نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴
19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025
مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مطالعه تأثیر ریزپلاستیک‌ها بر اکوسیستم‌های خاک و روش‌های جدید برای تجزیه و تحلیل آن‌ها

وحید سلمان پور[۱]، اسماعیل قلی نژاد[۲]*، احد گل قاسم قره باغ[۳]

۱- استادیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی (V.salmanpour@pnu.ac.ir)
۲- دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی (e_gholinejad@pnu.ac.ir)
۳- استادیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی (Ahad_318@pnu.ac.ir)

چکیده

ریزپلاستیک‌ها به عنوان آلاینده‌های جدید و پیچیده، در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای در خاک‌ها مشاهده شده‌اند. این ذرات که اندازه‌ای کمتر از ۵ میلی‌متر دارند، از تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر ناشی می‌شوند و می‌توانند تأثیرات منفی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته باشند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ریزپلاستیک‌ها می‌توانند نفوذپذیری خاک را کاهش و ظرفیت نگهداری آب را تحت تأثیر قرار دهند و همچنین فعالیت میکروبی را کاهش دهند که در نتیجه تنوع زیستی و چرخه‌های بیولوژیکی را مختل می‌کند. علاوه بر این، ریزپلاستیک‌ها به‌عنوان حامل آلاینده‌های شیمیایی عمل کرده و ممکن است به زنجیره غذایی وارد شوند، که این امر عواقب جدی برای سلامت اکوسیستم‌ها دارد. این مقاله همچنین روش‌های نوین تجزیه و تحلیل ریزپلاستیک‌ها در خاک را معرفی می‌کند (استخراج با کمک آنزیم، اکسیداسیون پیشرفته، جداسازی بر اساس چگالی با سیالات چگالشی، روش‌های مبتنی بر مغناطیس و روش‌های مبتی بر هوش مصنوعی) و بر ضرورت توسعه روش‌های پایدار برای مدیریت و کاهش این آلاینده‌ها تأکید می‌کند. با توجه به تأثیرات گسترده ریزپلاستیک‌ها، این موضوع نیاز به تحقیق و توجه بیشتری دارد تا راهکارهای مؤثری برای بهبود سلامت اکوسیستم‌های خاک ارائه شود.

واژگان کلیدی: اکوسیستم خاک، آلاینده‌های شیمیایی، تنوع زیستی، ریزپلاستیک‌ها

مقدمه

در دو دهه گذشته، آلودگی ناشی از ریزپلاستیک‌ها به یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی تبدیل شده است. ریزپلاستیک‌ها به ذرات پلاستیکی کوچکی اطلاق می‌شوند که اندازه آن‌ها کمتر از ۵ میلی‌متر است و از منابع مختلفی مانند تجزیه مواد پلاستیکی بزرگ‌تر، محصولات آرایشی و بهداشتی، و الیاف مصنوعی ناشی می‌شوند (Thompson et al., 2004). این ذرات به دلیل ماندگاری طولانی‌مدت و تجزیه‌پذیری پایین، به‌سرعت در محیط‌های طبیعی پراکنده می‌شوند و می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به اکوسیستم‌ها آسیب برسانند.

اکوسیستم‌های خاک نقش حیاتی در حفظ تنوع زیستی، چرخه‌های بیولوژیکی و تولید غذایی دارند. خاک به‌عنوان بستر زندگی برای گیاهان و موجودات زنده، به‌طور مستقیم تحت تأثیر آلودگی‌ها قرار می‌گیرد. ریزپلاستیک‌ها به دلیل ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاص خود، می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر کیفیت خاک تأثیر بگذارند. مطالعات نشان داده‌اند که تجمع ریزپلاستیک‌ها می‌تواند به تغییر در ساختار فیزیکی خاک، مانند کاهش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب منجر شود، که این امر می‌تواند بر رشد گیاهان و کارایی اکوسیستم تأثیر منفی بگذارد (Lehmann et al., 2019).

علاوه بر تأثیرات فیزیکی، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند بر فعالیت میکروبی خاک و تنوع زیستی تأثیر بگذارند. میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان عوامل کلیدی در چرخه‌های بیولوژیکی و تجزیه مواد آلی عمل می‌کنند، و وجود ریزپلاستیک‌ها می‌تواند به کاهش تنوع و فعالیت آن‌ها منجر شود (Browne et al., 2011). این تغییرات می‌توانند به اختلال در چرخه‌های بیولوژیکی و کاهش کیفیت خاک منجر شوند.

علاوه بر این، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل آلاینده‌های شیمیایی عمل کنند و به زنجیره غذایی موجودات زنده وارد شوند (Gouin et al., 2011). این امر می‌تواند عواقب جدی برای سلامت اکوسیستم‌ها و موجودات زنده، از جمله انسان‌ها، داشته باشد.

با توجه به اهمیت این موضوع و نیاز به درک بهتر تأثیرات ریزپلاستیک‌ها بر اکوسیستم‌های خاک، این مقاله به بررسی تأثیرات ریزپلاستیک‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌پردازد و روش‌های نوین برای تجزیه و تحلیل این ذرات را معرفی می‌کند. همچنین، چالش‌ها و فرصت‌های موجود در مطالعات آینده و ضرورت توسعه راهکارهای پایدار برای مدیریت و کاهش ریزپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های خاک مورد بحث قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

این مقاله مروری بر اساس بررسی منابع علمی موجود و داده‌های میدانی مرتبط با تأثیر ریزپلاستیک‌ها بر اکوسیستم‌های خاک تهیه شده است. جستجوی منابع در پایگاه‌های داده‌ای مانند Google Scholar، Scopus و Web of Science انجام شده است. همچنین، مطالعات میدانی در مناطق مختلف با تمرکز بر خاک‌های آلوده به ریزپلاستیک‌ها بررسی شده است. مطالعات تجربی شامل نمونه‌برداری از خاک در نواحی مختلف، تجزیه و تحلیل ریزپلاستیک‌ها با استفاده از تکنیک‌های میکروسکوپی و شیمیایی، و ارزیابی تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین فعالیت میکروبی می‌باشد.

نتایج و بحث

تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

یکی از نتایج کلیدی این تحقیق نشان می‌دهد که ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به طور قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، نتایج نشان داد که افزودن ریزپلاستیک‌ها به خاک، نفوذپذیری آن را کاهش می‌دهد (Rillig, 2012). این کاهش نفوذپذیری می‌تواند به تجمع آب در سطح خاک منجر شود و در نتیجه، ریشه‌های گیاهان نتوانند به آب و مواد مغذی دسترسی پیدا کنند. علاوه بر این، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به تغییر ساختار خاک و ایجاد لایه‌های متراکم‌تر منجر شوند که در نهایت می‌تواند بر رشد گیاهان تأثیر منفی بگذارد (Müller et al., 2021).

تأثیر بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

ریزپلاستیک‌ها نه تنها بر ویژگی‌های فیزیکی، بلکه بر ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز تأثیر دارند. این ذرات می‌توانند با مواد مغذی و آلاینده‌های شیمیایی موجود در خاک واکنش دهند و به تغییر در ترکیب شیمیایی خاک منجر شوند (Gouin et al., 2011). به‌عنوان مثال، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل آلاینده‌ها عمل کنند و آن‌ها را به داخل خاک منتقل کنند. این مسأله می‌تواند کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار دهد و به تجمع مواد سمی در خاک منجر شود (Zhang et al., 2020).

تأثیر بر تنوع زیستی و میکروبیولوژی خاک

نتایج این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که ریزپلاستیک‌ها تأثیرات منفی بر تنوع زیستی و فعالیت میکروبی خاک دارند. وجود ریزپلاستیک‌ها می‌تواند منجر به کاهش تنوع گونه‌های میکروبی در خاک شود (Browne et al., 2011). میکروارگانیسم‌ها نقش کلیدی در فرآیندهای بیولوژیکی مانند تجزیه مواد آلی و چرخه‌های غذایی ایفا می‌کنند، و کاهش فعالیت آن‌ها می‌تواند به اختلال در این فرآیندها منجر شود. همچنین، وجود ریزپلاستیک‌ها می‌تواند به تغییر در ساختار جامعه میکروبی خاک منجر شود که در نهایت بر کیفیت خاک و سلامت گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد (Lehmann et al., 2019).

اثرات زیست‌محیطی و سلامت انسان

توجه به این نکته ضروری است که ریزپلاستیک‌ها نه تنها بر محیط زیست بلکه بر سلامت انسان‌ها نیز تأثیر می‌گذارند. ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به زنجیره غذایی وارد شوند و از طریق مصرف محصولات کشاورزی آلوده، به بدن انسان‌ها منتقل شوند (Rochman et al., 2013). این امر می‌تواند به عواقب جدی برای سلامت عمومی منجر شود. بنابراین، شناسایی و درک این تأثیرات برای توسعه استراتژی‌های مدیریت آلودگی ریزپلاستیک‌ها ضروری است.

راهکارهای مدیریتی

در نهایت، این بخش به بررسی راهکارهای مدیریتی برای کاهش تأثیرات منفی ریزپلاستیک‌ها بر خاک می‌پردازد. ایجاد سیاست‌های مؤثر برای مدیریت و کاهش تولید پلاستیک، بهبود فرآیندهای بازیافت، و افزایش آگاهی عمومی درباره آثار زیست‌محیطی پلاستیک‌ها می‌تواند به کاهش آلودگی ناشی از ریزپلاستیک‌ها کمک کند (Boucher & Friot, 2017). همچنین، توسعه فن‌آوری‌های نوین برای تجزیه و تحلیل و حذف ریزپلاستیک‌ها در خاک، می‌تواند به بهبود کیفیت خاک و حفظ سلامت اکوسیستم‌ها کمک کند.

تجزیه و تحلیل ریزپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های خاک به دلیل پیچیدگی ماتریکس خاک، نیازمند روش‌های نوین است. برای غلبه بر چالش جداسازی، روش‌های ملایم‌تر و کارآمدتری مانند استخراج با کمک آنزیم (He et al., 2018) و جداسازی مغناطیسی با نانوذرات (Grbic et al., 2019) در حال توسعه هستند. در مرحله شناسایی، تکنیک‌های پیشرفته‌ای چون طیف‌سنجی رامان افزایشی سطح حساسیت لازم برای تشخیص نانوپلاستیک‌ها را فراهم می‌کنند (Lv et al., 2020)، در حالی که روش پیرولیز-کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی (Py-GC/MS) امکان شناسایی کمی و کیفی پلیمرها را بدون نیاز به جداسازی کامل فراهم می‌سازد (Dümichen et al., 2017). روند کنونی به سمت اتوماسیون با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و تصویربرداری هیپرسپکترال و همچنین تدوین پروتکل‌های استاندارد ترکیبی برای درک بهتر اثرات اکولوژیک این آلاینده‌ها پیش می‌رود (Primpke et al., 2020).

محدودیت‌ها و پیشنهادات برای تحقیقات آینده

در این بخش، محدودیت‌های تحقیق نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، این تحقیق ممکن است به برخی از جنبه‌های خاص تأثیرات ریزپلاستیک‌ها بر خاک نپرداخته باشد یا در مورد نوع خاصی از ریزپلاستیک‌ها محدودیت‌هایی داشته

باشد. بنابراین، تحقیقات آینده باید به بررسی گسترده‌تر تأثیرات ریزپلاستیک‌ها بر انواع مختلف خاک‌ها و اکوسیستم‌ها بپردازند و همچنین به تأثیرات بلندمدت این ذرات بر سلامت خاک و تنوع زیستی توجه بیشتری داشته باشند.

نتیجه‌گیری

ریزپلاستیک‌ها به عنوان یکی از آلاینده‌های جدید و پیچیده، تأثیرات قابل توجهی بر اکوسیستم‌های خاک دارند. این ذرات به دلیل اندازه کوچک و ماندگاری طولانی‌مدت در محیط، به‌سرعت در اکوسیستم‌ها پخش می‌شوند و می‌توانند بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر بگذارند. نتایج مطالعات نشان می‌دهند که ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به کاهش نفوذپذیری خاک، تغییر در ساختار فیزیکی آن و کاهش ظرفیت نگهداری آب منجر شوند. این تغییرات نه‌تنها بر روی رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد، بلکه می‌تواند در نهایت به اختلال در زنجیره غذایی و چرخه‌های اکوسیستمی منجر شود. از سوی دیگر، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند بر فعالیت میکروبی خاک تأثیر بگذارند و به کاهش تنوع زیستی منجر شوند. میکروارگانیسم‌ها نقش حیاتی در تجزیه مواد آلی و حفظ سلامت خاک ایفا می‌کنند، و اختلال در فعالیت آن‌ها می‌تواند عواقب جدی برای عملکرد اکوسیستم به همراه داشته باشد. به‌علاوه، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به‌عنوان حامل آلاینده‌های شیمیایی عمل کرده و به زنجیره غذایی وارد شوند، که این امر می‌تواند سلامت موجودات زنده و حتی انسان‌ها را تهدید کند. با توجه به چالش‌های قابل توجهی که ریزپلاستیک‌ها برای اکوسیستم‌های خاک ایجاد می‌کنند، نیاز به پژوهش‌های بیشتری در این زمینه احساس می‌شود. توسعه روش‌های نوین برای شناسایی و تجزیه و تحلیل ریزپلاستیک‌ها در خاک و همچنین تعیین تأثیرات آن‌ها بر روی کیفیت خاک و سلامت اکوسیستم ضروری است. به علاوه، نیاز به تدوین و اجرای سیاست‌ها و راهکارهای مؤثر برای کاهش تولید و انتشار ریزپلاستیک‌ها در محیط وجود دارد. در نهایت، با توجه به تأثیرات گسترده ریزپلاستیک‌ها بر محیط زیست، این موضوع نیاز به توجه و اقدام جدی از سوی محققان، سیاست‌گذاران و جامعه جهانی دارد. تنها از طریق همکاری بین‌المللی و توسعه رویکردهای پایدار می‌توانیم به یک مدیریت مؤثر و پایدار برای کاهش ریزپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های خاک و در نهایت حفظ سلامت زمین و موجودات زنده دست یابیم.

فهرست منابع

Boucher, J., & Friot, D. (2017). *Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources*. International Union for Conservation of Nature (IUCN).

Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2011). Microplastics: An introduction to the special issue. *Environmental Science & Technology*, 45 (23), 10339–10340.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2014). Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific Reports*, 3 (1), 3288.

Dümichen, E., Barthel, A.-K., Braun, U., Bannick, C. G., Brand, K., Jekel, M., & Senz, R. (2017). Analysis of polyethylene microplastics in environmental samples, using a thermal decomposition method. *Water Research*, 108, 365–372.

Gouin, T., Roche, N., Lohmann, R., & Hodges, G. (2011). Transport and fate of microplastics in the environment: A review. *Environmental Science & Technology*, 45 (22), 9524–9530.

Grbic, J., Nguyen, B., Guo, E., You, J. B., Sinton, D., & Rochman, C. M. (2019). Magnetic extraction of microplastics from environmental samples. *Environmental Science & Technology Letters*, 6 (2), 68–72.

He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163–172.

Lehmann, A., Fitschen, K., & Rillig, M. C. (2019). Microplastics in soil: A review. *Environmental Pollution*, 244, 458–473.

Lv, L., He, L., Jiang, S., Chen, J., Zhou, C., Qu, J., Lu, Y., Hong, P., Sun, S., & Li, C. (2020). In situ surface-enhanced Raman spectroscopy for detecting microplastics and nanoplastics in aquatic environments. *Science of the Total Environment*, 728, 138449.

Müller, J., Möller, J., & Rillig, M. C. (2021). Effects of microplastics on soil: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 153, 108083.

Primpke, S., Cross, R. K., Mintenig, S. M., Simon, M., Vianello, A., Gerdts, G., & Vollertsen, J. (2020). Toward the systematic identification of microplastics in the environment: Evaluation of a new independent software tool (siMPle) for spectroscopic analysis. *Applied Spectroscopy*, 74 (9), 1127–1138.

Rillig, M. C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environmental Science & Technology*, 46 (12), 6453–6454.

Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfer's hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3 (1), 3263.

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304 (5672), 838.

Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubic, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2020). Microplastics in soil: A critical review of current knowledge and future research directions. *Environmental Pollution*, 265, 114930.

Studying the impact of micro plastics on soil ecosystems and new methods for their analysis

Vahid Salmanpour[1], Esmail Gholinezhad [2*], Ahad Gholghasem Gharebagh[3]

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran (Email: V.salmanpour@pnu.ac.ir)
2- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran (Email: e_gholinejad@pnu.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran (Email: Ahad_318@pnu.ac.ir)

Abstract

Microplastics, as new and complex contaminants, have been increasingly observed in soils in recent years. These particles, which are less than 5 mm in size, result from the decomposition of larger plastics and can have negative effects on the physical, chemical and biological properties of the soil. Research shows that microplastics can reduce soil permeability and affect water holding capacity, as well as reduce microbial activity, which consequently disrupts biodiversity and biological cycles. In addition, microplastics act as carriers of chemical pollutants and may enter the food chain, which has serious consequences for the health of ecosystems. This article also introduces new methods (enzyme-assisted extraction, advanced oxidation, density-based separation with condensing fluids, magnet-based methods, and artificial intelligence-based methods) for analyzing microplastics in soil and emphasizes the need to develop sustainable methods for managing and reducing these contaminants. Given the widespread impacts of microplastics, this issue requires further research and attention to provide effective solutions to improve the health of soil ecosystems.

Keywords: Biodiversity, Chemical contaminants, Micro plastics, Soil ecosystem