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

بررسی تغییرات نیتروژن و تنفس میکروبی در خاک‌های لسی حاوی ریزپلاستیک پلی اتیلن

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 زیست‌محیطی، می‌توانند عملکرد خاک و اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار دهند با این حال، داده‌های کمی درباره واکنش خاک‌های حاوی میکروپلاستیک، به ویژه در زمینه تغییرات ساختار فیزیکوشیمیایی و عملکرد میکروبی آن‌ها وجود دارد. این مطالعه به بررسی اثرات متقابل پلی‌اتیلن، بر نیتروژن و تنفس میکروبی در خاکهای لسی حاوی ریزپلاستیک پرداخت. بدین‌منظور، سه نوع بافت خاک لسی با پنج غلظت مختلف میکروپلاستیک (MPs) (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ گرم در کیلوگرم خاک) مخلوط و به مدت ۶۰ روز در شرایط کنترل شده نگهداری شدند. نمونه‌گیری در فواصل زمانی معین انجام و تغییرات پارامترهای مورد نظر تحلیل شد. نتایج نشان داد افزایش غلظت میکروپلاستیک سبب افزایش تنفس میکروبی و نیتروژن خاکها بخصوص در خاک سیلتی لوم شد.. تغییرات نیتروژن با دینامیک تنفس میکروبی همبستگی خوبی داشت. تأثیرات MPs به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر بافت خاک بود و این نقش از غلظت پلی‌اتیلن مهم‌تر بود. برخی نتایج با مطالعات جهانی متفاوت بود که نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات بلندمدت بیشتر در خاک‌های لسی شمال ایران است.

واژگان کلیدی: میکروپلاستیک، نیتروژن، تنفس میکروبی، لس، پلی‌اتیلن

مقدمه:

در سال‌های اخیر، توجه به آلودگی میکروپلاستیک (MPs) در زیست بوم، به تدریج از محیط دریایی به خشکی منتقل شده است(de Souza Machado et al., 2019) . تقریباً ۸۰ درصد زباله‌های پلاستیکی در محیط‌های دریایی از خشکی می‌آید. در حال حاضر امکان تعیین دقیق سرنوشت نهایی برای این آلاینده در خاک وجود ندارد. خاک بعنوان یک مخزن بزرگ، MPs را از طریق منابع مختلف ، مانند مالچ های پلاستیکی، مسیرهای آب آلوده، بارش جوی و کمپوست، آبیاری پساب و لجن فاضلاب دریافت میکند (Wang et al., 2020). خواص فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک بیانگر سه شاخص اصلی سلامت خاک است. در دهه اخیر، مطالعات مختلف نشان داده‌اند که MPs به طور قابل توجهی بر ویژگی های خاک تأثیر می‌گذارد. نیتروژن به عنوان عنصر ضروری برای رشد و فعالیت میکروبی، متابولیسم میکروبها را تقویت و تنفس خاک را افزایش میدهد. آلودگی MPs می‌تواند با تغییر ساختار خاک و دینامیک میکروبی، به‌طور غیرمستقیم بر دسترسی به نیتروژن تأثیر گذاشته و ممکن است ریززیستگاه‌هایی درون خاکدانه‌های خاک ایجاد کنند که فعالیت موضعی میکروبی و چرخه نیتروژن را تقویت کنند (Liu et al., 2023). برخی پژوهش‌ها حاکی از جذب باکتری‌های دارای عملکرد مهم توسط MPs است که قادرند نیتروژن را کارآمدتر مصرف کرده و نرخ تنفس را افزایش دهند. افزودن کودهای نیتروژنی به خاک نیز دسترسی میکروب‌های

خاک به کربن و نیتروژن را افزایش داده، تجزیه ماده آلی را تسریع و تنفس میکروبی را تقویت می‌کند. با این حال، برخی مطالعات کاهش تنفس میکروبی ناشی از مهار فعالیت آنزیمی توسط انواع خاصی از MPs را گزارش کرده‌اند که این امر تجزیه ماده آلی را محدود می-کند (Li et al., 2023). این تناقضات نشان‌دهنده پیچیدگی تعامل MPs با پارامترهای خاک و نیاز به پژوهش‌های بیشتر برای درک مکانیسم‌های زمینه‌ای است. همچنین، MPs می‌تواند به روش‌های مختلف بر تنفس خاک تأثیر مثبت یا منفی گذاشته و پویایی جوامع میکروبی خاک را تغییر دهند(Qin et al., 2021). لذا، برای روشن شدن مکانیسم‌های پنهان در پس اثرات MPs بر تنفس خاک، باید مطالعات بیشتری انجام شود. هدف از این پژوهش، چگونگی تاثیر سه نوع بافت لس غالب منطقه (سیلتی لوم، سیلتی رسی، سیلتی رسی لومی) در اوزان مختلف میکروپلاستیک (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ گرم بر کیلوگرم خاک) با تاکید بر نیتروژن، تنفس میکروبی و همبستگی آنها بود.

مواد و روش‌ها

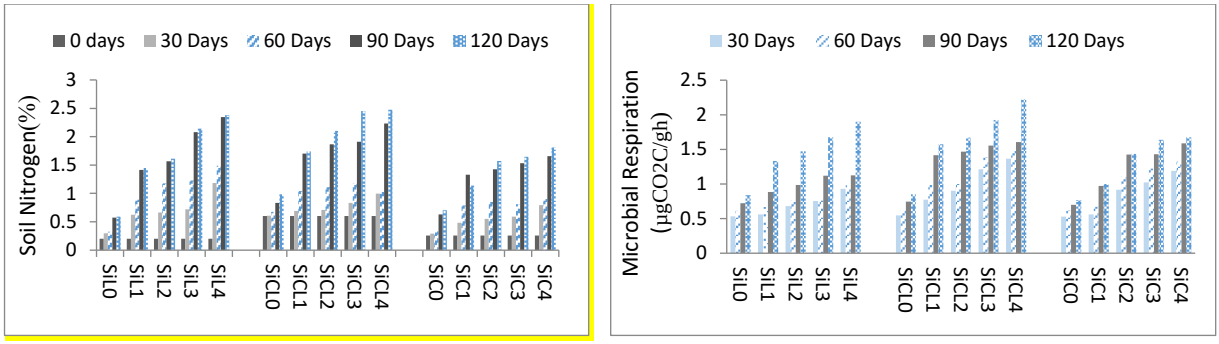
نمونه برداری خاکهای مورد مطالعه از بافتهای مختلفی از خاکهای لسی استان گلستان شمال ایران شامل منطقه آلماگل(´۲۹ °۳۷ شمالی، ´۱۷ °۵۴ شرقی)، هزارپیچ(´۸۱ °۳۶ شمالی، ´۵۸ °۵۴ شرقی) و النگدره (´۵۵ °۳۶ شمالی، ´۷۰ °۵۴ شرقی) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاکها، برداشت شد. نمونه¬های خاک جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل، خشک شده، پس از گذراندن از الک ۲ میلی‌متری، در دمای اتاق نگهداری شدند. برای تهیه بقایای میکروپلاستیک، روکش‌های مالچ پلاستیکی معمول مورد استفاده در کشاورزی با ضخامت ۵۰ میکرون، از بازار محلی خریداری شد. از آنجایی که پلی اتیلن معمولاً در پوشش‌های مالچ کشاورزی استفاده می‌شود و فراوانی مصرف بالاتری در خاک‌های کشاورزی دارد، این نوع پلاستیک برای این آزمایش‌ها مناسب تلقی شد (Yang et al., 2021; Ebrahimi et al., 2025). مطالعه حاضر از سه نوع مختلف خاک لس غالب منطقه با بافت‌های لوم سیلتی(SL)، لوم رسی سیلتی(SCL) و رس سیلتی(SC) برای بررسی اثرات برهمکنش ازت و تنفس میکروبی در پاسخ به میکروپلاستیک طراحی شد. سپس، غلظت‌های ریزپلاستیک در اوزان ۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ گرم بر کیلوگرم وزن خشک خاک (بر اساس پژوهشهای اخیر)، برای شبیه سازی کمپلکس بقایای ریزپلاستیک با دامنه اندازه ذرات متغیر بین ۰ تا ۵ میلیمتر در کشاورزی اعمال‌شد. بدینسان در مجموع، ۱۵ تیمار (پنج غلظت میکروپلاستیک × سه نوع خاک) با سه تکرار در نظر گرفته شد. مقدار میکروپلاستیک برای هر تیمار توزین و با خاک بصورت دستی مخلوط و سپس به مدت ۱۰ دقیقه روی یک شیکر چندکاره قرار گرفتند. سپس سطل‌های پلاستیکی پنج لیتری (ارتفاع ۲۰ سانتی متر) برای هر ترکیبی از نوع خاک و غلظت ذرات میکروپلاستیک بصورت دستی پر شدند. عملیات تراکم با توجه به چگالی ظاهری هر خاک، انجام و بمدت ۲ ماه اعمال شرایط رطوبت زراعی معادل ۷۰ درصد FC، انکوبه شدند. شاخص‌های غلظت نیتروژن و تنفس میکروبی برای ارزیابی تعامل آن‌ها با ریزپلاستیک‌ها در بازه‌های یک‌ماهه و به مدت چهار ماه رصد شدند و مورد سنجش قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل داده‌ها، با Excel و تجزیه واریانس و برآورد پارامترهای مدل‌های غیرخطی با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث:

نیتروژن: بررسی اوزان بکار برده از میکروپلاستیک‌ها نشانگر تاثیر مقادیر وزنی کاربردی برتغییر غلظت نیتروژن خاک در ترکیب خاک-میکروپلاستیک بود. برای هر سه خاک با افزایش میزان درصد وزنی میکروپلاستیک افزایش غلظت نیتروژن خاک رخ داده است ولی شیب این افزایش با زمان متفاوت بوده است (شکل ۱). در همین راستا، Lozano و همکاران (2021) دریافتند که میکروپلاستیک‌ها شسته شدن یونهای نیتراتی را تا ۷۰٪ کاهش می‌دهند که می‌تواند سبب تأثیر مثبت آنها بر تجمع در خاک و ظرفیت بالاتر برای حفظ مواد مغذی شود. چن و همکاران (2020) دریافتند که در شرایط کربن کم، میکروپلاستیک‌ها به طور قابل توجهی یونهای نیترات و نیتریت خاک را افزایش اما محتوای یونهای آمونیوم را کاهش داده و بنابراین ممکن است، نیتریفیکاسیون آن را تسهیل کند.

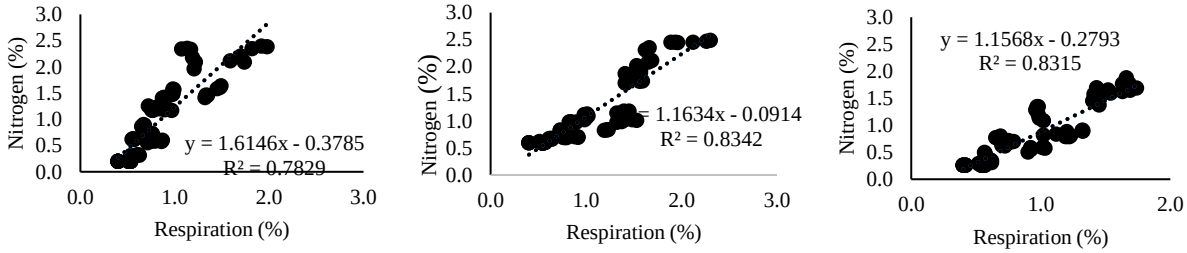
تنفس میکروبی: تغییرات تنفس میکروبی خاک برای هر سه خاک و همه تیمارهای وزنی بکار برده شده پلی‌اتیلن در دوره زمانی ۴ ماهه پاسخ مشهود وابسته به غلظت، نشان داد. بیشترین درصد افزایش تنفس میکروبی در تیمار ۰/۵درصد وزنی میکروپلاستیک رخ داد و مربوط به خاک سیلتی لوم بود (شکل ۱). تأثیرات MPs ممکن است بدلیل جذب مستقیم مواد

مغذی به سبب تغییر در دسترس بودن آنها باشد. به طور خاص، پس از یک دوره طولانی هوازدگی و اکسیداسیون، MPs ها به تدریج متخلخل و باردار سطحی می‌شوند که در نتیجه ظرفیت جذب بالاتری ایجاد می‌شود. از سویی چرخه‌های مواد مغذی خاک توسط چندین فرآیند بیوشیمیایی میکروبی، کنترل می‌شود. MPs می‌تواند با میانجیگری فعالیت میکروبی بر مواد مغذی خاک تأثیر بگذارد (Sarlak et al., 2024). تغییرات در تخلخل خاک و هوادهی ممکن است انتشار اکسیژن در خاک را افزایش و انتقال برخی یون شیمیایی را تسهیل کند (مثلا اکسیداسیون آمونیاک) که توسط میکروب‌های هوازی انجام می‌شود.



شکل ۱- تأثیر ریزپلاستیک‌ها بر نیتروژن (چپ) و تنفس میکروبی (راست) در بافت‌های مختلف خاک (لوم سیلتی، لوم رسی سیلتی، رسی سیلتی) برای غلظت‌های MPs برابر با ۰.۵، ۱، ۲ و ۴ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک، در طول ۴ ماه متوالی.

رابطه بین نیتروژن با تنفس میکروبی در حضورMPs بینش مهمی درباره عملکرد خاک ارائه می‌دهد MPs .می‌توانند با تغییر فعالیت میکروبی و ترکیب جامعه میکروبی، تأثیر قابل توجهی بر تنفس میکروبی خاک داشته باشند. روند تغییرات نیتروژن در پاسخ به تنفس در شکل ۲ نمایش داده شده است. افزایش دسترسی به کربن آلی خاک ناشی از MPs ممکن است تنفس میکروبی را تقویت کند، لیکن می‌تواند توسط محدودیت نیتروژن یا تغییرات در تنوع میکروبی ناشی از سمیت MPs تعدیل شود. براساس پژوهش‌ها، MPs می‌توانند تعادل بین میکروب‌های اتوتروف و هتروتروف را تغییر و بر نحوه مشارکت نیتروژن و ماده آلی در فرآیندهای تنفسی تأثیر بگذارد. نتایج مطالعات ما به‌طور خاص نشان می‌دهد غلظت‌های بالاتر MPs در خاک‌های لسی موجب افزایش سطح نیتروژن و ماده آلی شده و تنفس میکروبی را تقویت می‌کند(شکل ۲).



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

نتیجه‌گیری:

تغییرات ناشی از میکروپلاستیک‌ها می‌تواند تهدیدی بالقوه برای بهره‌وری و ایمنی محصولات کشاورزی باشد. این یافته‌ها نشان داد افزودن غلظت میکروپلاستیک سبب افزایش تنفس میکروبی و نیتروژن خاکها در خاکهای لسی شد. تغییرات نیتروژن با دینامیک تنفس میکروبی همبستگی خوبی داشت، لیکن تأثیر بافت خاک و از تاثیر غلظت پلی‌اتیلن مهم‌تر بود. این مطالعه می‌تواند مبنایی نظری و عملی برای بهبود استراتژی‌های مدیریتی در کاهش اثرات منفی تجمع میکروپلاستیک‌ها در مزارع با مصرف بالای مالچ پلاستیکی فراهم کند. برای پر کردن شکاف‌های دانش، مطالعات جامع‌تر و بلندمدت‌تر در این حوزه ضروری است.

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:

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.

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.

Lozano, Y.M., Aguilar-Trigueros, C.A., Onandia, G., Maass, S., Zhao, T., Rillig, M.C., 2021. Effects of MPs and drought on ecosystem functions and multifunctionality. J. Appl. Ecol. 58, 988–996.

Qin, M., Chen, C., Song, B., Shen, M., Cao, W., Yang, H., Zeng, G., Gong, J., 2021. A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: another ecological threat to soil environments. J. Clean. Prod. 312, 127816.

Wang, F., Zhang, M., Sha, W., Wang, Y., Hao, H., Dou, Y., Li, Y., 2020. Sorption behavior and mechanisms of organic contaminants to nano and microplastics. Molecules 25, 1827.

Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., Wu, C., 2021. Microplastics in soil: a review on methods, occurrence, sources, and potential risk. Science of the Total Environment 780.

Liu, X., Li, Y., Yu, Y. and Yao, H., 2023. Effect of nonbiodegradable microplastics on soil respiration and enzyme activity: a meta-analysis. Applied Soil Ecology, 184, p.104770.

Li Y, Hou Y, Hou Q, Long M, Wang Z, Rillig MC, Liao Y, Yong T. Soil microbial community parameters affected by microplastics and other plastic residues. Front Microbiol. 2023 Oct 12;14:1258606. doi: 10.3389/fmicb.2023.1258606. PMID: 37901816; PMCID: PMC10601715.

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.

Behavior of Nitrogen and Microbial Respiration in Silty Soils Containing Polyethylene Microplastics

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 environmental pollutants, can alter soil functions and disrupt ecosystem processes. However, quantitative data on soil responses to MPs, particularly regarding changes in physicochemical structure and microbial activity, remain limited. This study investigated the interactive effects of polyethylene MPs, nitrogen dynamics, and microbial respiration in loess soils. For this purpose, three loess soil textures (silty loam, silty clay, and silty clay loam) were amended with five different concentrations of polyethylene MPs (0, 0.5, 1, 2, and 4 g/kg soil) and incubated under controlled conditions for 60 days. Sampling was performed at defined temporal intervals, and subsequent analyses were conducted to assess fluctuations in the parameters under investigation. The results showed that increasing MPs concentrations enhanced both microbial respiration and nitrogen levels, especially in silty loam soils. Notably, nitrogen dynamics were strongly correlated with microbial activity. The effects of MPs were significantly influenced by soil texture, which proved to be a more influential factor than MP concentration. Some findings differed from global trends, indicating the need for further long-term research specific to loess soils in northern Iran.

Keywords: Microplastic, Nitrogen, Microbial Respiration, Loess, Polyethylene