



مروری بر اثرات میکروپلاستیک‌ها بر آلودگی خاک: منشأ، رفتار و پیامدهای زیست‌محیطی

سارا واعظی^{۱*}، احمد گلچین^۲

۱- دانشجوی دکترای دانشگاه زنجان؛ * sara.vaezi@ut.ac.ir

۲- استاد دانشگاه زنجان

چکیده:

امروزه میکرو پلاستیک‌ها به عنوان یکی از جدی‌ترین آلودگی‌های محیط زیستی در عصر حاضر شناخته می‌شوند. این ذرات ریز که حاصل تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر یا تولید مستقیم هستند، به دلیل اندازه کوچک و وزن کم به راحتی در محیط پخش شده و وارد خاک، آب و هوا می‌شوند. میکرو پلاستیک‌ها با تغییر ساختار خاک، نفوذپذیری آن را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی در خاک می‌شوند. میکرو پلاستیک‌ها به دلیل سطح وسیع خود، مواد شیمیایی سمی و آلاینده‌ها را جذب کرده و در خود نگه می‌دارند. این مواد شیمیایی با ورود به زنجیره غذایی، سلامت انسان و سایر موجودات زنده را تهدید می‌کنند. میکرو پلاستیک‌ها می‌توانند بر جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک تأثیر گذاشته و تعادل اکولوژیکی خاک را بر هم بزنند. که همگی منجر به کاهش حاصلخیزی خاک و در نتیجه کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌شوند. این مقاله مروری، منشأ، رفتار و پیامدهای اکولوژیکی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های کشاورزی و خاک طبیعی را بررسی می‌کند. علاوه بر این، با بررسی تحقیقات داخلی و بین‌المللی، شکاف‌های موجود در علم شناسایی و پیشنهاداتی برای مسیرهای تحقیقاتی آینده ارائه می‌شود که به ارتقای روش‌های بهینه مدیریت خاک و افزایش آگاهی برای توسعه روش‌های پیشگیرانه در برابر آلودگی با میکروپلاستیک می‌انجامد.

واژگان کلیدی: میکرو پلاستیک، آلودگی خاک، آلودگی محیط زیست، حاصلخیزی خاک

مقدمه:

میکرو پلاستیک‌ها که ذرات پلاستیکی بسیار ریز با ابعاد کمتر از ۵ میلی‌متر می‌باشند بیشتر در خاک‌های کشاورزی یافت می‌شوند در مورد این که چگونه این ذرات ممکن است بر ساختار و عملکرد خاک تأثیر بگذارد، نگرانی‌هایی وجود دارد Yu و همکاران (2023) راه‌های ورود میکرو پلاستیک به خاک را این موارد بیان کردند: تجزیه تدریجی زباله‌های پلاستیکی در محیط، ورود میکرو پلاستیک‌ها از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی به خاک، مصرف برخی از کودهای شیمیایی، و انتقال میکرو پلاستیک‌ها از طریق هوا و رسوب آن‌ها بر روی خاک از جمله راه‌های ورود میکرو پلاستیک به خاک می‌باشند اثرات میکرو پلاستیک بر محیط زیست و انسان: ورود میکرو پلاستیک‌ها به خاک باعث آلودگی زنجیره غذایی و تهدید سلامت گیاهان، جانوران و انسان می‌شوند. میکرو پلاستیک‌ها می‌توانند بر چرخه کربن و نیتروژن در خاک تأثیر گذاشته و بر تغییر اقلیم جهانی مؤثر باشند. ورود میکرو پلاستیک‌ها به بدن انسان از طریق مصرف محصولات کشاورزی آلوده و آب آشامیدنی می‌تواند باعث بروز بیماری‌های مختلف شود. امروزه میکرو پلاستیک‌ها (MPs) به دلیل فراگیر بودن و دوام آن‌ها در محیط به عنوان نگرانی‌های زیست محیطی مورد بحث قرار می‌گیرند. از آنجایی که پلاستیک دارای انعطاف پذیری قوی، کارایی بالا و



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



دوام طولانی است، به طور فزاینده‌ای در تولیدات صنعتی، پزشکی، بسته بندی مواد غذایی، تولیدات کشاورزی و سایر زمینه‌ها در پاسخ به نیازهای رشد اقتصادی و اجتماعی محبوب شده است. این ذرات به دلیل اندازه کوچک و مقاومت بالای خود در برابر تجزیه، به راحتی در خاک باقی مانده و به چرخه‌های زیستی آسیب می‌رسانند (Ya et al., 2022; Verla et al., 2019).

تاکنون مطالعات پژوهشی چندانی در مورد تاثیر میکرو پلاستیک‌ها بر منابع زیستی در داخل کشور صورت نگرفته است اما در یک مطالعه صورت گرفته توسط محیطی و همکاران (۱۴۰۰) در مورد بررسی پراکندگی میکرو پلاستیک‌ها در رسوبات بستر منطقه ساحلی حاشیه جنوبی دریای خزر بعد از نمونه گیری از ایستگاه ساری مشاهده شد که میکرو پلاستیک با میانگین 20 ± 340 قطعه در کیلوگرم از رسوبات خشک بیشترین و از ایستگاه بندر ترکمن با $71/75 \pm 66/156$ قطعه در کیلوگرم دارای کمترین فراوانی میکرو پلاستیک بودند. اندازه میکرو پلاستیک‌ها $9/7-2/0$ میلی‌متر بود. میکرو پلاستیک‌های استخراج شده عمدتاً رشته‌ای بودند و میکرو پلاستیک‌های قطعه‌ای و فیلم هم مشاهده شدند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که توزیع فراوانی میکرو پلاستیک‌ها در این بررسی نوعی همبستگی با فعالیت‌های صنعتی و توریسم را نشان می‌دهد.

در تحقیقی که توسط وانگ و همکاران (۲۰۲۰) در مورد اثرات توأم آلودگی میکرو پلاستیک‌ها و کادمیوم بر رشد گیاه و تجمع کادمیوم صورت گرفت، از دو نوع میکرو پلاستیک HDPE (پلی اتیلن با چگالی بالا) و PS (پلی استایرن) با سایز ۱۵۴-۱۰۰ میکرومتر و با مقادیر ۰-۱٪، ۱-۱۰٪ (وزنی/وزنی) و کادمیوم با غلظت صفر و پنج میلی گرم در کیلوگرم خاک استفاده شد و مشخص شد که به طور کلی، اثرات بر رشد گیاه و تجمع کادمیوم با توجه به نوع MP و دوز آن متفاوت بود، و پلی استرین باعث مسمومیت قابل توجه در گیاه شد. در نتیجه، میکرو پلاستیک‌ها بطور همزمان می‌توانند زیست‌فراهمی Cd، عملکرد گیاه و صفات خاک را تغییر دهند.

در آزمایشی که لای و همکاران (۲۰۲۱) در مورد انتقال عمودی میکرو پلاستیک‌ها در پروفیل خاک توسط سیستم‌های ریشه محصولات کشاورزی انجام دادند از میکرو پلاستیک نوع پلی پروپیلن (که از همین نوع پلاستیک هم در مالچ فیلم‌های خاک در کشاورزی استفاده می‌شود) و برای مقایسه اثر شکل بر انتقال میکرو پلاستیک، از پلی پروپیلن گوی شکل هم استفاده شد. که با اندازه ۱-۲ میلی متر برای پلی پروپیلن و پلی اتیلن گوی شکل به ترتیب با چگالی $0/79 \pm 0/912$ و $0/877 \pm 0/009$ گرم بر سانتی متر مکعب بود. سه تیمار در شش تکرار شامل: ۵۰ پلی پروپیلن و خاک و دانه در یک گلدان- ۱۰۰ پلی پروپیلن و خاک و دانه در یک گلدان و تیمار کنترل: خاک، بدون پلاستیک و بدون دانه در گلدان دیگر استفاده شد، مشخص شد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد میکرو پلاستیک و ریشه‌های سوم چچم وجود دارد و این نشان‌دهنده قابلیت نگهداری میکرو پلاستیک در ریشه‌های ریز زراعی است. با توجه به نتایج مشاهده شد، بر خلاف انتقال میکرو پلاستیک به پایین ناشی از نفوذ آب و فعالیت‌های جانوری خاک، ریشه‌های گیاهی تمایل به حرکت میکرو پلاستیک‌ها به سمت بالا یا حفظ آن‌ها در لایه‌های خاک داشتند.

در تحقیق انجام شده توسط یانگ و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر میکرو پلاستیک‌های با منابع مختلف و با اندازه ذرات مختلف و میزان کاربرد متفاوت بر خواص خاک و رشد کلم چینی (*Brassica chinensis L*) از دو نوع میکرو پلاستیک HDPE (پلی



19th Iranian Soil Science Congress
20-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اتیلن با چگالی بالا) و GPPS (پلی استایرن عمومی) با اندازه‌های کوچکتر از ۲۵، ۴۸-۲۵، ۱۵۰-۴۸ و ۸۵۰-۱۵۰ میکرومتر با مقادیر به ترتیب ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم میکرو پلاستیک در کیلوگرم خاک و کنترل (بدون میکرو پلاستیک) استفاده شده بود. افزودن MP با افزایش میزان کاربرد و اندازه‌های مختلف همواره غلظت کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد. این پارامترها در مورد گیاه و خاک می‌توانند برای ارزیابی خطرات آلودگی MP در سیستم‌های خاک-گیاه مورد استفاده قرار گیرند. آن‌ها دریافتند که خطرات ناشی از آلودگی MP وابسته به نوع MP و وابسته به اندازه ذرات است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تجمع بیش از حد MP در کشاورزی ممکن است دارای یک خطر اکولوژیکی باشد و بر پایداری کشاورزی و ایمنی مواد غذایی تأثیر منفی بگذارد.

در آزمایشی لیان و همکاران (۲۰۲۲) اثرات میکرو پلاستیک‌های پلی اتیلن و پلی لاکتیک اسید بر رشد و عملکرد و جامعه باکتریایی گیاه سویا در خاک را ارزیابی کردند آن‌ها از میکرو پلاستیک‌های نوع پلی اتیلن با قطر بین ۲۰ تا ۵۰ میکرومتر بیضی شکل و پلی لاکتیک اسید با شکل‌های متفاوت با اندازه در محدوده ۲۰ تا ۶۰ میکرومتر استفاده کردند. پنج تیمار: ۱- بدون میکرو پلاستیک (کنترل) ۲- پلی اتیلن ۰/۱٪ (تیمار خاک با پلی اتیلن ۰/۱٪) ۳- پلی اتیلن ۱٪ (تیمار خاک با پلی اتیلن ۱٪) ۴- پلی لاکتیک اسید ۰/۱٪ (تیمار خاک با پلی لاکتیک اسید ۰/۱٪) ۵- پلی لاکتیک اسید ۱٪ (تیمار خاک با پلی لاکتیک اسید ۱٪) وجود داشت. این مطالعه نشان داد که پلی اتیلن هیچ اثر سمی آشکاری بر روی گیاه سویا نداشت، در حالی که ۰/۱٪ پلی لاکتیک اسید به طور قابل توجهی طول ریشه را کاهش داد. فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی سویا تغییر کرد روند متابولیسم برگ‌های گیاه به طور قابل توجهی با قرار گرفتن در معرض میکرو پلاستیک‌های مختلف تغییر کرد و یک اثر وابسته به دوز را می‌توان در تیمارهای پلی لاکتیک اسید مشاهده کرد. ۰/۱٪ پلی لاکتیک اسید تأثیر قابل توجهی بر شاخص های تنوع آلفای ریزوسفر داشت.

در آزمایشی که توسط داس و آلام (۲۰۲۴) برای بررسی اثرات خاک آلوده به میکرو پلاستیک بر رشد *Solanum lycopersicum L* (گوجه) انجام شد میکرو پلاستیک PP (پلی روپیلن) - PES (میکروفیبر پلی استر) + PA (پلی آمید) و ترکیب آن‌ها (PP+PES+PA) با اندازه ۴ میلی متر با مقادیر ۰/۴٪، ۱٪ و ۲٪ و در قالب طرح کامل تصادفی نسبت میکرو پلاستیک با خاک انجام شد. علاوه بر این، صفات فیزیولوژیک *S. lycopersicum* آشکار شد رشد بهینه در کشت های حاوی ۰/۴٪ MPs (PP، PES + PA، و PP + PES + PA) در مقایسه با گروه شاهد (۰٪ MPs) و بیشترین اثرات نامطلوب در کشت‌هایی با ۲٪ MPs مشاهده شد. بنابراین ثابت شد که قرار گرفتن طولانی مدت در معرض MPs در خاک می‌تواند به طور کامل مانع رشد گیاهان گوجه فرنگی شود و خواص خاک را نامناسب‌تر کند.

نتیجه‌گیری:

آلودگی خاک به میکرو پلاستیک‌ها به یکی از چالش‌های زیست‌محیطی بزرگ در دهه‌های اخیر تبدیل شده است. بیشتر مطالعات انجام‌شده تاکنون در محیط‌های کنترل‌شده آزمایشگاهی صورت گرفته‌اند که ممکن است واقعیت‌های پیچیده‌ی اکوسیستم‌های خاکی را به درستی نشان ندهند. در بسیاری از مناطق دنیا، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران،



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اطلاعات در مورد غلظت، ترکیب و توزیع میکروپلاستیک‌ها در خاک به شدت محدود است. بیشتر پژوهش‌ها تأثیرات کوتاه مدت میکروپلاستیک‌ها را بر ویژگی‌های خاک و زیست‌توده‌ی میکروبی بررسی کرده‌اند. با این حال، اثرات تجمعی و بلندمدت ورود مداوم این ذرات به خاک بر سلامت اکوسیستم و عملکرد بلندمدت خاک‌ها هنوز به درستی شناسایی نشده است. به ویژه اثرات احتمالی روی تنوع زیستی میکروبی، چرخه مواد مغذی، و مکانیسم تنظیمی خاک نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند ناقل آلاینده‌های شیمیایی مانند فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها، فتالات‌ها و دیگر ترکیبات سمی باشند. اما چگونگی این برهم‌کنش‌ها در خاک، در تعامل با ریزموجودات خاک، هنوز به خوبی مشخص نشده است. میکرو پلاستیک‌ها، که از تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر یا به طور مستقیم از طریق فعالیت‌های انسانی وارد محیط زیست می‌شوند، می‌توانند ساختار خاک را تغییر، حاصلخیزی آن را کاهش و فعالیت‌های میکروبی را مختل کنند در خاک باقی بمانند و اثرات منفی بر موجودات و سلامت اکوسیستم داشته باشند و باعث مشکلات زیست محیطی در همه جوانب می‌گردد، لذا یافتن راهی برای کاهش اثرات سوء این آلاینده‌ها در خاک و محیط زیست بمنظور حفظ حاصلخیزی خاک و امنیت غذایی امری اجتناب ناپذیر است.

فهرست منابع

- [1] محیطی، م.، ایمان پور، ن.، ستاری، م.، شکراله‌زاده طالشی، م.، (۱۴۰۰). بررسی آلودگی میکرو پلاستیک در رسوبات بستر ناحیه ساحلی جنوب دریای خزر. مجله علمی شیلات ایران، ۳۰(۶)، ۹۷-۱۱۰.
- [2] Das, E. J., & Alam, A. R. (2024). Effects of microplastics polluted soil on the growth of *Solanum lycopersicum* L. *Environmental Systems Research*, 13(1), 36
- [3] Li, H., Lu, X., Wang, S., Zheng, B., & Xu, Y. (2021). Vertical migration of microplastics along soil profile under different crop root systems. *Environmental Pollution*, 278, 116833.
- [4] Lian, Y., Liu, W., Shi, R., Zeb, A., Wang, Q., Li, J., Zheng, Z. and Tang, J., (2022). Effects of polyethylene and polylactic acid microplastics on plant growth and bacterial community in the soil. *Journal of Hazardous Materials*, 435, p.129057.
- [5] Verla, A.W., Enyoh, C.E., Verla, E.N., Nwarnorh, K.O., (2019). Microplastic-toxic chemical interaction: a review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Appl. Sci.* 1 (11). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1352-0>.
- [6] Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S., Adams, C. A., & Sun, Y. (2020). Effects of co-contamination of microplastics and Cd on plant growth and Cd accumulation. *Toxics*, 8(2), 36.
- [7] Ya, H., Xing, Y., Zhang, T., Lv, M., Jiang, B., (2022). LDPE microplastics affect soil microbial community and form a unique plastisphere on microplastics. *Appl. Soil Ecol.* 180, 104623. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104623>.
- [8] Yang, M., Huang, D. Y., Tian, Y. B., Zhu, Q. H., Zhang, Q., Zhu, H. H., & Xu, C. (2021). Influences of different source microplastics with different particle sizes and application rates on soil properties and



19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 222, 112480.

[⁹] Yu, Y., Battu, A.K., Varga, T., Denny, A.C., Zahid, T.M., Chowdhury, I., Flury, M., (2023). Minimal impacts of microplastics on soil physical properties under environmentally relevant concentrations. *Environ. Sci. Technol.* 57 (13), 5296–5304. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09822>.

A review of the effects of microplastics on soil pollution: origin, behavior, and environmental consequences

Sara Vaezi^{1*}, Ahmad Golchin²

- 1- *sara.vaezi@ut.ac.ir PhD student at university of Zanjan,
۲ -Professor at University of Zanjan

Abstract

Nowadays, microplastics are recognized as one of the most serious environmental pollutants of our time. These tiny particles, which are the result of the decomposition of larger plastics or direct production, are easily dispersed in the environment and enter the soil, water, and air due to their small size and low weight. Microplastics change the structure of the soil, reducing its permeability and, as a result, reducing the water and nutrient retention capacity of the soil. Due to their large surface area, microplastics absorb and retain toxic chemicals and pollutants. These chemicals threaten human health and other living organisms by entering the food chain. Microplastics can affect the population and activity of soil microorganisms and disrupt the ecological balance of the soil. All of which leads to a decrease in soil fertility and, as a result, a decrease in agricultural production. This review article examines the origin, behavior, and ecological consequences of microplastics in agricultural environments and natural soils. In addition, by reviewing domestic and international research, gaps in science are identified and suggestions for future research directions are provided that will lead to the promotion of optimal soil management methods and increase awareness for the development of preventive methods against microplastic pollution.

Keywords: Microplastic, Soil pollution, Environmental pollution, Soil fertility