



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



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ شهریور ۲۷ تا ۲۵



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

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



تأثیر نانوذرات بر برخی ویژگی‌های زیستی در خاک آهکی آلوده به نیکل

صدیقه جرفی^{۱*}، ندا مرادی^۲، نعیمه عنایتی ضمیر^۳، سعید حجتی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: sj927221@gmail.com

۲. دانشیار سابق گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

چکیده

اخیراً استفاده از نانوذرات برای تثبیت فلزات سنگین خاک مانند نیکل به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد جذب و هزین کم گسترش یافته است. بنابراین هدف از این پژوهش مطالعه تأثیر نانوذرات مختلف بر ویژگی‌های شیمیایی، زیستی و توزیع شکل‌های شیمیایی نیکل در خاک آلوده به نیکل بود. برای این منظور یک آزمایش انکوباسیون بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور: (۱) نوع نانو ذره (نانو ذره آهن صفر ظرفیتی، نانو رس و نانو بیوپچار) و (۲) سطح نانو ذره (۰، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی/وزنی) به مدت ۹۰ روز در سه تکرار اجرا گردید. در پایان دوره انکوباسیون برخی ویژگی‌های زیستی خاک اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد با افزایش سطح کاربرد نانوجاذب‌های مورد مطالعه، تنفس میکروبی پایه نیز در خاک آلوده به نیکل افزایش یافت. کربن زیتوده میکروبی و فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح ۱ درصد در تیمارهای نانو آهن صفر ظرفیتی، نانورس و نانوبیوپچار در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. کاربرد نانوبیوپچار در سطح ۰/۵ و ۱ درصد به ترتیب سبب افزایش ۲۸/۳۳ و ۳۵/۳۷ فعالیت آنزیم کاتالاز در مقایسه با تیمار شاهد شد. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد نانوجاذب‌ها بویژه نانوبیوپچار می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های زیستی خاک آلوده به نیکل گردند.

واژگان کلیدی: نانو بیوپچار، تنفس میکروبی، نانو رس، آنزیم کاتالاز

مقدمه

امروزه آلودگی فلزات یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی است. صنایع مختلف ضایعات حاوی فلزات سنگین مختلف را تولید و به محیط زیست تخلیه می‌کنند. بنابراین فلزات آلودگی‌های زیست‌محیطی جدی را به همراه دارند و سلامت انسان و اکوسیستم را به خطر می‌اندازند. با توجه به مطالعات انجام شده، نیکل یکی از فلزات سنگین است که می‌تواند باعث آلوده کردن خاک شود و در محصولات کشاورزی تجمع یابد. نیکل می‌تواند از طریق استفاده از کودها و سموم شیمیایی، آب آلوده و دفن زباله‌های صنعتی و شهری به خاک منتقل شود (Wang et al., 2023).

ریزجانداران خاک مهم‌ترین بخش زنده خاک بوده که نقش بسیار مهمی در بسیاری از فرآیندهای خاک از جمله تجزیه مواد آلی، چرخه کربن و عناصر غذایی و رشد و عملکرد گیاهان دارند. بنابراین، بررسی فعالیت میکروبی خاک یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت و سلامت خاک می‌باشد (Xu et al., 2019). ریزجانداران خاک به شرایط تنش فلزات سنگین حساس بوده و فعالیت میکروبی خاک تحت تأثیر آلودگی فلزات سنگین قرار می‌گیرد. در حالی که در این شرایط تغییرات چندانی در میزان مواد آلی خاک مشاهده نمی‌شود، اما الگوی مصرف کربن توسط ریزجانداران خاک ممکن است تغییر کند (Xu et al., 2019). بنابراین از شاخص‌های زیستی خاک از جمله تنفس میکروبی، کربن زیتوده میکروبی (MBC) و فعالیت آنزیمی جهت ارزیابی فعالیت ریزجانداران در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده می‌شود (Xu et al., 2019). برخی از مطالعات نشان دادند که آلودگی خاک با فلزات سنگین سبب مختل شدن فرآیندهای بیولوژیکی می‌شود و فعالیت‌های آنزیمی، زیتوده و عملکرد محصول کاهش می‌یابد (Huang et al., 2021).

اخیراً، توسعه بیوتکنولوژی پیشرفته با نانوموادها برای اصلاح خاک‌های آلوده به یک موضوع تحقیقاتی داغ تبدیل شده است. برخی از محققان دریافته‌اند که کارایی زیست پالایی خاک‌های آلوده با افزودن NMs افزایش می‌یابد (Gong et al., 2018). این یک روش کم هزینه برای تجزیه مواد شیمیایی سمی با استفاده از گیاهان و میکروبها برای کاهش آلودگی و بهبود کیفیت خاک است. این روش می‌تواند تعداد آلاینده‌های موجود در خاک را با تجزیه آلاینده‌ها حذف، کاهش یا جذب کند (Ashraf et al., 2019). نانوبیوتکنولوژی یک راه حل پیشرفته و نوظهور برای حذف آلاینده‌های محیطی است (Aziz et al., 2023). Liu و همکاران (2020) در پژوهشی دریافته‌اند کاربرد بیوچار به طور قابل توجهی زیتوده میکروبی، فراوانی میکروارگانیزمها و تنوع اکتینو باکتری‌ها و باکتری‌ها را در خاک آلوده به کادمیوم بهبود بخشید و تنوع پروتئوباکتری‌ها را کاهش داد، که نسبتاً پایدارتر از مکان‌های آلوده بدون کاربرد بیوچار بود. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر نانوذرات (نانوبیوچار، نانو رس و نانو آهن صفر ظرفیتی) بر ویژگیهای زیستی در خاک آلوده به نیکل بود.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری خاک

یک نمونه خاک مرکب از لایه سطحی خاک آهکی مزرعه کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهیدچمران اهواز تهیه شد. نمونه خاک پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک با روشهای استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Page et al., 1982). خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم سیلتی، آهکی، غیر شور و دارای مقدار ماده آلی (۱/۲ درصد) و پتاسیم قابل دسترس (۱۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کم بود. مقدار pH تا حدودی قلیایی (۷/۵۲) و غلظت نیکل خاک (۰/۱۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) پایین‌تر از حد مجاز بود؛ بنابراین خاک آلوده به نیکل نیست (حد مجاز آلاینده نیکل خاک ارائه شده توسط حفاظت محیط زیست ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است).

آلوده کردن خاک با نیکل

نمونه خاک جمع‌آوری و هواخشک شده پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری با غلظت انتخاب شده نیکل آلوده شد. غلظت آلاینده با توجه به حدود غلظت مجاز نیکل در خاک انتخاب شد. بنابراین، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم نیکل در کیلوگرم خاک اعمال شد. برای آلوده کردن خاک از منبع نترات نیکل $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ استفاده گردید. خاک با غلظت انتخاب شده نیکل به روش

اسپریآلوده شد. خاک آلوده شده به مدت یک ماه در شرایط انکوباسیون قرار داده شد، که تا حد امکان برهم کنش‌های نیکل و خاک انجام شده و شرایط آلودگی خاک طبیعی تر باشد.

تهیه نانو ذرات

نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده با استفاده از روش احیای بروهیدرید تهیه شد (Huang et al., 2010). نانورس مورد استفاده در این مطالعه نانورس مونتموریلونیت سدیمی محصول شرکت سیگما آلدریج (Product Number: ۶۸۲۶۵۹) و ۹-۷۸- CAS: ۱۳۰۲) بود. برای تهیه نانوبیوچار ابتدا بیوچار معمولی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و با نرخ افزایش دمای ۵ درجه سلسیوس در دقیقه، به مدت ۳ ساعت تهیه گردیده و سپس با استفاده از آسیاب گلوله ای به ذرات نانو تبدیل شد (Naghdi et al., 2017).

اعمال تیمارها و آزمایش انکوباسیون

در آزمایش انکوباسیون، تیمارهای مورد مطالعه شامل نانو ذرات (شاهد، نانو رس مونتموریلونیت، نانوبیوچار و نانو آهن صفر ظرفیتی) در دو سطح ۰/۵ و ۱ درصد بودند. تیمارهای مورد مطالعه در سطوح بیان شده با ۳۰۰ گرم خاک آلوده با نیکل مخلوط شد و در ظروف پلاستیکی منفذدار (جهت تبادل تهویه‌ای) به مدت ۹۰ روز در دمای ثابت (۲۵±۲ درجه سلسیوس) و رطوبت ۷۰ تا ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. رطوبت نمونه‌ها در طی دوره انکوباسیون نیز به روش وزنی کنترل شد، تا رطوبت نمونه‌ها ثابت باقی بماند. پس از پایان دوره انکوباسیون، نمونه خاک در هر تیمار برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی خاک در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگه داری شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی خاک

برای ارزیابی تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر ویژگی‌های زیستی خاک تنفس میکروبی پایه، کربن زیتوده میکروبی و فعالیت آنزیم کاتالاز در خاک اندازه‌گیری خواهد شد.

برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک، میزان ۲۵ گرم خاک به ظروف درب‌دار ریخته خواهد شد و روی هر خاک یک بشر حاوی ۲۰ میلی‌لیتر سود (۰/۲۵ نرمال) گذاشته شد و درب ظرف به‌طور کامل بسته می‌شود. برای اطمینان از عدم نشت گاز دی‌اکسید کربن به بیرون، شکاف درب ظرف با سلفون پوشانده می‌شود. بعد از گذشت ۴۸ ساعت، محتویات بشر پس از افزودن محلول کلرید باریوم ۰/۵ مولار و معرف فنل فتالین با اسید کلریدریک (۰/۲۵ نرمال) تیترا خواهد شد (Li et al., 1996).

برای اندازه‌گیری کربن زیتوده میکروبی خاک از روش تدخین- استخراج استفاده خواهد شد. بطور خلاصه مقدار ۵ گرم از خاک مرطوب هر نمونه در دسیکاتور قرار خواهد گرفت و به مدت ۲۴ ساعت با کلروفرم گازدهی می‌شود. پس از این مدت کلروفرم خارج و خاک تدخین‌شده با محلول سولفات پتاسیم ۰/۵ مولار و با نسبت ۵ به ۱ (یک قسمت خاک و ۵ قسمت محلول) عصاره‌گیری خواهد شد. عصاره‌گیری خاک‌های بدون تدخین نیز انجام و مقدار کربن آلی در عصاره‌های به‌دست آمده اندازه‌گیری و مقدار کربن زیتوده میکروبی MBC برحسب میلی‌گرم کربن زیتوده میکروبی در ۱۰۰ گرم خاک خشک گزارش می‌شود (Tate et al., 1988).

برای اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز، میزان ۵ گرم نمونه خاک به داخل ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته، بر روی آن ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر با ۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۳ درصد پراکسید هیدروژن اضافه شده و مخلوط در شیکر دورانی به مدت ۲۰ دقیقه بهم زده خواهد شد. سپس پنج میلی‌لیتر از H_2SO_4 ۱/۵ میلی مولار بدان افزوده خواهد شد. محتوی ارلن از کاغذ صافی عبور داده شده و سپس ۲۵ میلی‌لیتر از آن با $KMnO_4$ ۰/۰۲ M تیترا می‌شود، که مقدار $KMnO_4$ واکنش داده (مصرفی) به ازای هر گرم از خاک خشک محاسبه خواهد شد (Johnson and Temple, 1964).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش بصورت فاکتوریل با دو فاکتور نوع نانوذره (در ۴ سطح: شاهد، نانو مونتموریلونیت، نانوبیوچار و نانو آهن صفر ظرفیتی) و سطوح نانوذره (در ۲ سطح: ۰/۵ و ۱ درصد وزنی/وزنی) در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 26.0 انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد انجام و نمودارها هم در محیط نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر نوع و سطوح کاربرد نانوجاذب‌های مورد مطالعه بر کربن زیتوده میکروبی و فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (جدول ۱). اما اثر اصلی سطوح نانو جاذب‌ها فقط بر تنفس میکروبی پایه معنی‌دار بود (جدول ۱).

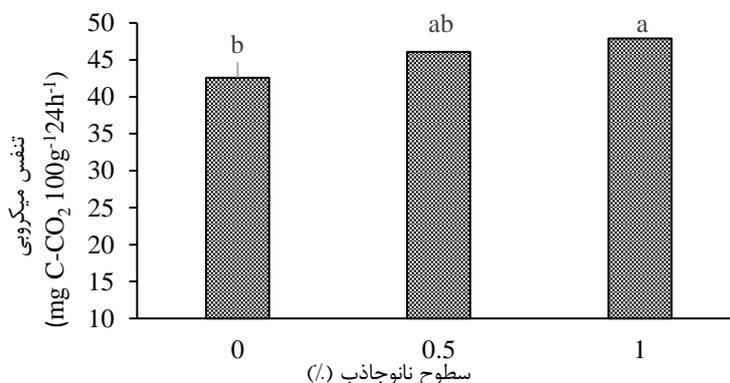
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع و سطح نانوجاذب بر برخی شاخص‌های میکروبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		MBC	BR
نوع نانوجاذب	۲	۷۴۹***	۱۱/۹۷ ^{ns}
سطوح نانوجاذب	۲	۸۶۶۷***	۸۴/۹۰**
نوع × سطوح نانوجاذب	۴	۴۱۱***	۳/۳۱ ^{ns}
خطا	۱۸	۳۳/۲۷	۲۳/۴۷
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۵۴	۱۰/۶۴

BR و MBC به ترتیب تنفس میکروبی پایه و کربن زیتوده میکروبی
 ***، **، ns، به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۱ درصد و غیر معنی‌دار

تنفس میکروبی پایه

نتایج آزمون مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش سطح کاربرد نانوجاذب‌های مورد مطالعه (نانوآهن صفر ظرفیتی، نانورس و نانوبیوجار) تنفس میکروبی پایه در خاک آلوده به نیکل افزایش یافت (شکل ۱). این یافته نشان‌دهنده تأثیر کاربرد نانوجاذب‌ها در کاهش پیامدهای آلودگی نیکل و بهبود فعالیت میکروبی خاک است. افزایش تنفس میکروبی خاک می‌تواند به دلیل ترکیبات جذب سطحی شده بر روی سطح جاذب‌ها باشد؛ چرا که این ترکیبات می‌توانند به عنوان سوبسترای قابل دسترس برای ریزجانداران خاک عمل نموده و سبب افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی در خاک‌های تیمار شده با نانوذرات شوند (Rutigliano et al., 2014). بطور کلی کاربرد نانوذرات در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد نانوذرات) سبب بهبود تنفس میکروبی در خاک آهکی آلوده به نیکل گردید.



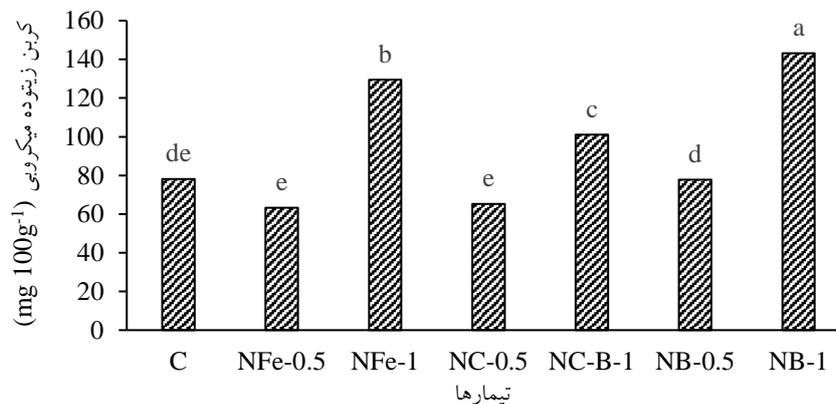
شکل ۱- تأثیر سطح نانوجاذب بر تنفس میکروبی پایه (BR)

حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) ندارند.

کربن زیتوده میکروبی

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد با افزایش سطح نانوجاذب در خاک کربن زیتوده میکروبی خاک (MBC) افزایش یافت (شکل ۲). بیشترین مقدار کربن زیتوده میکروبی در تیمار ۱ درصد نانوبیوچار اندازه‌گیری شد. کاربرد نانوجاذبها در سطح ۱ درصد تاثیر معنی‌دار بر افزایش کربن زیتوده میکروبی داشت. کربن زیتوده میکروبی در سطح ۱ درصد در تیمارهای نانو آهن صفر ظرفیتی، نانورس و نانوبیوچار در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۶۵/۹۱، ۲۹/۵۹ و ۸۷/۲۹ درصد افزایش یافت. بطور کلی کربن زیتوده میکروبی خاک در تیمار نانوبیوچار در هر دو سطح ۰/۵ و ۱ درصد بیشتر از نانورس و نانو آهن صفر ظرفیتی بود. اما سطح کاربرد ۰/۵ درصد نانوکربن و نانوذرات آهن صفر ظرفیتی باعث کاهش کربن زیتوده میکروبی خاک در مقایسه با عدم کاربرد نانوذرات شد؛ هرچند تفاوت معنی داری با شاهد نداشت.

افزایش کربن زیتوده میکروبی در اثر کاربرد زغال زیستی می‌تواند به دلیل افزایش کربن آلی خاک، افزایش کربن و عناصر غذایی فراهم برای ریزجانداران خاک باشد (Khadem and Raiesi, 2017). افزایش کربن زیتوده میکروبی خاک در اثر افزودن نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و نانوبیوچار می‌تواند به این دلیل باشد که این نانوذرات با داشتن سطح ویژه بالا زیستگاه مناسبی را برای ریزجانداران خاک فراهم کرده است. نتایج Karimi و Moradi (2020) نیز نشان داد کربن زیتوده میکروبی با افزودن بیوچار نی و بیوچار نی اصلاح شده با آهن به یک خاک آهکی، افزایش یافت. همچنین نانوذرات آهن (۳/۲ میلی گرم در کیلوگرم) زیتوده شبدر میکوریزایی را به میزان ۳۴ درصد و مقدار گلولمالین خاک را کاهش داد (Feng et al., 2013).



شکل ۲- تاثیر سطح نانوجاذب بر کربن زیتوده میکروبی (MBC)

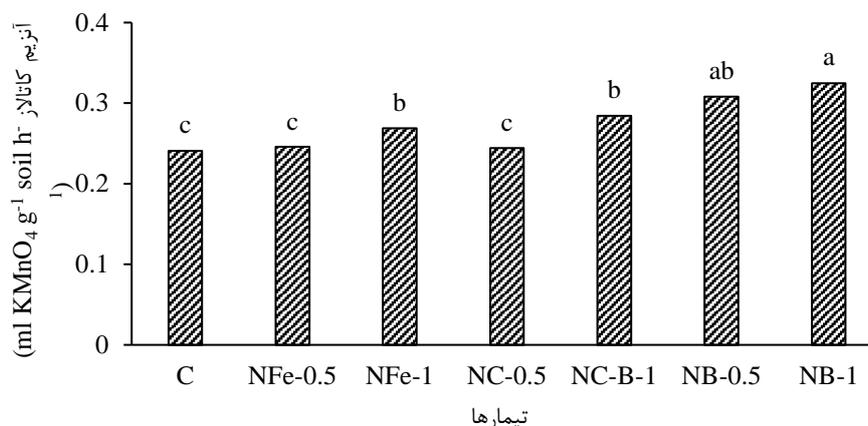
حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) ندارند.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و سطح نانوجاذب نشان داد که با افزایش سطح کاربرد نانوجاذب‌های مورد مطالعه در خاک، فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت (شکل ۳). همانند کربن زیتوده میکروبی، تأثیر کاربرد نانوبیوچار در افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از کاربرد نانورس و نانو آهن صفر ظرفیتی بود. این نتیجه احتمالاً به دلیل بیش‌تر بودن فراهمی عناصر غذایی در خاک تیمار شده با نانوبیوچار بود.

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد نانوجاذب‌های مورد مطالعه در سطح ۱ درصد بویژه نانوبیوچار سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در خاک آلوده شده با نیکل شد. کاربرد نانوبیوچار در سطح ۰/۵ و ۱ درصد به ترتیب سبب افزایش ۲۸/۳۳ و ۳۵/۳۷ فعالیت آنزیم کاتالاز در مقایسه با تیمار شاهد شد. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در خاک در اثر کاربرد نانوبیوچار می‌تواند به دلیل وجود کربوهیدرات‌های قابل دسترس مانند سلولز و همی سلولز و ترکیبات غنی از نیتروژن در بیوچار باشد (Al-Wabel et al., 2017). نتایج پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده است که بیوچار می‌تواند سوبسترای قابل دسترس (کربن و عناصر غذایی) را برای جمعیت میکروبی فراهم نموده و سبب تحریک فعالیت آنزیمی خاک شود (Khadem and Raiesi, 2017). به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اثر چشم‌گیر نانوبیوچار در افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به‌عنوان آنزیم درون سلولی موثر در متابولیسم‌های سلولی، بود. این آنزیم شاخص فعالیت متابولیکی موجودات هوازی بوده و به عنوان شاخص حاصلخیزی خاک استفاده می‌شود (Trasar-Cepeda et al., 2007). این آنزیم تحت تاثیر آلودگی خاک قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر فعالیت

آنزیم کاتالاز در خاک آلوده شده به نیکل با افزودن نانوجاذبها نسبت به عدم افزودن آنها افزایش نشان داد. هرچند تفاوت معنی داری بین تیمارهای نانوجاذب آهن و کربن در سطح کاربرد ۰/۵ درصد با شاهد وجود نداشت.



شکل ۳- تاثیر سطح نانوجاذب بر فعالیت آنزیم کاتالاز

حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که آلودگی نیکل در خاک سبب کاهش چشم‌گیر ویژگی‌های زیستی خاک و فعالیت آنزیم کاتالاز شد. با توجه به اهمیت فعالیت میکروبی در کیفیت و حاصل‌خیزی خاک، آلودگی نیکل در درازمدت می‌تواند پیامدهای منفی بر کیفیت و حاصل‌خیزی خاک داشته باشد. بنابراین نانوجاذب‌ها به ویژه نانوبیوچار، می‌تواند بهسازهای مناسبی برای بهبود فعالیت میکروبی و آنزیمی در خاک‌های آلوده به نیکل باشند.

منابع

- Al-Wabel, M.I., Hussain, Q., Usman, A.R., Ahmad, M., Abduljabbar A., Sallam A.S., Ok Y.S. (2017). Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. *Land Degradation and Development*, 29, 2124-2161.
- Ashraf, S., Siddiqua, A., Shahida, S., Qaisar, S. (2019). Titanium-based nanocomposite materials for arsenic removal from water: A review. *Heliyon*, 5(5).
- Aziz, S., Uzair, B., Ali, M. I., Anbreen, S., Umber, F., Khalid, M., Tambuwala, M. M. (2023). Synthesis and characterization of nanobiochar from rice husk biochar for the removal of safranin and malachite green from water. *Environmental Research*, 238, 116909.
- Feng, Y., Cui, X., He, S., Dong, G., Chen, M., Wang, J., Lin, X. (2013). The role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth. *Environmental science & technology*, 47(16), 9496-9504.
- Gong, X., Huang, D., Liu, Y., Peng, Z., Zeng, G., Xu, P., Wan, J. (2018). Remediation of contaminated soils by biotechnology with nanomaterials: bio-behavior, applications, and perspectives. *Critical reviews in biotechnology*, 38(3), 455-468.
- Huang, X., Zhu, S., Zhang, H., Huang, Y., Wang, X., Wang, Y., Chen, D. (2021). Biochar nanoparticles induced distinct biological effects on freshwater algae via oxidative stress, membrane damage, and nutrient depletion. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(32), 10761-10770.
- Huang, Y., Tan, K., Tang, Q., Liu, F., Liu, D. (2010). Removal of As (III) and As (V) from drinking water by nanoscale zero-valent iron. In 2010 international conference on challenges in environmental science and computer engineering, 2, 111-114.
- Johnson, J. I., Temple, K. L. (1964). Some variables affecting the measurement of catalase activity in soil. *Soil Science Society of America Processes*, 28, 207-216.
- Khadem, A., Raiesi, F. (2017). Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils. *Applied Soil Ecology*, 114, 16-27.
- Li, F. D., Yu, Z. N., He, S. J. (1996). *Experimental technology of agricultural microbiology*. Beijing: Agricultural Press of China, pp. 93-95.

- Liu, W., Li, Y., Feng, Y., Qiao, J., Zhao, H., Xie, J., Liang, S. (2020). The effectiveness of nanobiochar for reducing phytotoxicity and improving soil remediation in cadmium-contaminated soil. *Scientific Reports*, 10(1), 858.
- Moradi, N., Karimi, A. (2021). Fe-Modified common reed biochar reduced cadmium (Cd) mobility and enhanced microbial activity in a contaminated calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 329-340.
- Naghdi, M., Taheran, M., Brar, S. K., Rouissi, T., Verma, M., Surampalli, R. Y., Valero, J. R. (2017). A green method for production of nanobiochar by ballmilling- optimization and characterization. *Journal of Cleaner Production*, 164 (15), 1394-1405.
- Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. (1982) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* ASA Madison.
- Tate, K. R., Ross, D. J., Feltham, C. W. (1988). A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(3), 329-335.
- Trasar-Cepeda, C., Gil-Sotres, F., Leirós, M. C. (2007). Thermodynamic parameters of enzymes in grassland soils from Galicia, NW Spain. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(1), 311-319.
- Wang, L., Liu, X., Wang, Y., Wang, X. (2023). Stability and ecological risk assessment of nickel (Ni) in phytoremediation-derived biochar. *Science of the Total Environment*, 903, 166498.
- Xu, C., Anusuyadevi, P. R., Aymonier, C., Luque, R., Marre, S. (2019). Nanostructured materials for photocatalysis. *Chemical Society Reviews*, 48(14), 3868-3902.

The effect of nanoparticles on some biological properties in contaminated calcareous soil with nickel

Sedigheh Jorfi^{*1}, Neda Moradi², Naeimeh Enayatizamir³, Saeid Hojati³

1. M.Sc. Graduate of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: sj927221@gmail.com

2. Former Associate Professor, Department of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3. Professor, Department of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract

Recently, the use of nanoparticles for stabilizing heavy metal pollutants such as nickel in soil has attracted attention due to their unique absorption properties and cost-effectiveness. Therefore, the aim of this research was to study the effect of different nanoparticles on the biological characteristics in soil contaminated with nickel. For this purpose, a factorial incubation experiment in the form of a completely randomized design with two factors: 1) type of nanoparticle (zero valent iron nanoparticle, nanoclay and nanobiochar reed) and 2) nanoparticle rate (0, 0.5 and 1% weight/weight) was performed for 90 days in three replications. After the end of the incubation period, the biological characteristics of the soil were measured. The results showed that by increasing the application rate of the studied nanoadsorbents, the basic microbial respiration also increased in the soil contaminated with nickel. Microbial biomass carbon and catalase enzyme activity increased at the rate of 1% in zero valent iron nanoparticle, nanoclay and nanobiochar treatments compared to the control treatment. Application of nanobiochar at the rate of 0.5% and 1% increased the catalase enzyme activity by 28.33 and 37.35, respectively, compared to the control treatment. In general, the results of this research showed that the use of nanoadsorbents, especially nanobiochar, can improve the biological properties of soil contaminated with nickel.

Keywords: Nano biochar, microbial respiration, nano clay, catalase enzyme