 2019.
8. Hartmann NB, Hüffer T, Thompson RC, Hassellöv M, Verschoor A, Dagaard AE, et al. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environ Sci Technol*. 2019;53(3):1039-47. PMID: 30608663
9. Nava V, Leoni B. A critical review of interactions between microplastics, microalgae and aquatic ecosystem function. *Water Res*. 2021;188:116476. PMID: 33038716
10. Yurtsever M. Nano- ve mikroplastiklerin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olası etkileri [Possible effects of nano- and microplastics on human health and the ecosystem]. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 2019;5(2):17-24. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/908694>
11. Reisser J, Shaw J, Wilcox C, Hardesty BD, Proietti M, Thums M, et al. Marine plastic pollution in waters around Australia: characteristics, concentrations, and pathways. *PLoS One*. 2013;8(11):e80466. PMID: 24312224; PMCID: PMC3842337
12. Lee J, Hong S, Song YK, Hong SH, Jang YC, Jang M, et al. Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*. 2013;77(1-2):349-54. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X13004657>
13. Leslie HA, van der Meulen MD, Kleissen FM, Vethaak AD. Microplastic litter in the Dutch marine environment: providing facts and analysis for Dutch policymakers concerned with marine microplastic litter. (Rapport 1203772-000). Deltares/IVM-VU. 2011. <https://research.vu.nl/ws/portalfiles/portal/3083269/Deltares-IVM%20rapport%20microplastics-2.pdf>
14. Gündoğdu S, Köşker AR. Microplastic contamination in canned fish sold in Türkiye. *PeerJ*. 2023;11:e14627. PMID: 36691479; PMCID: PMC9864125
15. Stolte A, Forster S, Gerdt G, Schubert H. Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. *Mar Pollut Bull*. 2015;99(1-2):216-29. PMID: 26198261
16. Yurtsever M. Mikroplastikler'e genel bir bakış [Microplastics: an overview]. *Fen ve Mühendislik Dergisi*. 2015;17(50):68-83. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/588157>
17. Wright SL, Rowe D, Thompson RC, Galloway TS. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Curr Biol*. 2013;23(23):R1031-3. PMID: 24309274
18. Millburn P, Smith RL, Williams RT. Biliary excretion of foreign compounds. Biphenyl, stilboestrol and phenolphthalein in the rat: molecular weight, polarity and metabolism as factors in biliary excretion. *Biochem J*. 1967;105(3):1275-81. PMID: 16742556; PMCID: PMC1198451
19. Yang B, Lee C, Xiang W, Xie J, He JH, Kotlanka RK, et al. Electromagnetic energy harvesting from vibrations of multiple frequencies. *Journal of Micro-mechanics and Microengineering*. 2009;19(3):35001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0960-1317/19/3/035001>
20. Prietl B, Meindl C, Roblegg E, Pieber TR, Lanzer G, Fröhlich E. Nano-sized and micro-sized polystyrene particles affect phagocyte function. *Cell Biol Toxicol*. 2014;30(1):1-16. PMID: 24292270; PMCID: PMC4434214
21. Kannan K, Vimalkumar K. A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021;12:724989. PMID: 34484127; PMCID: PMC8416353
22. Waring RH, Harris RM, Mitchell SC. Plastic contamination of the food chain: a threat to human health? *Maturitas*. 2018;115:64-68. PMID: 30049349
23. Galloway TS. Micro- and nano-plastics and human health. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M, eds. *Marine Anthropogenic Litter*. 1st ed. Cham: Springer; 2015. p.343-66.
24. Vethaak AD, Leslie HA. Plastic debris is a human health issue. *Environ Sci Technol*. 2016;50(13):6825-6. PMID: 27331860
25. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environ Sci Technol*. 2019;53(12):7068-74. Erratum in: *Environ Sci Technol*. 2020;54(17):10974. PMID: 31184127
26. Koelmans AA, Bakir A, Burton GA, Janssen CR. Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies. *Environ Sci Technol*. 2016;50(7):3315-26. PMID: 26946978; PMCID: PMC6863595
27. Aslan R. Mikroplastikler: hayatı kuşatan yeni tehlike [Microplastics: new danger surrounding life]. *Göller Bölgesi Ekonomi ve Kültür Dergisi*. 2018;6(66):61-7. <https://blog.aku.edu.tr/raslan/files/2018/09/mikroplastikler.pdf>
28. Smith M. Do microplastic residuals in municipal compost bioaccumulate in plant tissue? [Master thesis]. Canada: Royal Roads University; 2018. <https://www.viurrspace.ca/server/api/core/bitstreams/57276c8c-7465-44e2-8503-e127d848fe70/content>
29. Buyukunal SK, Koluman A, Muratoglu K. Microplastic pollution of drinking water in a metropolis. *J Water Health*. 2023;21(6):687-701. PMID: 37387336

30. Balcı SZ. Bazı gıdalardaki mikroplastik kirliliğinin tespiti [Yüksek lisans tezi]. Sakarya: Sakarya Üniversitesi; 2020. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=f10Kw4p1rmMDO-tyKRdYv1Msb3K7EtNJJd2DOgdUfxU1EKx5pTAtYDJWovSe0Px1P>
31. Hildebrandt L, Voigt N, Zimmermann T, Reese A, Proefrock D. Evaluation of continuous flow centrifugation as an alternative technique to sample microplastic from water bodies. *Marine Environmental Research*. 2019;151:104768. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113619303058>
32. Kosuth M, Mason SA, Wattenberg EV. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS One*. 2018;13(4):e0194970. PMID: 29641556; PMCID: PMC5895013
33. Wang Y, Wang Y. Assessing microplastic contamination in soda beverages: a multi-city, multi-container laser direct infrared spectroscopy study. *Heliyon*. 2024;10(12):e32805. PMID: 39183882; PMCID: PMC11341343
34. Diaz-Basantes MF, Conesa JA, Fullana A. Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability*. 2020;12(14):5514. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5514>
35. Liebezeit G, Liebezeit E. Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2014;31(9):1574-8. PMID: 25056358
36. Liebezeit G, Liebezeit E. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2013;30(12):2136-40. PMID: 24160778
37. Peixoto D, Pinheiro C, Amorim J, Oliva-Teles L, Guilhermino L, Vieira MN. Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2019;219:161-8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771418300647>
38. Carbery M, O'Connor W, Palanisami T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ Int*. 2018;115:400-9. PMID: 29653694
39. Silva-Cavalcanti JS, Silva JDB, França EJ, Araújo MCB, Gusmão F. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environ Pollut*. 2017;221:218-26. PMID: 27914860
40. Mathalon A, Hill P. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Mar Pollut Bull*. 2014;81(1):69-79. PMID: 24650540
41. Besseling E, Wegner A, Foekema EM, van den Heuvel-Greve MJ, Koelmans AA. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lug-worm *Arenicola marina* (L.). *Environ Sci Technol*. 2013;47(1):593-600. PMID: 23181424
42. Zhang C, Wang S, Sun D, Pan Z, Zhou A, Xie S, et al. Microplastic pollution in surface water from east coastal areas of Guangdong, South China and preliminary study on microplastics biomonitoring using two marine fish. *Chemosphere*. 2020;256:127202. PMID: 32470745
43. FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
44. Visentin E, Niero G, Benetti F, Perini A, Zanella M, Pozza M, et al. Preliminary characterization of microplastics in beef hamburgers. *Meat Science*. 2024;217:109626. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174024002031>
45. Kedzierski M, Lechat B, Sire O, Le Maguer G, Le Tilly V, Bruzard S. Microplastic contamination of packaged meat: occurrence and associated risks. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020;24:100489. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289419306738>
46. Da Costa Filho PA, Andrey D, Eriksen B, Peixoto RP, Carreres BM, Ambühl ME, et al. Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Sci Rep*. 2021;11(1):24046. PMID: 34911996; PMCID: PMC8674347
47. Rbaibi Zipak S, Muratoglu K, Buyukunal SK. Microplastics in raw milk samples from the Marmara region in Turkey. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*. 2024;19:175-86. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00003-023-01477-2>
48. Kutralam-Muniasamy G, Pérez-Guevara F, Elizalde-Martínez I, Shruti VC. Branded milks - are they immune from microplastics contamination? *Sci Total Environ*. 2020;714:136823. PMID: 31991276
49. Visentin E, Manuelian CL, Niero G, Benetti F, Perini A, Zanella M, et al. Characterization of microplastics in skim-milk powders. *J Dairy Sci*. 2024;107(8):5393-401. PMID: 38608944
50. Rbaibi Zipak S, Muratoglu K, Buyukunal SK. Evaluation of microplastic presence in yogurt production process. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*. 2022;28(5):633-41. DOI: 10.9775/kvfd.2022.27871
51. Buyukunal SK, Rbaibi Zipak S, Muratoglu K. Microplastics in a traditional Turkish dairy product: ayran. *Pol J Food Nutr Sci*. 2023;73(2):139-50. <https://journal.pan.olsztyn.pl/Microplastics-in-a-Traditional-Turkish-Dairy-Product-Ayran,163061,0,2.html>
52. Liu Q, Chen Z, Chen Y, Yang F, Yao W, Xie Y. Microplastics contamination in eggs: detection, occurrence and status. *Food Chem*. 2022;397:133771. PMID: 35930965
53. Mühlischlegel P, Hauk A, Walter U, Sieber R. Lack of evidence for microplastic contamination in honey. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2017;34(11):1982-9. PMID: 28665769