



## Mikroplastiklerin marul bitkisinin (*Lactuca Sativa* L.) fizyolojik karakteristikleri ile toprak özellikleri üzerine etkisi

● Sonay SÖZÜDOĞRU OK<sup>1</sup>, ● Hanife AKÇA<sup>1</sup>, ● Mehmet Burak TAŞKIN<sup>1</sup>,  
● Kıymet Deniz YAĞCIOĞLU<sup>2</sup>, ● Muhittin Onur AKÇA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, Ankara

### Öz

Bu çalışmada, mikroplastiklerin (MP) marul bitkisi (*Lactuca sativa* L.) ve toprak özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, polipropilen (PP), polietilen (PE) ve polyester (PES) MP'leri farklı oranlarda (%0, %0.5, %1, %2) toprağa uygulanmıştır. Yapılan sera denemesi sonuçlarına göre, marul bitkilerinin yaş ağırlıkları kontrole (46.0 g) kıyasla %1 PP ve %2 PE uygulamalarında sırasıyla 53.4 ve 52.7g bulunmuştur. Kuru ağırlık üzerinde ise MP uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. %2 PE ve %0.5 PES uygulamaları ile toprak mikrobiyal biyokütle karbonu sırasıyla 58.7 mg C kg<sup>-1</sup> ve 52.3 mg C kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuş ve bu artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). XRF analizleri sonucunda, MP'lerin toprak üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için, %2 PE, %2 PP ve %2 PES ilaveleri ile yapılan "toprak+MP" deneylerinde yanma kaybı (LOI) değerleri incelenmiştir. Sonuçta, kontrol grubunda %6.58 olan LOI değerinin %2 PE ile %9.85, %2 PP ile %8.65 ve %2 PES ile %7.85 olduğu görülmüştür. Bu artışlar, MP'lerin topraklarda uçucu organik madde kaybını artırdığını ve toprağın kimyasında değişimlere yol açtığını göstermektedir. Mikroplastiklerin bitki fizyolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için, yaprak nispi nem içeriği (NNİ) ve yaprak su tutma kapasitesi (YSTK) gibi parametreler incelenmiştir. %0.5 PES uygulaması ile NNİ %90.5 olarak ölçülmüş ve bu değer kontrole göre önemli bir artış göstermiştir (p< 0.05). Ancak, YSTK ve bitki membran permeabilitesi (BMP) üzerindeki etkiler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Fenolojik gözlemler PES uygulamasında, sulamadan sonra PES'in toprak yüzeyine çıktığı ve marul yaprağının alt yüzeyine yapıştığı göstermiştir. Bu durum MP'lerin bitkisel ürünlerle gıda zincirine katıldığını; insanlar ve hayvanlar tarafından tüketilebileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, MP'lerin tarımsal ekosistemler üzerindeki potansiyel etkilerini daha iyi anlamak için farklı dozlarda ve farklı MP türleri ile daha detaylı araştırmalar yapılmalıdır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, MP kirliliğinin tarımsal ekosistemler üzerindeki potansiyel etkilerini ve bu etkilerin azaltılması için alınması gereken önlemleri ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak, marul, mikroplastik, XRF, mikrobiyal biyokütle, bitki fizyolojisi.

## The influence of microplastics on physiological characteristics of lettuce plant (*Lactuca Sativa* L.) and soil properties

### Abstract

This study investigated the effects of microplastics (MPs) on lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) and soil properties. The study involved the application of polypropylene (PP), polyethylene (PE), and polyester (PES) MPs to the soil at different rates (0%, 0.5%, 1%, 2%). According to the results of the greenhouse experiment, the fresh weight of lettuce plants increased by 53.4 g with 1% PP application and by 52.7 g with 2% PE application compared to the control (46.0 g). The effect of MP applications on dry weight was not statistically significant. The microbial biomass carbon in the soil was found to be 58.7 mg C kg<sup>-1</sup> with 2% PE and 52.3 mg C kg<sup>-1</sup> with 0.5% PES, and these increases were statistically significant (p< 0.05). As a result of XRF analyses, the loss on ignition (LOI) values were examined in "soil + MP" experiments with 2% PE, 2% PP, and 2% PES additives to better understand the effects of MPs on soil. It was found that the LOI value, which was 6.58% in the control group, was 9.85% with 2% PE, 8.65% with 2% PP, and 7.85% with 2% PES. These increases indicate that MPs contribute to the loss of organic matter in soils and lead to

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (312) 596 1188  
E-posta : moakca@ankara.edu.tr

Makale Türü: ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş Tarihi : 1 Ağustos 2024  
Kabul Tarihi : 11 Eylül 2024

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbdd.1526281

changes in soil chemistry. To evaluate the effects of MPs on plant physiology, parameters such as relative water content (RWC) and leaf water holding capacity (WHC) were examined. The RWC was measured at 90.5% with 0.5% PES application, showing a significant increase compared to the control ( $p < 0.05$ ). However, the effects on WHC and membrane permeability (MP) were not statistically significant. Phenological observations have shown that in the application of PES, after irrigation, PES surfaced on the soil and adhered to the underside of lettuce leaves. This indicates that MPs can enter the food chain through plant products and can be consumed by humans and animals. In conclusion, more detailed research should be conducted with different doses and types of MPs to better understand the potential impacts of MPs on agricultural ecosystems. The results of this study highlight the potential impacts of MP pollution on agricultural ecosystems and the measures needed to mitigate these effects.

**Keywords:** Soil, lettuce, microplastic, XRF, soil microbial biomass, plant physiology.

© 2024 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

## Giriş

Günümüzde en önemli çevre kirliliği sorunlarından birisi de çeşitli alanlarda kullanılan plastik atıkların küresel ölçekte ekosistemde yayılması ve birikmesidir (Akça ve Sözüdoğru Ok, 2021; Akça ve ark., 2022; Akça ve ark., 2024). Plastik kullanımının çok sayıda faydasına rağmen, yetersiz kullanım ömrü, yeniden kullanılabilirlik ve geri dönüşüm oranlarının düşük olması, tek kullanımlık plastik uygulamalarının fazla olması gibi nedenler atık düzeyindeki yüksekliğe, çevreye yayılmasına ve kirlilik sorununun oluşmasına neden olmuştur (Geyer ve ark., 2017). Buna karşın plastik kullanımından kaynaklanan en önemli sorun ise bunların ayrışmaya karşı son derece dayanıklı olmaları ve doğada parçalanmalarının son derece yavaş olmasıdır. Bugünkü durum doğanın en önemli ayrıştırıcıları olan mikroorganizmaların yapay olarak elde edilen bu materyalleri parçalayıcı enzimlerinin pek etkin/ya da çok az etkin olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla çoğu mikroplastiklerin (MP) biyolojik olarak parçalanması oldukça zordur.

Plastik atıklar fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler (ör. ultraviyole ışınlar, rüzgâr veya su erozyonu vb.) tarafından bozunabilir ve daha küçük parçacıklara bölünebilir, genellikle ortamda uzun yıllar kalmaktadır (Wright ve Kelly, 2017). Mikroplastikler, topraklara tarımsal plastik filmler, kompost, kaplı gübreler, arıtma suları, arıtma çamurları, fabrika artıkları, evsel atıklar (tekstil kaynaklı mikrofiberler), yüzey akışları gibi yollarla karışmaktadır (Piehl ve ark., 2018). Dünyanın farklı ülkelerindeki topraklarda (Avustralya, Çin, Şili ve İsviçre ve Türkiye gibi) çok sayıda MP tipi tanımlanmıştır. Ramos ve ark. (2015), tarımsal topraklarda kalıntı formunda polietilen plastik filmin (PE) tarımsal arazilerin yaklaşık %10'unda bulunduğunu bildirmiştir. Toprakta bulunan MP'ler çoğunlukla lif (fiber) ve parça (fragment) formlarında bulunmakta olup PE, Polipropilen (PP) ve Polyester (PES) çeşitleri daha yaygın görölmektedir (Fan ve ark., 2023).

Çin'de yapılan bir araştırmada çiftlik topraklarının yüzey ve yüzey altı topraklarında bulunan MP sayısı sırasıyla  $78.00 \pm 12.91$  ve  $62.50 \pm 12.97$  parçacık/kg olarak bulunmuştur. Bu MP'lerin boyutlarının 0.03–16 mm arasında, fiber (lif), film ve fragment şeklinde olduğu, PE (50.51%), PP (43.43%), PES (6.06%) çeşitlerinin hâkim olduğu belirtilmiştir (Liu ve ark., 2018). Topraktaki MP'ler, boyutuna, şekline, türüne ve miktarına bağlı olarak, toprağın agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi gibi fizikokimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (de Souza Machado vd. 2018). Mikroplastikler toprakta çatlakların oluşmasına neden olarak buharlaşmayı arttırmakta, toprağın nem içeriğini düşürmektedir (Wan vd, 2019). Yapılan çeşitli araştırmalar, MP'lerin karbon (C) ve azot (N) döngüsü, toprak mikrobiyal aktivitesi ve bitki besin maddelerinin bitki tarafından alınımı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur (Cao ve vd. 2017., Rilling, 2012). Ayrıca, bu MP'ler bitki verimini düşürmektedir (Boots ve ark., 2019). Yine, bir araştırmada Poliamid (PA) ve PE türü MP'lerin toprakta mikrobiyal aktivite üzerine önemli bir artışa neden olduğu, PMMA ve PES türü MP'lerin ise mikrobiyal aktiviteyi azalttığı bildirilmiştir (de Souza Machado ve ark., 2018), Bu nedenle MP'lerin toksikolojik özelliklerini anlamak için toprak ortamı üzerindeki etkilerini değerlendirmek hayati önem taşımaktadır.

Karasal ekosistemlerde, bitkilerin MP stresine maruz kaldığı ve bu durumun genel bitki büyümesini ve gelişimini etkilediği belirtilmektedir (Jia ve ark., 2023). Mikroplastik stresi (i) bitkinin fiziksel büyümesini, tohum kabuğundaki veya köklerdeki gözeneklerin tıkanması yoluyla su ve besin alınımı değiştirme ve (ii) mikroplastiklerin toprağı çatlatma etkilerinin artması nedeniyle kuraklığın oluşması ve verimliliğin azalması şeklinde etkileyebilmektedir. Mikroplastik stresi altında fizyolojik büyümede görölen azalma (i) aşırı reaktif oksijen türlerinin üretimi, (ii) yaprak ve kökte değişiklik, (iii) bozulmuş hormonal regölasyon, (iv) klorofil ve fotosentezde düşüşler yoluyla görölmektedir. Bu etkiler bitki türlerine, bitki dokularına, MP türüne ve MP dozuna bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca MP'lerin etkileri yapılarında bulunan farklı fonksiyonel gruplara ve parçacık büyüklüğüne bağlı olarak da değişim göstermektedir.

Önceleri yalnızca deniz organizmaları için bir tehlike olarak görülen MP'ler, kademeli ve kaçınılmaz bir şekilde besin zincirine sızarak insan sağlığını da etkileyen bir hal almıştır (Kutralam-Muniasamy ve ark., 2023). Son tahminlere göre insanların MP'lere maruz kalması yılda 74.000 ila 121.000 parçacık arasında değişmektedir (Cox ve ark., 2019). Mikroplastikler, toprak mikrobiyal-bitki-hayvan ekosisteminin işlevini ve sağlığını tehdit etmekte, besin zinciri yoluyla insan vücuduna girebilmekte, karmaşık besin zincirleri aracılığıyla bazı hayvan ve bitkilerde bulunmakta olup insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır (Prata ve Dias-Pereira, 2023). Bu nedenle MP'ler ekolojik çevreyi tehdit eden yeni bir kirletici olarak değerlendirilmektedir.

Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar 150 µm'ye kadar küçük MP'lerin hücre zarından geçebildiğini ve organlara yerleşerek oksidatif stres de dahil olmak üzere birçok sağlık riski oluşturduğunu göstermiştir. Bu etkilerin başında inflamatuvar etkiler, çeşitli metabolik bozukluklar ve hücre deformasyonları gelmektedir (Wright ve Kelly, 2017; Rahman ve ark., 2021).

Mikroplastiklerin kan dolaşımı yoluyla tüm vücuda taşındığı ve MP'lerin varlığının dalak, karaciğer, kolon, akciğer, dışkı, plasenta, anne sütü vb. gibi 15 insan biyolojik bileşeninde bulunduğu belirlenmiştir. Yüksek içeriğe sahip organlar kolon (28,1 parçacık/g) ve karaciğerdir (4,6 parçacık/g). Tespit edilen MP'lerin ana türleri PE, PET, PP, PS, PVC ve PC'dir (Kutralam-Muniasamy ve ark. 2023).

Toprakta MP birikiminin göz ardı edilemeyecek bir düzeye ulaştığı göz önüne alındığında (Makhdoumi ve ark., 2023), yenilebilir bitkiler tarafından MP'lerin daha yüksek oranda alınmasının insanlar için ciddi sağlık riskleri oluşturabileceğinden, MP kaynaklı toksik etkilerin bitkiler üzerinde incelenmesi önem taşımaktadır.

Marul dünyada en çok tüketilen ve farklı çeşitleri olan bir bitkidir. Mikroplastiklerin marul bitkisi üzerine etkilerini araştıran çalışmalar bulunmaktadır, ancak bu çalışmalarda daha çok tarımsal topraklarda bulunan LDPE ve PVC, gibi MP'lerle çalışılmıştır. Bu MP'ler farklı konsantrasyonlarda ve farklı şekillerde (yani parçalar, lifler) ele alınmıştır (Gao ve ark., 2021). Özellikle, farklı konsantrasyonlarda farklı şekillerde (yani parçalar, lifler) düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve PVC hedef MP'ler olarak kullanılmıştır. LDPE ve PVC, genellikle tarımsal topraklarda buldukları için kullanılmıştır (Hasan ve Jho, 2023). Birkaç güncel çalışma esas olarak PE dahil olmak üzere geleneksel MP'lere odaklanmıştır, MP'lerin marul bitkisinin gelişimi üzerindeki etkileri konusunda hala karşılaştırmalı araştırmalar eksiktir. Bu çalışmada, farklı boyut ve türdeki polipropilen (PP), Polietilen (PE) ve polyester (PES) olmak üzere üç farklı MP'nin yetiştirme ortamında bulunması halinde marul bitkisinin bazı fizyolojik özellikleri ile toprak özellikleri üzerine olası etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Araştırmada kullanılan toprak örneği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü deneme alanından (39° 57'44''K, 32° 51' 46''D) ve 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Toprak örneği laboratuvarda kurutulduktan sonra 2 mm'lik elekten elenerek temel analizler yapılmıştır. Ayrıca 4 mm'lik elekten elenen kısım sera denemesi için kullanılmıştır.

Toprak örneğinde fiziksel ve kimyasal özelliklerden; tekstür (Bouyoucos, 1951), toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) 1:2.5 toprak:su karışımında (Jackson, 1958), % kireç (CaCO<sub>3</sub>) (Hızalan ve Ünal 1966), % organik madde (Jackson, 1958), toplam N (Bremner, 1965), alınabilir P (Olsen ve ark. 1982), alınabilir K (Jackson, 1958) belirlenmiştir. Mikrobiyal Biyokütle Karbon (Cmic-SIR) analizi (Anderson ve Domsch, 1978) tarafından bildirildiği şekilde yapılmıştır. Ayrıca sera denemesi sonrası %2 MP uygulanmış toprak örneklerinde XRF (X ışını Floresans) analizleri yapılmıştır (PED-XRF; Spectro XLAB 2000) (Kadioğlu ve ark., 2009). Raman spektroskopisi ile mikroplastiklerin türleri belirlenmiştir (Crawford and Quinn, 2017)

Araştırmada MP'lerin uygulama dozu olarak % 0.5, %1 ve %2 olarak seçilmiştir. Wang ve ark. (2019b) insan faaliyetlerinden etkilenen topraktaki MP düzeylerinin ekstrem koşullar hariç toprak ağırlığının yalnızca >%0,1'i düzeyinde olabileceğini, yüksek dozların laboratuvar koşullarında kullanıldığını ve yüksek dozlardan elde edilen sonuçların düşük dozlarda oluşmayabileceğini belirtmiştir.

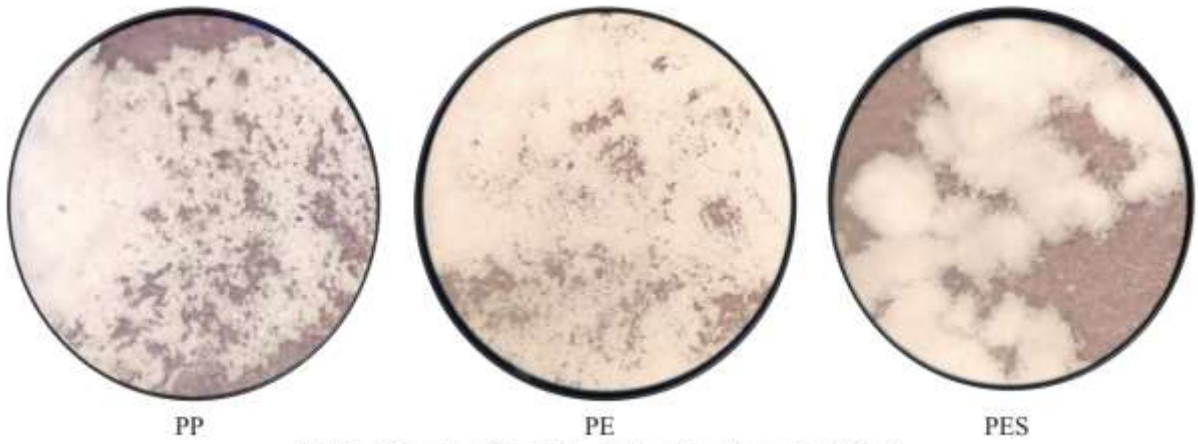
Denemede 3 farklı çeşit MP kullanılmıştır. Polietilen (PE) toz halinde ve 125 µm boyutunda, Polipropilen (PP) toz halinde ve 90 µm boyutunda, Polyester (PES) yumak (flock) halinde ve 250 µm boyutundadır. Plastiklerin laboratuvarlarda küçük boyutlara ayrılması güç ve teknik isteyen bir iş olduğu için yurt dışından ticari bir firmadan sağlanmıştır (<https://goonveanfibres.com>). Mikroplastiklerin özellikleri şu şekildedir: Polietilen, standart fiber (lif, elyaf); düşük sürtünme, elektrik yalıtımı, kimyasal ve solvent direnci, sıfır su emme, esneklik, darbe dayanımı ve direnci ve yorulmaya karşı direnç gibi birçok özellik gösteren bir

materyaldir. Bu nedenle, Őeffaf gıda ambalajları, alışveriş çantaları ve yakıt depoları gibi ürünlerde dünya çapında en çok kullanılan plastiktir. Polietilen, etilen monomerinin polimerizasyonundan elde edilir ve kimyasal formülü (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)n'dir. Nem kapsamı: % 0.0-0.1, erime noktası 124-136 °C, dağılım 0.95g/cm<sup>3</sup>. Polietilen toksik değildir ve gıda güvenliği onaylıdır, bu da liflerin gıda işleme parçaları ve tıbbi aletler için uygun olmasını sağlamaktadır.

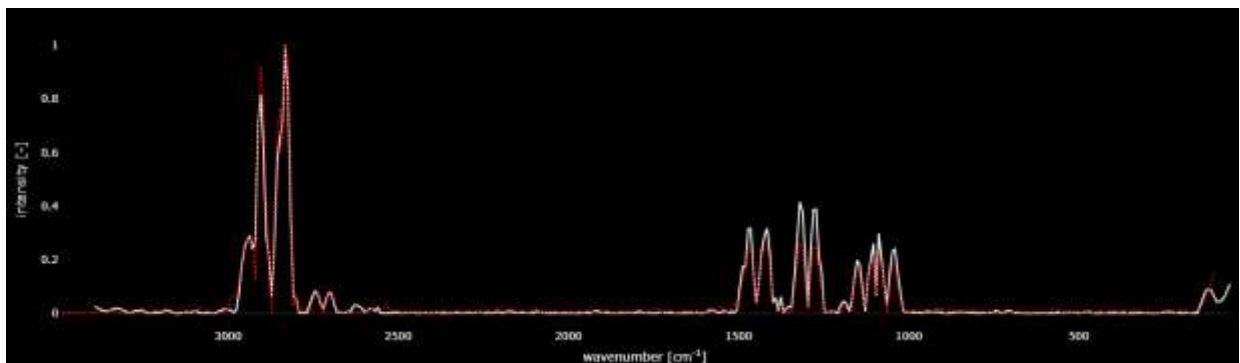
Polipropilen; halat, halı, döşeme ve giyim gibi ürünleri geliştirmek yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle "PP yumak" olarak adlandırılan PP tozu, dayanıklılık ve esneklik sağlamak için üretim sırasında malzemelere eklenmekte olup en çok güvenlik kağıtları ve kâğıt paraların üretiminde kullanılmaktadır. Yorulmaya karşı direnci, düşük erime noktası, geri dönüştürülebilirliği, düşük nem emilimi, yüksek stresli ortamlarda dayanıklılığı ve uygun fiyatı nedeniyle dünyadaki en popüler plastiklerden biridir. Polipropilen elyaflar çeşitli uygulamalar için uygundur. Ağırıklı olarak otomotiv endüstrisinde, ambalajda, modada, sporda ve tıpta kullanılmaktadırlar. C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> monomerine dayanan doğrusal bir yapıya sahiptir ve orijinal olarak propilen gazından üretilmiştir. Nem içeriği % <2, erime noktası °C 110 -170, yoğunluğu 0,90-0,91g/cm<sup>3</sup>'dir. Polyester, yumak(flok)/öğütölmüş polyester, polietilen tereftalat ve PET elyaf olarak da bilinir ve kumaş, ambalaj, kaplama, pil, takviye ve daha fazlasının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Polyester elyaf 1,6–12 mm uzunluktaki elyaflardan oluşmaktadır. Tekstil ürünleri, iplikler ve halatlar, emniyet kemerleri, plastik takviyeler, yalıtım ürünleri üretiminde ve müzik aletleri de dahil olmak üzere yüksek kaliteli ahşap ürünlerin kaplamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Giyim ve tekstil üretiminde dünyanın en popüler elyafıdır. Kimyasal yapısı, ağırlığının en az yüzde 85'i dihidrik alkol (HO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-OH) ve tereftalik asit (p-HOOC-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>COOH) esterinden oluşan uzun zincirli sentetik bir polimerdir.

Mikroplastiklerin binoköler mikroskop görüntüleri Şekil 1'de, kimyasal yapısını gösteren Raman spektrumları Şekil 2'de verilmiştir. Raman spektrumları cihazın kütüphanesindeki referans örneklerle tanımlanarak çeşitleri belirlenmiştir (Munno ve ark., 2020).

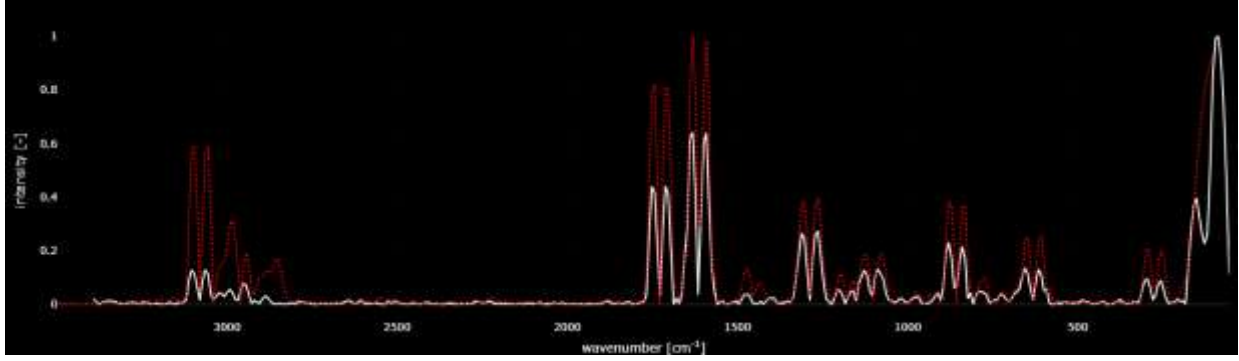
Mikroplastiklerin Raman spektrumları Şekil 2 a-b-c'de gösterilmiştir. Őekiller üzerindeki kırmızı pikler Raman Spektroskopisi Kütüphanesinden elde edilen pikleri, beyaz pikler ise materyale ait pikleri ifade etmektedir.



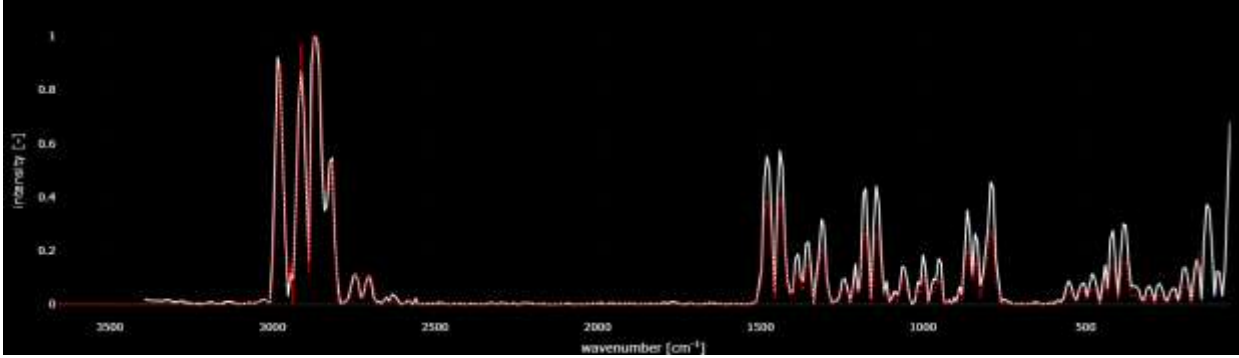
Şekil 1. Mikroplastiklerin binoköler mikroskop görüntüleri



Şekil 2a. Raman PES spektrumu



Şekil 2b. Raman PE spektrumu



Şekil 2c. Raman PP spektrumu

## Sera Denemesi

Sera denemesinde her bir saksı için 400 gram hava kuru toprak örneği tartılmıştır. Mikroplastikler PE, PP ve PES'ten her biri % 0, % 0.5, % 1 ve % 2 oranlarında tartılarak bu toprak örneklerine ilave edilmiş ve mümkün olduğunca homojen dağılımın sağlanması için iyice karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışımlar 15x7 cm boyutlarındaki 500 g'lık saksılara doldurulmuştur. Denemede piyasada bulunması daha kolay olduğu için plastik saksı ve naylon torba kullanılmıştır. Bunlardan gelecek olası etkilerin kontrol uygulaması ile bertaraf edileceği varsayılmıştır. Daha sonra her bir saksıya 1 adet marul fidesi (*Lactuca sativa* L. cv. *Caipira*) dikilmiş ve temel gübreleme amacıyla N kaynağı olarak (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, P ve K kaynağı olarak KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> sırasıyla 100, 100 ve 125 mg/kg düzeyinde tüm saksılara verilmiştir. Topraklarda nem düzeyi tarla kapasitesinin %70'i oranında tutulacak şekilde bitkiler sulanmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bitkiler 12. hafta sonunda hasat edilmiştir. Bitkilerde fenolojik gözlem ve aşağıda belirtilen bazı fizyolojik analizler yapılmıştır.

## Bitki Analizleri

Toprak Üstü Yaş Ağırlık (g/bitki): Saksılardan hasat edilen bitki üst aksamlarının, su kaybetmelerine izin verilmeden, 0.001 grama duyarlı dijital terazide tartılarak yaş ağırlıkları g/bitki olarak belirlenmiştir.

Toprak Üstü Kuru Ağırlık (g/bitki): Kök boğazından kesilerek yaş ağırlıkları alınan bitki örneklerinin etüvde 70°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek kuru ağırlıklarının 0.001 grama duyarlı dijital terazide tartılarak bulunmuştur.

Nispi nem içeriği (NNİ): Hasat öncesinde bitkilerden alınan yaprak örnekleri önce hemen tartılarak yaş ağırlıkları (YA) belirlenmiştir, sonra örnekler 4 saat saf suda bekletilerek turgor haline getirilip tekrar tartılmıştır (TA). Tartım sonrası bu örnekler 60°C'de hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 24 saat kurutulup kuru ağırlıkları belirlendikten sonra aşağıda verilen eşitlik (I) yardımıyla yaprakların nispi nem içeriği hesaplanmıştır (Dhanda ve Sethi, 1998).

$$NNİ: [(YA-KA)/(TA-KA)] \times 100 \quad (I)$$

Bitkide yaprak su tutma kapasitesi (YSTK): Yaprak örnekleri tartılarak (Wd) verilen eşitlik (ii) yardımıyla yaprak su tutma kapasitesi belirlenmiştir (Clarke ve McCaig, 1982; Golestani ve Assad, 1998). (T2-T1) iki ölçümün yapıldığı zaman aralığını ifade etmektedir (2 saat).

$$\text{YSTK: } (W_0 - W_2) + (W_2 - W_4) + (W_4 - W_6) / 3 \times W_d \times (T_2 - T_1) \quad (\text{II})$$

(W<sub>0</sub>: örnekleme sonrası ilk tartım; W<sub>2</sub>: örnekleme sonrası 2. saat tartımı; W<sub>4</sub>: örnekleme sonrası 4. saat tartımı; W<sub>6</sub>: örnekleme sonrası 6. saat tartımı)

Bitkide membran permeabilitesi (BMP): Hasat öncesinde alınan yaprak örnekleri (0.1 g) önce musluk suyu ile daha sonra saf su ile yıkanmıştır. Daha sonra bitki örnekleri 10 ml saf su içerisinde 40°C'de 30 dakika bekletilip çözeltinin EC'si ölçülmüştür (C<sub>1</sub>), ikinci aşamada su banyosunda 100°C'de 10 dakika daha bekletilen örnekte EC tekrar ölçülerek (C<sub>2</sub>), verilen eşitlik (iii) ile hesaplanmıştır (Premchandra ve ark., 1990; Sairam, 1994).

$$\text{BMP (\%): } [1 - (C_1/C_2)] \times 100 \quad (\text{III})$$

### İstatistiksel analiz:

Uygulamalara bağlı olarak bitki ve toprak parametrelerindeki farklılıklar tesadüf parselleri deneme tertibinde OriginPro 2021 (OriginLab Inc., Northampton, MA, ABD) istatistik programı kullanılarak Tukey HSD testine göre (p<0,05) değerlendirilmiştir. Mikroplastik uygulamalarına bağlı olarak yanma kaybı eksilmesinin yönelimini belirlemek amacıyla temel bileşen analizi (PCA) yapılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

### Toprak özellikleri

Araştırmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan toprak killi tın bünyeli, hafif alkalın, tuzsuz, orta kireçlidir. Organik madde, azot ve fosfor içeriği düşük, potasyum kapsamı yüksektir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

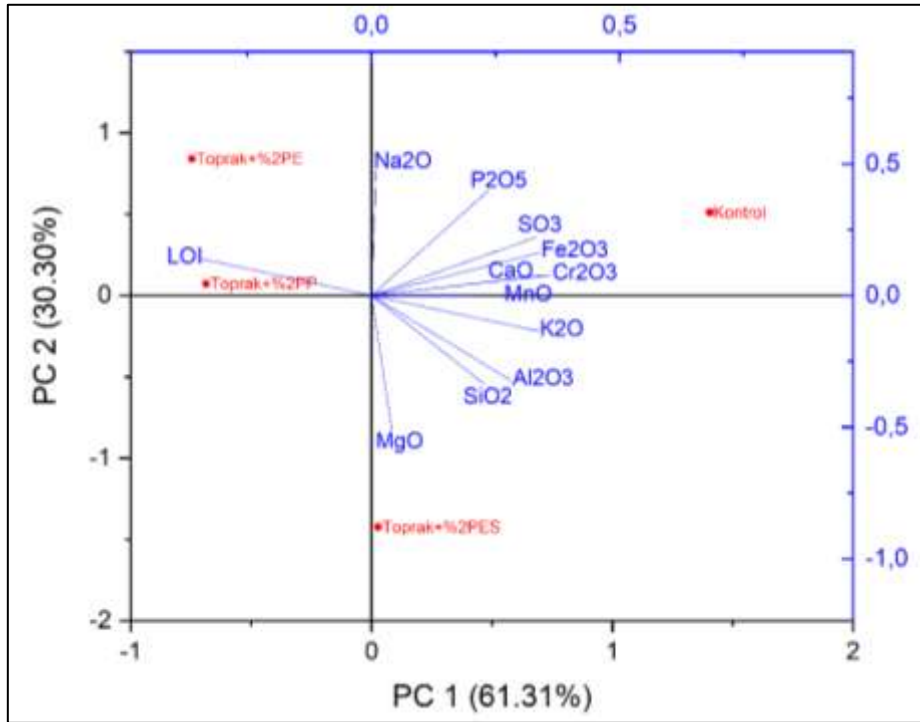
Özellikler	Sonuçlar
pH ( 1:2.5 toprak/su)	7.53
EC (1:2.5 toprak/su) dS m <sup>-1</sup>	0.46
Organik madde (g kg <sup>-1</sup> )	17.7
Kireç (g kg <sup>-1</sup> )	70.9
Tekstür	Killi tın
Toplam N (g kg <sup>-1</sup> )	0.60
P (NaHCO <sub>3</sub> ekstraksiyonu mg kg <sup>-1</sup> )	6.40
K (NH <sub>4</sub> OAc ekstraksiyonu mg kg <sup>-1</sup> )	1068

Deneme toprağının inorganik bileşimi hakkında bilgi edinmek amacıyla toplam bileşik ve element içerikleri kısa sürede sonuç vermesi nedeniyle XRF ile belirlenmiştir (Çizelge 2). Çizelgeden de görüldüğü gibi toprağın SiO<sub>2</sub> oranı yüksek olup (%59.8), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%14.6) CaO (%5.82), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%5.73) ve K<sub>2</sub>O (%2.09) şeklinde bir dağılım göstermektedir.

Çizelge 2. Toprak örneğinin XRF ile belirlenen kimyasal bileşimi

Toprak örneği			
Bileşikler	(%)	Elementler	ppm
Na <sub>2</sub> O	0.89	Co	33.9
MgO	2.46	Ni	66.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.6	Cu	37.5
SiO <sub>2</sub>	59.8	Zn	81.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.26	Ga	17,1
SO <sub>3</sub>	0.38	Ge	1.60
Cl	0.03	As	17.7
K <sub>2</sub> O	2.09	Se	0.30
CaO	5.82	Br	5.00
TiO <sub>2</sub>	0.86	Rb	65.8
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	Mo	3.30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	Cd	0.80
MnO	0.11	I	1.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.73	Ba	400
LOI	6.58	Hg	0.4
		Pb	29.3

XRF metodu ile toprakta kaydedilen yanma kaybı (LOI, Loss on Ignition) değerleri uçucu organik madde değerlerini göstermektedir. XRF analizi yapılarak yanma kaybı değerinden organik kısma etkisi olup olmadığına bakılmıştır. Deneme toprağında yanma kaybı değeri %6.58 olarak belirlenmiştir. Mikroplastiklerin toprakta organik uçucu bileşik kaybına dahil olup olmadıklarını görmek için % 2 PP, PE ve PES ilave edilen deneme saksılarından alınan örneklerde % yanma kaybı belirlemesi yapılmıştır. Deneme toprağında %6.58 iken, PP ilave edilmiş toprakta %8.65, PE ilave edilen toprakta %9.85 ve PES ilave edilen toprakta %7.85 bulunmuştur. Değerlerden de görüleceği üzere MP ilavesi ile yanma kaybında artışlar görülmüştür. Bu durum MP'lerin uçucu organik maddelerle birlikte yanarak topraktan uçucu organik madde kaybına katıldıklarını göstermektedir (Şekil 3). Bazı MP belirlemelerinde ısıtma yöntemi (130°C, 3–5 h) uygulanarak MP'lerin şekli, boyutu ve miktarları görsel olarak belirlenebilmektedir. Daha da önemlisi, bu yöntemin toprak organik maddesinden (OM) etkilenmediği, daha küçük parçacıkların (<100 µm) tanımlanmasını sağladığı, toprakta PE ve PP tayini için uygun olduğu belirtilmektedir (Zhang ve ark., 2018). Mikroplastik uygulamalarının %2 doz uygulanmış topraklarda XRF analizi sonucu bileşiklerdeki yanma kaybı eksilmesi üzerine etkiyi görebilmek için temel bileşen analizi (PCA) yapılmış ve elde edilen dağılımlar Şekil 3'de gösterilmiştir.



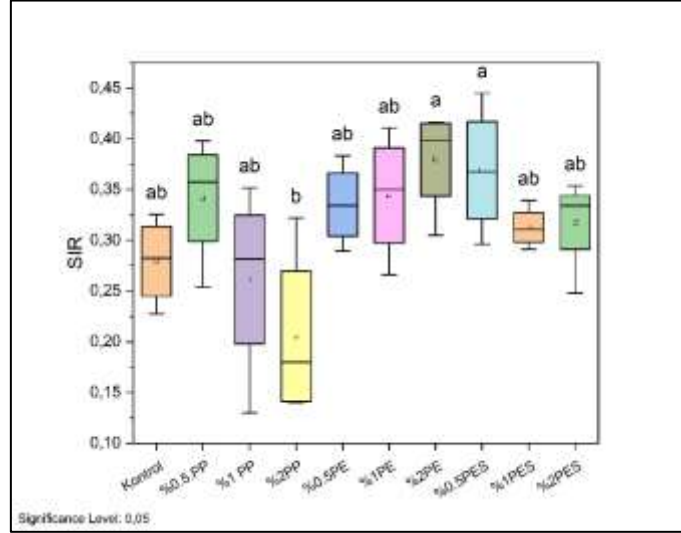
Şekil 3. Uygulamalara bağlı olarak LOI değerinin temel bileşen göstergesi

PCA analizinde elde edilen eigenvalue (özdeğer) değerlerine göre, birinci ana bileşen (PC1) toplam varyansın %61.31'ini (7.35729), ikinci ana bileşen (PC2) %30.30'unu (3.63568), ve üçüncü ana bileşen (PC3) %8.39'unu (1.00704) açıklamaktadır. Bu bileşenler toplam varyansın %100'ünü açıklamaktadır. PCA grafiğinde, LOI değer, "Toprak+%2PE" ve "Toprak+%2PP" uygulamalarıyla aynı yönelimi göstermektedir, bu da bu uygulamaların LOI üzerinde benzer etkiler yarattığını ve kimyasal bileşim açısından benzer özellikler taşıdığını göstermektedir. İlk iki bileşen (PC1 ve PC2) birlikte verinin %91.61'ini açıkladığı için, bu bileşenler LOI ve toprak uygulamaları arasındaki ilişkiyi büyük ölçüde temsil etmektedir (Şekil 3).

Toprak örneklerinde mikrobiyal biyokütle karbonu (Cmic-SIR) belirlenmiştir. Toprak mikrobiyal biyokütlesi (yaklaşık 10 µm'den daha küçük olan ve toprakta yaşayan organizmalar) organik maddenin çok küçük bir kısmını oluşturmasına rağmen organik maddeye göre çok daha dinamikdir, topraktaki değişimlere çok hızlı tepki vermektedir, diğer taraftan mikrobiyal biyokütlenin toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tepkisi ise nispeten çok yavaştır (Schloter ve ark., 2003; Babujia ve ark., 2010). Dolayısıyla toprak yönetiminden kaynaklanan mikrobiyal biyokütlerdeki ölçülebilir değişiklikler, toprak verimliliğinde meydana gelen değişiklikleri yansıtabilmektedir. Bu sebepten dolayı toprak verimliliğini belirlemede indeks olarak kullanılabilir.

Mikroplastığın tip ve doz uygulamalarının SIR değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). Uygulamalardan %2 PE ve %0.5 PES toprakların Cmic miktarı (SIR), %2 PP dozu ile

kıyaslandığında; daha yüksek Cmic değerlerine sahip olduğu görölmektedir (Şekil 4). Bazı mikroorganizmalar MP'lerin C'nunu hazır karbon kaynağı olarak kullanabilmektedir. Rillig ve ark. (2019) MP'lerdeki karbon ve diğer elementleri kullanabilen mikroorganizmaların ortamdaki diğer mikroorganizmalara göre daha fazla avantaja sahip olduğunu belirtmiştir. Yine bazı mikroorganizmaların hücre zarları oluşturmak için MP'lerdeki karbon atomlarını kullandıkları saptanmıştır (Rochman ve Hoellein, 2020). Bu araştırma sonuçlarından topraktaki mikrobiyal biyokütlenin MP çeşitlerinden ve dozundan etkilendiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 4. Mikroplastik uygulamalarına bağlı olarak mikrobiyal biyokütle karbonundaki değişimler

Cheng ve ark. (2021), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) MP'lerinin toprak bakteri çeşitliliği üzerinde etkilerini gözlemlemiş ve bu MP'lerin bakteri topluluğunun yapısını değiştirerek bakteri popölasyonunu azaltmaktan sorumlu olduğunu belirtmiştir. Mikroplastikler mikrobiyal işlevselliği arttırmış, toprak organik karbon kaybını hızlandırmıştır. Polietilen, mikrobiyal zenginliği önemli ölçüde azaltırken polipropilen bunu önemli ölçüde arttırmıştır (Li ve ark., 2023).

### Bitkide yaş ve kuru ağırlık

Fenolojik gözlemler MP uygulamalarının (PE, PES ve PP) bitki görünüşüne herhangi bir olumsuz etkide bulunmadığını göstermiştir. Sera denemesine ait görünüm Şekil 5'de verilmiştir.

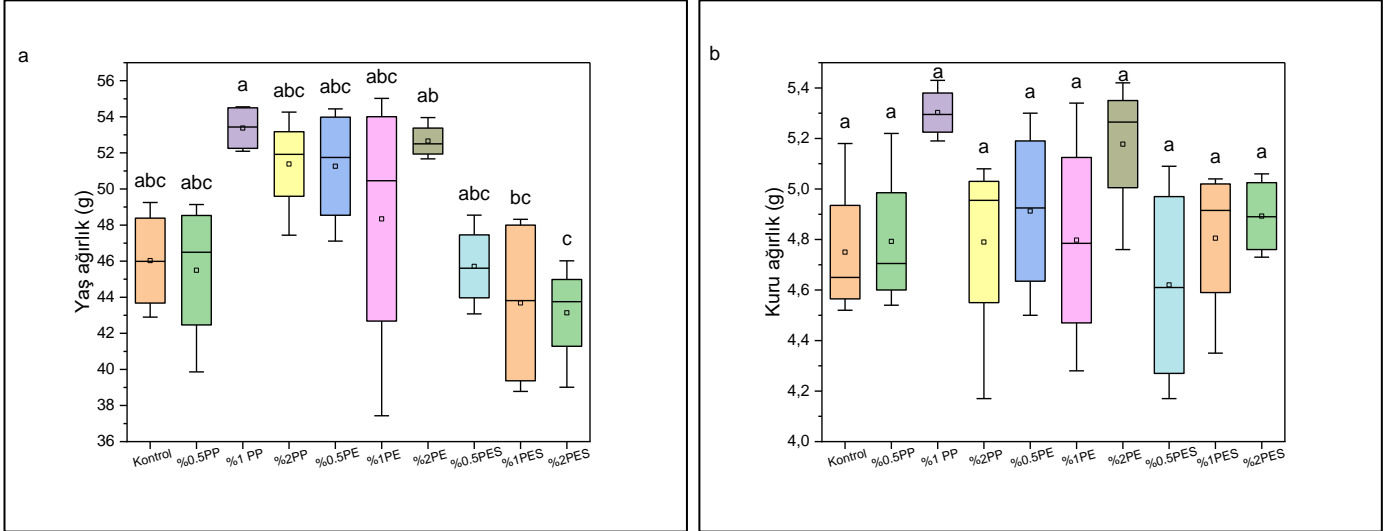


Şekil 5. Sera denemesinin görünümü

Hasat edilen bitkilerde yaş ve kuru ağırlık sonuçları Şekil 6a-b'de verilmiştir. Bitkinin yaş ağırlıkları üzerine MP uygulamalarının etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Kontrol uygulaması (46.0 g) ile karşılaştırıldığında %1 PP (53.4 g) ve %2 PE (52.7 g) uygulamalarında önemli oranda yüksek yaş ağırlık değerleri belirlenmiştir. Bu durum MP'lerin, çeşidine bağlı olarak, toprakta buharlaşmaya engel teşkil ederek toprak nem seviyelerinde artışa neden olduğu şeklinde yorumlanabilir (Qin ve ark., 2015). Mikroplastik uygulamaları bitki kuru ağırlığı üzerine önemli bir etkide bulunmazken ( $p > 0.05$ ), yaş ağırlıkta olduğu gibi



%1 PP ve %2 PE uygulamaları ile daha yüksek kuru ağrılık değerlerine ulaşılmıştır (şekil 6a-b). Mikroplastiklerin %0.5'lik uygulamaları kontrol ile benzerlik göstermiş, istatistiksel bir fark bulunmamıştır. Polyester uygulamalarında kontrole göre artan doza bağlı olarak belirgin düşüşler gözlenmiş fakat bu düşüşler istatistiki açıdan önemli olmamıştır. Polyester günlük yaşamda su geçirme özelliği ile bilinir. Polipropilen ve PE bitkide su artışı sağlarken PES'de tersine bir durum izlenmiştir. Hasan ve Jho (2023), marul bitkisinin gelişimi üzerine düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)'in (parçacık ve lif) etkisini araştırdıkları çalışmada; uygulamanın %0'dan %3'e yükselmesi ile marul büyüme parametrelerinin olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir. Ortalama yarı çapı 40  $\mu\text{m}$  (26–100  $\mu\text{m}$ ) olan PE uygulamalarında 0.1 and 1% PE MP'lerin sürgün yaş ve kuru ağrılığını azalttığını belirtmişlerdir.



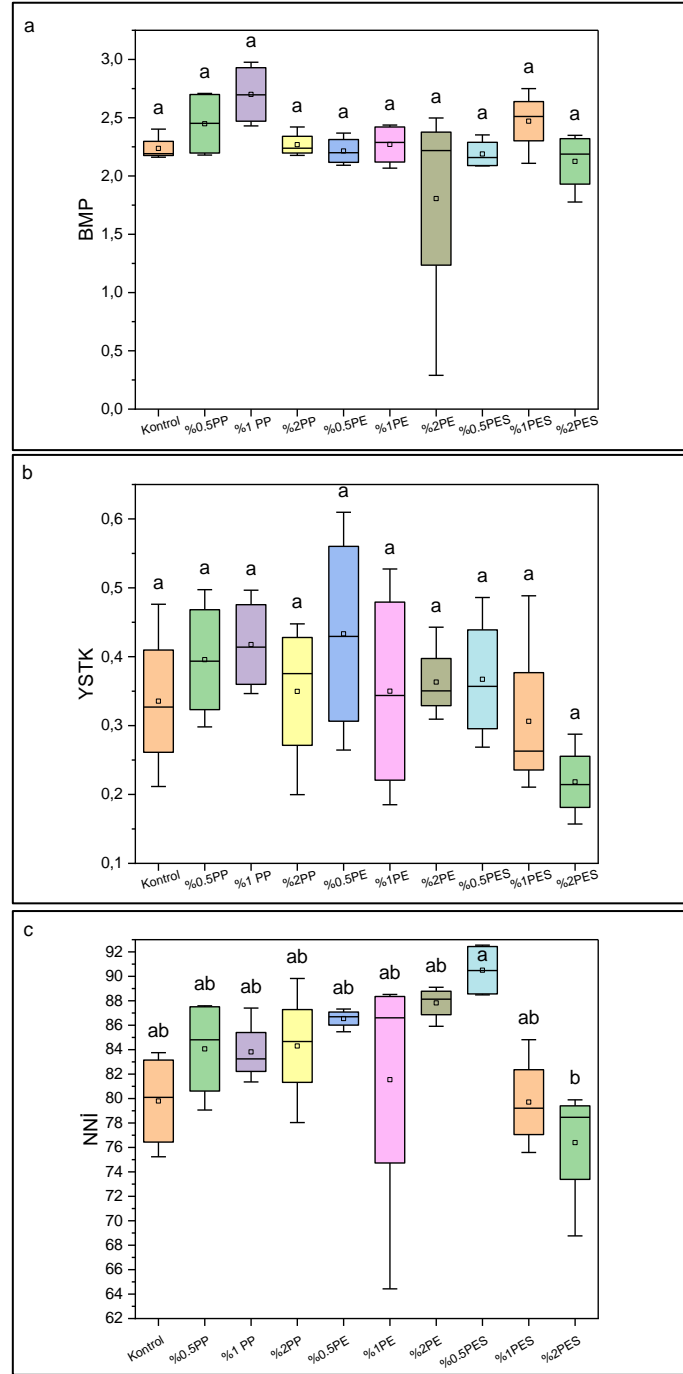
şekil 6. Mikroplastik uygulamalarına ait yaş ağrılık (a), kuru ağrılık (b)

Mikroplastik uygulamalarının bitkinin bazı morfolojik özellikleri üzerine etkileri şekil 7a-b-c' de verilmiştir. Bitki membran geçirgenliği üzerine MP uygulamalarının etkisi önemli olmasına rağmen, kontrole karşılaştırıldığında kaynaklar ve dozlarının bir farklılık oluşturmadağı saptanmıştır ( $p>0.05$ ). Yine yaprak su tutma kapasitesi üzerine uygulamaların herhangi bir etkisi olmamıştır ( $p>0.05$ ). Yaprak nispi nem içeriği üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuş olup, polyesterin %0.5 dozu (90.5 %) kontrole göre önemli oranda artış sağlayan tek uygulama olmuştur ( $p<0.05$ ).

Mikroplastik uygulamalarının marul bitkisinin fizyolojik özelliklerinden membran geçirgenliği (%), yaprak su tutma kapasitesi (%), yaprak nispi nem içeriği (%) üzerine önemli etkide bulunmadığı saptanmıştır. Bu etkinin uygulama dozlarının düşük olmasıyla ilişkili olduğu düşünölmektedir. Diğer yandan PES uygulamasında toprak yüzeyinde sulamadan sonra PES'in toprak yüzeyine çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca marul yaprağının alt yüzeyine yapıştığı gözlenmiştir (şekil 8).

Diğer MP uygulamalarında ise bu durum gerek toprak yüzeyi ve gerekse bitki yapraklarında gözlenmemiştir. Burada PES'in yoğunluğunun ve yapısının etkili olduğu düşünölmektedir. Marulun alt yaprak yüzeylerine MP'nin yapışması besin zincirine girmesini hem kolaylaştırabilir hem de arttırabilir. Mikroplastığın boyutu küçöldükçe bu oran daha da artabilir. Bu bulgu son derece önem taşımaktadır. İnsanların günde en az bir öğün salata olarak marul tükettiği varsayılırsa MP'lerin insanlara ulaşmasının en kolay yolunun gıda olduğu görölmektedir.

Conti ve ark. (2020) piyasadan topladıkları çeşitli sebze ve meyvelerin üzerlerinde MP bulunup bulunmadığını araştırmışlar ve en fazla MP'nin elmada bulunduğunu Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi ile belirlemişlerdir. Marulda bulunan MP sayısı 50550 g/kuru ağrılık, boyutu ise ortalama 2,52 $\mu\text{m}$  (2,18–2,78) olarak saptanmış, bu rakamların elmada bulunandan daha düşük olduğu belirtilmiştir. Lizbon kentsel bahçelerinde yapılan bir çalışmada yetiştirilen marul bitkilerindeki MP içeriği, kırsal bir alanda yetiştirilen bitkilerle ve süpermarketlerden satın alınan örneklerle karşılaştırılmıştır. Mikroplastikler, tüm yıkanmış yapraklarda tespit edilmiş olup, ortalama seviyeler 6,3 $\pm$ 6,2 ile 29,4 $\pm$ 18,2 MP/g arasında değişmiştir. Yüksek trafik yoğunluğuna sahip alanlardaki kentsel bahçelerde yetiştirilen marullar daha yüksek MP seviyeleri göstermiştir (Canha ve ark., 2023).



Şekil 7. Mikroplastik uygulamalarına ait bitki membran geçirgenliği (a), yaprak su tutma kapasitesi (b), bitki nisbi nem içeriği (c)



Şekil 8. PES'in bitki yüzeyinde ve toprak yüzeyinde görünüşü

Diğer bir alışma MP'lerin marul yapraklarına yapıştığını ve yıkamanın, marul yaprağında tutulan MP'lerin sayısını azaltmada etkili olmasına rağmen, yapraktan tüm MP'lerin uzaklaştırılmasında başarısız olduğunu göstermiştir (Ellis, 2023). Yaprak makro yüzey morfolojisi ve tüm yaprak konturu, MP'lerin yapışmasını ve tutulmasını etkileyen faktörler olarak tanımlanmıştır zerine MP yapışmış marul yaprakları yıkamayla giderilse bile kk boyutta olanlar hala bitki yüzeyinde kalabilir ve yutma yolu ile insan, hayvan bünyesine girebilir. Yutma yolu ile MP'lerin besin zincirine girebileceği ve bu nedenle potansiyel olarak gıdaları kirletebileceği belirtilmektedir. İnsanların besin tknetimi ile MP'nin vücuda alımı gerçekleşmektedir. Mikroplastik parçacıkların yutulmasının sağlık üzerindeki kesin etkileri hala yaygın olarak bilinmemektedir ve konuyla ilgili araştırmalar artarak devam etmektedir (Weithmann ve ark., 2018).

Topraklarda ve sulama sularında bulunan MP'ler bitkilerle etkileşimde bulunmaktadır. Li ve ark. (2020) marulla yaptıkları bir çalışmada floresan etiketli polistiren (PS) MP'lerin (0,2 ve 1,0 m) bitki bünyesine alımını, birikimini ve translokasyonunu tespit etmişlerdir. Konfokal elektron mikroskopla yapılan gözlemler mikrobuncukların 1,0 m'lik olanlarının bitki tarafından alınamayacak kadar büyük olduğunu ancak 0,2 m'lik mikrobuncukların bitkiye kök başlığı, kök korteksi ve damar sistemi yoluyla girdiğini göstermiştir. Buncuklar merkezi silindire ulaştıktan sonra damar sistemi yoluyla köklerden gövdelere ve yapraklara taşınmıştır. Araştırmacılar, buncukların apoplastik taşıma sistemi aracılığıyla hücreler arası boşluktan geçtiğini ve artan terlemenin parçacık alımını arttırdığını belirlemişlerdir. Kök ve gövde hücre içi boşluğunda PS buncukların birbirine yapışarak "zm benzeri" kümeler oluşturduğu, yaprak dokusunda ise dağılımın çok az veya topaklanma olmadığı belirtilmiştir.

## Sonuç

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin gıda güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerine ilaveten MP kirliliğinin de etkileri artık gözle görülür hale gelmiştir. Sonuç olarak MP'lerin çeşit, boyut ve miktarlarına bağlı olarak bitki ile etkileşimde olabileceği grlmektedir. Çevrede en çok rastlanan MP eşitlerinin- PE, PP ve PES-etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada PE ve PP'nin marulda yaş ağırlık artışı sağladığı belirlenmiştir. Mikrobiyal biyokütle aktivitesinde PE ve PES etkisi görülmüştür. Diğer yandan ise marul yapraklarının alt kısımlarına PES'in yapışması, marul gibi büyük yapraklı sebzelere MP'lerin yapışabileceği, ayrıca özellikle MP'lerin toprak altında yetişen ve gövdeleri tknetilen yumrulu bitkilerde de bulaşmaya neden olabileceği ve bu yolla insan ve hayvan beslenmesinde gıda zinciri yolu ile alınabileceğini göstermektedir. Yapılan çalışmalarda yıkamayla uzaklaşmadığı saptanan bu MP'lerin sağlık için tehdit unsuru olacağı açıktır. Özellikle atık çamur uygulanan, atık sularla sulanan yerlerde evsel kaynaklı çamaşır sularında giysilerden gelen PES miktarının bitki üzerinde etkili olabileceği, çamaşır makinelerinden kaynaklı mikro fiber salınımını önlemek için filtre kullanımı gibi öneriler gündeme gelmektedir. Aslında yenilebilir bitkilerin bu tür sularla sulanmasına müsaade edilmemekle birlikte su kıtlığı insanları her türlü kaynağı kullanmaya zorlamaktadır. Dolayısıyla plastik kullanımının azaltılmasına yönelik çalışmaların aciliyetinin önemi ortaya çıkmaktadır. Tarım topraklarında ve sularda belirlenen MP miktarları göz önüne alındığında bitkilerin daha yüksek dozda MP stresine maruz kalıp kalmadığının araştırılması için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

## Kaynaklar

- Akça MO, Sözüdoğru Ok S, 2021. Toprak Ekosistemi zerine 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.
- Akca MO, Gndoğdu S, Akca H, Delialioğlu RA, Aksit C, Turgay OC, Harada N, 2024. An evaluation on microplastic accumulations in Turkish soils under different land uses. Sci. Total Environ. 911:168609.
- Anderson JPE, Domsch KH, 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils, Soil Biol. Biochem. 10(3):215-221.
- Babujia LC, Hungria M, Franchini JC, Brookes PC, 2010. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage, Soil Biol. Biochem. 42(12):2174-2181. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.013>.
- Boot B, Russell CW, Green DS, 2019. Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground. Environ. Sci. Technol. 53(19):11496-11506.
- Bouyoucos GJ, 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal, 43(8):434-438.

- Bremner JM, 1965. Total nitrogen. In: Methods of soil analysis Part 2. Chemical and microbiological properties. Black, C.A. (ed.), Amer. Soc. Of Agron. Inc. Pub. Agron.Series. No: 9, Madison, Wisconsin, USA, pp. 1149-1178.
- Canha N, Jafarova M, Grifoni L et al. Microplastic contamination of lettuces grown in urban vegetable gardens in Lisbon (Portugal). *Sci. Rep.* 13:14278. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40840-z>
- Cao D, Wang X, Luo X, Liu G, Zheng H, 2017. Effects of polystyrene microplastics on the fitness of earthworms in an agricultural soil. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 61, No. 1, p. 012148). IOP Publishing.
- Cheng Y, Song W, Tian H, Zhang K, Li B, Du Z, Zhang W, Wang J, Wang J, Zhu L, (2021). The effects of high-density polyethylene and polypropylene microplastics on the soil and earthworm metaphire guillelmi gut microbiota. *Chemosphere*, 267:129219. DOI:10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.129219
- Clarke JM, Mccaig TN (1982). Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Science*, 22:503-506. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200030015x>
- Conti GO, Ferrante M, Banni M, Favara C, Nicolosi I, Cristaldi A, Fiore M, Zuccarello P, 2020. Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental Research* 187: 109677. ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109677>
- Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE, 2019. *Environ Sci Technol.* 53(12):7068-7074. DOI: 10.1021/acs.est.9b01517
- Crawford CB, Quinn B, 2017. 10 - Microplastic identification techniques, Editor (s): Crawford,C.B and B. Quinn, *Microplastic Pollutants*, Elsevier, 219-267, ISBN 9780128094068, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00010-4>.
- de Souza Machado AA, Kloas W, Zarfl C, Hempel S, Rillig MC, 2018. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Glob. Change Biol.* 24(4):1405-1416.
- Dhanda S, Sethi G, 1998. Inheritance of excised-leaf water loss and relative water content in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Euphytica*, 104:39-47. <https://doi.org/10.1023/A:1018644113378>
- Ellis RC, 2022. The potential impacts of microplastic contamination of lettuce plants on human health. MSc. Master of Science - MSc, University of Otago. New Zealand.
- Fan W, Chunsheng Q, Qian Q, Xiangang H, Li M, Ziwei G, Xin T, 2023. Sources and identification of microplastics in soils, *Soil & Environmental Health*, 1(2):100019, mISSN 2949-9194, <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100019>.
- Gao H, Lin Y, Wei J, Zhang Y, Pan H, Ren M, Li J, Huang L, Zhang X, Huang Q, Shen H, 2021. A novel extraction protocol of nano-polystyrene from biological samples. *Sci. Total Environ.* 790:148085. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.14808.
- Geyer R, Jambeck J, Law LK, 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3:7.
- Golestani AS, Assad MT, 1998. Evaluation of four screening technique for drought resistance and their relationship to yield reduction ration in wheat. *Euphytica*, 13:293-299.
- Hasan Md M, Jho EH, 2023. Effect of different types and shapes of microplastics on the growth of lettuce. *Chem.* 339:139660.
- Hızalan E, Ünal H, 1966. Topraklarda önemli kimyasal analizler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 278. Ankara.
- Jackson ML, 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 498 p.
- Jia L, Liu L, Zhang Y, Fu W, Liu X, Wang Q, Tanveer M, Huang L, 2023. Microplastic stress in plants: effects on plant growth and their remediations. *Front. Plant Sci.* 14:1-21.
- Kadioğlu YK, Üstündağ Z, Deniz K, Yenikaya C, Erdoğan Y, 2009. XRF and raman characterization of antimonite. *Instrum Sci Technol.* 37:683-696 <https://doi.org/10.1080/10739140903252956>
- Kutralam-Muniasamy G, Shruti VC, Pérez-Guevara F, Roy PD, 2023 Microplastic diagnostics in humans: “The 3Ps” Progress, problems, and prospects. *Sci. Total Environ.* 15(856):159164.
- Li Y, Hou Y, Hou Q, Long M, Wang Z, Rillig MC, Liao Y, Yong T, 2023. Soil microbial community parameters affected by microplastics and other plastic residues. *Front Microbiol.* 12(14):1258606. doi: 10.3389/fmicb.2023.1258606. PMID: 37901816; PMCID: PMC10601715.
- Li Z, Li Q, Li R, Zhao Y, Geng J, Wang G. 2020. Physiological responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to microplastic pollution. *Env. Sci Pollut Res Int.* 27(24):30306-30314. doi:10.1007/s11356-020-09349-0
- 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.

- Makhdoumi P, Pirsahab M, Amin AA, Kianpour S, Hossini H, 2023. Microplastic pollution in table salt and sugar: Occurrence, qualification and quantification and risk assessment. *J. Food Compos. Anal.* 119:105261.
- Munno K, de Frond H, O'Donnell B, Rochman CM, 2020. Increasing the accessibility for characterizing microplastics: introducing new application-based and spectral libraries of plastic particles (SLoPP and SLoPP-E). *Anal. Chem.* 92(3):2443-2451.
- Olsen SR, Sommers LE, 1982. Phosphorus, In: Page L A, Miller R H. Keeney D R, ed. *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp.539-579.
- Piehl S, Leibner A, Löder MGJ, Dris R, Bogner C, Laforsch C, 2018. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Sci. Rep.* 8:17950. doi: 10.1038/s41598-018-36172-y
- Prata JC, Dias-Pereira P, 2023. Microplastics in terrestrial domestic animals and human health: implications for food security and food safety and their role as sentinels. *Animals*, 13 (4):661. 10.3390/ani13040661
- Premchand GS, Sangroka T, Ogatta S, 1990. Cell membrane stability as indicators of drought tolerance as affected by applied nitrogen in soybean. *J Agric Sci.* 11:563–566.
- Qin W, Hu C, Oenema O, 2015. Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a meta-analysis. *Sci. Rep.* 5(1):16210.
- Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G., & Slobodnik, J. 2021. Potential human health risks due to environmental exposure to nano-and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Science of the Total Environment*, 757, 143872.
- 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.
- Rillig MC, 2012. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environ. Sci. Technol.*, 46(12):6453-6454.
- Rillig MC, Machado AAD, Lehmann A, Klumper U, 2019. Evolutionary implications of microplastics for soil biota. *Environ. Chem.* 16(1):3-7.
- Rochman CM, T Hoellein, 2020. The global odyssey of plastic pollution. *Science* 368(6496):1184-1185.
- Sairam RK, 1994. Effect of moisture stress on physiological activities of two contrasting wheat genotypes. *Indian J. Expt. Biol.* 32:594-597.
- Schlöter M, Dilly O, Munch J.C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. "Agriculture Ecosystem and Environment". 98:255-262.
- Wan Y, Wu C, Xue Q, Hui X, 2019. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. *Sci. Total Environ.* 654:576-582.
- Wang J, Coffin S, Sun C, Schlenk D, Gan J, 2019. Negligible effects of microplastics on animal fitness and HOC bioaccumulation in earthworm *Eisenia fetida* in soil. *Environ. Pollut.* 249:776–784.
- Weithmann N, Möller JN, Löder MG, Piehl S, Laforsch C, Freitag R, 2018. Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Sci. Adv.* 4(4):eaap8060.
- Wright SL, Kelly FJ, 2017. Plastic and human health: A micro issue? *Environ. Sci. Technol.* 51(12):6634-6647. doi: 10.1021/acs.est.7b00423