

Plastik Katkı Maddeleri ve Sucul Ortama Etkileri

Serap PASLI 

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri ABD, 53100, Rize, Türkiye

Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: serap_pasli19@erdogan.edu.tr

Derleme Makalesi/Review Article
Geliş Tarihi/Received: 30.05.2022
Kabul Tarihi/Accepted: 27.06.2022

ÖZ

Plastik bileşiğin işleme özelliklerini, performansını ve dayanıklılığını iyileştirmek için farklı formüllere sahip çok sayıda katkı maddesi kullanılmaktadır. Her biri bir plastik malzemenin işlevsel özelliğinin geliştirilmesinde rol almaktadır. Sanayi faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların, evsel ve endüstriyel atık suların nehirlere ve nihayetinde denizlere ulaştığı bilinmektedir. Bu nedenle plastik ve katkı maddelerinin de sucul ekosisteme karışması kaçınılmazdır. Katkı maddeleri buldukları ortama geçebilmeleri ve fiziksel, kimyasal, biyolojik bozunmaya karşı dayanıklı olmaları sebebiyle canlı vücudunda birikebilmekte ve besin ağına girerek toksik etkiler oluşturabilmektedirler. Hızla artan plastik üretimi göz önüne alınarak plastik katkı maddelerinin letal ve subletal toksisite deneyleri; balıklar, omurgasızlar ve diğer sucul organizmalarda uygulanmaya başlanmıştır. Ancak plastik katkı maddelerinin sucul organizmalardaki absorpsiyonu, dağılımı, yerleşimi, bunun yanında DNA, protein seviyeleri, gen ekspresyon değişimleri, metabolizma ve dokular üzerine etkileri hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Plastik katkı maddeleri, Kirlilik

Plastic Additives and Their Effects on Aquatic Environment

ABSTRACT

A large number of additives with different formulas are used to improve the properties, performance and durability of the plastics during their production. Each plays a role in improving the functional property of a plastic material. It is known that plastics from industrial activities, domestic and industrial wastewater reach rivers and eventually ends up in the ocean. For this reason, it is inevitable for plastics and additives to contaminate the aquatic ecosystem. Due to resistant of plastic additives to physical, chemical and biological degradation, they can bioaccumulate and enter the food web with potentially toxicity. Considering the increase in plastic production, research on the lethal and sublethal toxicity of plastic additives in fish, invertebrates and other aquatic organisms have been conducted. However, more research is needed on the absorption, distribution and localization of plastic additives in aquatic organisms, as well as their effects on DNA, protein levels, gene expression changes, metabolism and tissues.

Keywords: Microplastic, Plastic additives, Pollution

Cite as;

Paslı, S. (2022). Plastik Katkı Maddeleri ve Sucul Ortama Etkileri, *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 3(1), 40-49. Doi: 10.53501/rteufemud.1123226
Orcid ID: S.Paslı, 0000-0002-5066-5241

1. Giriş

Plastikler hafif, kolay işlenebilen, her alana uygulanabilen, dayanıklılıkları ve düşük maliyetleri sebebiyle 20. yüzyılda günlük yaşamın her alanında kullanılmaya başlanmıştır (Derraik, 2002). 1950'lerde başlayan plastik üretimi, yıllık 2 milyon tondan yaklaşık 368 milyon ton/yıl düzeyine ulaşmıştır (URL-1). Bu süre içinde üretilen toplam plastik miktarı 8300 milyon ton olup bunun sadece yarısının 2000-2015 döneminde üretildiği hesaplanmıştır. Bugüne kadar üretilen tüm plastik atıkların yalnızca %9'u geri dönüştürülürken yaklaşık %12'si yakılmış, geri kalanın %79'u ise çöplüklerde veya doğal ortamda birikmiştir. Hesaplamalara göre yıllık plastik üretiminin %2-5'inin denizlerde sonlandığı, deniz çöplerinin %80'inini ve plaj çöplerinin ise %50-80'inini oluşturduğu bildirilmiştir (Derraik, 2002; OSPAR Commission, 2007). Günlük yaşamda ve ticari faaliyetlerde önemli kullanımı sebebiyle insanlık için vazgeçilmez hale gelen (Thompson vd., 2004; Ryan vd., 2009) plastikler, günümüzde, inşaat sektöründeki çelik ve çimento gibi yaygın olarak kullanılan malzemelerin yanı sıra, insan yapımı diğer malzemelerin de çoğunu geride bırakan hızlı büyüme ile olağanüstü bir boyuta ulaşmıştır (Geyer vd., 2017).

Doğada çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler geçiren plastik atıklar zaman içinde aşınarak daha küçük parçalar olan mikro- (<5 mm) ve nanoplastiklere (<100 nm) dönüşmektedirler. Denizlere metreden mikrometreye kadar çok değişik boyutlarda giren plastiklerin ayrışmaları uzun zaman aldığı için deniz ve okyanus ortamlarında uzun süre kalma olasılıkları yüksektir (Hidalgo-Ruz vd., 2012). Canlılar tarafından tamamen sindirilemeyen plastikler, sindirim sisteminde bir süre kalıp atılırlar ancak plastiklerin üretim aşamasından gelen toksik kimyasal madde içerikleri ve içinde buldukları ortamdan kalıcı organik kirleticileri adsorbe etme eğilimleri de vardır. Böylece canlı organizmalara sindirim sistemi yoluyla giren mikroplastikler kirleticileri sucul besin zincirinde taşırlar ve kontamine olmuş su ürünleri aracılığı

ile de insan sağlığı için risk teşkil edebilirler (Wagner vd., 2014; Hidalgo-Ruz vd., 2012). Organik bazlı polimerlerin büyük bir grubunu temsil eden plastikler üretilirken birçok kimyasal türü polimer ile karıştırılırlar ve çok farklı ticari çeşitleri mevcuttur. Plastikler, plastiğin türüne (bileşim), sentez yoluna ve derecesine bağlı olarak plastikleştiriciler, alev geciktiriciler, antioksidanlar, ışık ve ısı stabilizatörleri, yağlayıcılar, pigmentler, antistatik maddeler, yüzey aktif maddeler, antimikrobiyaller, UV filtreleri gibi katkı maddeleri içermektedir (Baini vd., 2016; Hansen vd., 2013). Polimer özelliklerini önemli ölçüde artıran bu katkı maddeleri, esneklik mukavemeti ve renk gibi bazı özel nitelikler de kazandırabilirler. Onları plastik yapan fiziksel ve kimyasal özellikleri dolayısıyla (monomer ve katkı maddeleri gibi) kimyasal kokteyl olarak adlandırılırlar. Bu kimyasal ürünler, bir plastik ürünün yaşam döngüsünde üretimden kullanıma, atılmaya kadar her aşamasında polimerden çevreye sızabilmekte (Baini vd., 2016) ve birçok deniz organizması için de toksik olabilmektedir (Loughlin, 2018).

2. Plastik Endüstrisinde Kullanılan Kimyasal Katkı Maddeleri

Plastik bileşiğin işleme özelliklerini, performansını ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için farklı katkı maddelerine sahip formüller kullanılmaktadır (Hermabessiere vd., 2017). Katkı maddesinin türü, plastik polimere ve nihai ürünün gereksinimlerine bağlıdır. Plastik katkı maddeleri, fonksiyonel katkı maddeleri (plastikleştiriciler (10-70), alev geciktiriciler (3-25 (bromlu için) 0,7-3), stabilizatörler, antioksidanlar ve UV stabilizatörleri (0,05- 3), ısı stabilizatörleri (0,5-3), kayganlaştırıcılar (0,1-3), yağlayıcılar (0,1-3; iç ve dış), anti-statik (0,1-1), kütleme maddeleri (0,1-2), biyositler (0,001-1) ve şişirici maddeler), renklendirici katkı maddeleri (çözünür (örneğin, azocolorants (0,25-5)), organik pigmentler (0,001-2,5), inorganik pigmentler (0,01-10), özel efekt), dolgu katkı maddeleri (50'ye kadar) ve takviye katkı maddeleridir (15-30) (Hansen vd., 2013). Ftalatlar (PAE'ler), organofosfat esterler (OPE'ler) ve

bisfenoller (BP'ler) gibi bazı organikler, deterjanlar (PAE'ler), tekstil ürünleri (OPE'ler, PAE'ler), boyalar (OPE'ler, PAE'ler, BP'ler), gıda kapları (PAE'ler, BP'ler) ve her şeyden önce plastikler (OPE'ler, PAE'ler, BP'ler) gibi çok çeşitli ürünlerde katkı maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Schmidt vd., 2020). Her biri bir plastik ürünün işlevsel özelliğinin geliştirilmesinde ayrı bir rol oynamaktadır. Örneğin, katalizör deaktivatörleri, kalan katalizör kalıntılarını nötralize ederken, çekirdeklendiriciler reçine berraklığını artırarak işlem süresini azaltır. Pigmentler ise çeşitli renkler sağlarlar. Anti statik maddeler, film veya parçadan statik elektriğin boşaltılmasına izin verirken, alev geciktiricilerin eklenmesi, Polipropilen (PP)'in elektronik, inşaat ve nakliye uygulamalarında kullanılmasına olanak sağlar. Anti blok ve kayma ajanları, filmlerde, filmlerin birbirine veya metal yüzeylere yapışmasını önlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yukarıda belirtilen katkı maddelerinin tümü temel olarak aşağıdaki 4 kategoriye (Hansen vd., 2013) ayrılabilir:

- Fonksiyonel katkı maddeleri (stabilizatörler, antistatik ajanlar, alev geciktiriciler, plastikleştiriciler, yağlayıcılar, kayganlaştırıcılar, kütleme ajanları, köpük ajanları, biyositler vb.)
- Renklendiriciler (pigmentler, çözüdür azocolorantlar, vb.)
- Dolgular (mika, talk, kaolin, kil, kalsiyum karbonat, baryum sülfat)
- Takviyeler (cam elyaflar, karbon elyaflar vb.).

Aşağıdaki tabloda, çevresel araştırmalarda toplanan makro ve mikroplastik döküntülerde rapor edilen üretim aşamasında yaygın olarak kullanılan katkı türleri verilmiştir (Tablo 1) (Hermabessiere vd., 2017).

Tablo 1. Yaygın olarak kullanılan bazı plastik katkı maddeleri, işlevleri ve etkileri (Hermabessiere vd., 2017)

Table 1. Commonly used plastic additives, functions and effects

Katkı maddeleri	İşlev	Etkileri
Bromlu Alev Geciktiriciler (BFR)	Plastikte yanıcılığı azaltır. Ayrıca çevredeki ortamdan plastik üzerine adsorbe edilir	Potansiyel endokrin bozucu.
Ftalatlar	Esas olarak polivinil klorürü yumuşatmak için plastikleştirici olarak kullanılır.	Endokrin bozucu
Nonilfenoller	Bazı plastiklerde antioksidan ve plastikleştirici	Endokrin bozucu
Bisfenol A (BPA)	Polikarbonat ve epoksi reçinelerde monomer. Bazı plastiklerde antioksidan	Endokrin bozucu
Irganox®	Bazı plastiklerde antioksidan	Östrojen benzeri

Bromlu alev geciktiriciler (BFR), yanıcılığı azaltmak için plastik ürünlerde kullanılan bir katkı maddesi sınıfıdır ve elektronik cihazlardan yalıtım köpüklerine kadar çeşitli tüketici ürünlerinde kullanılmaktadır. Bunlar plastik endüstrisinde kullanılan ana BFR'leri temsil eden, polibromlu difenil eterler (PBDE), heksabromosiklododekan (HBCD – Pubchem ID: 18529) ve tetrabromobisphenol A (TBBPA – Pubchem ID: 6618) gibi çok çeşitli kimyasalları

içerir (Talsness vd., 2009). Son zamanlarda birçok çevresel bölümde, organizmada, gıdada ve insanlarda tanımlandığı için 1,2-bis (2,4,6 tribromofenoksi) etan (BTBPE – Pubchem ID: 37840), dekabromodifeniletan (DBDPE – Pubchem ID: 10985889) ve heksabromobenzen (HBB – Pubchem ID: 6905)'e dikkat çekilmiştir (European Food Safety Authority, 2012). Polimer matrikse kimyasal olarak bağlı olmadıkları için, polimere kimyasal olarak bağlı olan TBBPA hariç

(Engler, 2012; Meeker vd., 2009) çevreleyen ortama sızabilirler (Morris vd., 2004).

Ftalik asit esterleri (PAE) veya ftalatlar, esas olarak PVC üretiminde plastikleştirici olarak kullanılan bir plastik katkı maddeleri ailesidir (Hermabessiere vd., 2017). Bunun bir sonucu olarak PVC ağırlıkça %10-60 ftalat içerebilir. Ftalatlar polimer matrikse kimyasal olarak bağlanmadıklarından üretim, kullanım ve bertaraf sırasında çevreye kolayca sızabilirler (Net vd., 2015a). PAE'ler Net vd. (2015a) tarafından gözden geçirildiği gibi çok çeşitli ortamlarda bulunmuştur ve bazı ftalatlar düşük konsantrasyonlarda bile endokrin bozucular olarak tanımlandığından bu endişe vericidir (Oehlmann vd., 2009).

Bisfenol A (BPA), bisfenol grubunu en iyi temsil eden kimyasaldır ve yılda üç milyon tonun üzerinde üretilen, dünya çapında en yaygın olarak üretilen kimyasallardan biridir (Laing vd., 2016). BPA esas olarak, örneğin alüminyum kutuların astar tabakasının ana bileşeni olan polikarbonat (PC) plastikler (kullanılan hacmin %65'i) ve epoksi reçineler (kullanılan hacmin %30'u) için bir monomer olarak kullanılır (Crain vd., 2007; ICIS, 2003). BPA ayrıca bir antioksidan veya diğer polimerlerde (polipropilen, polietilen ve polivinilklorür) bir plastikleştirici olarak kullanılabilir (Rani vd., 2015). BPA'dan sızma meydana gelebilmekte (Sajiki ve Yonekubo, 2003), bu katkı maddesinin insanlar için bir maruziyet kaynağı olarak kabul edilen yiyecek ve içecek ambalajlarından salınmasına yol açabilmektedir (Vandermeersch vd., 2015). Gıda ambalajlarından sızma potansiyeline ve önemli bir endokrin bozucu olarak tanımlanmasına rağmen (Oehlmann vd., 2009), BPA'nın gıda ile temas eden malzemelerde kullanımına Avrupa Birliği'nde hala izin verilmektedir (European Council Regulation, 2011). Bisfenol B, bisfenol F ve bisfenol S gibi diğer bisfenol analogları plastiklerde kullanılmakta ve toksisiteleri hala bilinmese de çevre için bir tehdit oluşturabilmektedir (Chen vd., 2016).

Nonilfenoller (NP), yaygın olarak kullanılan bir yüzey aktif madde ve antioksidan sınıfının

bozunmasının ara ürünleridir: nonilfenol etoksilatlar (NPE) (Engler, 2012). NP ve NPE, boyalar, pestisitler, deterjanlar ve kişisel bakım ürünleri gibi birçok uygulamada kullanılan organik kimyasallardır (US Environmental Protection Agency, 2010). Plastik üretimi için antioksidanlar ve plastikleştiriciler olarak da kullanılabilirler (Rani vd., 2015; US Environmental Protection Agency, 2010). NP'nin plastik şişelerden su içeriğine kadar sızdığı bulunmuştur (Loyo-Rosales vd., 2004). Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinden çıkan atık sular çevredeki NP ve NPE'nin ana kaynağıdır (Soares vd., 2008). NP, endokrin bozucular olarak kabul edilir ve çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri nedeniyle Avrupa Birliği'nde kullanımları yasaktır (Rani vd., 2015).

Antioksidanlar, antioksidan katkı maddelerine yönelik küresel talebin %60'ını temsil eden poliolefinler (esas olarak Polietilen ve Polipropilen) dahil olmak üzere birçok sentetik polimerde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Hermabessiere, vd., 2017). Antioksidanlar, plastiklerin yaşlanmasını önlemek ve oksidasyonu geciktirmek için kullanılmaktadır (Lau ve Wong, 2000). Ancak diğer plastik katkı maddelerinde olduğu gibi antioksidanlar plastikten sızarak plastik ambalajlardan gıdaya geçebilmekte ve gıda güvenliği açısından tehdit oluşturabilmektedir (Lau ve Wong, 2000). Irganox® serisinden antioksidanlar, plastiklerde yaygın olarak kullanılır ve Oktadesil 3-(3,5-di-tert -butil-4-hidroksifenil) propionat (Irganox® 1076 – Pubchem: 16386), Pentaerythryl-tetrakis-3-(3,5-di-tert -butil-4-hidroksifenil) propionat (Irganox® 1010 – Pubchem ID: 64819) ve 2,4-di- tert- butilfenol (Irgafos® 168 – Pubchem ID: 91601) içermektedirler (Lau ve Wong, 2000).

Plastik ürünlerin işlenmesi aşamasında kullanılan bromlu alev geciktiriciler (BFR), bisfenol A (BPA), nonilfenoller (NP) ve antioksidanlar (Irganox®) gibi katkı maddelerinin çevresel araştırmalardan elde edilen makro ve mikroplastik atıklarda bulunduğu bilinmektedir. Bu katkı maddeleri su, tortu, biyota gibi matrislere

mikroplastiklerden sızma yoluyla geçebildiği gibi tüketim yoluyla canlılara da geçebilmekte ve çevresel endişelere neden olmaktadır.

3. Sucul Çevreye Etkileri

Plastikler, hava şartlarına maruz kalma ve aşınma süreçleri sırasında daha küçük döküntülere dönüştükçe, çevreye çeşitli organik ve metal bileşik katkı maddeleri (örneğin, plastikleştiriciler, alev geciktiriciler, antimikrobiyaller, antioksidanlar, yağlayıcılar, renk pigmentleri) salınabilmektedir. Mikroplastiklerin ve emilen kimyasal kirleticilerin eş zamanlı etkilerine ek olarak, bu süzdürme katkı maddeleri, suda yaşayan çeşitli organizmalar için potansiyel ekotoksikolojik risklere neden olmakta (Hermabessiere vd., 2017) ve her yıl okyanuslara tahmini 35–917 ton katkı maddesi salınabilmektedir (Suhrhoff ve Scholz-Böttcher, 2016). Çevre araştırmalarında plastik üretiminde en çok kullanılan katkı kimyasallarının bromlu alev geciktiriciler, plastikleştirici olarak kullanılan ftalatlar, nonilfenoller, bisfenol A ve antioksidanlar olduğu tespit edilmiştir. Katkı maddeleri de son dönemde plastik partiküller kadar ilgi görmeye başlamış ve deniz canlılarına transferleri hem laboratuvar hem de saha çalışmalarında ispatlanmıştır (Hermabessiere vd., 2017; Net vd., 2015b).

Su ortamında plastikler mikroplastiklere (<5 mm) veya nanoplastiklere (<100 nm) ayrılır ve toksisitelerini hücre zarı bütünlüğünün bozulması yoluyla gösterirler. Yapılan bir çalışmada, oksidatif stres ve önemli lipid peroksidasyonu, NP'ye maruz kalan balık karaciğer hücreleri ve spermatozoanın ortak sonucu olarak bulunmuştur (Derakhshesh vd., 2017; Shaliutina vd., 2017). Su hareketi, tuzluluk, UV ışınımı ve diğer stres etkenleri gibi farklı çevresel koşullar, katkı maddelerinin plastik maddelerden sızma davranışını ve bunun organizmalar üzerindeki ilgili toksisitesini etkileyebilmektedir (Kolomijeca vd., 2020; Suhrhoff ve Scholz-Böttcher, 2016; Luo vd., 2019). Khaled vd. (2018) güneş simülatörünün ve dış ortam ışınlamalarının, polistiren (PS) filmin (100 µm) parçalanmasını

arttırdığını ve çeşitli bromlu alev geciktiricilerin ve bunun foto ürünlerinin süzülmesini hızlandırdığını tespit etmiştir. Paluselli vd. (2019) polivinil klorür (PVC) kablo ve polietilen (PE) torba dahil olmak üzere iki ticari plastik kalıntının 0-12 hafta boyunca çevreleyen deniz suyu örneklerine önemli ölçüde farklı plastikleştirici ftalatlar saldıgını bildirmiştir. Ölçümlerine göre, ışık durumu ve bakteri maruziyeti, sırasıyla iki plastikten sızan ftalatların miktarlarını ve baskın tiplerini etkileyebilmektedir. Chen vd. (2019) denizden toplanan polietilen mikroplastiklerin (0,5-5 mm) ve mezoplastiklerin (5-15 mm) esas olarak Bisfenol A, bisfenol S, oktilfenol, nonilfenol gibi östrojenleri içeren endokrin bozucu kimyasallar olarak salındığını göstermiştir. Daha yakın zamanlarda, Kolomijeca vd. (2020) sıcaklık, UV ışınlar, su türbülansı, CO₂ gibi çevresel stres faktörlerinin lastik parçacıklarının sızıntı suyu özellikleri üzerindeki etkilerini göstermiştir. Deneylerindeki, sıcaklık ve su türbülansındaki değişiklikler, lastik partiküllerinden ilave kimyasalların sızıntı miktarlarını ve sızıntı sularının sazan balıkları üzerindeki toksik etkilerini daha da artırabilmektedir. Çalışmalar, denizel ortamdan örneklenen plastiklerde kurşun (Pb) katkı maddelerinin varlığının, çevredeki Pb adsorpsiyonundan daha büyük olumsuz etkilere (örneğin, Pb konsantrasyonları, biyolojik erişilebilirlik) yol açtığını göstermiştir. Su organizmalarının farklı boyutlardaki plastik polimerlere maruz kalması ve bunların organik kirletici taşıyıcıları olarak rolleri kapsamlı bir şekilde belgelenmiştir (Avio vd., 2017; Guzzetti vd., 2018; Prokic vd., 2019). Barboza vd. (2020), Kuzey Doğu Atlantik Okyanusu'ndaki yabancı balıkların kas karaciğer gibi dokularındaki yedi bisfenol seviyesinin daha yüksek mikroplastik alım ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Jang vd. (2016)'ne göre saha araştırmalarında midye *Mytilus galloprovincialis*' in denizde bulunan polistiren strafor döküntüsü mikro partiküllerini ve 5160 ng/g bromlu alev geciktirici HBCD'leri biriktirebilmekte, bu da katkı maddelerinin strafor döküntülerden midyelere transferini düşündürmektedir.

Karşılaştırmalı olarak, balık hücre hatları, insan hücre modellerine göre ftalatların neden olduğu oksidatif strese karşı daha hassastır. Dibütil ftalat (DBP) ve dietil hekzil ftalat (DEHP), *Poeciliopsis lucida hepatoma* (PLHC-1) ve zebra balığı karaciğer (ZFL) hücre hatlarında (Pérez-Albaladejo vd., 2018) önemli reaktif oksijen türlerinin (ROS) indüksiyonuna yol açmıştır. Başka bir çalışmada, *Dicentrarchus labrax* embriyonik hücreleri, DEHP'ye maruz kaldıktan sonra oksidatif hasara bağlı DNA zincir kırılmaları göstermiştir (Molino vd., 2019). Diğer plastikleştiricilerde olduğu gibi, yayın balıklarında nonilfenol (NP)'nin endokrin bozucu etkisi ROS oluşumu ve oksidatif hasar yoluyla meydana geldiği görülmüştür (Sayed ve Ismail, 2017). Başka bir çalışmada 30 gün boyunca 0.1-1000 µg/L bisfenol A (BPA)'ya maruz kalan yetişkin sazanlar (*C. carpio*) lipid peroksidasyonunda bir artış yaşarken, antioksidan savunmalar doza bağlı bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir (Qiu vd., 2016). 60 gün süren benzer bir çalışmada ise balıklar BPA analogu BPF'ye maruz kaldıklarında karşılaştırılabilir bir oksidatif stres tepkisi ortaya çıkarmışlardır (Qiu vd., 2018). Yapılan bir çalışmada DEHA'ya akut ölümcül düzeyde maruz kalmanın zebra balığı larvalarında düşük düzeyde genokotsisiteye neden olabileceğini ve zebra balığı larvalarında stresle ilişkili genlerin (p53, rad51 ve xrcc5) ekspresyonunu indükleyebileceğini göstermiştir. Ayrıca bazı morfolojik deformasyonlarla birlikte zebra balığı erken gelişimi üzerinde toksik bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Boran ve Terzi, 2017).

Bu sonuçlar, plastik sızıntı sularında çeşitlendirilmiş ve toksik organik ve metal bileşikleri, dolayısıyla karmaşık çevresel stres faktörleri altında plastik katkı maddelerinin salım mekanizmalarını ve bunların suda yaşayan organizmalar üzerindeki potansiyel toksisitelerini daha fazla araştırılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Plastik bileşiklere, işleme özelliklerini, performansını ve aşınma özelliklerini iyileştirmek

için üretimleri sırasında kimyasal katkı maddeleri eklenmektedir. Bu maddeler plastik ürünün yaşam döngüsü boyunca çevreye sızma ve sucul çevredeki kalıcı organik kirleticileri de bünyesine alabilme eğilimindedirler. Plastiklerin deniz ekosisteminde dağılım gösterdiği tüm alanlar; su yüzeyi, su kolonu, deniz tabanı ve plastiklerin kendi yapısal özellikleri, çevresel etkilerle değişen yapıları ve etki mekanizmaları düşünüldüğünde sucul ekosistemlerin karşı karşıya kaldığı durumlar, ayrıca mikroplastik olarak besin ağındaki dolaşimleri sonucunda en üst seviye olan insan sağlığı açısından etkileri araştırılması gereken çok kapsamlı bir konudur. Plastik katkı maddelerine maruz kalmanın deniz besin ağındaki anahtar organizmalar üzerindeki sonuçları, ekolojik, ekonomik ve sağlık açısından son derece önemlidir. Çünkü bu katkı maddelerinin çoğu besin ağı yoluyla aktarılabilir (Hermabessiere vd., 2017). Plastikleştiriciler tarafından indüklenen oksidatif stres tepkileri, trofik ağ boyunca mikroalgler ve zooplanktondan beslenen ve trofik ağın yanı sıra yırtıcılara kadar su sistemlerinde tespit edilmekle birlikte nihai tüketiciler (örneğin insan) daha yüksek maruziyetlere duyarlıdır (Prata vd., 2019; Jeong ve Choi, 2019).

Deniz ortamına giren plastikler, özellikle mikroplastik kaynaklı kirlilik kapsamında büyük miktarlarda daha küçük parçacıklar açısından çok yoğun olduğu bilindiğinden daha fazla araştırılması gerekmektedir. Plastik katkı kimyasallarının ve plastiklere adsorbe kirleticilerin eş zamanlı olarak farklı besinsel seviyeden sucul canlıda biyobirikiminin ve etkilerinin kapsamlı olarak araştırılması ve insan sağlığı açısından risk değerlendirilmesinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Plastik üretimi ve tüketimine artan talep sucul ekosistemlerde plastik miktarının daha da artacağını bir göstergesidir. Plastik üretimi azaltılsa bile doğada var olan plastikler fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak bozulmaya ve varlığını sürdürmeye devam ederek daha fazla canlıyı etkileyebileceği bir gerçektir. Petrol bazlı plastiklere alternatif olarak selüloz, nişasta, bitkisel yağlar gibi biyokütleden üretilen olan

plastiklerin yakın gelecekte artacağı düşünülmektedir. Ancak alternatif olarak üretilen bu tip biyoplastikler her zaman biyoparçalanabilir özellikte olmayabilir. Yaşam süresi, uygulanması ve geri dönüşüm özellikleri halen geleneksel yöntemlerle üretilenlerle aynıdır (Kershaw ve Rochman, 2015). Plastik ürünlerin yaşam döngüsünün tüm aşamalarında (kullanım, bertaraf, geri kazanım ve geri dönüşüm) uygulanan, plastik ürünlerde bulunan çeşitli katkı maddelerinin varlığı ve bunların çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri düşünüldüğünde bu katkı maddelerinin bir kısmının daha yeşil ve sürdürülebilir kimyasallarla değiştirilmesi gerekmektedir. Malzeme geri dönüşümü senaryoları, ikame sürecinde dikkate alınmalı ve ürünlerin eko tasarımına entegre edilmelidir. Bununla ilgili olarak hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde plastik üretimi sırasında katkı maddelerinin kullanımına ilişkin daha iyi düzenleyici çerçeveler, plastik atıkların yeniden işlenmesi sırasında iyileştirilmiş geri dönüşüm yaklaşımları, bu kaynağın ve bununla bağlantılı çevre üzerindeki etkilerinin daha iyi ve daha sürdürülebilir yönetimiyle sonuçlanabilir. Daha kontrollü ve verimli geri dönüşüm ve geri kazanım, yeni iş fırsatlarına ve halihazırda atık olan malzemelerin ekonomik döngüye yeniden entegrasyonu için fırsatlara yol açacaktır. Bu, daha sonra geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılan ürünlerin katma değerini artıracak, polimer atık sorununa sürdürülebilir bir çözüm oluşturacak ve işletmelerin petrol bazlı ham maddelere ve enerjiye olan bağımlılığını azaltacaktır (Hahladakis vd., 2018)

Son olarak hayatımızın vazgeçilmezi haline gelen plastikleri tamamen hayatımızdan çıkarmamız mümkün olmadığından, sucul ortamlara giren plastik miktarının kaynağında azaltılması, uygun atık yönetimleri ile geri dönüştürülmesi, doğa dostu alternatiflerin üretilmesi, hem bireysel hem toplumsal olarak tüketiminin azaltılması; çevre bilincini oluşturmak için eğitim ve farkındalık faaliyetleriyle, bu alanda çok disiplinli bilimsel çalışmaların sürdürülerek mevcut plastiklerin

bertarafı için yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada bilgi ve tecrübesiyle bana destek olan danışman hocam Doç. Dr. Ülgen AYTAN'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Avio, C.G., Gorbi, S., Regoli, F. (2017). Plastics and microplastics in the oceans: from emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*, 128, 2-11, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012>
- Baini, M., Martellini, T., Cincinelli, A., Campani, T., Minutoli, R., Panti, C., Finoia, M.G., Fossi, M.C. (2016). Analytical methods First detection of seven phthalate esters (PAEs) as plastic tracers in superficial neustonic / planktonic samples and cetacean blubber. *Analytical Methods*, 9(9), 1512-1520.
- Barboza, L.G.A., Cunha, S.C., Monteiro, C., Fernandes, J.O., Guilhermino, L. (2020). Bisphenol A and its analogs in muscle and liver of fish from the NorthEast Atlantic Ocean in relation to microplastic contamination. Exposure and risk to human consumers. *Journal of hazardous materials*, 393, 122419. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122419>
- Boran, H., Terzi, S. (2017). Stress-induced transcriptional changes and dna damage associated with bis (2-ethylhexyl) adipate exposure in zebrafish (*Danio rerio*) larvae. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99, 308-314.
- Chen, D., Kannan, K., Tan, H., Zheng, Z., Feng, Y.-L., Wu, Y., Widelka, M. (2016). Bisphenol analogues other than BPA: environmental occurrence, human exposure, and toxicity—a review. *Environmental Science & Technology*, 50(11), 5438-5453. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05387>
- Chen, Q., Allgeier, A., Yin, D., Hollert, H. (2019). Leaching of endocrine disrupting chemicals from marine microplastics and mesoplastics under common life stress conditions. *Environment International*, 130, 104938. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104938>
- Crain, D.A., Eriksen, M., Iguchi, T., Jobling, S., Laufer, H., LeBlanc, G.A., Guillette, L.J. Jr. (2007). An ecological assessment of bisphenol-A: evidence from comparative biology. *Reproductive Toxicology*, 24(2), 225-239. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2007.05.008>

- Derakhshesh, N., Movahedinia, A.A., Salamat, N., Hashemitabar, M., Bayati, V. (2017). Using a liver cell culture from *Epinephelus coioides* as a model to evaluate the nonylphenol-induced oxidative stress. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2), 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.049>
- Derraik, J.G.B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842-852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Engler, R.E. (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environmental Science & Technology*, 46(22), 12302-12315. <https://doi.org/10.1021/es3027105>
- European Council Regulation European Commission, (2011). Regulation No.10/2011 on Plastic materials and articles intended to come into contact with food. Available on: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32011R0010> (Accessed on 14 September 2021)
- European Food Safety Authority, (2012). Scientific opinion on emerging and novel brominated flame retardants (BFRs) in food. *EFSA Journal*, 10(10), 2908. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2908>
- Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: environmental and toxicological effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 64, 164-171. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.10.009>
- Hahladakis, J.N., Velis, C.A., Weber, R., Lacovidou, E., Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 179-199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>
- Hansen, E., Nilsson, N.H., Lithner, D., Lassen, C. (2013). Hazardous substances in plastic materials. *COWI in cooperation with Danish Technological Institute*, 7-8.
- Hermabessiere, L., Dehaut, A., Paul-Pont I., Lacroix, C., Jezequel, R., Soudant, P., Duflos, G. (2017). Occurrence and effects of plastic additives on marine environments and organisms: A review. *Chemosphere*, 182, 781-793. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.096>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science and Technology*, 46, 3060-3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- ICIS, (2003). Product Profile: Bisphenol A. Available on: <http://www.icis.com/resources/news/2003/04/24/193606/product-profile-bisphenol-a/> (Accessed on 16 May 2022)
- Jang, M., Shim, W.J., Han, G.M., Rani, M., Song, Y.K., Hong, S.H. (2016). Styrofoam debris as a source of hazardous additives for marine organisms. *Environmental Science & Technology*, 50(10), 4951-4960. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05485>
- Jeong, J., Choi, J. (2019). Adverse outcome pathways potentially related to hazard identification of microplastics based on toxicity mechanisms. *Chemosphere*, 231, 249-255. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.003>
- Kershaw, P.J., Rochman, C.M. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. *Reports and Studies-IMO/FAO/Unesco-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP)* 93.
- Khaled, A., Rivaton, A., Richard, C., Jaber, F., Sleiman, M. (2018). Phototransformation of plastic containing brominated flame retardants: enhanced fragmentation and release of photoproducts to water and air. *Environmental Science & Technology*, 52(19), 11123-11131. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03172>
- Kolomijeca, A., Parrott, J., Khan, H., Shires, K., Clarence, S., Sullivan, C., Chibwe, L., Sinton, D., Rochman, C.M. (2020). Increased temperature and turbulence alter the effects of leachates from tire particles on fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environmental Science & Technology*, 54(3), 1750-1759. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05994>
- Laing, L.V., Viana, J., Dempster, E.L., Trznadel, M., Trunkfield, L.A., Uren Webster, T.M., van Aerle, R., Paull, G.C., Wilson, R.J., Mill, J., Santos, E.M. (2016). Bisphenol A causes reproductive toxicity, decreases dnmt1 transcription, and reduces global DNA methylation in breeding zebrafish (*Danio rerio*) *Epigenetics*, 11, 526-538. <https://doi.org/10.1080/15592294.2016.1182272>
- Lau, O.W., Wong, S.K. (2000). Contamination in food from packaging material. *Journal of Chromatography A*, 882, 1-2. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00356-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00356-3)
- Luo, H., Xiang, Y., He, D., Li, Y., Zhao, Y., Wang, S., Pan, X. (2019). Leaching behavior of fluorescent additives from microplastics and the toxicity of

- leachate to *Chlorella vulgaris*. *Science of the Total Environment*, 678, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.401>
- Loughlin, S. (2018) Final project report. Government Office for Science, London. 1-32.
- Loyo-Rosales, J.E., Rosales-Rivera, G.C., Lynch, A.M., Rice, C.P., Torrents, A. (2004). Migration of nonylphenol from plastic containers to water and a milk surrogate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 2016-2020. <https://doi.org/10.1021/jf0345696>
- Meeker, J.D., Sathyanarayana, S., Swan, S.H. (2009). Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes., *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2097-2113. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0268>
- Molino, C., Filippi, S., Stoppiello, G.A., Meschini, R., Angeletti, D. (2019). In vitro evaluation of cytotoxic and genotoxic effects of di(2-ethylhexyl)-phthalate (DEHP) on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) embryonic cell line. *Toxicology in Vitro*, 56, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2019.01.017>
- Morris, S., Allchin, C.R., Zegers, B.N., Haftka, J.J.H., Boon, J.P., Belpaire, C., Leonards P.E.G., van Leeuwen, S.P.J., de Boer, J. (2004). Distribution and fate of HBCD and TBBPA brominated flame retardants in North Sea Estuaries and aquatic food webs. *Environmental Science & Technology*, 38(21), 5497-5504. <https://doi.org/10.1021/es049640i>
- Net, S., Sempéré, R., Delmont, A., Paluselli, A., Ouddane, B. (2015a). Occurrence, fate, behavior and ecotoxicological state of phthalates in different environmental matrices. *Environmental Science & Technology*, 49(7), 4019-4035. <https://doi.org/10.1021/es505233b>
- Net, S., Sempéré, R., Delmont, A., Paluselli, A., Ouddane, B. (2015b). Occurrence, fate, behavior and ecotoxicological state of phthalates in different environmental matrices. *Environmental Science & Technology*, 49(7), 4019-4035. <https://doi.org/10.1021/es505233b>
- Oehlmann, J., Schulte-Oehlmann, U., Kloas, W., Jagnytsch, O., Lutz, I., Kusk, K.O., Wollenberger, L., Santos, E.M., Paull, G.C., Van Look, K.J.W., Tyler, C.R. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2047-2062. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0242>
- OSPAR Commission (2007). OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter. Monitoring of marine litter in the OSPAR region. *OSPAR Publication*, 386.
- Paluselli, A., Fauvelle, V., Galgani, F., Sempéré, R. (2019). Phthalate release from plastic fragments and degradation in seawater. *Environmental Science & Technology*, 53(1), 166-175. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05083>
- Pérez-Albaladejo, E., Lacorte, S., Porte, C. (2018). Differential toxicity of alkylphenols in JEG-3 human placental cells: alteration of P450 aromatase and cell lipid composition. *Toxicological Sciences*, 167(2), 336-346. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy243>
- Prata, J.C., da Costa, J.P., Lopes, I., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T. (2019). Effects of microplastics on microalgae populations: a critical review. *Science of The Total Environment*, 665, 400-405. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.132>
- Prokic, M.D., Radovanovic, T.B., Gavric, J.P., Faggio, C. (2019). Ecotoxicological effects of microplastics: examination of biomarkers, current state and future perspectives. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.001>
- Qiu, W., Chen, J., Li, Y., Chen, Z., Jiang, L., Yang, M., Wu, M. (2016). Oxidative stress and immune disturbance after long-term exposure to bisphenol A in juvenile common carp. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 130, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.014>
- Qiu, W., Zhan, H., Tian, Y., Zhang, T., He, X., Luo, S., Xu, H., Zheng, C. (2018). The in vivo action of chronic bisphenol F showing potential immune disturbance in juvenile common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere*, 205, 506-513. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.105>
- Rani, M., Shim, W.J., Han, G.M., Jang, M., Al-Odaini, N.A., Song, Y.K., Hong, S.H. (2015). Qualitative analysis of additives in plastic marine debris and its new products. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(3), 352-366.
- Ryan, P.G., Moore, C. J., van Franeker, J.A., Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1999-2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- Sajiki, J., Yonekubo, J. (2003). Leaching of bisphenol A (BPA) to seawater from polycarbonate plastic and its degradation by reactive oxygen species. *Chemosphere*, 51, 55-62. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00789-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00789-0)
- Sayed, A.E.D.H., Ismail, R.F.K. (2017). Endocrine disruption, oxidative stress, and testicular damage induced by 4-nonylphenol in *Clarias gariepinus*: The protective role of *Cydonia oblonga*. *Fish*

- Physiology and Biochemistry*, 43(4), 1095-1104.
<https://doi.org/10.1007/s10695-017-0355-2>
- Schmidt, N., Castro-jiménez, J., Fauvelle, V., Ourgaud, M., Sempere, R. (2020). Occurrence of organic plastic additives in surface waters of the Rhône River (France). *Environmental Pollution*, 257, 113637.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113637>
- Shaliutina, O., Shaliutina-Kolešová, A., Lebeda, I., Rodina, M., Gazo I. (2017). The in vitro effect of nonylphenol, propranolol, and diethylstilbestrol on quality parameters and oxidative stress in sterlet (*Acipenser ruthenus*) spermatozoa. *Toxicology in Vitro*, 43, 9-15.
<https://doi.org/10.1016/j.tiv.2017.05.006>
- Soares, A., Guieysse, B., Jefferson, B., Cartmell, E., Lester, J.N. (2008). Nonylphenol in the environment: a critical review on occurrence, fate, toxicity and treatment in wastewaters. *Environment International*, 34(7), 1033-1049.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.01.004>
- Suhrhoff, T.J., Scholz-Böttcher, B.M. (2016). Qualitative impact of salinity, UV radiation and turbulence on leaching of organic plastic additives from four common plastics—a lab experiment. *Marine Pollution Bulletin*, 102(1), 84-94.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.054>
- Talsness, C.E., Andrade, A.J.M., Kuriyama, S.N., Taylor, J.A., vom Saal, F.S. (2009). Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2079-2096.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0281>
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838-838.
<https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- US Environmental Protection Agency, (2010). Nonylphenol (NP) and Nonylphenol Ethoxylates (NPEs) Action Plan. Available on: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rin2070-za09_np-npes_action_plan_final_2010-08-09.pdf (Accessed on 04 May 2022)
- URL-1, (2019). <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2019-Plastics-the-facts.pdf>. 30 Mayıs 2022.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A.D., Winther-Nielsen, M., Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 1-9.
- Vandermeersch, G., Lourenço, H.M., Alvarez-Muñoz, D., Cunha, S., Diogène, J., Cano-Sancho, G., Sloth, J.J., Kwadijk, C., Barcelo, D., Allegaert, W., Bekaert, K., Fernandes, J.O., Marques, A., Robbens, J. (2015). Environmental contaminants of emerging concern in seafood – European database on contaminant levels. *Environmental Research*, 143, 29-45.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.01>