پنجمین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان های گرد و غبار
۲۱-۲۰ بهمن ۱۴۰۰ - یزد، دانشگاه یزد
انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران
Iranian Scientific Association of Desert Management and Control (ISADMC)
دانشگاه یزد

بررسی میزان نفوذ و مقاومت به ضربه خاک با روش رسوب میکروبی کربنات کلسیم

داود نامدار خجسته[۱*]، سید عبدالله هاشمی باباحیدری[۲]

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: D.namdar@shahed.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر فناوری زیستی سازگار با محیط زیست با نام رسوب میکروبی کربنات کلسیم به عنوان یک روش موثر در تثبیت لایه سطحی خاک توسعه یافته است. در این روش اوره توسط آنزیم آوره‌آز ترشح شده از میکروارگانسیم‌ها هیدرولیز و باعث تشکیل کربنات کلسیم در حضور یون کلسیم می‌گردد. در این تحقیق از باکتری *Bacillus sphaericus* برای رسوب میکروبی استفاده گردید. این مطالعه بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور سویه باکتری، مقدار ماده‌مغذی و حجم محلول با سه تکرار انجام شد. بعد از ۲۸ روز از اعمال تیمارها در سینی‌هایی به ابعاد ۳۵×۳۵×۳ سانتی‌متری میزان نفوذ و مقاومت به ضربه اندازه‌گیری گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که حجم محلول و غلظت باکتری در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری بر میزان ضخامت لایه سطحی نداشته اما سطح مواد مغذی بر ضخامت لایه معنی‌دار است. با افزایش میزان غلظت باکتری، مقاومت به ضربه افزایش پیدا کرده و میزان نفوذ میله کاهش داشت. بیشترین و کمترین مقاومت به ضربه به ترتیب در تیمارهای F_{13} (دوبار اسپری باکتری، بدون مواد مغذی و حجم محلول ۱۲۳ میلی‌لیتر) و F_5 (بدون باکتری، مواد مغذی ۰/۵ مولار و حجم محلول ۲۶۴ میلی‌لیتر) با مقادیر ۱۲۷ و ۱۶۳ میلی‌متر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: باکتری، رسوب میکروبی، فرسایش بادی، گردو غبار

Assessment of soil penetration and impact resistance by Microbial Induced Carbonate Precipitation method

Davood Namdar Khojasteh[1*], Seyed Abdollah Hashemi Babaheidari[2]

[1] Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahed University, Tehran, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Plant Protection, Shahed University, Tehran, Iran

Corresponding Author Email: D.namdar@shahed.ac.ir

Abstract

Microbial Induced Carbonate Precipitation (MICP), an environmentally friendly biotechnology, has recently been developed as an effective technique of stabilizing the soil surface layer. In this technique, urea is hydrolyzed by microorganism's enzymes, resulting in calcium carbonate precipitation in the presence of calcium ions. In this study, *Bacillus sphaericus* was used for carbonate precipitation. This study was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with three factors of bacterial isolation, nutrient content and solution volume with three replications. The quantity of penetration and impact resistance were measured after 28 days of applying the treatments in trays with dimensions of 35 35 3 cm. The findings of this investigation indicated that the solution volume and bacterial concentration had no statistically significant effect on the thickness of

the surface layer at a level of 5%, while the level of nutrients had a statistically significant effect on the thickness of the layer. As the bacterial concentration enhanced, the impact resistance increased, but the penetration reduced. The highest and lowest impact resistance was obtained in treatments F_{13} (double bacterial spray, without nutrients and solution volume 123 ml) and F_5 (without bacteria, nutrient 0.5 M and solution volume 264 ml) with values of 127 and 163 mm, respectively.

Keywords: Bacteria; Carbonate Precipitation; Wind Erosion; Dust

مقدمه

فرسایش بادی و گرد و غبار از پدیده‌های رایج مناطق خشک و نیمه خشک هستند که پیامدهای زیانبار گسترده‌ای برای جامعه از جمله سلامت انسانها محصوصاً در فصول خشک دارند (نامدار خجسته و همکاران، ۱۳۹۶). گرد و غبار توده‌ای از ذرات جامد ریز غبار و گاهی دود است که در اتمسفر منتشر شده و دید افقی را محدود می‌کند (Miller *et al.* 2008). براساس مطالعات صورت گرفته در ایران، توفان‌های گرد و غباری در چندین سال اخیر در ایران از نظر شاخص‌هایی مانند غلظت، اندازه ذرات معلق و تداوم دوره زمانی تغییر یافته، بطوریکه در گذشته معمولاً متوسط سالانه رخداد حدود ۱۵ روز یا کمتر بوده و در سال‌های اخیر در حدود ۱۰۰ روز یا بیشتر شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱). میزان خسارت فرسایش بادی به فاکتورهایی از قبیل شدت و مدت فرسایش باد، مقدار و نوع ذرات حمل شده و ویژگی‌های لایه سطحی بستگی دارد (عظیم زاده و اختصاصی، ۱۳۸۳). فرسایش بادی و پیامدهای ناشی از آن هرساله خسارات سنگین به بخش‌های مختلف اجتماعی، محیط زیست و کشاورزی وارد می‌کند (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴)، همچنین گرد و غبار تاثیرات فروانی بر کاهش دید، سیستم حمل و نقل هوایی و زمینی، سلامت انسان از جمله مشکلات تنفسی و ریوی (Bennion et al. 2007; Goudie and Middleton, 2006) دارد. از طرف دیگر فراوانی و تشدید گرد و غبار در محیط توسط باد بدلایل اثرات زیستی ناخوشایند بر جوامع انسانی و برهم زدن توازن اکوسیستم به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (Anderson, 2014). روش‌های متنوعی جهت تثبیت خاک و کنترل فرسایش بادی از جمله روش‌های زیستی (افزایش پوشش گیاهی و میکروارگانیسم‌ها)، مکانیکی و فیزیکی (استفاده از بادشکن و غیره) (Goudie and Middleton, 2006) شیمیایی (پلیمرهای شیمیایی محصولات نفتی و غیره) و روش‌های نوین با مصالح مدرن (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Anderson, 2014) وجود دارد. مکانیسم اصلی این روش‌ها، کاهش سرعت باد، افزایش چسبندگی ذرات خاک و افزایش پایداری خاکدانه می‌باشد. استفاده از برخی مالچهای شیمیایی و نفتی در کنار اثرات سودمند آنها از نظر تثبیت خاک، دارای اثرات زیانباری قبیل ضریب جذب حرارتی بالا، آلودگی محیط زیست و ایجاد مشکلات در رشد و نمو گیاهان می‌باشند (جعفری شالکوهی و همکاران، ۱۳۹۴).

در سال‌های اخیر نیز استفاده از میکروارگانیسم‌ها به عنوان یک روش بیولوژیک، بی‌خطر و دوستدار محیط زیست در مهار پدیده مخرب گرد و غبار استفاده می‌شود (نیک سرشت و همکاران، ۱۳۹۷) . فناوری بیولوژیکی سبز و سازگار با محیط زیست بنام MICP یا همان رسوب میکروبی کربنات کلسیم بعنوان یک روش مناسب مورد توجه محققین قرار گرفته و از این روش برای کاهش فرسایش خاک و تثبیت خاک استفاده می‌گردد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۴). روش رسوب میکروبی کربنات کلسیم یا همان MICP از طریق کنترل متابولسیم میکروارگانیسم و تشکیل یک عامل سیمانی‌کننده و در محل بعنوان کربنات کلسیم یا کلسیت در تثبیت خاک بسیار موثر است (سهرابی و خداپرست، ۱۳۹۶). به طور کلی، فرایند اصلی این روش، به هم چسبیدن ذرات خاک و ماسه با عامل سیمانی ناشی از فعالیت میکروارگانسیم و کربنات بوده (باغبانان و همکاران، ۱۳۹۵)، به طوری که کریستال‌های کلسیم تشکیل شده بعنوان پلی بین ذرات خاک عمل کرده و درنتیجه موجب استحکام و پایداری خاک می‌شود (نیک سرشت و همکاران، ۱۳۹۷). هدف از این مطالعه بررسی عملکرد باکتری *Bacillus sphaericus* در میزان نفوذ پذیری و مقاومت به ضربه برای سطوح تیمار شده با این باکتری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، باکتری *Bacillus sphaericus* PTCC1 1487 (CIP S25 001) از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (IROST) به صورت کشت خالص تهیه شد. سویه باکتری در پتری دیش‌های حاوی محیط Nutrient Agar سترون کشت داده شد. پتری دیش‌های کشت داده شده به مدت ۷-۵ روز در انکوباتور با دمای ۲۵°C نگهداری شد. پس از اطمینان از رشد مناسب و بدون آلودگی سویه باکتری، برای رسیدن به غلظت مورد نظر از باکتری به روش اسپکتروفتومتری، ابتدا باکتری در محیط کشت مایع Nutrient Broth (Merck®, Germany) سترون کشت داده شد و تا زمان رسیدن به انتهای فاز رشد تصاعدی در انکوباتور شیکردار در دمای ۲۸/۵°C و ۲۰۰ دور در دقیقه نگهداری شد. غلظت باکتری موجود در محیط کشت محلول مورد استفاده در آزمایش به روش اندازه گیری تراکم نوری[1] با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۰۰ nm تعیین شد. از محیط کشت Nutrient Broth سترون به عنوان شاهد برای خوانش استفاده شد و هر نمونه سه بار خوانده شد. با توجه به اینکه گزارش شده است که جمعیت باکتری در OD=1 برابر با 10^9 cell/ml است (Ooi *et al.* 2008)، پس از چندین بار تکرار آزمایش، بیشترین میزان تراکم نوری بدست آمده، ۰/۵ به دست آمد. این مطالعه بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور جدایه باکتری (وجود یا عدم وجود جدایه باکتری)، مقدار ماده مغذی (با دو سطح ۰، ۰/۵ مولار) و حجم محلول (۱۲۳، ۲۶۴ و ۳۶۹ میلی‌لیتر) با سه تکرار انجام شد. برای تهیه ماده مغذی ۰/۵ مولار از مواد Nutrient broth (۳ گرم در لیتر)، کلرید آمونیوم (۱۰ گرم در لیتر) و بیوکربنات سدیم (۲/۱۲ گرم در لیتر) استفاده شد (Zomorodian *et al.* 2019).

شکل ۱. کشت باکتری و تکثیر آن در محیط کشت Nutrient broth

پس از انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی بر روی نمونه‌ها، آماده کردن باکتری، خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس با استفاده از اتوکلاو، در دمای ۱۲۱ درجه سیلسیوس و فشار ۱۵ PSI به مدت دو ساعت استریل و پس از سرد شدن، خاک توزین شده به مقدار تقریبی ۳ کیلوگرم در سینی‌هایی به ابعاد ۳۵×۳۵×۳ سانتی‌متری ریخته شد. اندازه‌گیری ضخامت سله تشکیل شده، اطلاعات مهمی در مورد لزوجت، میزان نفوذ خاکپوش و غیره را می‌دهد. در این مطالعه، اندازه میزان نفوذ پذیری با استفاده از دستگاه کولیس[2] با سه تکرار اندازه‌گیری شد (شکل ۲). اندازه‌گیری مقاومت به ضربه با رها کردن میله‌ای آهنی به وزن ۲۰۰ گرم از ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری به صورت عمودی بر روی سینی‌ها با سه تکرار در مکان‌های مختلف سینی، اندازه‌گیری شد. در این مطالعه اندازه‌گیری این شاخص برای تیمارهای مختلف، بعد از ۲۸ روز انجام شد.

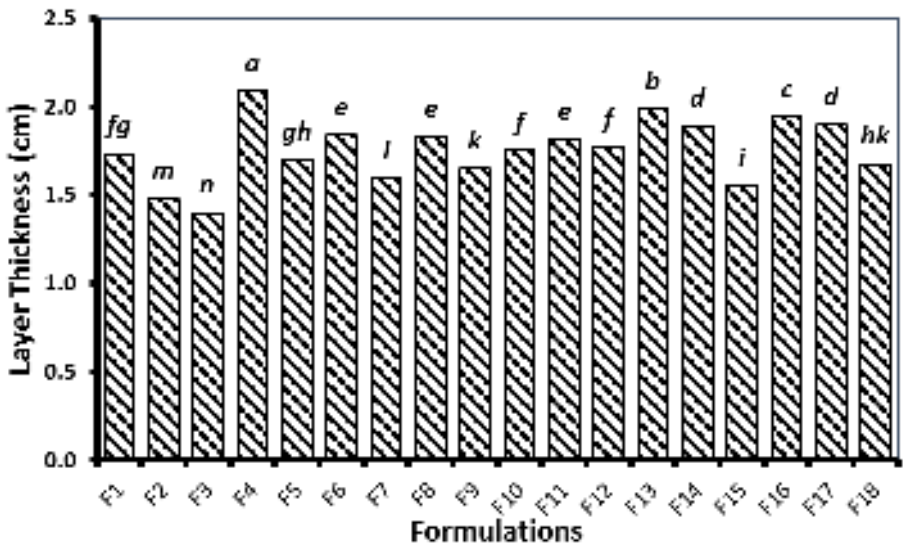
[1] Optical Density
[2] Colis

شکل ۲. اندازه‌گیری ضخامت لایه تشکیل‌شده با کمک دستگاه کولیس.

نتایج

آزمون نفوذ یا ضخامت لایه

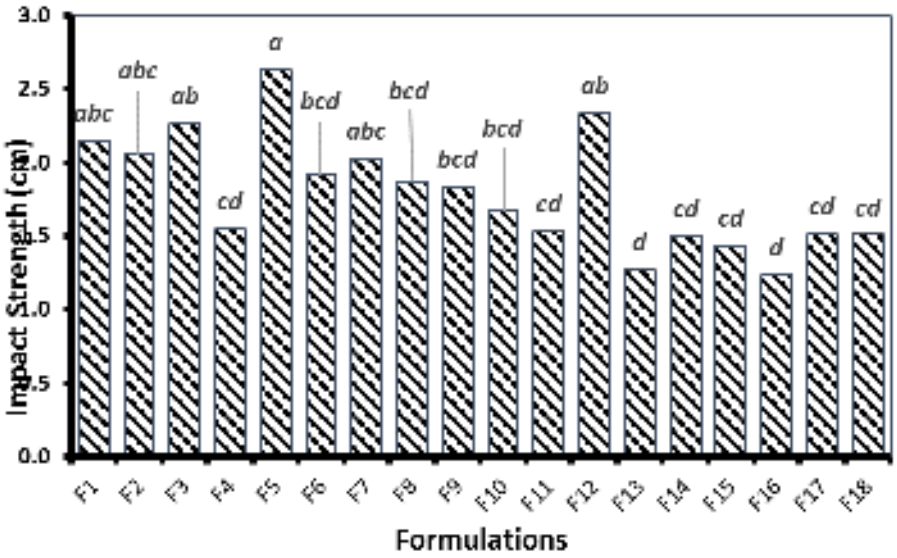
نتایج نشان داد که غلظت باکتری تاثیر معنی‌داری بر ضخامت لایه ندارد. بیشترین ضخامت لایه در تیمار با دوبار اسپری (BS_2t) به میزان ۱۸۳ میلی‌متر و کمترین ضخامت لایه در تیمار بدون باکتری (WBt) به ضخامت ۱۷۰ میلی‌متر به دست آمد. نتایج اثر متقابل غلظت باکتری و حجم محلول نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بیشترین ضخامت لایه به میزان ۱۹۶ میلی‌متر در تیمار بار دوبار اسپری باکتری با حجم محلول ۱۲۳ میلی‌لیتر (BS_2 WC_1) و کمترین ضخامت لایه به میزان ۱۵۹ میلی‌متر در تیمار بدون باکتری با حجم محلول ۲۶۴ میلی‌لیتر (WB WC_2) به دست آمد. نتایج اثر متقابل غلظت باکتری و مواد مغذی نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد به طوری که بیشترین ضخامت با میزان ۱۸۸ میلی‌متر و کمترین ضخامت با مقدار۱۵۲ میلی‌متر به ترتیب در تیمارهای بدون باکتری با سطح غلظت ۰/۵ (WB C_1) و بدون باکتری با صفر مولار مواد مغذی (WB C_0) اتفاق افتاد. نتایج کلی اثر متقابل غلظت باکتری، حجم محلول و مواد مغذی نشان داد که بین تیمارها در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشته و ضخیم‌ترین لایه (۲۰۹ میلی‌متر) در تیمار F_4 و کمترین ضخامت لایه (۱۴۰ میلی‌متر) در تیمار F_3 می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳. بررسی اثر متقابل سطوح غلظت باکتری، مواد مغذی و حجم محلول بر ضخامت لایه

آزمون مقاومت به ضربه

نتایج تاثیر غلظت باکتری بر مقاومت به ضربه نشان داد که با افزایش میزان غلظت باکتری، مقاومت به ضربه افزایش پیدا کرده و میزان نفوذ میله کاهش معنی‌داری داشته است. بیشترین مقاومت به ضربه یا نفوذ میله در خاک (۱۴۱ میلی‌متر) در سطح با دوبار اسپری باکتری (BS_2t) و کمترین مقاومت به ضربه (۲۰۹ میلی‌متر) در سطح بدون باکتری (WBt) به دست آمد. نتایج بررسی اثر متقابل مواد مغذی و حجم محلول نشان داد که اختلاف بین تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند. بیشترین مقاومت به نفوذ میله (۱۴۸ میلی‌متر) برای تیمار با غلظت ۰/۵ مولار مواد مغذی و حجم محلول ۲۶۴ میلی‌لیتر (C_1 WC_2) و کمترین مقاومت به نفوذ میله (۱۹۲ میلی‌متر) برای تیمار با غلظت ۰/۵ مولار مواد مغذی و حجم محلول ۱۲۳ میلی‌لیتر (C_1 WC_1) می‌باشد. نتایج بررسی اثر متقابل غلظت باکتری و حجم محلول نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بیشترین نفوذ میله یا کمترین مقاومت به ضربه در تیمار بدون باکتری و حجم محلول ۲۶۴ میلی‌لیتر (WB WC_2) به میزان ۲۳۴ میلی‌متر و بیشترین مقاومت به ضربه در تیمار با دوبار اسپری باکتری و حجم محلول ۱۲۳ میلی‌لیتر (BS_2 WC_1) اتفاق افتاد. روند کاهش نفوذ میله نشان دهنده این واقعیت است که با افزایش سطح غلظت باکتری، مقاومت به ضربه کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند. نتایج بررسی اثر متقابل مواد مغذی و مواد مغذی نشان داد که روند کاهش نفوذ میله به خاک با افزایش غلظت باکتری و مواد مغذی می‌باشد. اختلاف بین تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و بیشترین مقاومت به ضربه در تیمار با دوبار اسپری و بدون مواد مغذی (BS_2 C_0) با مقدار ۱۴۰ میلی‌متر و کمترین مقاومت به ضربه در تیمار بدون باکتری و مواد مغذی (WB C_0) با مقدار ۲۱۶ میلی‌متر می‌باشد. نتایج کلی اثر متقابل غلظت باکتری، مواد مغذی و حجم محلول نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد (شکل ۴). بیشترین و کمترین مقاومت به ضربه به ترتیب در تیمارهای F_{13} (دوبار اسپری باکتری، بدون مواد مغذی و حجم محلول ۱۲۳ میلی‌لیتر) و F_5 (بدون باکتری، مواد مغذی ۰/۵ مولار و حجم محلول ۲۶۴ میلی‌لیتر) با مقادیر ۱۲۷ و ۱۶۳ میلی‌متر به دست آمد.



شکل ۴. بررسی اثر متقابل سطوح غلظت باکتری، مواد مغذی و حجم محلول بر مقاومت به ضربه

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمون ضخامت لایه نشان داد حجم محلول و غلظت باکتری در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری بر میزان ضخامت لایه سطحی نداشته اما سطح مواد مغذی بر ضخامت لایه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. بیشترین ضخامت لایه در تیمار با ۰/۵ مولار مواد مغذی (C_1t) به میزان ۱۸۳ میلی‌متر و کمترین ضخامت لایه در تیمار بدون مواد مغذی (C_0t) به میزان ۱۶۲ میلی‌متر مشاهده گردید. روند افزایش به صورت خطی بوده و با افزایش غلظت، ضخامت لایه نیز بیشتر شد. نتایج کلی اثر متقابل غلظت باکتری، حجم محلول و مواد مغذی نشان داد که بین تیمارها در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشته و ضخیم‌ترین لایه (۲۰۹ میلی‌متر) در تیمار F_4 و کمترین ضخامت لایه (۱۴۰ میلی‌متر) در تیمار F_3 می‌باشد.

نتایج آزمون مقاومت به ضربه نشان داد افزایش موادمغذی و حجم محلول تاثیر معنی‌داری در مقاومت به ضربه نداشته اما با افزایش غلظت باکتری تاثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر روی مقاومت به ضربه نمونه‌ها داشته به طوری که با افزایش میزان غلظت باکتری، مقاومت به ضربه افزایش پیدا کرده و میزان نفوذ میله کاهش داشته است. بیشترین مقاومت به ضربه یا نفوذ میله در خاک (۱۴۱ میلی‌متر) در سطح با دو بار اسپری باکتری (BS_2t) و کمترین مقاومت به ضربه (۲۰۹ میلی‌متر) در سطح بدون باکتری (WBt) به دست آمد. نتایج کلی اثر متقابل غلظت باکتری، مواد مغذی و حجم محلول نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بیشترین و کمترین مقاومت به ضربه به ترتیب در تیمارهای F_{13} (دوبار اسپری باکتری، بدون مواد مغذی و حجم محلول ۱۲۳ میلی‌لیتر) و F_5 (بدون باکتری، مواد مغذی ۰/۵ مولار و حجم محلول ۲۶۴ میلی‌لیتر) با مقادیر ۱۲۷ و ۱۶۳ میلی‌متر به دست آمد. استفاده از روش رسوب میکروبی کربنات کلسیم برای بهبود مقاومت و چسبندگی ذرات خاک توسط پژوهشگران دیگر نیز استفاده شده و نتایج نسبتا مطلوبی را نشان داده است (Kalkan, 2020; Martinez *et al.*, 2013; Peng *et al.*, 2020; Maleki *et al.*, 2016; Shahrokhi-Shahraki *et al.*, 2015)

سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی و معنوی دانشگاه شاهد انجام گردید. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را اعلام نماید.

منابع

جعفری شالکوهی، ع.، وفائیان، م.، روشن ضمیر، م. ع.، میر محمد صادقی، م. (۱۳۹۴). ارزیابی عوامل موثر بر تثبیت خاک‌های ریز دانه در برابر باد به منظور جلوگیری از پیدایش ریزگردها . نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۹ (۷۳): ۳۲۱-۳۲۹.

سهرابی، ن.، خداپرست، م. (۱۳۹۶). بررسی تاثیر نوع ریزدانه بر بهسازی بیولوژیکی خاک ماسه‌ای. نشریه زمین شناسی مهندسی، ۱۲ (۴): ۱۲-۲۴.

عزیزی، ق.، میری، م.، نبوی، س. ا. (۱۳۹۱). پدردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۲ (۷): ۸۱-۶۳.

عظیم زاده، ح.، اختصاصی، م. ر. (۱۳۸۳). فرسایش بادی: بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سرعت آستانه فرسایش بادی (مطالعه موردی - دشت یزد - اردکان). منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۲): ۲۳۴-۲۲۵

ملکی کاکلر، م.، ابراهیمی، س.، اسدزاده، ف.، امامی تبریزی، م. (۱۳۹۵). ارزیابی کارایی رسوب میکروبی کربنات برای تثبیت شن‌های روان. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷ (۱۹): ۴۱۵-۴۰۷.

نامدار خجسته، د.، بهرامی، ح.ع.، کیانی‌راد، م.، بازگیر، م.، فاضلی سنگانی، م. (۱۳۹۶). تثبیت منشاء گردو غبار با استفاده از پلیمرهای زیستی در استان سمنان، پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۶ تا ۸ شهریوردانشگاه صنعتی اصفهان.

نیک سرشت، ف.، لندی، ا.، قزلباش، غ.، بهرامی،ح. (۱۳۹۷). بررسی اثر باکتری اسپورسارسینا پاستوری و نوع محیط کشت بر رسوب زیستی کربنات کلسیم و کنترل فرسایش بادی خاک شنی در خوزستان، تحقیقات کاربردی خاک، ۷ (۳): ۲۸-۳۲.

Anderson, J., Bang S., Bang S. S., Lee S. J., Choi S. R., & Dho N. Y. (2014). Reduction of wind erosion potential using microbial calcite and soil fibers. In: Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability. p 1664-1673.

Bennion, P., Hubbard R., O'Hara S., Wiggs G., Wegerdt J., Lewis S., Small I., van der Meer J., & Upshur R. (2007). The impact of airborne dust on respiratory health in children living in the Aral Sea region. International journal of epidemiology, 36(5):1103-1110.

Deriase, S. F., & El-Gendy, N. S. (2014). Mathematical correlation between microbial biomass and total viable count for different bacterial strains used in biotreatment of oil pollution. Biosci. Biotechnol. Res. Asia, 11, 61-65.

Goudie, A. S., & Middleton N. J. (2006). Dust storm control. Desert Dust in the Global System:193-199.

Kalkan, E. (2020). A Review on the Microbial Induced Carbonate Precipitation MICP for Soil Stabilization. International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications, 2(1): 38-47.

Maleki, M., Ebrahimi, S., Asadzadeh, F., & Tabrizi, M. E. (2016). Performance of microbial-induced carbonate precipitation on wind erosion control of sandy soil. International journal of environmental science and technology, 13(3): 937-944.

Martinez, B. C., DeJong, J. T., Ginn, T. R., Montoya, B. M., Barkouki, T. H., Hunt, C., Tanyu, B. and Major. D. (2013). Experimental optimization of microbial-induced carbonate precipitation for soil improvement. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 139(4): 587-598.

Miller, S. D., A. P. Kuciauskas, M. Liu, Q. Ji, J. S. Reid, D. W. Breed, A. L. Walker, and A. A. Mandoos. (2008). Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 113(D1).

Ooi, T., Ariff A., Halimi M., & Shamsuddin Z. (2008). Growth kinetics of diazotrophic Bacillus sphaericus UPMB10 cultured using different types and concentrations of carbon and nitrogen sources. Malaysian Journal of Microbiology, 4(2):15-25.

Peng, D., Qiao, S., Luo, Y., Ma, H., Zhang, L., Hou, S., Wu, B. and Xu, H. (2020). Performance of microbial induced carbonate precipitation for immobilizing Cd in water and soil. Journal of hazardous materials, 400: 123116.

Shahrokhi-Shahraki, R., Zomorodian, S. M. A., Niazi, A., & O'Kelly, B. C. (2015). Improving sand with microbial-induced carbonate precipitation. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement, 168(3): 217-230.

Zomorodian, S. M. A., Ghaffari H., & O'Kelly B. C. (2019). Stabilisation of crustal sand layer using biocementation technique for wind erosion control. Aeolian Research, 40:34-41.