تأثیر پوسته‌های بیولوژیکی و پلیمر پلی‌الکترولیت آنیونی بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی یک خاک شنی

عاطفه اسمعیلی دستجردی پور، محمد هادی فرپور* و مهدی سرچشمه پور[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱/۱۷)

چکیده

ترکیبات آلی تولیدی توسط سیانوباکتری‌ها و نیز برخی ترکیبات پلیمری، نقش مهمی در خاکدانه‌سازی و افزایش پایداری ساختمان خاک‌های شنی بازی می‌کنند. در این پژوهش تأثیر پوسته‌های بیولوژیک و پلیمر پلی‌الکترولیت آنیونی بر برخی خصوصیات یک خاک شنی در دو آزمایش مستقل بررسی شد. در آزمایش اول ابتدا تأثیر تیمارهای سیانوباکتری (*Nostoc. sp*، *Phormidium.sp* و ترکیب دو گونه) و ۴ زمان بر تشکیل پوسته‌ها، کربن آلی، کربنات کلسیم، مقاومت به نفوذ و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک زیر پوسته‌ها بررسی گردید. تیمار ترکیب دو گونه با دوره زمانی ۶۰ روز، با ۲/۲ درصد کربن آلی، ۰/۲ مگاپاسکال مقاومت به نفوذ، ۹۶/۷ درصد خاکدانه‌های درشت به‌عنوان تیمار برتر معرفی شد. در بخش دوم تأثیر تیمار برتر سیانوباکتری و زمان بر اندازه خاکدانه‌ها بررسی گردید. تیمار ۶۰ روز با ۹۶/۷ درصد خاکدانه‌های درشت مؤثرترین تیمار بود. آزمایش دوم شامل ۴ غلظت (صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد) پلیمر بود که تأثیر آنها بر مقاومت ساختمانی خاک شنی در سه عمق (۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر) مطالعه شد. تیمار ۴ درصد با ۰/۶ مگاپاسکال مقاومت به نفوذ و ۹۰/۹ درصد خاکدانه‌های درشت، مؤثرترین تیمار بود. اختلاف معنی-داری نیز بین مقاومت به نفوذ اعماق ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی، پلیمر، سیانوباکتری، مقاومت به نفوذ، میانگین وزنی قطر خاکدانه

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farpoor@uk.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]

مقدمه

خاک‌های اراضی بیابانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با مشکلاتی از قبیل شرایط فیزیکی نامناسب، حاصلخیزی کم، محتوای کم مواد آلی و ساختمان ضعیف روبه‌رو هستند. سیانوباکتری‌ها در این مناطق نقش مهمی در بالا بردن مواد آلی خاک ایفا می‌کنند (۲۳). این موجودات به‌واسطه اتوتروف بودن، مواد آلی را تولید می‌کنند و این ترکیبات را به خاک می‌افزایند. از سوی دیگر این ترکیبات آلی با محصور کردن سلول‌ها و رشته‌های سیانوباکتری از آنها در برابر شرایط نامساعد محیطی محافظت می‌کند (۵). بررسی‌ها نشان داده پوسته‌های ایجاد شده توسط سیانوباکتری‌ها نقش مهمی در غنی‌سازی خاک‌های مناطق بیابانی از ترکیبات کربن دارند و موجب بهبود خصوصیات هیدرولوژی و پایداری خاک می‌گردند. این مسئله توسط پژوهشگران بسیاری از قبیل احمد و همکاران (۲)، ماکوابلا و همکاران (۲۰) و نیز نیشا و همکاران (۲۳) گزارش شد. این مسئله در فرآیند تبدیل خاک‌های مناطق بیابانی به خاک‌هایی حاصلخیز از اهمیت بالایی برخوردار است. پوسته‌های بیولوژیکی با ممانعت از هدر رفت عناصر مغذی در خاک قابلیت در دسترس بودن آنها را افزایش می‌دهند. این مسئله به‌دلیل تمرکز بیشتر چرخه‌های عناصر غذایی در سطح به‌واسطه حضور این پوسته‌ها است. سیانوباکتری‌ها با تشکیل شبکه‌هایی در هم تنیده از رشته‌های خود، باعث هماوری ذرات منفرد خاک و افزایش پایداری ساختمان خاک‌های شنی می‌گردند (۱۸). افزایش خاکدانه‌سازی در خاک‌های متأثر از این پوسته‌ها نیز در اثر تولید ترکیبات پلی‌ساکاری توسط آنها نیز می‌باشد (۲). بررسی تلقیح سیانوباکتری گونه نوستوک در یک خاک شنی نشان داد که ذرات خاک توسط اگزوپلی‌ساکاریدهای تولید شده توسط این سیانوباکتری به‌یکدیگر متصل شدند. این ذرات درکنار یکدیگر در شبکه‌ای در هم تنیده از غلاف‌های سیانوباکتری‌ها به‌دام افتادند. تجزیه‌های شیمیایی نیز افزایش میزان کربن آلی را در نتیجه تلقیح این گونه نشان داد (۲۰).

در کنار روش‌های بیولوژیکی، به‌منظور بهبود شرایط خاک‌های شنی، ترکیبات شیمیایی نظیر پلیمرها نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کاربرد پلیمرها به‌منظور تثبیت ذرات خاک، تکنیک شیمیایی جدیدی برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک است. این مواد با قرار گرفتن در سطوح خارجی خاکدانه‌ها و تشکیل شبکه‌هایی در اطراف آنها، سبب افزایش پایداری آنها می‌گردند. بررسی تأثیر پلیمر پلی‌آکریل‌آمید در کنترل فرسایش بادی در دو خاک لوم شنی ریز و لوم رسی سیلتی نشان داد که میزان خاک فرسایش‌یافته توسط باد از ۳۳ تا ۹۸ درصد در هر دو خاک کاهش یافت. دلیل این کاهش نیز توانایی این پلیمر در اتصال ذرات خاک لایه سطحی و ایجاد پوسته سطحی مقاوم بود (۴). بررسی تأثیر محلول پلی‌اکریل‌آمید با آهک و گچ در تثبیت خاک نشان داد که کاربرد گچ و آهک با این پلیمر موجب افزایش کارایی آن می‌شود. علاوه بر این، کاربرد ترکیبی آنها به‌عنوان پوششی در اطراف گچ و آهک در کاهش فرسایش مؤثرتر بود (۱۴). این پژوهش با توجه به اهمیت حفاظت از مناطق بیابانی، جلوگیری از هدر رفت منابع طبیعی این مناطق و اثرات مثبت سیانوباکتری‌ها و برخی پلیمرهای سنتزی بر بهبود برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های شنی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در دو آزمایش کاملا مجزا، اما به‌طور هم‌زمان به‌شرح زیر انجام شد. این مطالب در دو بخش زیر قابل تفکیک هستند. به‌منظور مطالعه پایداری ساختمانی خاک‌های شنی، خاکی درشت‌بافت با کلاس بافت شنی (۷۹٪ شن، ۱۳/۶٪ رس، ۷/۴٪ سیلت) مورد استفاده قرار گرفت. این خاک دارای pH=۷/۶۲، EC=۰/۶ dS/m، SP=٪۲۸/۳۴، FC=٪۲۲/۶۷، ۰/۲۴ درصد کربن آلی و ۲۳ درصد کربنات کلسیم بود.

آزمایش اول

این آزمایش خود شامل دو بخش مجزا بود. در بخش اول ابتدا مقدار کافی از نمونه خاک استریل در ظروفی با قطر داخلی ۵ و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]

ارتفاع ۸ سانتی‌متر به میزان ۲۵۰ گرم توزین گردید. پس از اعمال ۳ تیمار سیانوباکتری شامل نوستوک (*N*) (*Nostoc. Sp*)، فورمیدیوم (*Ph*) (*Phormidium.sp*)، ترکیب دو گونه (Ph+N) و شاهد، تأثیر ۴ تیمار زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز (T۱،T۲، T۳ وT۴) در ۳ تکرار بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تلقیح شده مورد بررسی قرار گرفت. تعداد کل نمونه‌ها در این بخش ۴۸ عدد بود. این بخش از آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری کاملا تصادفی انجام پذیرفت. با تعیین تیمار برتر سیانوباکتری از بین سه تیمار براساس ضخامت و مقاومت به نفوذ پوسته‌ها، در بخش دوم تأثیر تیمار برتر (ترکیب دو گونه) در مقایسه با شاهد در چهار تیمار زمانی گفته شده بر میانگین وزنی قطرخاکدانه‌ها و توزیع اندازه آنها در سه تکرار به‌صورت طرح آماری کاملا تصادفی بررسی شد. تعداد نمونه‌ها در این بخش ۲۴ عدد بود.

آزمایش دوم

در این بخش، تأثیر غلظت پلیمر بر مقاومت به نفوذ و میانگین وزنی قطرخاکدانه‌ها بررسی شد. پلیمر مصرفی با نام تجاری پلی الکترولیت آنیونی، جامد و پودری شکل از گروه پلیمرهای پلی آکریل آمید بود و از نماینده کمپانی آمبرلیچ انگلستان تهیه شد. تیمارها شامل ۴ سطح پلیمر (صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد) در ۳ تکرار و در کل ۱۲ نمونه بود که تأثیر تیمارهای غلظت در اعماق ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متری سطح خاک مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ۲۰۰۰ گرم خاک در ظروف فلزی به قطر داخلی ۱۰ سانتی‌متر توزین گردید (عمق خاک ۶ سانتی‌متر) و محلول‌هایی با درصدهای ذکر شده تهیه وبه‌شکل همگن به سطح خاک اسپری شدند. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در هر دو آزمایش با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار MSTAT-C و SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

بررسی‌های آزمایشگاهی و اندازه‌گیری‌ها

این بررسی‌ها شامل کربن آلی خاک زیر پوسته‌ها با روش والکی- بلاک (۲۵)، میزان کربنات کلسیم در نتیجه فعالیت سیانوباکتری‌ها با روش تیتراسیون برگشتی (۲۲) و میزان مقاومت به نفوذ در نمونه خاک‌های تیمار شده بود که با استفاده از دستگاه نفوذسنج دیجیتال (پنترولاگر) اندازه‌گیری شد (۱۱). تأثیر تشکیل این پوسته‌ها و نیز کاربرد پلیمر پلی‌آکریل‌آمید بر پایداری ساختمان خاک شنی با اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (MWD_D) با روش کمپر و رزینو و با استفاده از فرمول زیر بررسی شد (۱۳).

رابطه ۱: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \bar{x}wi$$

$\bar{x}$: میانگین قطر خاکدانه‌های باقی مانده بر روی الک

W_i : نسبت وزن خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک به وزن کل نمونه

n: تعداد الک‌ها

نتایج و بحث

تأثیر تیمار سیانوباکتری و زمان بر کربن آلی خاک

تأثیر تیمار سیانوباکتری، زمان و اثرات متقابل آنها بر میزان کربن آلی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. ترکیب دو گونه در دوره ۶۰ روز با اختلاف معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارها با ۲/۲ درصد کربن آلی در بالاترین سطح قرار گرفت. همین تیمار در دوره ۴۵ روز نیز با ۱/۶ درصد کربن آلی سطح دوم را به خود اختصاص داد. نتایج نشان داد که با گذشت ۱۵ روز از زمان تلقیح، میزان کربن آلی در نمونه‌های تلقیح شده با فورمیدیوم و نوستوک تا بیش از ۲/۵ برابر و در تیمار ترکیب دو گونه تا ۳ برابر اولیه افزایش یافت. این در حالی بود که با گذشت ۶۰ روز، میزان کربن آلی در تیمار ترکیب دو گونه تا ۹ برابر و در تیمار فورمیدیوم و نوستوک تا ۶ برابر اولیه افزایش یافت (جدول ۱). آسیا و همکاران (۱) نیز در بررسی‌های خود

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]

جدول ۱. اثرات متقابل تیمار سیانوباکتری فورمیدیوم (pH)، نوستوک (N) و ترکیب دو گونه (Ph+N) و زمان بر کربن آلی خاک (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

تیمار	شاهد	Ph	N	Ph+N
T۱	۰/۲^{j}	۰/۵^{i}	۰/۵^{i}	۰/٦^{gh}
T۲	۰/۲^{j}	۰/۷^{g}	۰/٦^{hi}	۰/۹^{ef}
T۳	۰/۲^{j}	۰/۹^{e}	۰/۸^{f}	۱/٦^{b}
T۴	۰/۲^{j}	۱/۳^{c}	۱/۲^{d}	۲/۲^{a}

نتایج مشابهی را گزارش کردند. آنها نشان دادند که تلقیح این گروه از سیانوباکتری‌ها موجب افزایش کربن آلی خاک می‌گردد. نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های آرین و کیاک (۳) و ماجر (۱۶) نیز همخوانی دارد. آنها بیان کردند که سیانوباکتری‌ها به‌دلیل توانایی توسعه در سطح خاک و تولید ترکیبات پلی‌ساکاریدی، باعث افزایش کربن آلی خاک سطحی می‌گردند.

تأثیر تیمار سیانوباکتری و زمان بر میزان کربنات کلسیم خاک

تأثیر تیمار سیانوباکتری بر میزان کربنات کلسیم موجود در خاک بخش زیرین پوسته‌های بیولوژیکی در سطح یک درصد معنی‌دار شد اما تأثیر زمان و اثرات متقابل آنها معنی‌دار نشد. تیمار فورمیدیوم و نوستوک به‌ترتیب با ۲۵/۹٦ و ۲۵/۷۴ درصد کربنات کلسیم بدون اختلاف معنی‌داری نسبت به یکدیگر در بالاترین سطح قرار گرفتند و خاک شاهد با ۲۴ درصد پایین‌ترین سطح را به خود اختصاص داد (شکل ۱). با توجه به اینکه حتی مقادیر جزئی کربنات کلسیم نیز در خاک از اهمیت بالایی برخوردار است، نظر به‌اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های تیمار شده با نمونه شاهد، افزایش در میزان کربنات کلسیم در خاک‌های تیمار شده با سیانوباکتری قابل توجه است. نتایج به‌دست آمده از این بخش با نتایج وانگ و همکاران (۲٦) و جانسن و نوردن (۱۲) همخوانی داشت. آنها در بررسی‌های خود نشان دادند که میزان کربنات کلسیم در خاک‌های تلقیح شده با سیانوباکتری‌ها در مقایسه با خاک شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این افزایش طبق یافته‌های پژوهشگران ذکر شده مربوط به توانایی سیانوباکتری‌ها در تولید کربنات کلسیم است.

تأثیر تیمار سیانوباکتری و زمان بر میزان مقاومت به نفوذ خاک سطحی

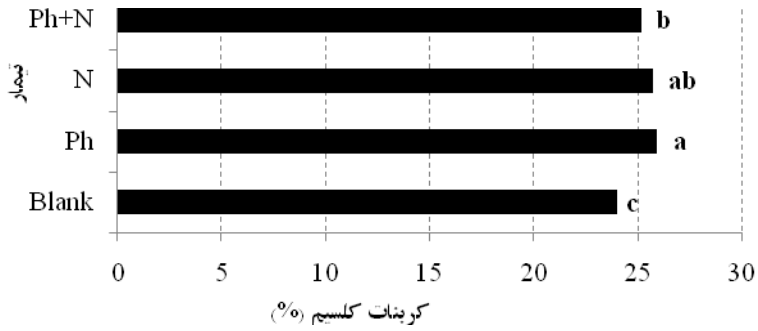
تأثیر تیمارهای سیانوباکتری، زمان و اثرات متقابل آنها بر مقاومت به نفوذ پوسته‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. تیمار ترکیب دو گونه در دوره ٦۰ روز با ۰/۲۷ مگاپاسکال مقاومت به نفوذ، با اختلاف معنی‌داری در مقایسه با دیگر تیمارها بالاترین سطح را به‌خود اختصاص داد. نمونه خاک شاهد نیز با ۰/۰۴ مگاپاسکال در پایین‌ترین سطح قرار گرفت (جدول ۲). نتایج گزارش شده توسط هیو و همکاران (۱۰) و زای و همکاران (۲۷) نیز نتایج به‌دست آمده در این بخش را تأیید می‌کنند. آنها بیان کردند که رشته‌های ایجاد شده توسط سیانوباکتری‌ها مسئول مقاومت کششی در سطح خاک هستند. با گذشت زمان، رشته‌های تولید شده توسط سیانوباکتری‌ها گسترش یافته و به‌دلیل توسعه بیشتر پوسته‌ها مقاومت کششی در سطح خاک نیز افزایش می‌یابد.

تأثیر تیمار سیانوباکتری و زمان بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

با مشخص شدن ترکیب دو گونه به‌عنوان تیمار برتر سیانوباکتری‌ها، تأثیر این تیمار و ۴ زمان بر میانگین وزنی قطر

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

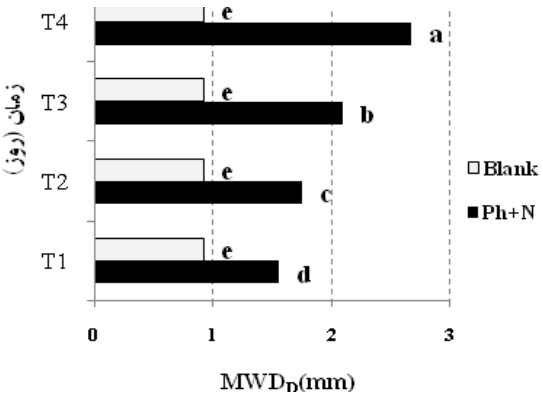
[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]



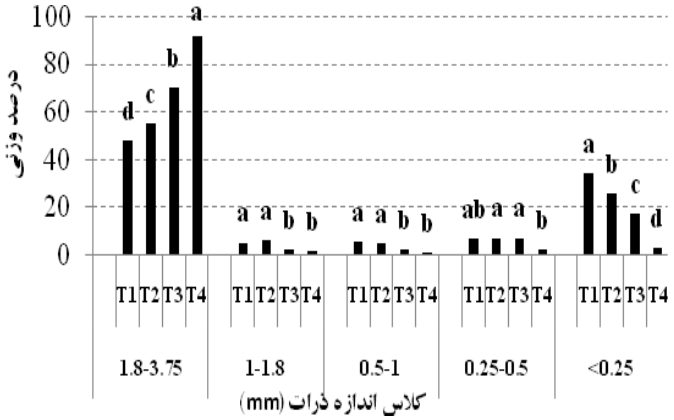
شکل ۱. تأثیر تیمار سیانوباکتری فورمیدیوم (pH)، نوستوک (N) و ترکیب دو گونه (Ph+N) و شاهد (Blank) بر کربنات کلسیم خاک (میانگین-های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

جدول ۲. اثرات متقابل تیمار سیانوباکتری فورمیدیوم (pH)، نوستوک (N) و ترکیب دو گونه (Ph+N) و زمان بر مقاومت به نفوذ پوسته‌ها (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

تیمار	شاهد	Ph	N	Ph+N
T۱	۰/۰۴^{e}	۰/۰۷^{de}	۰/۰۶^{de}	۰/۰۸^{de}
T۲	۰/۰۴^{e}	۰/۰۶^{de}	۰/۰۹^{de}	۰/۰۹^{de}
T۳	۰/۰۴^{e}	۰/۰۷^{de}	۰/۱^{cd}	۰/۱^{bc}
T۴	۰/۰۴^{e}	۰/۰۹^{de}	۰/۱^{b}	۰/۱^{a}



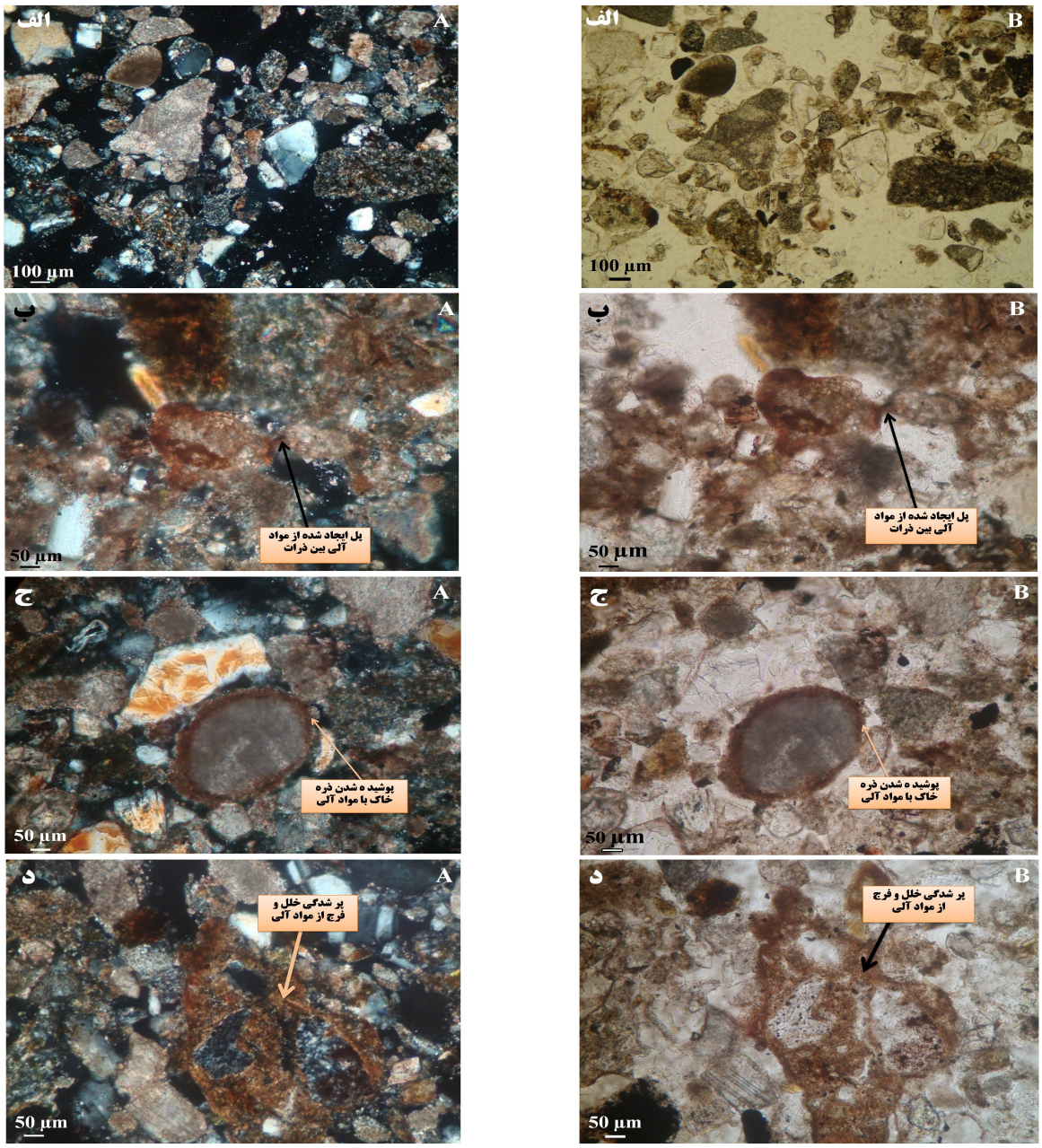
شکل ۲. اثرات متقابل تیمار سیانوباکتری و زمان بر MWD_D (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)



شکل ۳. تأثیر تلقیح و زمان بر کلاس توزیع اندازه ذرات (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]

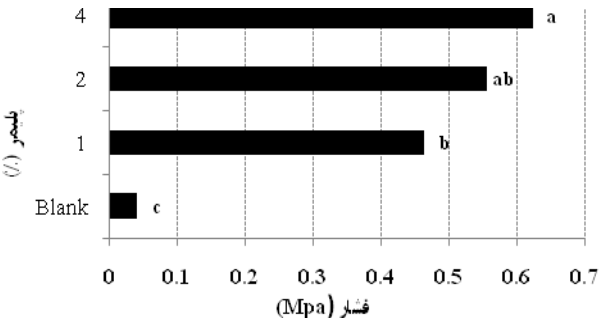


شکل ۴. تصاویر مقاطع نازک از نمونه تلقیح شده با ترکیب دو گونه A: XPL، B: PPL. الف: شاهد، ب: تیمار ۱۵ روز، ج: تیمار ۴۵ روز، د: تیمار ۶۰ روز

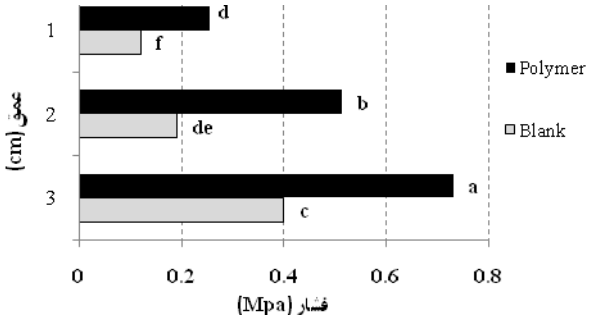
خاکدانه‌ها نیز (MWD_D) مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر تیمار سیانوباکتری، زمان و اثرات متقابل آنها بر این ویژگی در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. با توجه به‌نتایج مقایسه میانگین‌ها، روندی افزایشی در میزان MWD_D با گذشت زمان مشاهده شد. این پارامتر از مقدار ۱/۵۶ میلی‌متر در ۱۵ روز به حداکثر ۲/۶۷ میلی‌متر در ۶۰ روز رسید و ۱/۷ برابر افزایش یافت (شکل ۲). تیمار ترکیب دو گونه در دوره ۶۰ روز دارای ۹۶/۸ درصد خاکدانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) و ۳/۲۶ درصد خاکدانه‌های ریز (کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) بود، در حالی که دوره ۱۵ روز دارای ۶۵/۹ درصد خاکدانه‌های درشت و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]



شکل ۵. تأثیر درصد پلیمر بر مقاومت سله سطحی (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)



شکل ۶. تأثیر عمق بر مقاومت سله سطحی (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

۳۴/۱۶ درصد خاکدانه‌های ریز بود (شکل ۳). با ۴ برابر شدن زمان، میزان خاکدانه‌های درشت تا ۱/۴۷ برابر افزایش و میزان خاکدانه‌های ریز نیز به بیش از ۱۰/۶ برابر کاهش یافت. نتایج این بخش با نتایج به‌دست آمده از بررسی مالام ایسا و همکاران (۱۷) نیز همخوانی دارد. تصاویر مقاطع نازک از نمونه‌های تلقیح شده با تیمار ترکیب دو گونه چگونگی اتصال ذرات منفرد را در خاک به‌وسیله مواد آلی در مقایسه با نمونه شاهد (شکل ۴- الف) نشان داد. در مدت ۱۵ روز بعد از تلقیح، مواد آلی به‌صورت پراکنده مشاهده شدند و در برخی بخش‌های مقطع به‌صورت پل‌های اتصال دهنده بین ذرات خاک قرار گرفتند (شکل ۴- ب). با سپری شدن ۴۵ روز، ذرات منفرد خاک با لایه‌ای از مواد آلی پوشیده شدند و سطح بیشتری را برای اتصال ذرات منفرد ایجاد کردند (شکل ۴- ج). این وضعیت با گذشت ۶۰ روز به‌صورت خلل و فرج پر شده توسط ترکیبات آلی در آمد و علاوه بر اتصال ذرات درشت، کاهش قابل توجهی نیز در اندازه خلل و فرج موجود در خاک ایجاد کرد (شکل ۴ - د). این مسئله در پوسته‌های بیولوژیکی ایجاد شده در شرایط طبیعی توسط محققینی مثل ماراد (۲۱)، کمپبل (۶) و مالام ایسا و همکاران (۱۹) نیز گزارش شد. در بررسی خلل و فرج موجود در نمونه خاک‌های حاوی این پوسته‌ها مشخص شد که بخش اعظم آنها با مواد پلیمری تولید شده توسط سیانوباکتری‌ها مسدود شدند (۸). بررسی‌ها هم‌چنین نشان داد که مواد آلی تولید شده توسط سیانوباکتری‌ها ترکیبات آمورف و بی‌شکلی هستند که بدون داشتن رنگ‌های تداخلی در فضای بین ذرات درشت استقرار می‌یابند (۷).

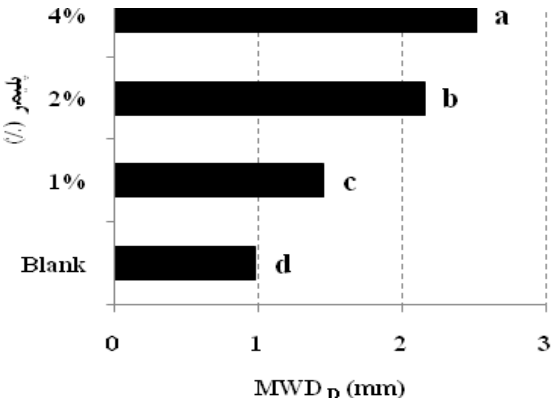
تأثیر پلیمر پلی‌الکترولیت آنیونی بر مقاومت به نفوذ خاک

تأثیر درصد پلیمر و عمق خاک بر میزان مقاومت به نفوذ خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل آنها معنی‌دار نشد. حداکثر مقاومت به نفوذ ۰/۶۲ و حداقل آن ۰/۰۴ مگاپاسکال و به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۴ درصد و شاهد بودند (شکل ۵). داده‌های به‌دست آمده از دستگاه نفوذسنج نشان‌دهنده افزایش در مقاومت به نفوذ نمونه‌های تیمار شده با پلیمر و خاک شاهد با افزایش عمق بود. این افزایش نتیجه تأثیر وزن خاک فوقانی در فشرده‌تر کردن خاک زیرین و افزایش میزان مقاومت به نفوذ خاک زیرین در مقایسه با سطح است. بررسی‌ها نشان داد که این میزان افزایش در نمونه خاک‌های تیمار شده با پلیمر در مقایسه با نمونه خاک شاهد بیشتر بود. اختلاف معنی‌داری بین اعماق ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر سطحی از نظر میزان فشار لازم برای نفوذ وجود داشت (شکل ٦).

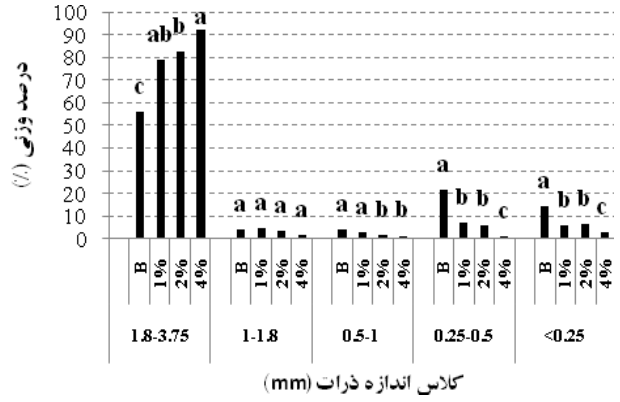
افزایش مقاومت به نفوذ ممکن است به‌دلیل تشکیل خاکدانه‌های بزرگ از خاکدانه‌های کوچک‌تر در اثر کاربرد مولکول‌های پلیمر و هم‌چنین افزایش پایداری خاکدانه‌ها باشد (۲۸). ذرات شن متاثر از حضور پلیمر در سطح خاک، ذرات

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]



شکل ۷. تأثیر غلظت پلیمر پلی‌الکترولیت آنیونی بر MWDD (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)



شکل ۸. کلاس توزیع اندازه ذرات با درصدهای متفاوت پلیمر (میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

پایینی را نیز به شکل فشرده در کنار خود نگه داشته و موجب افزایش مقاومت به نفوذ در نمونه‌های حاوی پلیمر در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد (۱۵).

تأثیر پلیمر پلی‌الکترولیت آنیونی بر MWD_D

بررسی تأثیر درصدهای متفاوت پلیمر مصرفی حاکی از افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (MWD_D) بود. تیمار ۴ درصد با میانگین وزنی قطر ۲/۵۱ میلی‌متر بیشترین و نمونه خاک شاهد با ۰/۹۸۲ میلی‌متر کمترین میزان MWD_D را به خود اختصاص داد (شکل ۷). این مسئله حاکی از افزایش ۲/۵ برابری میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیمار ۴ درصد پلیمر در مقایسه با خاک شاهد بود. تیمار ۴ درصد با ۹۶/۸ درصد خاکدانه‌های درشت و ۳/۲ درصد خاکدانه‌های ریز بیشترین تأثیر را در افزایش قطر خاکدانه‌های درشت در نمونه‌ها نشان داد (شکل ۸).

کاربرد این پلیمر به‌صورت مایع و اسپری سطحی باعث شده ذرات کوچکی از آن به داخل لایه سطحی خاک تراوش کرده و موجب اتصال ذرات خاک به‌یکدیگر گردد. ذرات درشت حاصل از این پلیمر در سطح باقی مانده و باعث ایجاد سله سطحی مقاومی می‌گردد (۹). این مسئله موجب اتصال ذرات خاک شده و کاهش اندازه در تخلخل درشت و تولید خاکدانه را به‌دنبال دارد (۲۴).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که کاربرد تیمارهای سیانوباکتری موجب افزایش میزان کربن آلی و کربنات کلسیم خاک می‌گردد و با گذشت زمان، روندی افزایشی دارد. گذشت زمان، روندی افزایشی در مقاومت به نفوذ خاک‌های حاوی پوسته‌های بیولوژیکی نیز ایجاد کرد. بررسی تصاویر به‌دست آمده از مقاطع نازک نشان داد که با گذشت زمان، مواد آلی موجود در مقاطع نازک از فرم پل‌های اتصال‌دهنده بین ذرات درشت به‌صورت مواد پر کننده خلل و فرج درشت بین ذرات پایه شن درآمد. کاربرد پلیمر نیز در خاک شنی درشت بافت باعث افزایش مقاومت به‌نفوذ خاک شنی شده و درصد خاکدانه‌های درشت با افزایش درصد پلیمر مصرفی افزایش یافت. با توجه به‌اینکه این پژوهش به‌عنوان یک بررسی پایه در کاربرد این پلیمر انجام شد لذا بحث مقرون به‌صرفه بودن کاربرد آن از دیدگاه اقتصادی به بررسی‌های بیشتری نیاز دارد.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]

منابع مورد استفاده

1. Acea, M. J., A. Prieto Fernandez and N. Diz Cid. 2003. Cyanobacterial inoculation of heated soils: Effect on microorganisms of C and N cycles and on chemical composition in soil surface. Soil Biol. and Biochem. 35: 513–524.
2. Ahmed, D., E. L. Gamal, M. S. Ammar, U. M. Abd and T. M. Raouf. 2000. Role of some cyanobacteria in enhancement of soil characteristics. J. Glycol. 1: 99–106.
3. Arin, L. E. and D. Y. Kiyak. 2003. The effect of presowing treatments on emergence and seedling growth of tomato seed *Liycopersicon Esculentum* mill under several stress conditions. Pakistan J. Biol. Sci. 6: 990-994.
4. Arrnbrust, D. V. 1999. Effectiveness of polyacrlamide for wind erosion control. Soil and Water Conservation. 54: 557-559.
5. Belnap, J., B. Budel and O. L. Lange. 2001. Biological soil crusts: characteristics and distribution. Biological soil crusts: Structure, Function and Management. Ecological Studies Series. 150: 3–30.
6. Campbell, S. E. 1979. Soil stabilization by prokaryotic desert crust: implications for Precambrian land biota. Origin Life. 9: 335–348.
7. Cosarinsky, M. 2011. The nest growth of the neotropical mound-building termite, cornitermes cumulans: A micromorphological analysis. J. Insect Sci. 11: 1-14.
8. Dewinder, B., N. Staats, L. J. Stal and D. M. Paterson. 1999. Carbohydrate secretion by phototrophic communities in tidal sediments. J. Sea Res. 42: 131–146.
9. He, J. J. and Q. G. Cai. 2008. Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control. Environ. Monitoring Assessment. 145: 185–193.
10. Hu, C. X., Y. D. Liu and D. L. Zhang. 2002a. Cementing mechanism of algal crusts from desert area, Chinese Sci. Bulletin. 47: 1361-1368.
11. Hu, C., Y. Liu1, Y. Song and D. Zhang. 2002b. Effect of desert soil algae on the stabilization of fine sands. J. Appl. Phycology. 14: 281–292.
12. Jansson, C and T. Northen. 2010. Calcifying cyanobacteria the potential of biomineralization for carbon capture and storage. Biotechnol. 21: 365-71.
13. Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. Method of soil analysis. Part1. 2nd ed., American Society of Agronomy, Madison, WI. PP. 425-442.
14. Lepore, B. J., A. M. Thompson and A. Petersen. 2009. Impact of polyacrylamide delivery method with lime or gypsum for soil and nutrient stabilization. J. Soil and Water Conservation 64: 223-231.
15. Liu, J., B. Shi, Y. Lu and H. Jiang. 2012. Effectiveness of a new organic polymer sand-fixing agent on sand fixation. Environ. Earth Sci. 65: 589-595.
16. Mager, D. M. 2010. Carbohydrates in cyanobacterial soil crusts as a source of carbon in the southwest Kalahari, Botswana. Soil Biol. and Biochem. 42: 313-318.
17. Malam Issa, O., C. De´farge, Y. Le Bissonnais, B. A. Marin, O. Duval, A. Bruand, L. P. D'Acqui, S. Nordenberg and M. Annerman. 2007. Effects of the inoculation of cyanobacteria on the microstructure and the structural stability of a tropical soil. J. Plant Soil. 290: 209–219.
18. Malam Issa, O., J. L. Stal, C. De´farge, A. Coute´ and J. Trichet. 2000. Nitrogen fixation by microbial crusts from desiccated Sahelian soils Niger. Soil Biol. and Biochem. 33: 1425-1428.
19. Malam Issa, O., J. Trichet, C. De´farge, A. Coute and C. Valentin. 1999. Morphology and microstructure of microbiotic soil crusts on a tiger bush sequence. Catena. 37: 175–196.
20. Maqubela, M. P., P. N. S. Mnkeni, O. J. Malam Issa, M. T. Pardo and L. P. D'Acqui. 2009. *Nostoc* cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. J. Plant Soil. 315: 79–92.
21. Marathe, K. 1972. Role of some blue-green algae in soil aggregation. Taxonomy and biology of Blue -Green algae. Bangalore Press, India. PP. 328 –331.
22. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. Method of soil analysis, part2, 2nd ed., Agron Monogr. ASA and SSSA, Madison. PP. 181-197.
23. Nisha, R., A. Kaushik and C. P. Kaushik. 2007. Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. Geoderma. 138: 49–56.
24. Sojka, R. E., J. A. Entry, W. J. Orts, D. W. Morishita, C. W. Ross and D. J. Horne. 2003. Synthetic and biopolymer use for runoff quality management in irrigated agriculture. Diffuse Pollution Conference, Dublin. 130-136.
25. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-37.
26. Wang, W., Y. Liu, D. Li, C. Hu and B. Rao. 2009. Feasibility of cyanobacterial inoculation for biological soil crusts formation in desert area. Soil Biol. and Biochem. 41:926–929.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]

27. Xie, Z., Y. Liu, C. Hu, L. Chen and D. Li. 2007. Relationships between the biomass of algal crusts in field and their compressive strength. Soil Biol. and Biochem. 39: 567-572.
28. Zlantkovic, S. and L. Raskovic. 1998. The effects of the polyacrylamide, polyvinylalcohol and carboxymethylcellulose on the aggregatation of the soil and on the growth of the plants. The Scientific J. Facta Universities. 1: 17 – 23.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.1.8]