



Çilek üretiminde plastik malç uygulamasından kaynaklı toprakta plastik birikiminin belirlenmesi

Muhittin Onur AKÇA^{1*}, Sedat GÜNDOĞDU², Oğuz Can TURGAY¹

¹Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

²Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Adana

Öz

Tarımda plastik malç kullanımı, küresel boyutta tarımsal üretimi büyük ölçüde artıran, ancak çevresel olarak ciddi miktarda plastik kirliliği yaratan bir uygulamadır. Bu çalışmada, 2008 (H1) ve 2017 (H5) yıllarından bu yana çilek üretiminde plastik malç uygulanan Konya ili Hüyük İlçesi tarım topraklarındaki plastik miktar ve türleri araştırılmıştır. Toprak örneklerinde plastikleri ekstrakte etmek için NaCl (1.2 g cm⁻³) çözeltisi kullanılmıştır. Topraktaki plastik partikül sayıları on dört yıl boyunca plastik malç kaplaması yapılan toprakta 377.33 partikül kg⁻¹ bulunurken, 5 yıl boyunca plastik malç kaplaması yapılan toprakta ise 75.53 partikül kg⁻¹ belirlenmiştir. Ekstrakte edilen tüm plastiklerin ortalama boyutu 2.04±0.12 mm olarak hesaplanmıştır. H1 tarlasına ait toprak örneğinde plastiklerin boyutu 1.98 ± 0.14 mm iken, H5 tarlasında ise 2.30±0.32 mm olarak bulunmuştur. H1 toprak örneğinde % 92.76 mikroplastik ve % 7.24 mezoplastik tespit edilmişken, H5 örneğinde % 82.35 mikroplastik ve % 17.65 mezoplastik tespit edilmiştir. Zayıflatılmış Toplam Reflektans - Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR) analizleri sonucu tespit edilen plastiklerin bileşiminin uygulanan malç materyali ile eşleştiği ve tespit edilen polimer türünün polietilen (PE) olduğu, bu durumun da plastik partiküllerin malç materyalinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Elde edilen bu bulgular, tarımda plastik malç materyali kullanımının karasal ortamlarda önemli mikroplastik birikimi oluşturduğunu doğrulamaktadır. Bu plastiklerin de uzun vadede toprakta birikmesi ve daha da küçük partiküllere ayrılması sonucu toprak kalitesinin bozulacağı kaçınılmazdır.

Anahtar Kelimeler: Toprak, Plastik Malç, Plastik birikimi, Ekstraksiyon.

Determination of plastic accumulation in soil from plastic mulch application in strawberry production

Abstract

Using plastic mulch in agriculture greatly increases agricultural production on a global scale, but creates serious plastic pollution in the environment. The present study investigated the abundance and type of plastics in the agricultural soils of the Hüyük District of Konya, where a large amount of plastic mulch is applied in strawberry production since 2008 (H1) and 2017 (H5). NaCl (1.2 g cm⁻³) solution was used to extract plastics in soil samples. The number of plastic particules in plastic mulch covered soil for 14 years was 377.33 particles kg⁻¹ while it was 75.53 particles kg⁻¹ in plastic mulch covered soil for 5 years. The average size of all extracted plastics was calculated as 2.04±0.12 mm. The size of the plastics in the soil sample belonging to the H1 field was 1.98 ± 0.14 mm, it was found to be 2.30±0.32 mm in the H5 field. In the H1 field, 92.76% microplastic and 7.24% mesoplastic were detected and 82.35% microplastic and 17.65% mesoplastic were detected in the H5 field. It was revealed that the composition of the plastics determined as a result of Attenuated Total Reflectance- Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) analyzes matched with the mulch material and the detected polymer type was polyethylene (PE), resulting from the applied mulching materials of the plastic particles. These findings confirm that using plastic mulch material in agriculture creates significant microplastic accumulation in terrestrial environments. Soil quality will inevitably decline day by day as a result of the accumulation of these plastics in the soil in the long term and their disintegration into smaller particles.

Keywords: Soil, Plastic Mulch, Plastic Accumulation, Extraction.

© 2022 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 312 596 1188

E-posta : moakca@ankara.edu.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 7 Ekim 2022

Kabul Tarihi : 17 Aralık 2022

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1185820

Giriş

Plastik ürünler düşük maliyetleri, kolay şekillendirilebilir olmaları ve ekonomik olmalarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Küresel plastik üretimi 1950’de 1.7 milyon ton iken, 2019’da 368 milyon tona yükselmiştir (PlasticsEurope, 2020). Küresel plastik üretiminin 2050 yılına kadar 33 milyar tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Sharma ve ark., 2020). Bununla birlikte 2015 yılından beri üretilen plastiğin sadece %9’u geri dönüştürülmüş, %12’si yakılmış ve kalan %79’u ise çevreye gelişigüzel atılmıştır (Geyer ve ark., 2017). Plastikler, bozunmaya karşı dirençli olmaları sebebiyle buldukları ortamda yüzyıllarca kalabilmekte ya da daha küçük plastik parçacıklara dönüşerek taşınabilmektedir (Guo ve ark., 2020).

Plastik atıklar zamanla topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma/parçalanma süreçlerinde <5 mm’den daha küçük “mikroplastik (MP)” partiküllere dönüşebilmektedir (Koutnik ve ark., 2021). Toprak ekosisteminin sucul ekosistemden daha çok MP içerdiğine dair çalışmalar mevcuttur (Iqbal ve ark., 2020; Ya ve ark., 2021). Su ekosistemiyle karşılaştırıldığında, karasal ekosistemlere salınan MP miktarlarının sudan 4 - 23 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir (Horton ve ark., 2017). Tarım arazileri; plastik malç, organik gübre, sulama, arıtma çamuru uygulamaları ve atmosferik birikim dâhil olmak üzere çok çeşitli yollarla tarım toprağına girebildikleri için MP’lerin ana birikim yerleri olarak bilinmektedir. Toprakta bulunan bu MP’lerin varlığı toprak sağlığı ve ekolojik çevre için ciddi bir potansiyel tehdit oluşturmaktadır. Örneğin; topraklara ilave edilen MP’ler ile toprak mikrobiyal aktivitesi, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi ve buharlaşma gibi parametrelerin değişimi ile toprak ve bitki sağlığı üzerine olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır (Akça ve Ok 2021). Meydana gelen bu tehditlerin büyük bir kısmı henüz tam olarak aydınlatılabilmemiş değildir (de Souza Machado ve ark., 2018; Zhou ve ark., 2020a).

Artan küresel krizler sırasında gıda güvenliğini sağlamak, yaşadığımız çağda büyük bir zorunluluk haline gelmiştir (Godfray ve ark., 2010). Her geçen gün artış gösteren dünya nüfusunu beslemek için birim alandan elde edilen ürün miktarının artırılması ihtiyacı nedeniyle ortaya çıkan uygulamalar içerisinde plastik malç materyali kullanımı en önde gelen yaygın tekniklerden biridir. Plastik malç kullanımı ile topraktaki suyun buharlaşması azaltılmakta, üst toprak sıcaklığı kontrol edilmekte ve böylelikle toprağın nem içeriği sabit tutulabilmektedir (Kader ve ark., 2017). Plastik malç uygulamasının yabancı ot gelişimini baskıladığı ve yetiştirilen ürünün besin kullanım verimliliğini artırdığı da çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Feng ve ark., 2017; Gao ve ark., 2019).

Tarımda plastik malç kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber, son yıllarda Avrupa’da plastikle kaplı yaklaşık 460.000 hektar alanın oluşmasına yol açmıştır (Razza ve ark., 2019). Genellikle polietilenden yapılan plastik malç materyalleri, 1956’dan beri tarımsal üretimde kullanılmakta ve küresel pazarı sürekli büyüyerek 2017 yılında yaklaşık 2×10^6 tona ulaşmıştır (Moine ve Ferry, 2019).

Son 50 yılda, büyük ölçekli plastik malç uygulaması, tarımda birçok avantaj sağlamış olsa da aynı zamanda topraklarda büyük miktarda plastik kirliliğine de yol açmıştır (Qi ve ark., 2020, Wang ve ark., 2021). Mikroplastikler daha çok malç uygulanmış tarım topraklarında bulunmaktadır (Briassoulis ve ark., 2010; Akça ve Ok 2022; Gündoğdu ve ark., 2022). Örneğin, Kuzeybatı Çin’deki tarım arazilerini malçlamak için PE tipi malç materyali kullanımı ile arazinin %60-100’ü kaplanmıştır (Zhang ve ark., 2016). Çoğunlukla PE’den yapılan plastik malçlar, tekrar toplamanın neden olduğu yüksek maliyet nedeniyle hasattan sonra genellikle tarım arazilerinde bırakılmaktadır (Zhou ve ark., 2020b), bu durum da her yıl topraklarda plastik kalıntıların birikmesine neden olmaktadır (Zhang ve ark., 2020). Toprakta bırakılan bu plastik kalıntılar toprağın geçirgenliğini azaltmakta, su hareketini engellemekte ve köklere dolanmakta, böylelikle kök tarafından besin ve su alınımı deng esizleşmekte ve sonuçta kök büyümesi gecikmektedir (Jiang ve ark., 2017; Qi ve ark., 2020). Bu bakımdan, tarımda plastik malç kullanımında dikkatli olunmalıdır, çünkü bu plastik materyaller kullanım sırasında mekanik olarak gerilmekte (ultraviyole radyasyon, fiziksel deformasyon vb.) ve kırılabilir bir hal almaktadır (Astner ve ark., 2019), bu durum da kullanım ömürlerinin sonunda bu materyalin tarladan tamamen çıkarılmasını zorlaştırmaktadır. Böylelikle plastik malç partikülleri daha küçük partiküllere ayrılmakta (<5 mm) ve üreticinin toprağı işleyişini zorlaştırmaktadır (Qi ve ark., 2020; Rillig ve ark., 2021). Daha küçük partiküllere (<5 mm) dönüşen plastik malçların çoğu, fotolitik, mekanik ve biyolojik bozunmanın bir sonucu olarak MP kirleticiye dönüşmektedir (Akça ve Ok 2021).

Plastik malçların uygulandıkları alanlara ne ölçüde MP yaydığı tam olarak anlaşılamamıştır. Yapılan bazı çalışmalarda topraktaki plastik partikül sayılarına bakıldığında; Çin’de 1000-42000 partikül kg^{-1} (Huang ve ark., 2020), Avrupa’da nispeten daha düşük oranda 4-11 partikül kg^{-1} olduğu görülmektedir (Harms ve ark., 2021). Yapılan sınırlı çalışmalar, plastik malç uygulaması yoluyla tarım arazilerinin MP’lerle potansiyel

olarak kirlendiğini göstermekte ve bu konu nadiren dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, çevresel ve agronomik bir bakış açısıyla değerlendirme yapıldığında, uzun vadeli plastik malç uygulamasının toprakların MP içeriğini artırıp artırmadığı ortaya konulmalıdır.

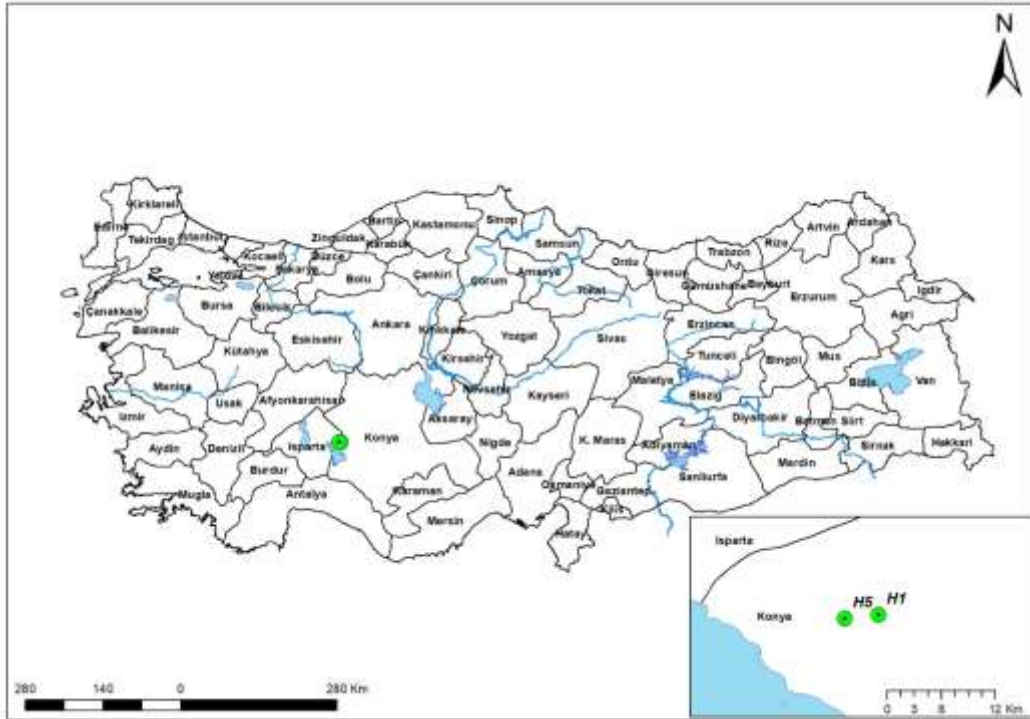
Denizel ortamlarda; MP belirleme aşamaları; örnekleme (Song ve ark., 2014), ayırma (Claessens ve ark., 2013), ve tanımlama (Vianello ve ark., 2013) yaygın olarak bilindiği için denizel ortamlarda MP'ler ile ilgili kapsamlı araştırmalar ortaya konulmuştur, ancak özellikle tarımsal ekosistemlerde MP'ler hakkında çok az çalışma yapılmıştır (Briassoulis ve ark., 2015a, Briassoulis ve ark., 2015b). Benzer şekilde, ülkemizde sucül ortamlardaki plastik kirliliği (Aytan ve ark., 2016; Gündoğdu 2017; Gündoğdu ve Çevik 2017; Gündoğdu ve ark., 2017), tuz gölü tuzları (Çatalbaş, 2017), deniz sedimentleri ve balıklar (Gökdağ, 2017) çalışmaları mevcuttur, ancak ülkemiz tarım topraklarındaki MP birikimi hakkında da çok sınırlı bilgi bulunmaktadır. Bu konuda doğrudan plastik örtü uygulaması sonucu topraktaki MP varlığını ortaya koyan sınırlı çalışmalardan biri Gündoğdu ve ark. (2022) tarafından yapılmıştır. Gündoğdu ve ark. (2022) Çukurova'da alçak tünel şeffaf malç plastik uygulaması yapılan bazı tarım topraklarında plastik partikül sayısının 16.5 partikül kg^{-1} olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yoğun olarak plastik malç kullanılan çilek yetiştiriciliğinde toprakta plastik birikimini niceliksel ve niteliksel açıdan değerlendirmektir. Bu amaca yönelik olarak farklı plastik malç uygulama geçmişine sahip olan çilek tarlalarından toplanan toprak örneklerinde plastik ekstraksiyonu yapılarak plastik miktar, boyut, şekil ve tür analizleri gerçekleştirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırma materyalini Konya İli Hüyük İlçesi'nde çilek yetiştiriciliğinin yoğun bir şekilde yapıldığı plastik malç kullanılan alanları temsilen seçilen 1 dekardan büyük iki ayrı tarım arazisinden alınan toprak örnekleri oluşturmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve örnekleme yapılan alanlar

Çalışma alanı

Örnekleme alanı, Konya ili Hüyük ilçesinde çilek yetiştiriciliği yapılan ve en yoğun malç uygulamasının olduğu tarım arazileridir. Toprak örnekleri, 2022 yılı Nisan ayı içerisinde 14 (H1) ve 5 (H5) yıl boyunca sürekli malç uygulaması yapılan iki çilek tarlasından alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Örnekleme noktalarının bazı karakteristik özellikleri

Toprak örneği	Konumu	Plastik kullanımı*	En son hasat edilen ürün	Malç uygulanma süresi (yıl)	Tarlada plastik kalıntısı
H1	377395.85K, 4204123.10G	Malç	Çilek	14	Var
H5	374437.50K, 4203774.81G	Malç	Çilek	5	Var

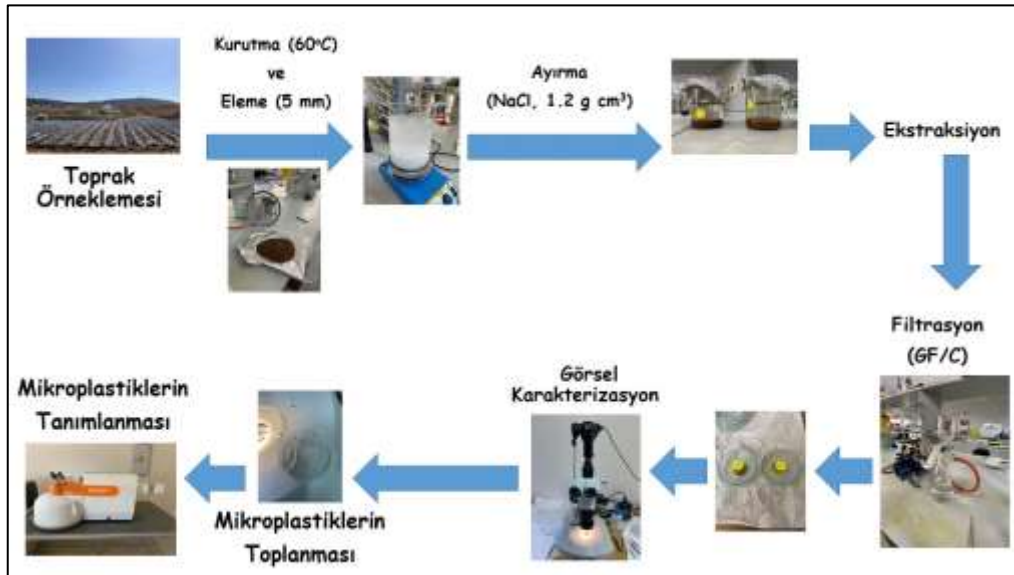
*: polietilen malç materyali

Örnek Hazırlığı ve Plastik Ekstraksiyonu

Her iki araziden alınan toprak örnekleri Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Laboratuvarları'na nakledilmiştir. Her iki tarlada, toprak örnekleri 20x20 m aralıklarla 0-5 cm derinlikten çelik aparatlarla alınmış ve homojen hale getirilmiştir. Daha sonra bu karışımdan 3 (tekrar) x 1 kg toprak alınarak cam kavanozlara aktarılmıştır. Sonuç olarak her bir tarladan toplam 3 adet 1 kg toprak örneği alınmıştır. Her bir toprak örneğinin alınması sırasında örnekleme yapılan ekipmanlar yıkanmış ve örnekler laboratuvara ayrı ayrı dikkatli bir şekilde getirilmiştir.

Plastik Ekstraksiyonu

Toprakta plastik ekstraksiyonunun temel aşamaları Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Toprakta plastik ekstraksiyonu aşamaları

Laboratuvara getirilen toprak örnekleri bir gece boyunca $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 'ye ayarlı etüve yerleştirilmiştir. Ardından örnekler etüvden çıkarılmış, ve boyutu 5 mm'den büyük partikülleri ayırmak için paslanmaz çelik elekten (Kalyen, İstanbul/Türkiye) elenmiştir. Elenen toprak örneklerinden 150'şer g tartılmış ve steril beherlere aktarılmıştır. Toprakta belirlenen partikül sayıları fırın kuru ağırlık esasına göre "partikül kg⁻¹" olarak belirtilmiştir. Tartılan toprak örneklerinin üzerinde olacak şekilde NaCl (1.2 g cm^{-3}) çözeltisi ilave edilmiştir (Liu ve ark., 2018). Karışım cam baget yardımıyla karıştırılmış ve yoğunluk farkı işleminin gerçekleşebilmesi için 3 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. Yoğunluk ayırımından sonra üst faz (sıvı faz) 33 µ gözenek çapındaki bir elekten geçirilmiştir. Bu işlem 3 defa tekrarlanmıştır. Daha sonra elek üzerinde kalan materyal steril bir cam kavanoza aktarılmış ve organik maddeyi gidermek için %30'luk H₂O₂ ilave edilmiştir (He ve ark., 2018). Karışım, organik madde tamamen giderilene kadar 70°C'ye ayarlanmış bir hot plate üzerinde ısıtılmıştır. Organik maddenin tamamı giderildikten sonra solüsyon 1 gün çeker ocakta soğumaya bırakılmış, ardından tekrar 33 µ elekten geçirilmiş ve üstte kalan materyaller 47 mm çapında 1.2 µm gözenek boyutlu membran filtreye (Whatman GF/C, 1822-047) aktarılmıştır. Üst fazdaki plastikleri filtreleme işlemi (Millipore S-Pack) vakum pompasına bağlı bir cam filtrasyon sistemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Filtre kağıtları, kapalı bir cam petri kabına aktarılıp, mikroskobik analizler için saklanmıştır (Weithmann ve ark., 2018; Wu ve ark., 2020).

Mikroskopik gözlem

Filtre kağıtları, kamera (Canon EOS 450D) bağlantılı stereo mikroskobu (Olympus SZX 16) (Fischer ve ark., 2016; Li ve ark., 2018) altında 0.7x ile 11.5x arasındaki büyütme oranlarında incelenmiştir. Filtre üzerindeki plastikler sayılmış, fotoğraflanmış ve kaydedilmiştir. Elek üzerinde kalan 5 mm'den büyük plastikler de ölçülmüş ve sınıflandırılmıştır. Fotoğraflanan partiküllerin şekil ve büyüklük ölçümleri "ImageJ v1.50i" programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlere ait grafikler OriginPro 2021 yazılımı ile çizilmiştir. Plastiklerin boyut sınıflandırması GESAMP (2019) tarafından açıklandığı gibi (1) Mikroplastikler (MP'ler): <5 mm; (2) Mezoplastikler (MePler): 5–25 mm; (3) makroplastik: 25-100 mm olmak üzere belirlenmiştir.

ATR-FTIR ölçümü

Filtre üzerindeki partiküllerin plastik olup olmadığı sıcak iğne ucu ile kontrol edilmiştir. Toprakta ekstrakte edilen plastik partiküllerin polimerin tipini doğrulamak için temsili şeffaf, mavi ve siyah renkli partiküller ATR-FTIR (Ioakeimidis ve ark., 2016) ile analiz edilmiştir. Plastik materyaller, Jasco markaya ait FT/IR-6700 model FTIR kullanılarak tespit edilmiştir. Cihaz, analiz başına 16 taramada 2 cm çözünürlük ve 400 ve 4000 cm^{-1} orta IR aralığı ile tek yansıma modunda çalıştırılmıştır. Plastiklerin polimer türleri, FDM polimer spektrum kitaplığı kullanılarak belirlenmiştir.

Geri Kazanım Testi ve Kalite Kontrolü

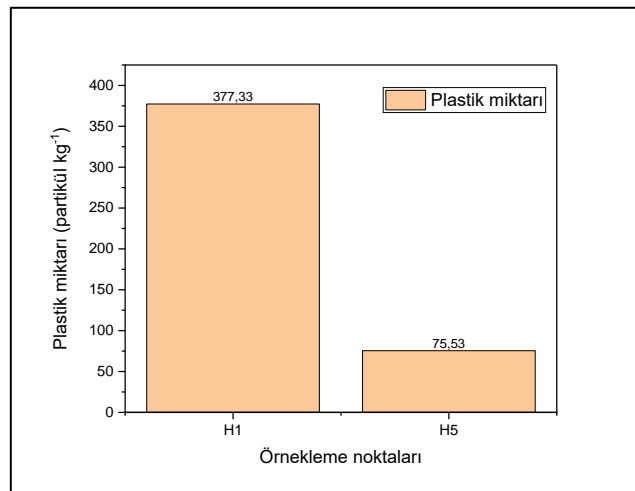
Arazide toprak örneği toplanırken, plastik kontaminasyon riskini önlemek için toprak örnekleri cam kavanozların içine dikkatli bir şekilde aktarılmıştır. Laboratuvarında MP kontaminasyonu önlemek için kullanılan ekipmanlar sırasıyla aseton ve saf sudan geçirilmiş ve ardından ağızları alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Çözeltiler, kullanımdan önce bir membran filtreden (Whatman GF/C, 1822-047) süzülmüştür. Kullanılan cam malzemeler alüminyum folyo ile kaplanmış ve deneyler sırasında pamuklu laboratuvar önlükleri giyilmiştir. Boş bir beherde negatif kontrol (Blank) işlemi yapılmış ve plastik tespit edilmemiştir.

Plastik ekstraksiyon yönteminin etkinliğini test etmek için geri kazanım testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, pozitif kontrol amaçlı behere tartılan 500 g'lık toprak içine ticari satılan ve daha önceden tartılan mikroplastikler ilave edilip, ağız alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Bu işlem için, piyasadan temin edilen pelet formundaki ham MP'lerden (1-3 mm boyutlarında) tartılmıştır Bu MP'ler; PS (20 adet, 0.42 g), PE (20 adet, 0.93 g), HDPE (20 adet, 0.48 g) ve PET (20 adet, 0.32 g)'dir. Toprak örneklerinde plastik ekstraksiyonu için uygulanan tüm işlemler pozitif kontrol işlemlerinde de aynı sıra ile uygulanmıştır. Geri kazanım oranı %90'ın üzerinde bulunmuştur.

Bulgular ve Tartışma

Plastik varlığı ve miktarı

H1 tarlasından alınan toprak örneğinde plastik partikül sayıları ortalama 377.33 partikül kg^{-1} , H5 tarlasında ise 75.53 partikül kg^{-1} bulunmuştur. On dört yıldır plastik malç uygulaması yapılan arazide (H1) bulunan plastik miktarı, 5 yıldır plastik malç kullanılan araziye (H5) göre yaklaşık 5 kat fazla olmuştur (Şekil 3).

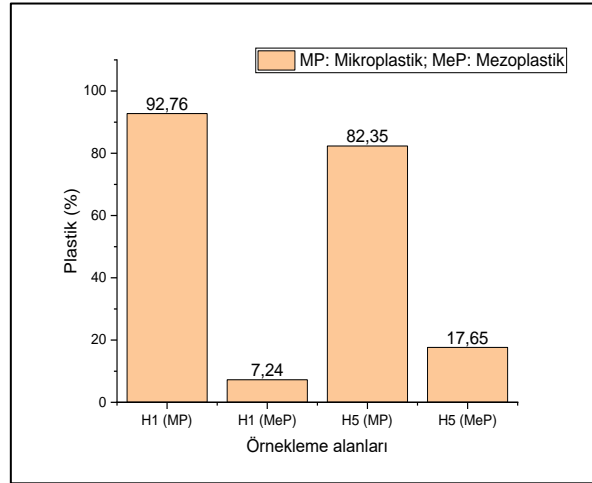


Şekil 3. Örnekleme yapılan noktalara ait plastik partikül miktarları

Önceki çalışmalara bakıldığında Güneydoğu İspanya'da, 10 yıl boyunca plastik malç uygulaması yapılmış sebze tarlalarında 0-10 cm derinlikte belirlenen MP'lerin miktarı 2116 partikül kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Beriot ve ark., 2021). Benzer şekilde, Tunus'ta çilek yetiştiriciliği yapılan bir araştırmada, topraklarda birkaç yıl boyunca malç kullanımından sonra 476 MP partikül kg⁻¹ belirlenmiştir (Boughattas ve ark., 2021). Çin'in Sincan eyaletinde, 5, 15 ve 24 yıl boyunca sürekli plastik malçlama yapılan pamuk tarlalarındaki MP'lerin miktarı sırasıyla 80, 308 ve 1076 partikül kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Huang ve ark., 2020). Yu ve ark. (2020), Kuzey Çin'de sebze tarımı yapılan malç uygulanmış topraklardaki MP'lerin miktarının, 310 ila 5.698 partikül kg⁻¹ arasında değiştiğini, ortalama 1.444 partikül kg⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Tian ve ark. (2022), Kuzey Çin'in yarı kurak bir bölgesinde malçlı ve malçsız tarım arazilerinde yüzey toprağında ve ayrıca rüzgarla savrulan kum ve tozdaki MP'leri tespit edebilmek için yürüttükleri çalışmalarında sırasıyla; <1 mm'de 365.22±170.18 (28.19%) partikül kg⁻¹, 1-3 mm'de 686.96±230.72 (53.02%) partikül kg⁻¹, 3-5 mm'de 243.48±119.95 (18.79%) partikül kg⁻¹ tespit etmişlerdir. Güneydoğu Almanya'da MP birikiminin belirlenmek istendiği ve çeşitli zamanlarda buğday, arpa, yonca, tritikale, beyaz hardal ve mısır yetiştirilmiş bir tarım toprağında 0.34-0.36 partikül kg kuru toprak⁻¹ bulunmuştur (Piehl ve ark., 2018). Gündoğdu ve ark. (2022), plastik örtü uygulaması sonucu topraktaki MP varlığını belirledikleri çalışmalarında; en yüksek plastik miktarını 39.7±12 partikül kg⁻¹, en düşük plastik miktarını ise 0.7±0.3 partikül kg⁻¹ olarak bildirmişlerdir. Yürütülen bu çalışmada bulunan plastik partiküllerin yapılan diğer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.

Plastik boyutu ve miktarı

Ekstrakte edilen tüm plastiklerin ortalama boyutu 2.04 ± 0.12 mm olarak bulunmuştur. H1 tarlasına ait toprak örneklerinde plastiklerin boyutu 1.98 ± 0.14 mm iken, H5 tarlasında ise 2.30 ± 0.32 mm olarak bulunmuştur. H1 toprak örneğinde % 92.76 MP ve % 7.24 MeP tespit edilmişken, H5 örneğinde % 82.35 MP ve % 17.65 MeP bulunmuştur. Her iki tarlada da MP partikül sayısının fazla olduğu görülmektedir. Yapılan analizler sonucu ekstrakte edilen örneklerde makroplastik (>25-100 mm) tespit edilmemiştir.



Şekil 4. Örnekleme yapılan noktalara ait plastiklerin oransal dağılımı

Bu çalışmada <5 mm MP partiküller baskın olarak bulunmuştur ve partikül boyutu arttıkça boyut dağılımının yüzdesi azalmıştır (Şekil 4). Bu, diğer faktörlerin yanı sıra mekanik aşınma, yüksek sıcaklıklar ve ultraviyole radyasyon ile büyük partiküllerin küçük partiküllere kademeli olarak parçalanmasına bağlanabilir (Song ve ark., 2017; Piehl ve ark., 2018). Farklı malç uygulama zamanlarında MP'lerin miktarlarındaki değişiklik esas olarak fiziksel, kimyasal, biyolojik ve yapay etkilerden dolayı film malçının zaman içinde devam eden hasarına ve bozulmasına bağlıdır (Horton ve ark., 2017). Tarlalarda kalan plastik malç materyalleri çeşitli etkenlerden dolayı bütünlüğünü kaybedebilir ve çeşitli boyutlarda daha küçük boyutlara kadar parçalanabilir, ve bazıları sonunda topraklarda MP partiküller oluşturmaktadır (Ramos ve ark., 2015; Steinmetz ve ark., 2016). Gündoğdu ve ark. (2022), plastik örtü ve sulama suyu borusu kullanımı sonucu topraktaki MP varlığını belirledikleri çalışmalarında; sera örtüsünden kaynaklanan plastiklerin ortalama boyutunun 18.9 ± 1.4 mm, tek kullanımlık sulama borularından kaynaklı plastik boyutunun ise 12.5 ± 3.5 mm olduğunu ve plastiklerin ortalama boyutunun 18.2 ± 1.3 mm olduğunu, ayrıca ekstrakte edilen plastiklerin %41.9'unun mikroplastik, %36.3'ünün mezoplastik, %16.3'ünün makroplastik ve %5.6'sının megaplastik olduğunu rapor etmişlerdir. Yürütülen bu çalışmada bulunan plastik partiküllerin boyut ve miktarları yapılan diğer çalışmalarla uyumludur.

ATR-FTIR ile tanımlanan plastikler

ATR-FTIR teknolojisi, tüm MP partiküllerin polimer tanımlamasını ayrı ayrı belirleyebilen ve böylece mikroskobun eksikliklerini çözebilen ATR modu ile donatılmış FTIR için optimize edilmiş bir teknolojidir (Khalid ve ark., 2021). Yapılan bu tanımlamalarla, her iki araziden elde edilen plastiklerin siyah, şeffaf beyaz ve mavi renklerinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra her iki arazide baskın plastik şekilleri fragment, film ve fiber olarak gözlemlenmiştir.

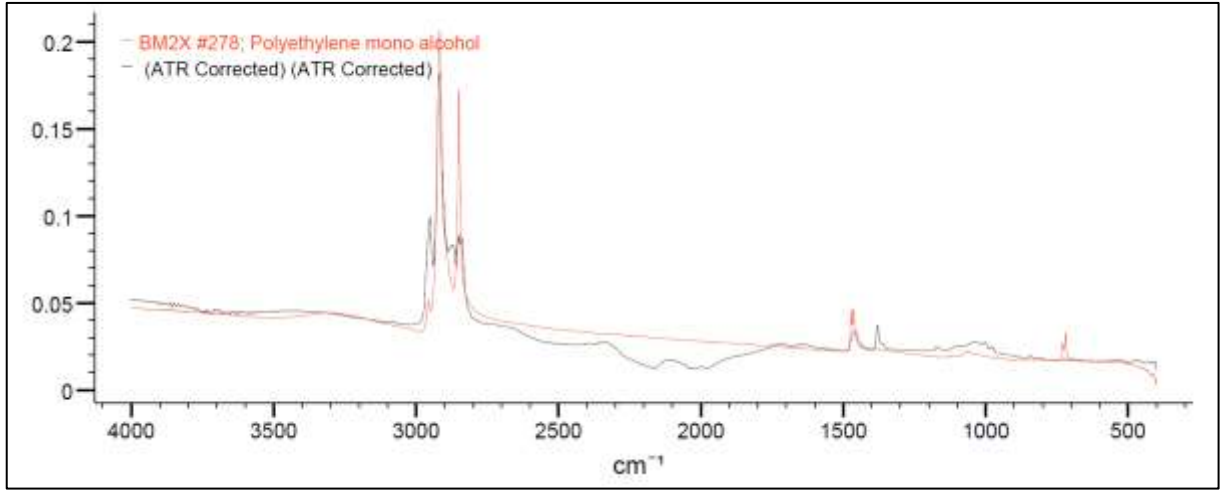


Şekil 5. H1 tarlasında belirlenen plastiklerin mikroskopik görüntüleri

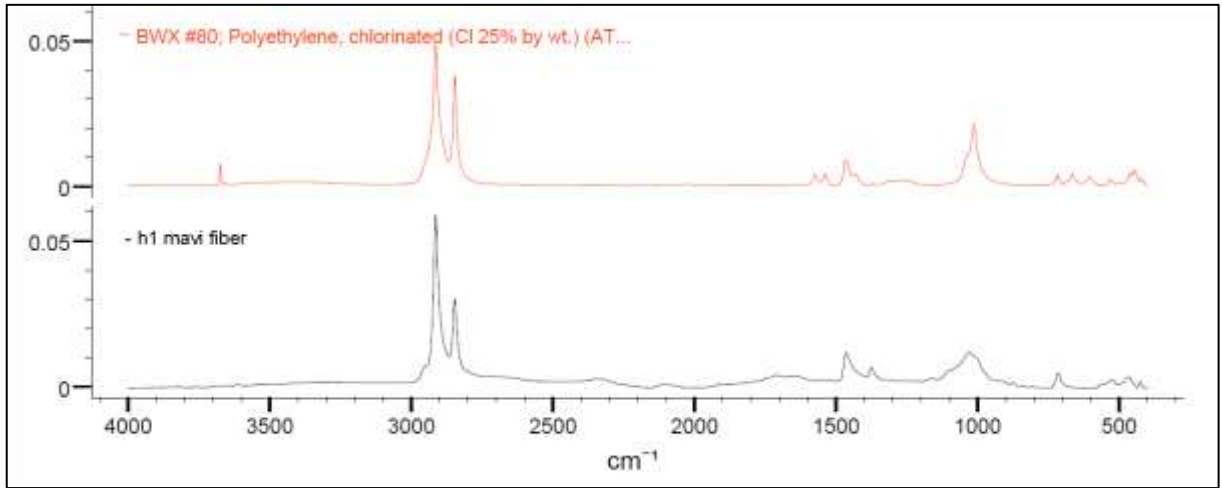


Şekil 6. H5 tarlasında belirlenen plastiklerin mikroskopik görüntüleri

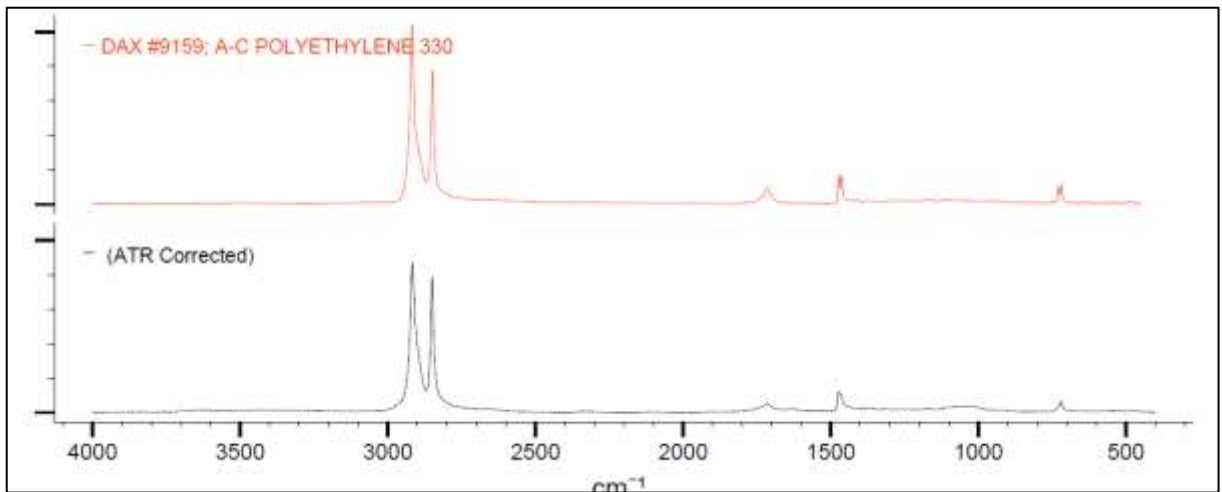
Polimerin bileşimini belirlemek için seçilen tüm partiküller Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR) kullanılarak analiz edilmiştir.



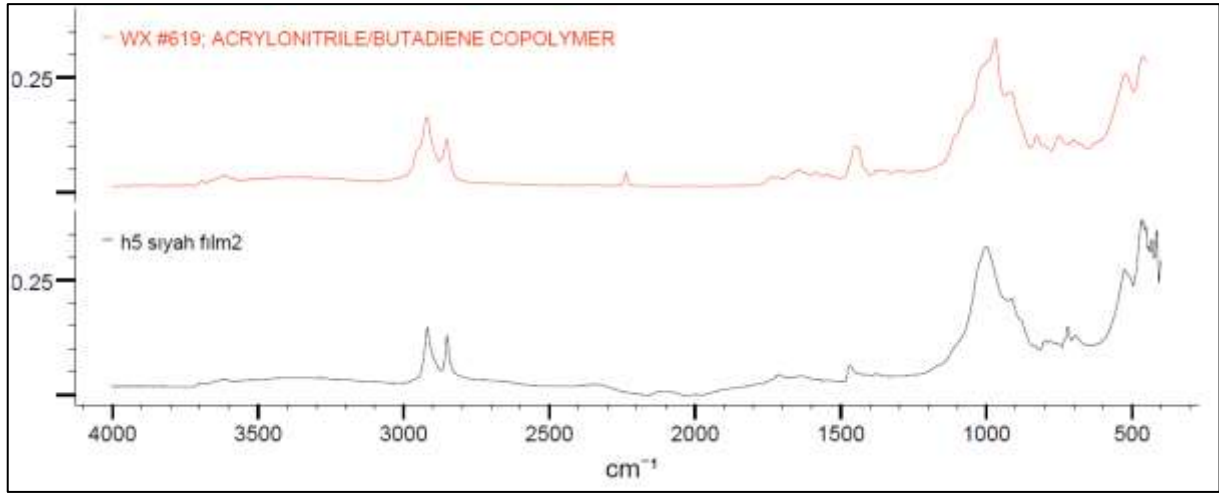
Şekil 7. H1 arazisinde şeffaf film (şekil 5C) olarak belirlenen mikroplastığın ATR-FTIR spektrumu



Şekil 8. H1 arazisinde mavi fiber (şekil 5A) olarak belirlenen mikroplastığın ATR-FTIR spektrumu



Şekil 9. H5 arazisinde şeffaf film (şekil 6B) olarak belirlenen mikroplastığın ATR-FTIR spektrumu



Şekil 10. H5 arazisinde siyah film (şekil 6C) olarak belirlenen mikroplastığın ATR-FTIR spektrumu

Toprak örneklerinden ekstrakte edilen MP'lerin ATR-FTIR karşılaştırmalı spektrumları Şekil 7, 8, 9 ve 10'da gösterildiği gibidir. Polietilenin kimyasal yapısı, $-CH_2$ fonksiyonel grupları için 2920 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} , 1463 cm^{-1} ve $729\text{-}719\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında meydana gelen tepe noktaları ile farklı spektral bantlar göstermektedir (Courtene-Jones ve ark., 2017; Shim ve ark., 2017). 2920 ve 2850 cm^{-1} 'deki tepe noktaları $-CH_2$ 'nin germe titreşimine, 1463 cm^{-1} 'deki tepe noktası $-C-H$ 'nin düzlem içi titreşimine ve $729\text{-}719\text{ cm}^{-1}$ 'deki $-C-H$ 'nin düzlem dışı titreşimine bağlanmıştır. Elde edilen tüm bu bant değerleri MP partiküllerinde gözlemlendiği için, tarım topraklarındaki MP'lerin PE'den oluştuğu söylenebilmektedir. Elde edilen H5 spektrumuna göre; siyah film MP partikülü, orijinal ABS (akrilonitril butadien stiren) olarak tanımlanmıştır (Şekil 8). H5 toprak örneğinde ABS bulunmasının sebebinin sulama borularından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde, Gündoğdu ve ark. (2022), sulama suyu borusu kullanımı sonucu topraktaki MP varlığını belirledikleri çalışmalarında; ekstrakte edilen siyah plastik partiküllerin sulama borularından kaynaklı ABS olduğunu belirtmişlerdir.

Malç filmlerin ana polimer bileşimi, tarımsal alanlarda yaygın olarak kullanılan plastik malçlama kalıntılarında kaynaklandığı varsayılan PE'dir (Liu ve ark., 2018; Piehl ve ark., 2018; Huang ve ark., 2020). Çünkü plastik malçlamada en yaygın olarak kullanılan polimer, PE, yüksek ve düşük yoğunluklu PE'dir (Bläsing ve Amelung, 2018). Plastik malçlamanın tarımdaki en önemli plastik kalıntı kaynaklarından biri olduğu tahmin edilmesine rağmen, konuyla ilgili nicel çalışmalar oldukça sınırlıdır (Huang ve ark., 2020).

Sonuç

Bu çalışmada, farklı yıllardan beri plastik malç (film) uygulaması yapılmış tarım topraklarında plastik birikim düzeyleri araştırılmıştır. Plastik malç materyalinin yıllara bağlı kullanımı sonucu arazide bulunan MP varlığını artırdığı, boyutlarının azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, plastik malç uygulamasının tarım arazilerindeki MP kaynaklarından birisi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bilindiği üzere, plastik malç filmlerinin tarım arazilerindeki uzun süreli kullanımı, toprakta plastik birikimine neden olmaktadır. Plastik malç materyalleri, toprakta kolayca bozunmayan bir malzeme olan polietilenden üretildiğinden, bu plastik kalıntıların birikmesi uzun süreli toprak kirliliğine neden olabilecektir. Tarımda malç kullanımının yetiştiricilik açısından faydaları olmasına rağmen, çevre açısından uzun dönem etkilerinin olumsuz olacağı, özellikle makro boyuttaki plastiklerin daha küçük plastiklere parçalanarak toprağı kirleteceği ve hatta besin zincirine girebilen mikro ve nanoplastiklere ayrışacağı akıldan çıkarılmamalıdır. Toprakta meydana gelen MP kirliliğini en aza indirmek için, hasattan sonra plastik malç materyallerini topraktan daha uygun bir şekilde çıkarmak için daha iyi yöntemler ve protokoller geliştirilmelidir. Geleneksel plastik malç materyali kullanımına alternatif olarak hasattan sonra tarlalardan çıkarılması gerekmeyen biyolojik olarak bozunabilen malç materyallerinin üretilmesi ve farklı arazi koşullarında denenmesi konularında araştırmalar yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak, plastik materyallerin tarımda kullanım olanakları uygun stratejiler ile yönetim planlarına adapte edilmelidir.

Teşekkür

Bu araştırmada kullanılan cihazlar ve laboratuvar altyapısının kullanımına verdikleri katkılardan dolayı Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ne ve Merkez Laboratuvarı (ÇÜMERLAB)'na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akça MO, Ok, SS, 2021. Toprak ekosistemi üzerine mikroplastiklerin etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2): 79-91.
- Akça MO, Ok, SS, 2022. Visual detection of microplastics derived from plastic mulch in soil. *Ziraat Mühendisliği*, 375: 67-74.
- Astner AF, Hayes DG, O'Neill HO, Evans BR, Pingali SV, Urban VS, Young TM, 2019. Mechanical formation of micro- and nano-plastic materials for environmental studies in agricultural ecosystems. *Sci. Total Environ.* 685: 1097-1106.
- Aytan U, Valente A, Senturk Y, Usta R, Esensoy Sahin FB, Mazlum RE, Agirbas E, 2016. First evaluation of neustonic microplastics in Black Sea waters. *Mar. Environ. Res.* 119: 22-30.
- Beriot N, Peek J, Zornoza R, Geissen V, Lwanga EH, 2021. Low density microplastics detected in sheep faeces and soil: a case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. *Sci. Total Environ.* 755: 142653.
- Bläsing M, Amelung W, 2018. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Sci. Total Environ.* 612: 422-435.
- Boughattas I, Hattab S, Zitouni N, Mkhinini M, Missawi O, Bousserrhine N, Banni M, 2021. Assessing the presence of microplastic particles in Tunisian agriculture soils and their potential toxicity effects using *Eisenia andrei* as bioindicator. *Sci. Total Environ.* 796: 148959.
- Briassoulis D, Babou E, Hiskakis M, Kyrikou I, 2015a. Analysis of long-term degradation behaviour of polyethylene mulching films with pro-oxidants under real cultivation and soil burial conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22: 2584-2598.
- Briassoulis D, Babou E, Hiskakis M, Kyrikou I, 2015b. Degradation in soil behavior of artificially aged polyethylene films with pro-oxidants. *J. Appl. Polym. Sci.* 132: 42289-42308.
- Briassoulis D, Hiskakis M, Scarascia G, Picuno P, Delgado C, Dejean C, 2010. Labeling scheme for agricultural plastic wastes in Europe. *Qual. Assur. Saf. Crop. Foods.* 2: 93-104.
- Claessens M, Van Cauwenberghe L, Vandegehuchte MB, Janssen CR, 2013. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Mar. Pollut. Bull.* 70: 227-233.
- Courtene-Jones W, Quinn B, Murphy F, Gary SF, Narayanaswamy BE, 2017. Optimisation of enzymatic digestion and validation of specimen preservation methods for the analysis of ingested microplastics. *Anal. Methods-UK.* 9: 1437-1445.
- Çatalbaş F, 2017. Investigation of microplastics presence in Salt Lake salts. Master Thesis, Sakarya University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sakarya.
- de Souza Machado AA, Kloas W, Zarfl C, Hempel S, Rillig MC, 2018. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Glob. Chang. Biol.* 24: 1405-1416.
- Feng L, Dai J, Tian L, Zhang H, Li W, Dong H, 2017. Review of the technology for high-yielding and efficient cotton cultivation in the northwest inland cotton-growing region of China. *Field Crops Res.* 208: 18-26.
- Fischer EK, Paglialonga L, Czech E, Tamminga M, 2016. Microplastic pollution in lakes and Lake shoreline sediments - a case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy). *Environ. Pollut.* 213: 648-657.
- Gao H, Yan C, Liu Q, Ding W, Chen B, Li Z, 2019. Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 651: 484-492.
- GESAMP, 2019. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. *GESAMP Reports Stud.* 99: 130.
- Geyer R, Jambeckand JR, Law KL, 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3(7): e1700782.
- Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Pretty J, Robinson S, Thomas SM, Toulmin C. 2010. Food security: the challenge of feeding billion people. *Science* 327(5967):812-818.
- Gökdağ K. 2017. Microplastic pollution in seawater, sediment and gastrointestinal tract of fishes of the North-Eastern Mediterranean sea. Master Thesis, Institute of Marine Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Guo JJ, Huang XP, Xiang L, Wang YZ, Li YW, Li H, Cai QY, Mo CH, Wong MH, 2020. Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environ. Int.* 137: 105263.

- Gündoğdu S, 2017. High level of micro-plastic pollution in the Iskenderun Bay NE Levantine coast of Turkey. *EgeJFAS*, 34(4): 401-408.
- Gündoğdu S, Çevik C, 2017. Micro-and mesoplastics in northeast levantine coast of Turkey: the preliminary results from surface samples. *Mar. Pollut. Bull.* 118: 341–347.
- Gündoğdu S, Çevik C, Karaca S, 2017. Fouling assemblage of benthic plastic debris collected from Mersin Bay, NE Levantine coast of Turkey. *Mar. Pollut. Bull.* 124(1): 147-154.
- Gündoğdu R, Önder D, Gündoğdu S, Gwinnett C, 2022. Plastics derived from disposable greenhouse plastic films and irrigation pipes in agricultural soils: a case study from Turkey. *Environ. Sci. and Pollut. Res.* 1-11.
- Harms IK, Diekötter T, Troegel S, Lenz M, 2021. Amount distribution and composition of large microplastics in typical agricultural soils in Northern Germany. *Sci. Total Environ.* 758: 143615.
- He D, Luo Y, Lu S, Liu M, Song Y, Lei L, 2018. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends Anal. Chem.* 109: 163–172.
- Horton AA, Walton A, Spurgeon DJ, Lahive E, Svendsen C, 2017. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Sci. Total Environ.* 586: 127–141.
- Huang Y, Liu Q, Jia W, Yan C, Wang J, 2020. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environ. Pollut.* 260: 114096.
- Ioakeimidis C, Fotopoulou KN, Karapanagioti HK, Geraga M, Zeri C, Papathanassiou E, et al., 2016. The degradation potential of PET bottles in the marine environment: An ATR-FTIR based approach. *Sci. Rep.* 6: 23501.
- Iqbal S, Xu J, Allen SD, Khan S, Nadir S, Arif MS, Yasmeen T, 2020. Unraveling consequences of soil micro- and nano-plastic pollution on soil-plant system: implications for nitrogen (N) cycling and soil microbial activity. *Chemosphere* 260: 127578.
- Jiang XJ, Liu W, Wang E, Zhou T, Xin P, 2017. Residual plastic mulch fragments effects on soil physical properties and water flow behavior in the Minqin Oasis, northwestern China. *Soil Till. Res.* 166:100–107.
- Kader MA, Senge M, Mojid, MA, Ito K, 2017. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil Tillage Res.* 168: 155–166.
- Khalid N, Aqeel M, Noman A, Khan SM, Akhter N, 2021. Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments. *Environ. Pollut.* 290: 118104.
- Koutnik VS, Leonard J, Alkidim S, DePrima FJ, Ravi S, Hoek EMV, Mohanty SK, 2021. Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: global analysis and framework for transport modeling. *Environ. Pollut.* 274: 116552.
- Li XW, Chen LB, Mei QQ, Dong B, Dai XH, Ding GJ, Zeng EY, 2018. Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water Res.* 142: 75-85.
- Liu M, Lu S, Song Y, Lei L, Hu J, Lv W, Zhou W, Cao C, Shi H, Yang X, He D, 2018. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environ. Pollut.* 242: 855–862.
- Moine BL, Ferry X, 2019. Plasticulture: economy of resources. *Acta Hort.* 1252: 121–130.
- Piehl S, Leibner A, Loder MGJ, Dris R, Bogner C, Laforsch C, 2018. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Sci. Rep.* 8: 17950.
- PlasticsEurope, 2020. Plastics – The Facts 2020. AF Plastics the Facts–WEB–2020–ING FINAL. pdf.
- Qi R, Jones DL, Li Z, Liu Q, Yan C, 2020. Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Sci. Total Environ.* 703: 134722.
- Ramos L, Berenstein G, Hughes EA, Zalts A, Montserrat JM, 2015. Polyethylene film incorporation into the horticultural soil of small periurban production units in Argentina. *Sci. Total Environ.* 523: 74–81.
- Razza F, Guerrini S, Impallari F, 2019. How sustainable biodegradable and renewable mulch films are? A quantitative approach in the light of sustainable development goals. *Acta Hort.* 1252: 77-84.
- Rillig MC, Leifheit E, Lehmann J, 2021. Microplastic effects on carbon cycling processes in soils. *PLoS Biol.* 19: e3001130.
- Sharma MD, Elanjickal AI, Mankar JS, Krupadam RJ, 2020. Assessment of cancer risk of microplastics enriched with polycyclic aromatic hydrocarbons. *J. Hazard. Mater.* 398: 122994.
- Shim WJ, Hong SH, Eo SE, 2017. Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analy. Meth.* 9: 1384–1391.
- Song YK, Hong SH, Jang M, Han GM, Jung SW, Shim WJ 2017. Combined effects of UV exposure duration and mechanical abrasion on microplastic fragmentation by polymer type. *Environ. Sci. Technol.* 51: 4368–4376.

- Song YK, Hong SH, Jang M, Kang JH, Kwon OY, Han GM, Shim WJ, 2014. Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer. *Environ. Sci. Technol.* 48: 9014–9021.
- Steinmetz Z, Wollmann C, Schaefer M, Buchmann C, David J, Troeger J, Munoz K, Fror O, Schaumann GE, 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading shortterm agronomic benefits for long-term soil degradation? *Sci. Total Environ.* 550: 690–705.
- Tian X, Yang M, Guo Z, Chang C, Li J, Guo Z, Wang R, Li Q, Zou X, 2022. Plastic mulch film induced soil microplastic enrichment and its impact on wind-blown sand and dust. *Sci. Total Environ.* 813: 152490.
- Vianello A, Boldrin A, Guerriero P, Moschino V, Rella R, Sturaro A, Ros L.D, 2013. Microplastic particles in sediments of lagoon of Venice, Italy: first observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuar. Coast. Shelf S.* 130: 54–61.
- Wang J, Li JY, Liu ST, Li HY, Chen XC, Peng C, et al. 2021. Distinct microplastic distributions in soils of different land-use types: a case study of chinese farmlands. *Environ. Pollut.* 269: 116199.
- Weithmann N, Moeller JN, Loeder MGJ, Piehl S, Laforsch C, Freitag R, 2018. Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Sci. Adv.* 4: eaap8060.
- Wu PF, Tang YY, Dang M, Wang SQ, Jin HB, Liu YS, Jing H, Zheng CM, Yi SP, Cai ZW, 2020. Spatial-temporal distribution of microplastics in surface water and sediments of maozhou river within guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area. *Sci. Total Environ.* 717: 135187.
- Ya HB, Jiang B, Xing Y, Zhang T, Lv MJ, Wang X, 2021. Recent advances on ecological effects of microplastics on soil environment. *Sci. Total Environ.* 798: 149338.
- Yu L, Zhang JD, Liu Y, Chen LY, Tao S, Liu WX, 2020. Distribution characteristics of microplastics in agricultural soils from the largest vegetable production base in China. *Sci. Total Environ.* 756:143860.
- Zhang S, Liu X, Hao X, Wang J, Zhang Y, 2020. Distribution of low-density microplastics in the mollisol farmlands of northeast China. *Sci. Total Environ.* 708: 135091.
- Zhang, D. Liu HB, Hu, WL, Qin, XH, Ma, XW, Yan, CR, Wang, HY, 2016. The status and distribution characteristics of residualmulching film in Xinjiang, China. *J. Integr. Agr.* 15: 2639–2646.
- Zhou BY, Wang JQ, Zhang HB, Shi HH, Fei YF, Huang SY, et al. 2020a. Microplastics in agricultural soils on the coastal plain of Hangzhou Bay, east China: multiple sources other than plastic mulching film. *J. Hazard. Mater.* 388: 121814.
- Zhou YJ, Wang JX, Zou MM, Jia ZY, Zhou SL, Li Y, 2020b. Microplastics in soils: a review of methods, occurrence, fate, transport, ecological and environmental risks. *Sci. Total Environ.* 748: 141368.