19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

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

اثر میکروپلاستیک‌ها بر تنفس میکروبی و ماده آلی خاکهای لسی

سهیلا ابراهیمی[1*]، چارالامپوس دالگریس[2]، رقیه کریمپور[3]، واسیلیکی کینیگوپولو[4]

۱-دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران؛ * پست الکترونیکی:
Sohebrahimi@gmail.com
۲- پژوهشگر اصلی، مؤسسه منابع آب و خاک ، سازمان کشاورزی هلنیک دیمیترا، یونان
۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۴- همکار پژوهشی، مؤسسه منابع آب و خاک، سازمان کشاورزی هلنیک دیمیترا، یونان

چکیده

میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور، تأثیرات قابل توجهی بر اکوسیستم و عملکرد خاک دارند. این مطالعه به بررسی اثرات میکروپلاستیک‌های پلی‌اتیلن بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی سه نوع خاک لسی شمال ایران (سیلتی لوم، سیلتی رسی و سیلتی رسی لومی) در پنج غلظت مختلف (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ گرم در کیلوگرم خاک) طی چهار ماه پرداخت. خاک‌ها پس از مخلوط شدن با میکروپلاستیکها در شرایط کنترل شده نگهداری و در فواصل زمانی مختلف نمونه‌برداری شدند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت میکروپلاستیک‌ها، تنفس میکروبی و ماده آلی افزایش یافت. تأثیرات آنها بر خاکهای لسی، به‌طور قابل¬توجهی تحت تأثیر بافت خاک بود و این نقش بر غلظت پلی‌اتیلن غالب بود. در بررسی تغییرات ماده آلی با تنفس میکروبی همبستگی خوبی وجود داشت. از آنجاییکه میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان عوامل استرس‌زای بلندمدت و محرک تغییرات جهانی در اکوسیستم‌های زمینی بشمار می‌رود. این مطالعه پایه‌ای نظری و عملی برای توسعه استراتژی‌های مدیریتی به منظور کاهش اثرات منفی تجمع میکروپلاستیک‌ها در مزارع با مصرف بالای مالچ پلاستیکی فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی: میکروپلاستیک، ماده آلی، تنفس میکروبی، لس، پلی اتیلن

مقدمه:

درک جامع از میکروپلاستیک‌ها[1] به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور در خاک‌ها برای ارزیابی اثرات بالقوه آن‌ها بر اکوسیستم‌های خاکی ضروری است (Nizzetto et al., 2016). احتمال بسیار زیادی وجود دارد که پلاستیک‌ها با معرفی محصولات مبتنی بر نفت، مانند پارچه‌های مصنوعی، در نیمه دوم قرن بیستم وارد محیط‌های خاکی شده باشند که توانستند ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب و پایداری خاک، عملکرد اکوسیستم خاک، جوامع میکروبی و جانوران و گیاهان خاک را تحت تأثیر قرار دهند (de Souza Machado et al., 2019; Ebrahimi et al.,2025). پژوهشگران مسیرهای متعددی را شناسایی کرده‌اند که ریزپلاستیک‌ها می‌توانند ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهند. فعالیت‌های زیستی در خاک که بسیاری از فرآیندهای بیوژئوشیمیایی را تنظیم می‌کنند، به شدت تحت تأثیر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک قرار دارند. ماده آلی خاک (SOM) عامل تعیین کننده کیفیت اکوسیستم خاک بوده و نقشی کلیدی در فعالیت و تنفس میکروبی ایفا می‌کند. مواد آلی خاک ارتباط نزدیکی با حاصلخیزی خاک، تغذیه گیاه و فعالیت میکروبی دارد و به‌عنوان منبع اصلی انرژی برای میکروبهای خاک، مستقیماً بر نرخ تنفس تأثیر میگذارد. -تأثیرات ریزپلاستیک‌ها بر تجمع مواد آلی خاک در

[1] MPs: Micro Plastics

مطالعات مختلف متفاوت است و گزارش‌هایی از تأثیرات مثبت (Liu et al.,2017; Chen et al., 2021) ، منفی (Chen et al., 2024; Dong et al., 2021; Liu et al., 2021) و یا خنثی (Ren et al., 2020; Lee et al., 2020) وجود دارد. علاوه بر این، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند تنفس خاک را به صورت منفی یا مثبت تحت تأثیر قرار داده (Ren et al., 2020; Lee et al., 2020) و پویایی جوامع میکروبی خاک را تغییر دهند. با این حال، تحقیقات بیشتری برای روشن شدن مکانیزم‌های زمینه‌ای این تأثیرات ضروری است. گرچه مطالعات آلودگی ریزپلاستیک‌ها در خاک‌ها در دهه گذشته افزایش یافته، دانش محدودی درباره اثرات احتمالی غلظت ریزپلاستیک‌ها بر ویژگی‌های خاک وجود دارد. علاوه بر این، به نظر می‌رسد بافت خاک نقش کلیدی در تعیین نحوه بروز این تأثیرات می تواند ایفا کند که بر ضرورت تحقیقات بیشتر تأکید دارد. در این مطالعه موردی، هدف روشن کردن چگونگی تاثیر سه نوع بافت لس غالب منطقه (لوم سیلتی، رسی سیلتی، لوم رسی سیلتی) در اوزان مختلف ترکیب بقایای میکروپلاستیک (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ گرم بر کیلو گرم خاک) با توجه به پاسخ ماده آلی و تنفس میکروبی بوده است و همبستگی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

استان گلستان، با آب و هوای نیمه مرطوب و معتدل و میانگین بارش سالانه ۵۱۵ تا ۶۲۵ میلی‌متر، دارای آب و هوای مدیترانه‌ای گرم با رژیم رطوبتی زریک (خشک) و حرارتی ترمیک است. ترکیب زمین‌شناسی منطقه شامل رسوبات دوره کواترنری، از جمله لُس‌های بادی با ضخامت‌های مختلف است. برای این مطالعه، نمونه‌های خاک سطحی (عمق ۳۰-۰ سانتیمتر) از سه منطقه مختلف در استان گلستان جمع‌آوری شد که شامل آلماگل (´۲۹ °۳۷ شمالی، ´۱۷ °۵۴ شرقی) با بافت لوم سیلتی، هزارپیچ (´۸۱ °۳۶ شمالی، ´۵۸ °۵۴ شرقی) با بافت لوم رسی سیلتی و آلنگدره (´۵۵ °۳۶ شمالی، ´۷۰ °۵۴ شرقی) با بافت رس سیلتی بود. انتخاب این مناطق با هدف بررسی رفتار خاک‌های لُسی مختلف با فراوانی غالب، انجام شد. پلی‌اتیلن (نوع رایج مالچ کشاورزی) با اندازه ۵۰ میکرومتر از فروشندگان محلی و توسط خردکن مکانیکی به ذرات ریزتر تبدیل شد (Sarlak et al., 2024). تمامی ویژگی‌های خاک قبل از افزودن ریزپلاستیک‌ها اندازه‌گیری شدند. سپس، مقدار مورد نیاز ریزپلاستیک برای هر تیمار با دقت ±۰/۰۱ گرم توزین و به طور یکنواخت با خاک مخلوط شدند. با توجه به چگالی ظاهری هر نوع خاک، ظروف پلاستیکی ۵ لیتری (ارتفاع ۲۰ سانتیمتر) با خاک آماده پر شده و به شکل مناسب فشرده شدند. خاک‌های حاوی ریزپلاستیک به مدت دو ماه در دمای ۲۵ تا ۲۸ درجه سانتیگراد و رطوبت ۷۰٪ ظرفیت مزرعه، برای شبیه‌سازی شرایط طبیعی، انکوبه شدند. این پژوهش شامل ۱۵ تیمار (۵ غلظت ریزپلاستیک × ۳ بافت خاک) در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار برای هر تیمار بود. غلظت‌های ریزپلاستیک در سطوح ۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ گرم بر کیلوگرم خاک خشک تنظیم شد. سپس، شاخص‌های ماده آلی و تنفس میکروبی برای ارزیابی تعامل آن‌ها با ریزپلاستیک‌ها مورد سنجش قرار گرفت. این ویژگی‌ها به مدت چهار ماه رصد شدند تا درک جامعی از تأثیر ریزپلاستیک‌ها بر خصوصیات خاک در طول زمان فراهم شود. در تجزیه و تحلیل داده‌ها، نمودارها با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند. تجزیه واریانس و برآورد پارامترهای مدل‌های غیرخطی با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

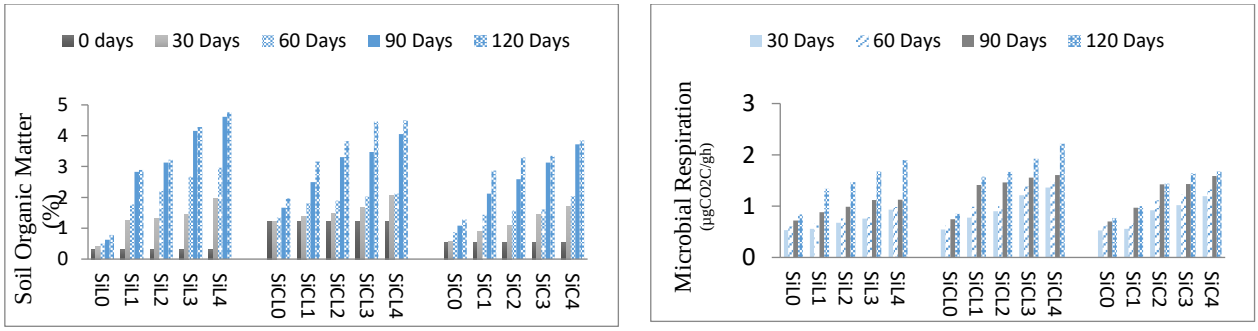
نتایج و بحث:

نتایج مطالعات اولیه برخی ویژگیهای مورد آزمون برای هر سه نوع خلک لسی در این پژوهش در جدول زیر نمایانده شده است.

جدول ۱- ویژگیهای خاکهای لسی مورد مطالعه

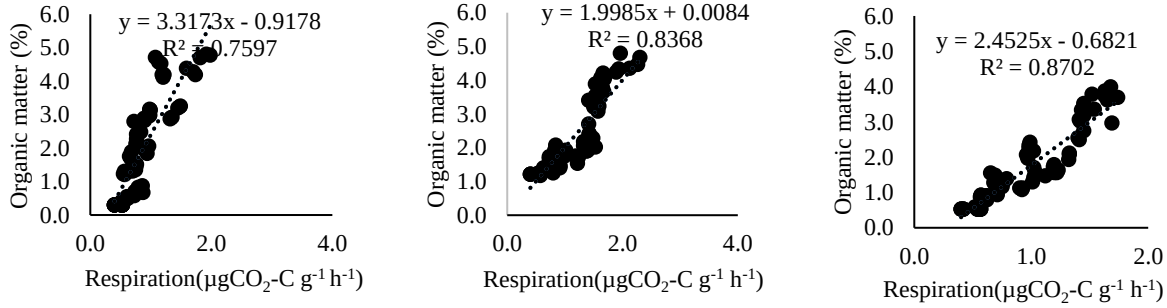
منطقه		بافت خاک			وزن مخصوص	تنفس میکروبی	ماده آلی
		رس (٪)	سیلت(٪)	شن(٪)	(g/cm^3)	($\mu g\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ h^{-1}$)	(٪)
آلماگل	لوم سیلتی	۱۹/۴	۵۴/۰۴	۲۶/۵۶	۱/۸۰	۰/۴	۰/۳۰۱
هزارپیچ	لوم رسی سیلتی	۳۱/۴۴	۵۰	۱۸/۵۶	۱/۳۸	۰/۴۰۱	۱/۲۱
النگدره	رس سیلتی	۴۵/۴۴	۴۶	۸/۵۶	۱/۱۱	۰/۴	۰/۵۳

در مرحله بعد، بررسی نتایج MPs در هر سه نوع بافت نشان داد که برای هر سه خاک با افزایش میزان درصد وزنی میکروپلاستیک افزایش محتوای ماده آلی خاک با شیب متفاوت با زمان رخ داده است. تغییرات تنفس میکروبی خاک برای هر سه خاک و همه تیمارهای وزنی بکار برده شده پلی¬اتیلن دردوره زمانی ۴ ماهه پاسخ مشهود وابسته به غلظت، نشان داد. بیشترین درصد افزایش تنفس میکروبی در تیمار ۰/۵ درصد وزنی میکروپلاستیک رخ داد و مربوط به خاک سیلتی لوم بود. رابطه بین نیتروژن و ماده آلی خاک با تنفس میکروبی در حضور ریزپلاستیکها بینش مهمی درباره سلامت و عملکرد خاک ارائه میدهد (شکل ۱). ریزپلاستیکها می‌توانند با تغییر فعالیت میکروبی و ترکیب جامعه میکروبی، تأثیر قابل توجهی بر تنفس میکروبی خاک داشته باشند. یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر تنفس میکروبی تحت تأثیر MPs، محتوای ماده آلی خاک است که ارتباط نزدیکی با فعالیت میکروبی دارد. مطالعات متعدد نتایج متناقض را در افزایش، کاهش یا بدون تاثیر بودن وجود ذرات میکروپلاستیک در خاک بر محتوالی آلی خاک نشان داده اند.



شکل ۱- تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر ماده آلی (چپ) و تنفس میکروبی (راست) در بافت‌های مختلف خاک (لوم سیلتی، لوم رسی سیلتی، رسی سیلتی) برای غلظت‌های ۰، ۰،۵، ۱، ۲ و ۴ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک، در طول ۴ ماه متوالی.

تغییرات در مواد آلی خاک ارتباط نزدیکی با جوامع میکروبی و تنفس میکروبی دارد (Liu et al., 2021) و ممکن است متابولیسم میکروارگانیسم‌های خاص تسریع و سبب تجمع مواد آلی گردد (Dong et al., 2021).



شکل ۲- تغییرات ماده آلی در پاسخ به تنفس در خاک‌های لوم سیلتی (چپ)، لوم رسی سیلتی (وسط) و رسی سیلتی (راست)

علاوه بر این، ممکن است میکروپلاستیکها در خاک، به عنوان کربن آلی عمل کرده (Rillig et al., 2021) و مواد آلی آزاد کنند (Lee et al., 2020). به عنوان مثال، افزودن ۲٪ (وزنی) MPs از نوع PLA به طور قابل توجهی غلظت کربن آلی خاک را افزود(Chen et al., 2020). با این حال، یافته‌های دیگر نشاندهنده بی تاثیر بودن آنها بر محتوای کربن و ماده آلی بوده (Li et. al., 2023) و یا بصورت ممانعت کننده عمل میکردند (Chen et al., 2020). با توجه به نقش کلیدی SOM در کیفیت خاک و رشد گیاه، رابطه نزدیک آن و عملکرد گیاه تحت آلودگی میکروپلاستیک مستلزم بررسی بیشتر است.

نتیجه‌گیری:

نتایج این پژوهش نشان داد که میکروپلاستیک‌های پلی‌اتیلن می‌توانند به‌طور معناداری بر ماده آلی و تنفس میکروبی خاک‌های لسی اثرگذار باشند. افزایش غلظت میکروپلاستیک‌ها به‌طور کلی موجب افزایش این دو شاخص شد، هرچند میزان

اثرپذیری به بافت خاک وابسته بود. رابطه مثبت میان تغییرات ماده آلی و تنفس میکروبی بیانگر نقش کلیدی میکروارگانیسم‌ها در واکنش به حضور میکروپلاستیک‌ها است. با این حال، پیچیدگی سیستم خاک و دخالت عوامل محیطی نظیر رطوبت، دما، نوع کود و بقایای گیاهی می‌تواند مسیر این اثرات را تغییر دهد. یافته‌ها همچنین نشان می‌دهند که خاک‌های لسی در برابر آلودگی میکروپلاستیک‌ها رفتار یکنواختی ندارند و واکنش آنها تابع ویژگی‌های بافتی است. بنابراین، درک دقیق‌تر از برهم‌کنش‌های چندبعدی میان میکروپلاستیک‌ها و اجزای خاک برای پیش‌بینی پیامدهای بلندمدت ضروری است. این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای طراحی راهبردهای مدیریتی در جهت کاهش اثرات منفی انباشت پلاستیک در سیستم‌های زراعی به‌ویژه در مناطق با مصرف بالای مالچ پلاستیکی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی:

این مطالعه از پروژه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، بر اساس تفاهمنامه همکاری با مؤسسه تحقیقات آب و خاک سازمان کشاورزی هلنیک DIMITRA انجام شده‌است.

فهرست منابع:

Sarlak, R., Ebrahimi, S., Malekzadeh, E. and Naeini, S.A.R.M., 2024. Impacts of Different Sizes and Concentrations of Polyethylene on Chemical, Physical, Mechanical, and Biological Properties in a Loess Soil. Water, Air, & Soil Pollution, 235(7), p.470.

Ebrahimi, S., Doulgeris, C. and Karimpoor, R., 2025. Variability in Characteristics of Water Retention Curve in Polluted Loessial Soils by Polyethylene Microplastics. Water, Air, & Soil Pollution, 236(4), pp.1-14.

de Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J.B., Faltin, E., Becker, R., G¨orlich, A.S., Rillig, M.C., 2019. Microplastics can change soil properties and affect plant performance. Environ. Sci. Technol. 53, 6044–6052.

Chen, X., Gu, X., Bao, L., Ma, S., Mu, Y., 2021. Comparison of adsorption and desorption of triclosan between microplastics and soil particles. Chemosphere 263, 127947.

Dong, Y., Gao, M., Qiu, W., Song, Z., 2021. Effect of microplastics and arsenic on nutrients and microorganisms in rice rhizosphere soil. Ecotoxicol. Environ. Saf. 211, 111899.

Lee, Y.K., Murphy, K.R., Hur, J., 2020. Fluorescence signatures of dissolved organic matter leached from microplastics: polymers and additives. Environ. Sci. Technol. 54, 11905–11914.

Liu, G., Dave, P.H., Kwong, R.W., Wu, M., Zhong, H., 2021a. Influence of microplastics on the mobility, bioavailability, and toxicity of heavy metals: a review. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 107, 710–721.

Liu, H., Yang, X., Liu, G., Liang, C., Xue, S., Chen, H., Ritsema, C.J., Geissen, V., 2017. Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. Chemosphere 185, 907–917.

Nizzetto, L., Futter, M. and Langaas, S. (2016) Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin? Environmental Science and Technology, 50, 10777-10779. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04140

Wang, F., Wang, X., Song, N., 2021. Polyethylene microplastics increase cadmium uptake in lettuce (Lactuca sativa L.) by altering the soil microenvironment. Sci. Total Environ. 784, 147133.

Ren, P., Dou, M., Wang, C. et al. 2020. Abundance and removal characteristics of microplastics at a wastewater treatment plant in Zhengzhou. Environ Sci Pollut Res 27, 36295–36305.

Cheng, Y., Wang, F., Huang, W. and Liu, Y., 2024. Response of soil biochemical properties and ecosystem function to microplastics pollution. Scientific Reports, 14(1), p.28328.

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.

The effect of microplastics on microbial respiration and organic matter in loess soils

Soheila Ebrahimi[1]*, Charalampos Doulgeris[2], Roghayeh Karimpoor[3], Vasiliki Kinigopoulou[4]

[1]- Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

[2]- Principal Researcher, Soil & Water Resources Institute (SWRI), Hellenic Agricultural Organisation DIMITRA, Greece

[3]- PhD Student, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

[4]- Research Associate, Soil & Water Resources Institute (SWRI), Hellenic Agricultural Organisation DIMITRA, Greece

Abstract

Microplastics (MPs), as emerging pollutants, significantly affect soil ecosystems and their functionality. This study investigated the effects of polyethylene MPs on some properties of three loess soils in northern Iran (silty loam, silty clay, and silty clay loam) at five concentrations (0, 0.5, 1, 2, and 4 g/kg soil) over a four-month period. Soils were amended with MPs, incubated under controlled conditions, and sampled monthly. Results revealed that increasing MPs concentrations led to elevated microbial respiration and higher organic matter content. Soil texture exerted a greater influence on the effects of MPs in loess soils than polyethylene concentration did. A strong correlation was observed between fluctuations in organic matter and microbial respiration. Given that MPs are recognized as long-term stressors and drivers of global change in terrestrial ecosystems, this study provides both theoretical insights and practical guidance for developing management strategies to mitigate the negative impacts of MP accumulation in agricultural fields, especially those with intensive plastic mulch use.

Keywords: Microplastic, organic matter, Microbial Respiration, Loess, Polyethylene