

بررسی اثر سیانوباکتری‌های بومی دشت سجزی بر کنترل فرسایش بادی در شرایط آزمایشگاهی

لیلا کاشی‌زنوزی: دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

سیدحسن کابلی*: استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

کاظم خاوازی: استاد، بخش تحقیقات بیولوژی خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

محمد خسروشاهی: دانشیار، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۶

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸)



20.1001.1.22517812.1401.12.2.7.4

چکیده

برای مقابله با پدیده مخرب بیابان‌زایی، روش‌های مختلف مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی - کشت نهال‌های سازگار یا کاربرد خاکپوش‌های زیستی - پیشنهاد شده‌است. در این پژوهش، سیانوباکتری‌های بومی دشت سجزی پس از جداسازی، کشت، خالص‌سازی و شناسایی، تکثیر شد و از نظر کلاس بافت خاک، به صورت محلول در آب و با وزن زیست توده ۲/۵ گرم در لیتر بر روی خاک‌های مختلف اسپری شد. این امر به روش آب تلقیحی و با توجه به حجم منفذی بر روی نمونه‌های خاک صورت گرفت. همچنین مونومرهای ترکیبات پلی‌ساکاریدی از جمله مانوز، زایلوز، آرابینوز و گلوکز، به روش کروماتوگرافی مایع شناسایی شد، سپس مقدار آنها اندازه‌گیری و به همان نسبت محلول آنها تهیه و بر روی نمونه‌های خاک اسپری شد. سرعت آستانه فرسایش بادی و میزان بادبردگی در سرعت‌های مختلف باد نیز با استفاده از تونل باد به صورت فاکتوریل، در قالب طرح تصادفی با سه تکرار اندازه‌گیری شد. در ادامه، مقادیر مقاومت فشاری و برشی خاک نیز اندازه‌گیری شد. طبق نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه، میانگین بادبردگی در سرعت ۷/۱۵ و ۱۵/۰۶ متر بر ثانیه، با تیمار سیانوباکتری و بافت خاک رابطه معنی‌داری داشت. در سرعت ۱۱/۲۱ متر بر ثانیه نیز این مقادیر تحت تأثیر کلاس‌های بافت و درصد رطوبت خاک قرار گرفت و با تیمار سیانوباکتری رابطه معنی‌داری نداشت. افزودن سیانوباکتری‌ها به خاک، به افزایش مقاومت برشی خاک در برابر نیروی کنش باد منجر شد. نوع بافت و درصد رطوبت خاک، با مقادیر مقاومت برشی رابطه معنی‌داری نداشت. سیانوباکتری‌ها در خاک‌های لوم و لوم سیلتی نیز بهتر از انواع دیگر خاک استقرار یافت و همین امر، در شار تلفات خاک تأثیر گذاشت، اما به دلیل حساسیت ذرات کوچک‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر به فرسایش بادی، تیمار سیانوباکتری در سرعت ۱۱/۲۱ متر بر ثانیه معنی‌دار نشد. با توجه به طبقه‌بندی USDA خاک‌های Fine Sand و Very Fine Sand برای تثبیت با سیانوباکتری‌های *Microcoleus vaginatus* و *Coleofasciculus chthonoplastes* مناسب است.

واژه‌های کلیدی: تونل باد، مونوساکارید، سرعت آستانه فرسایش بادی، شار تلفات خاک، HPLC.

۱- مقدمه

بیابان‌زایی، پدیده مخرب زیست‌محیطی است که به رخداد طوفان‌های شن، کاهش بهره‌وری خاک، از دست رفتن تنوع زیستی و آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی در جوامع انسانی منجر می‌شود (Ajaj et al, 2017 & Reynolds et al, 2013 & Dodoroo et al, 2007). چهل درصد از سطح زمین و تقریباً یک میلیارد از مردم جهان، به طور مستقیم تحت تأثیر آثار مخرب پدیده بیابان‌زایی قرار دارند (Hu et al, 2020 & Veron et al, 2006) و سالانه ۴۲/۳ میلیارد دلار، خسارت اقتصادی در سراسر دنیا به بار می‌آورند (Lyu et al, 2020 & Dregne et al, 1991). ۵۵ درصد از مساحت ایران نیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و با معضل بیابان‌زایی روبروست (Khosroshahi et al, 2017)؛ پس برای تقابل با این پدیده مخرب، نیازمند اقداماتی مؤثر در جهت ایجاد توسعه پایدار است. محققان برای مقابله با این پدیده زیان‌بار، روش‌های گوناگونی را پیشنهاد کرده‌اند که در کشور اجرا شده‌است و اغلب آنها در قالب روش‌های مستقیم مقابله با فرسایش و روش‌های غیرمستقیم دیده می‌شود. روش‌های مستقیم شامل روش‌های مکانیکی است؛ از جمله استفاده از انواع بادشکن‌ها به صورت ورقه‌های فلزی، توری‌های فلزی مشبک، ژئوتکستایل‌ها و استفاده از انواع خاکپوش‌ها شامل مالچ‌های نفتی، پلیمری، شیمیایی و ترکیبات نانو. استفاده از مالچ‌های نفتی علاوه بر مشکلات زیست محیطی به دلیل هزینه‌های حمل، مشکلات جابه‌جایی و پاشش، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (Khosroshahi and Abtahi, 2015). از طرفی، مالچ‌های غیرنفتی وارداتی نیز به دلیل فقدان سازگاری با شرایط اکولوژیکی کشور، هزینه‌های بالای خریداری و در برخی موارد نیز به دلیل مشکلات زیست محیطی، نتایج قابل قبولی نداشت و همچنان معضل فرسایش بادی و پدیده گرد و خاک به قوت خود باقی است (Tahmasebi, 2019 Birgani et al).

در سال‌های اخیر در نقاط مختلف جهان و برخی از نقاط ایران، از پوسته‌های زیستی خاک نیز به عنوان بهسازی‌های بیولوژیکی^۱ برای اصلاح و تثبیت خاک و به منظور مقابله با بیابان‌زایی استفاده شد. پوسته‌های زیستی، مجموعه‌ای از گل‌سنگ‌ها، خزها، جلبک‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها است (Belnap, 2006) و یکی از اجزای مهم اکوسیستم خاک به شمار می‌رود که تقریباً ۱۷/۹ میلیون کیلومتر مربع از مساحت زمین (۱۲/۲ درصد) را در سراسر جهان پوشانده‌است (Bowker et al, 2018) و در احیای خاک، افزایش عملکرد اکوسیستم بیابانی و مقابله با بیابان‌زایی نیز نقش زیادی دارد (Lan et al, 2012). پس از استقرار سیانوباکتری‌ها به ویژه سیانوباکتری‌های رشته‌ای، سایر موجودات از قبیل قارچ‌ها، جلبک‌های یوکاریوتی، گل‌سنگ‌ها و خزها روی شن‌های بی‌حرکت ظاهر می‌شوند (Weber et al, 2016). بسیاری از محققان، افزودن سیانوباکتری‌ها را به خاک اقدامی مؤثر برای اصلاح خاک و افزایش عملکرد این اکوسیستم به ویژه در مناطق بیابانی می‌دانند (Mugnai et al, 2018 & Rossi et al, 2017 & Xie et al, 2009)؛ بدین منظور، از سیانوباکتری‌ها به تنهایی (Wang et al, 2009) یا به صورت همزمان با کشت گیاهان (Zhao et al, 2019) استفاده می‌شود. کاربرد برخی مواد شیمیایی از جمله پلی‌یورتان^۲ به صورت امولسیون^۳ محلول در آب (Park et al, 2017) یا ژل‌های پلی‌ساکاریدی (Chandler et al, 2019 & Faist et al, 2020)، بازدهی

^۱ Biological improvement^۲ Polyurethane^۳ Emulsion

سیانوباکتری ها و عملکرد آنها را در خاک تسريع می کند. Zaady و همکاران (2017) توصیه کرده اند که از سیانوباکتری ها به همراه خاکستر استفاده شود. سیانوباکتری ها پس از تلقیح و استقرار در سطح خاک، به سرعت مقدار زیادی از مواد پلی ساکاریدی برون سلولی را تا شصت درصد حجم زیست توده^۱ خود ترشح می کنند (Adessi et al, 2018). ترشحات برون سلولی و درون سلولی سیانوباکتری ها، ترکیبی از پلی ساکاریدها، لیپیدها، پروتئین ها و DNA است (Ritchie et al, 2006). ترشحات پلی ساکاریدی سیانوباکتری ها، در محیط خاک آزاد شده یا در اطراف سلول های سیانوباکتریایی جمع می شود که به میزان پنجاه میکرومول بر متر مربع در ثانیه اندازه گیری شده است (Kheirfam and Roohi, 2020). این ترشحات علاوه بر داشتن خاصیت چسبندگی، دارای مقدار قابل توجهی از مواد آلی در حدود ۲۲ درصد وزنی ترشحات خود (Chamizo et al, 2018) است که این امر در اتصال پذیری ذرات خاک، تأمین مواد مغذی برای سایر میکروارگانیسم های خاکزی و افزایش محتوای رطوبتی خاک نقش زیادی دارد و به افزایش پایداری خاکدانه منجر می شود (Kheirfam et al, 2017). پلی ساکاریدهای تجمع یافته در اطراف سیانوباکتری ها، شرایط اتصال آنها را به ذرات خاک فراهم می کند و از طرفی، به محافظت سیانوباکتری ها در برابر تنش های محیطی از قبیل شوری، خشکی و تغییرات دمایی منجر می شود (Strauss et al, 2012). علاوه بر قابلیت های ذکر شده بسیاری از این سیانوباکتری ها، اندام های رشته ای دارند که بین فضای خاک توسعه می یابند و شبکه ای منسجم از رشته ها و ذرات را به هم پیوند می دهند (Wang et al, 2009). رشته های سیانوباکتریایی، یک لایه نسبتاً ضخیم سیانوباکتری خاکدانه را با ضخامت یک تا سه میلی متر بر سطح خاک ایجاد می کند که به ازدیاد ضخامت پوسته زیستی خاک منجر می شود و مقاومت لایه سطحی خاک را در برابر نیروهای فرساینده افزایش می دهد (Chamizo et al, 2018 & Kheirfam et al, 2017). پژوهش های اجرا شده در زمینه فرسایش بادی با استفاده از تونل باد، حاکی از آن است که فرایند فرسایش پذیری خاک کاملاً تحت تأثیر توزیع اندازه خاکدانه های خشک قرار دارد و بر نقش پایداری خاکدانه ها به عنوان یکی از عوامل اصلی کنترل کننده سایش سطحی و فرسایش خاک، تأکید شده است (Chepil, 1941). همچنین در برخی از تحقیقات، از شاخص مقاومت برشی و فشاری به عنوان عوامل تأثیرگذار در برابر بادبردگی نام برده شده است؛ زیرا مقاومت فشاری و برشی تا حدی بیانگر تحکیم و نقش سله در خاک سطحی است (Memarian, 1994). از طرفی، ویژگی فیزیکوشیمیایی خاک در تشکیل کلونی های طبیعی یا استقرار سیانوباکتری های تلقیح شده به سطح خاک نیز تأثیر زیادی دارد (Antoninka et al, 2020). طبق نتایج تحقیقات Chock و همکاران (2019)، پوسته های زیستی در خاک های رسی در مقایسه با خاک های شنی - لوم رسی رشد بیشتری دارد و به خوبی تکثیر می یابد. همچنین آزمایش ها نشان داد که در خاک های تکامل یافته، سیانوباکتری ها در ظرف مدت سه ماه کاملاً استقرار می یابد و کلونی های^۲ بزرگی را تشکیل می دهد (Roman et al, 2018). Velasco Ayuso و همکاران (2020)، تلقیح سیانوباکتری های بومی هر منطقه را در چند نوع بافت خاک متفاوت مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که این سیانوباکتری ها به راحتی می توانند رشد و تکثیر کنند و همه سطح خاک آن ناحیه را بپوشانند. Kheirfam و Asadzadeh (2020) از طریق فناوری زیستی تلقیح سیانوباکتری ها، امکان ایجاد پوسته های زیستی را در بوم سازگان نوپدید، حساس به فرسایش بادی و در بسترهای

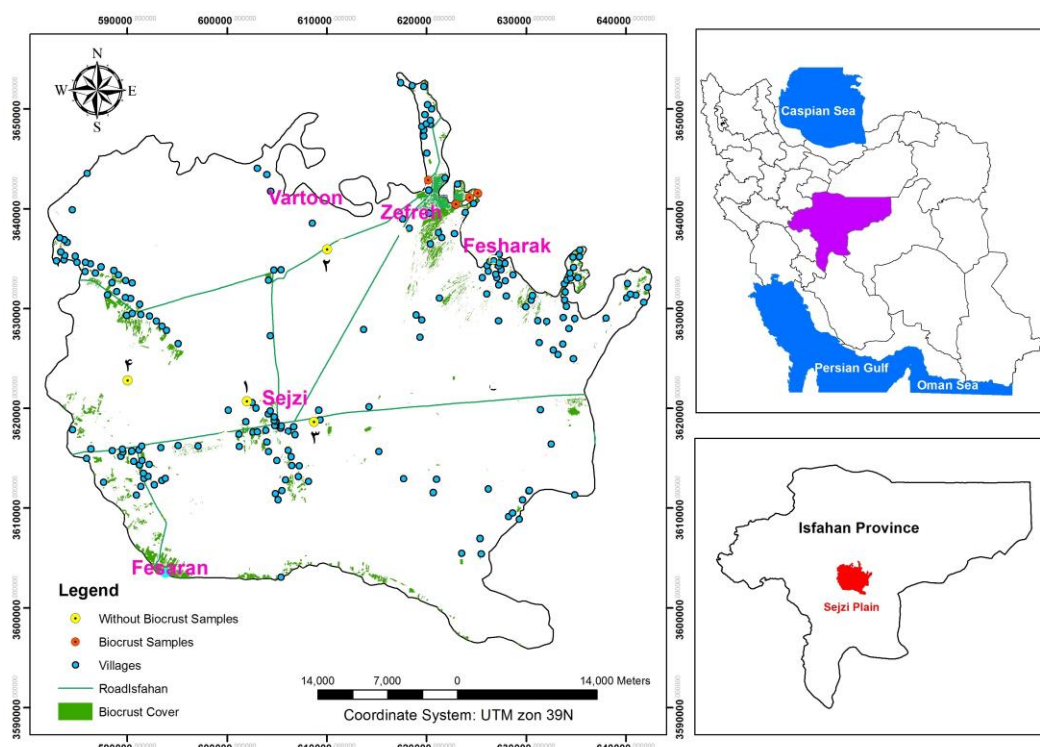
¹ Biomass² Colony

خشک شده در دریاچه ارومیه بررسی کردند. بر اساس نتایج تحقیقات آنها، بوم‌سازگان‌های نوپدید به دلیل فقدان پوسته‌های زیستی توسعه‌یافته در برابر عوامل تخریب سرزمین، حساسیت و ناپایداری زیادی دارند که این امر به تهدید امنیت غذایی و بوم‌سازگان‌های مجاور منجر می‌شود. از طرفی نتایج به‌دست آمده، رویکرد زیست پوسته‌سازی از طریق فناوری تلقیح سیانوباکتریایی و بهبود نمایه‌های مهم پویایی پوسته‌های زیستی و مؤثر در پایداری خاک از جمله کلروفیل *a*، ضخامت پوسته و اتصال بین ذره‌ای، کارایی تلقیح سیانوباکتریایی در زیست پوسته‌سازی بوم‌سازگان‌های نوپدید را به صورت قابل توجهی تأیید کرد.

در این پژوهش، سیانوباکتری‌های بومی دشت سجزی - از بیابان‌های مرکزی ایران - در چند کلاس بافت مختلف از همان منطقه، تلقیح و اثر آنها در کاهش بادبردگی خاک با استفاده از تونل باد بررسی شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، بخشی از بیابان سجزی - بیابان‌های مرکزی ایران - است که در استان اصفهان قرار دارد. محدوده مورد مطالعه با مساحت ۱۹۹/۵ هکتار، بین طول‌های شرقی $51^{\circ}52'32''$ تا $52^{\circ}27'41''$ و عرض‌های شمالی $32^{\circ}33'31''$ تا $32^{\circ}55'01''$ واقع شده است (شکل ۱). شیب متوسط این دشت، ۱/۰۸ درصد و ارتفاع متوسط آن، ۱۶۸۰ متر است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان، ایستگاه شهید بهشتی، متوسط بارش سالیانه منطقه ۱۰۶ میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه از نوع خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه از نوع مدیترانه‌ای و خشک و سرد است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان و ایران به همراه نقاط نمونه‌برداری

۳- مواد و روش ها

بادناکی و بررسی آستانه فرسایش بادی

توفان های گرد و غبار در مناطق خشک و نیمه خشک در مواردی رخ می دهد که سرعت وزش باد بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی باشد؛ از این رو، سرعت آستانه فرسایش بادی در دشت سجزی با استفاده از تونل باد پرتابل^۱ اندازه گیری شد. به منظور افزایش دقت اندازه گیری، ابتدا رابطه تعداد دور دستگاه تونل باد با سرعت متوسط چهار گوشه و وسط تونل باد به دست آمد. سپس دستگاه تونل باد به عرصه مطالعه منتقل شد و داده برداری در سطح خاک در دشت سجزی انجام و سرعت تونل باد در رابطه به دست آمده جایگزین شد.

پس از اندازه گیری سرعت آستانه فرسایش بادی در دشت سجزی، گل توفان مربوط به داده های دریافت شده از ایستگاه سینوپتیک فرودگاه شهید بهشتی، در بازه زمانی ۲۵ ساله از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ با استفاده از نرم افزار WR Plot 7 در فصول مختلف سال ترسیم و سرعت و فراوانی داده های بالاتر از آستانه فرسایش بادی تعیین شد.

نمونه برداری

در حاشیه دشت سجزی در حوالی روستاهای ورتون، زفره و فشارک با توجه به وجود پوشش پراکنده پوسته های زیستی، به صورت کاملاً تصادفی تعداد چهار نمونه از عمق یک تا پانزده سانتی متری خاک زیر پوشش سیانوگلسنگ ها^۲ جمع آوری شد. به منظور اجرای آزمایش ها در تونل باد ثابت واقع در مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، تعداد چهار نمونه خاک سطحی دیگر از عمق یک تا پانزده سانتی متری از اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی تهیه شد. این نمونه ها در چهار کلاس بافت مختلف با توجه به نقشه واحد اراضی همگن - که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شده بود - از حوالی روستاهای زفره، ورتون و ایستگاه منابع طبیعی سجزی و فسا ران برداشت شد.

اندازه گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی

مقدار اسیدیت (گل اشباع)، قابلیت هدایت الکتریکی (عصاره اشباع)، کربن آلی (به روش والکلی و بلاک)، درصد رطوبت اشباع، میانگین قطر وزنی ذرات (MWD^۳)، دانه بندی خشک (ASTM 136)^۴ و بافت خاک (به روش هیدرومتری) برای نمونه های خاک اندازه گیری شد.

عصاره گیری و شناسایی ترکیبات کربوهیدراته

برای شناسایی مونوساکاریدها، از روش کروماتوگرافی مایع^۵ با ستون PUMP K-1001 در اندازه 250 x 4.6 mm و دتکتور RI Detector K-2301 استفاده شد. چهار مونوساکارید شامل گلوکز^۶، مانوز^۱، زایلوز^۲ و آرابینوز^۳ در بیست نمونه خاک بررسی شد.

¹ Portable tunnel

² Cyanolichen

³ Mean Weight Diameter

⁴ Particle Size Distribution

⁵ HPLC: High Performance Liquid Chromatography

⁶ Glucose

کشت سیانوباکتری‌ها

تکه‌های بسیار کوچکی از خاک زیر پوشش سیانوگل‌سنگ‌ها، برای جداسازی، کشت و تکثیر تفکیک شد و بر روی محیط کشت BG⁴ 11 در دمای بیست درجه سلسیوس و زیر لامپ‌های مهتابی⁵ با انرژی ۲۵ میکرومول فوتون در متر مربع بر ثانیه⁶ و در یک چرخه روشنایی/ تاریکی به مدت ۱۲:۱۲ ساعت قرار گرفت. بعد از ۴-۲ هفته، کلنی‌های سیانوباکتری در پلیت‌ها بر روی محیط کشت تشکیل شد. سپس برای تکثیر و تولید بیشتر آنها به میزان لازم، محیط کشت بیشتری تهیه و بر روی آنها منتقل شد.

شناسایی سیانوباکتری‌ها

بررسی‌های مرفولوژیکی، با استفاده از میکروسکوپ نوری⁷ Olympus BX51 با دیافراگم Nomarski DIC انجام شد. میکروگراف‌ها با دوربین دیجیتال⁸ متصل به میکروسکوپ، در مقیاس بیست و پنجاه میکرومتر دریافت و توسط نرم‌افزار OlympusSens Entry پردازش شد.

آماده‌سازی نمونه‌های خاک برای بررسی فرسایش بادی در تونل باد

برای بررسی فرسایش‌پذیری، کلاس‌های بافت خاک تعیین و چهار نمونه خاک با چهار کلاس بافت متفاوت از نقاط مختلف دشت سجری تهیه شد. پس از سرند کردن خاک از الک ۴/۷۵ میلی‌متری، سینی‌های مخصوص تونل باد را در اندازه‌های ۳۰*۵۰*۸ سانتی‌متری با مساحت ۱۵۰۰ سانتی‌متر مربع با خاک پر کردند و سطح آنها صاف شد. سپس برای هر نمونه خاک، به طور جداگانه سینی شاهد، سینی برای اندازه‌گیری مقاومت برشی و فشاری و سینی دیگری برای تیمار با مونوساکاریدهای شناسایی شده آماده شد. سینی‌های شاهد نیز تا عمق یک سانتی‌متری با آب مقطر اشباع شد.

یکی از موضوعات مهم در این مورد، یکسان بودن مقادیر پلی‌ساکاریدهای موجود در خاک‌های زیر پوشش پوسته‌های زیستی با خاک‌های فاقد پوسته‌های زیستی در هر یک سانتی‌متر مکعب حجم منافذ خاک بود. مقادیر مونوساکاریدها و درصد وزنی هر کدام از آنها در مراحل قبل طی آزمون HPLC تعیین شد. سپس با توجه به نوع و مقدار مونوساکاریدها، محلول مورد نظر برای اشباع یک سانتی‌متری سطح سینی‌ها تهیه شد. با در نظر داشتن اینکه حجم منافذ در دو نوع خاک یکسان نبود؛ بنابراین، به منظور استفاده برابر از مقادیر مونوساکاریدها در هر یک سانتی‌متر مکعب از حجم منفذی خاک مقدار سوسپانسیون مورد نیاز تهیه شد. سپس سیانوباکتری‌های تکثیر شده، در زیر میکروسکوپ نوری BX51 از محیط کشت جدا شد و به صورت محلول در آب و با وزن زیست توده ۲/۵ گرم

¹ Mannose

² Xylose

³ Arabinose

⁴ Blue Green Medium

⁵ Osram Luminlux Cool White lamps L36W/840

⁶ $\mu\text{mol photon.m}^{-2}\text{s}^{-1}$

⁷ Olympus Ltd, Hamburg, Germany

⁸ Olympus UC30

در لیتر (Kheirfam et al, 2017)، به روش آب تلقیحی^۱ و به مقدار لازم با توجه به حجم منفذی تهیه و بر روی نمونه های خاک اسپری شد.

آزمایش های تونل باد

به منظور تعیین میزان بادبردگی ذرات شن، از تونل باد موجود در مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور استفاده شد. این تونل، هشت اتاق آزمون هر یک به طول دو متر و ابعاد مقطع 80×80 سانتی متر داشت و دارای چهار موتور الکتریکی هر کدام با قدرت شانزده کیلووات، یک عدد پیتوت^۲، یک عدد فشارسنج الکترونیکی و دستگاه کنترل سرعت - که با استفاده از کنترل دور موتور، از آن به منظور تنظیم سرعت باد از حداقل 0.5 تا چهل متر بر ثانیه استفاده می شد - بود. به منظور ثبت داده ها در کامپیوتر، از دیتالاگر آنالوگ به دیجیتال برای انتقال اطلاعات به کامپیوتر و نرم افزار Flow Rake برای نمایش سرعت ثبت شده فشارسنج الکترونیکی استفاده شد.

از آنجا که شناسایی نوع ابرمولکول های پلی ساکارید بسیار مشکل بود و به آزمایش های بسیار زیادی از جمله شناسایی کلیه مونومرهای کربوهیدرات و تعیین نوع ایزومرهای آلی نیاز داشت، اغلب محققان به شناسایی چند نوع از مونومرهای غالب سیانوباکتری ها اکتفا کردند (Mugnai et al, 2018). پس از شناسایی نوع مونومرهای کربوهیدرات و اندازه گیری آنها، به همان نسبت محلول حاوی هر چهار نوع مونومر کربوهیدرات تهیه شد. سپس این محلول به صورت فاکتوریل در قالب طرح تصادفی با سه تکرار، بر سطح چهار نوع بافت خاک با توجه به حجم منفذی اسپری شد و با استفاده از تونل باد، سرعت آستانه فرسایش بادی و میزان بادبردگی در سینی شاهد و نمونه تیمار شده با مونوساکاریدها اندازه گیری شد. میزان بادبردگی برای هر چهار کلاس خاک در سرعت های مختلف باد با توجه به سرعت آستانه فرسایش، بین $7/15$ تا $15/06$ متر بر ثانیه اندازه گیری شد. همچنین رطوبت حجمی خاک برای بررسی شرایط رطوبتی خاک به هنگام بررسی فرسایش پذیری آن، با استفاده از دستگاه TDR^۳ اندازه گیری و با مقادیر اندازه گیری شده رطوبت حجمی در عرصه مقایسه شد.

اندازه گیری مقاومت فشاری و برشی

برای مقایسه اثر مونوساکاریدها در افزایش مقاومت خاک در سینی شاهد و سینی تیمار شده با مونوساکاریدها و محلول پاشی سیانوباکتری ها، مقاومت برشی با دستگاه توروین^۴ و مقاومت برشی پنترومتر^۵ اندازه گیری و با یکدیگر مقایسه شد؛ بدین صورت که پس از آماده سازی سینی های خاک و تسطیح آنها، محلول پاشی در نسبت های تعیین شده صورت گرفت. پس از سپری شدن زمان به مدت یک هفته، پره برشی دستگاه توروین در داخل خاک فرو رفت و در جهت عقربه های ساعت و تا برش گسیختگی خاک دوران یافت و رها شد. حداکثر مقدار تنش وارد شده، در صفحه مدرج بر روی پره برشی ثبت شد. این وسیله می تواند تنش های برشی بین صفر تا 250 کیلو پاسکال را ثبت کند (Khalili Moghaddam et al, 2011). برای اندازه گیری مقاومت فشاری، حلقه نشانه دستگاه پنترومتر روی صفر

¹ Inoculated water method

² Pitot tube

³ Time-Domain Reflectometry

⁴ Torvane

⁵ Penetrometer

قرار گرفت و دستگاه به یک‌باره در خاک فرو شد. سپس از روی میزان جابه‌جایی حلقه، عدد مقاومت فشاری قرائت شد. هر کدام از مقاومت فشاری و برشی با چهار تا پنج تکرار اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی اثر رطوبت، سنجش مقاومت فشاری و برشی یک بار دیگر با گذشت ۱۳-۱۲ روز از زمان محلول‌پاشی انجام شد.

مقایسه آماری نمونه‌های تیمار شده با خاک شاهد

داده‌های به‌دست آمده در هر دو تیمار سیانوباکتری و کربوهیدرات‌ها، با نمونه‌های شاهد کلاس‌های مختلف بافت خاک از آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه^۱ در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P < 0.05$) انجام شد و میانگین سرعت آستانه فرسایش بادی و میزان بادبردگی، در سرعت‌های مختلف باد با یکدیگر مقایسه و نتایج آنها تجزیه و تحلیل شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

بادناکی و آستانه فرسایش بادی

سرعت آستانه فرسایش بادی در مرکز دشت سجزی دارای کلاس بافت خاک شنی - لوم^۲، به میزان ۳/۷۶ متر بر ثانیه به دست آمد.

جدول ۱: فراوانی و جهت بادهای فرساینده در فصول مختلف سال در دشت سجزی

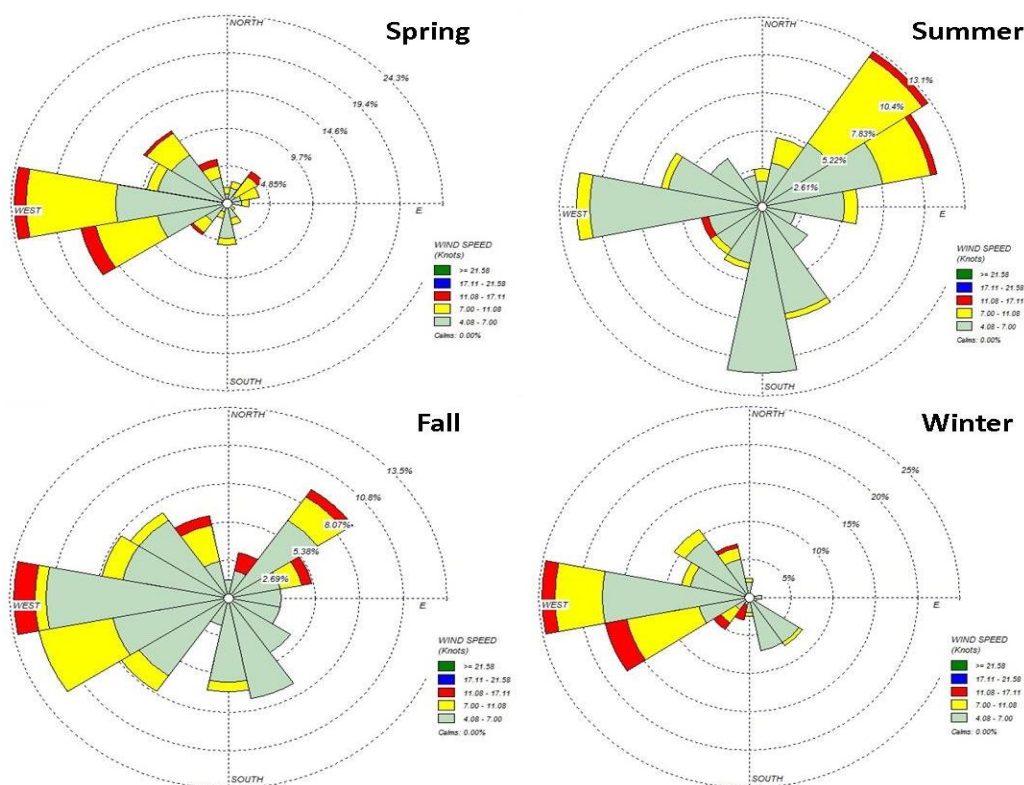
فصل سال	سرعت باد (متر بر ثانیه)	جهت باد	فراوانی (درصد)
بهار	۱۷-۱۱	غرب و جنوب غربی	۵/۴
	۱۱-۷	غرب	۳۵/۸
	۷-۴	غرب و شمال غرب	۵۸/۸
تابستان	۱۷-۱۱	شمال شرق	۱/۳
	۱۱-۷	شمال شرق	۱۶/۳
	۷-۴	شمال شرق، غرب و جنوب	۸۲/۴
پاییز	۱۷-۱۱	غرب و شمال شرق	۴/۶
	۱۱-۷	اغلب جنوب غرب	۱۵/۱
	۷-۴	غرب؛ جنوب غربی و شمال غربی	۸۰/۳
زمستان	۱۷-۱۱	غرب و جنوب غربی	۷/۷
	۱۱-۷	غرب و جنوب غربی	۲۱/۹
	۷-۴	غرب، شمال غربی و جنوب شرقی	۷۰/۴

همان‌طور که از شکل ۲ و جدول ۱ برمی‌آید، بیشترین فراوانی بادهای با سرعت بالای هفت متر بر ثانیه در زمستان (۲۹/۶ درصد) و در فصل بهار (۴۲/۲ درصد) از سمت غرب و جنوب غرب به دشت سجزی وارد می‌شود. بنابراین،

^۱ One Way ANOVA

^۲ Sandy loam

بیشترین مقدار فرسایش بادی در اواخر فصل زمستان و اوایل بهار رخ می دهد که این امر به دلیل ورود بادهای با سرعت بیش از آستانه فرسایش بادی، از سمت غرب و جنوب غربی اصفهان است.



شکل ۲: گل توفان های ترسیم براساس اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شهید بهشتی

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در نقاط نمونه برداری

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در نقاط دارای پوسته های زیستی و فاقد پوسته های زیستی در دشت سجزی تفاوت زیادی داشتند (جدول ۲)؛ به ویژه قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک، رطوبت اشباع، میانگین قطر وزنی خاکدانه، شن، سیلت و رس خاک. در مناطق با پراکنش پوسته های زیستی، قابلیت هدایت الکتریکی، شن و سیلت خاک کمتر بود، اما رطوبت اشباع، میانگین قطر وزنی خاکدانه، رس و کربن آلی خاک بیشتر بود.

جدول ۲: مقایسه خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در مناطق با پراکنش پوسته های زیستی و بدون پوسته های زیستی

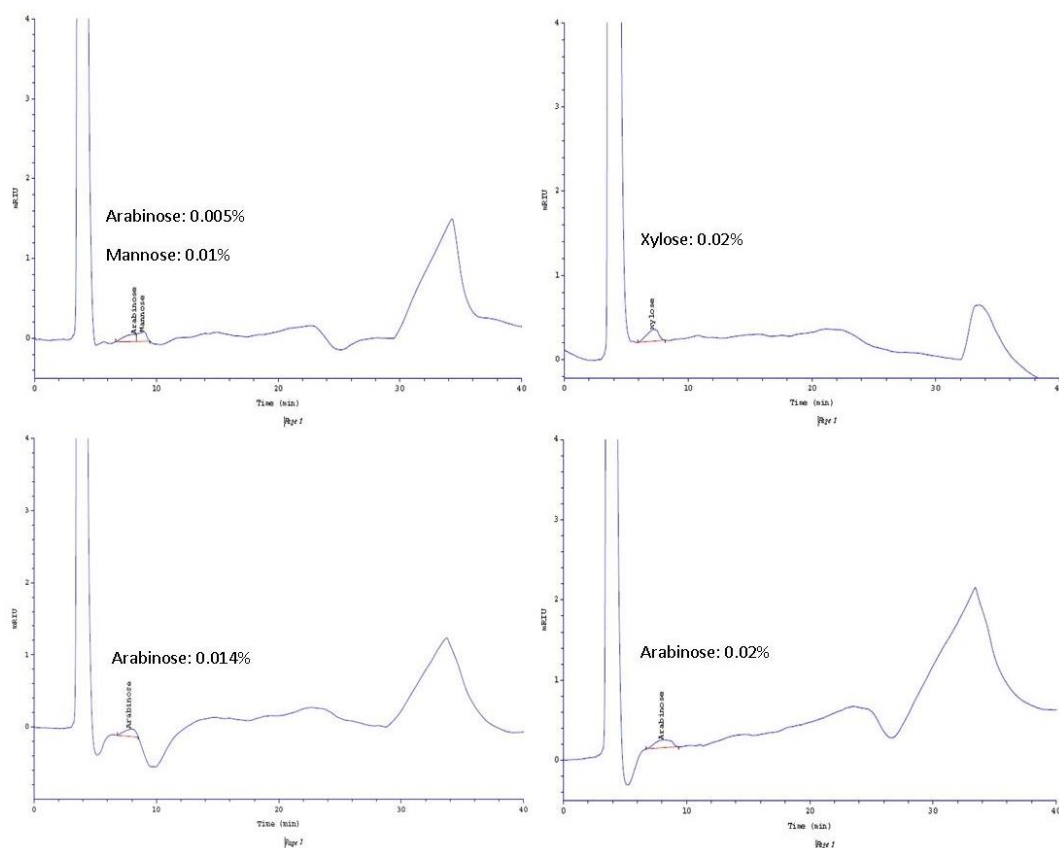
ردیف	ویژگی های خاک	حداقل	حداکثر	میانگین
۱	اسیدیته - زیر پوشش پوسته های زیستی	۸/۲	۸/۶	۸/۰±۴/۱
	اسیدیته - فاقد پوسته های زیستی	۷/۸	۸/۹	۸/۰±۴/۵
۲	قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m) - زیر پوشش پوسته های زیستی	۰/۶	۱/۴	۰±۱/۲
	قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m) - فاقد پوسته های زیستی	۱/۳	۱۰۰/۴	۴۵/۷±۳/۵
۳	کربن آلی (%) - زیر پوشش پوسته های زیستی	۰/۵	۰/۹۸	۰/۰±۶۷/۲

ردیف	ویژگی‌های خاک	حداقل	حداکثر	میانگین
۴	کربن آلی (%) - فاقد پوسته‌های زیستی	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۰۱۶±۱
	کربنات کلسیم معادل ^۱ (%) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۶	۲۹	۲۰/۷±۸۵/۴
	کربنات کلسیم معادل (%) - فاقد پوسته‌های زیستی	۵	۳۲/۵	۲۱/۲±۷/۸
	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۱/۲	۱/۶	۱/۰±۳/۱
۵	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³) - فاقد پوسته‌های زیستی	۱/۲	۱/۲	۱/۲
	رطوبت اشباع (%) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۳۱/۴	۳۹/۸	۳۵/۳±۴/۴
۶	رطوبت اشباع (%) - فاقد پوسته‌های زیستی	۱۹/۱	۲۳/۵	۲۱/۲±۹
	میانگین قطر وزنی (mm) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۱/۰۲	۲/۱۹	۱/۰±۳۳/۴
۷	میانگین قطر وزنی (mm) - فاقد پوسته‌های زیستی	۰/۹۲	۱/۱۸	۱/۰±۰۱/۱
	ذرات کوچک‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر (%) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۵/۸	۷	۶/۰±۳/۵
۸	ذرات کوچک‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر (%) - فاقد پوسته‌های زیستی	۳/۲	۸/۷	۶/۰±۴/۵
	شن (%) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۳۷/۷	۵۳/۷	۴۵/۵±۹/۶
۹	شن (%) - فاقد پوسته‌های زیستی	۳۷/۷	۷۵/۷	۶±۵۷/۳
	سیلت (%) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۲۰	۳۸	۵±۳۰/۷
۱۰	سیلت (%) - فاقد پوسته‌های زیستی	۱۲	۳۸	۲۲/۱±۷/۵
	رس (%) - زیر پوشش پوسته‌های زیستی	۱۸/۳	۲۸/۳	۲۳/۰±۷/۴
۱۱	رس (%) - فاقد پوسته‌های زیستی	۱۲/۳	۳۲/۳	۲۰/۰±۶/۶

شناسایی ترکیبات کربوهیدراته

نتایج آزمایش‌های کروماتوگرافی مایع نشان داد که ترکیبات کربوهیدراته در خاک‌های زیر پوشش پوسته‌های زیستی، از مونوساکاریدهای مانوز، زایلوز، آرابینوز و مقدار بسیار جزئی گلوکز تشکیل شده‌اند؛ البته همه انواع مونوساکاریدها شناسایی نشده‌اند. ممکن است بیش از ده نوع مونوساکارید دیگر نیز در عصاره خاک وجود داشته باشد، اما امکان اندازه‌گیری همه آنها به صورت عملی بسیار مشکل است. از چهار نوع مونوساکارید شناسایی شده آرابینوز در هر سه نمونه یافت شد، ولی مقدار آن در نمونه‌های خاک متفاوت بود. مانوز و زایلوز هر کدام فقط در یکی از نمونه‌های خاک به ترتیب به مقدار ۰/۰۱ و ۰/۰۲ درصد شناسایی و اندازه‌گیری شد (شکل ۳). به طور کلی، خاک‌های بیابانی از نظر کربن آلی جزء خاک‌های فقیر محسوب می‌شود و همان‌طور که از شکل ۳ پیداست، مقادیر مونوساکاریدها نیز بسیار اندک است.

¹ Calcium carbonate equivalent (CCE)



شکل ۳: کروماتوگرام کربوهیدرات های خاک زیر پوشش پوسته های زیستی خاک

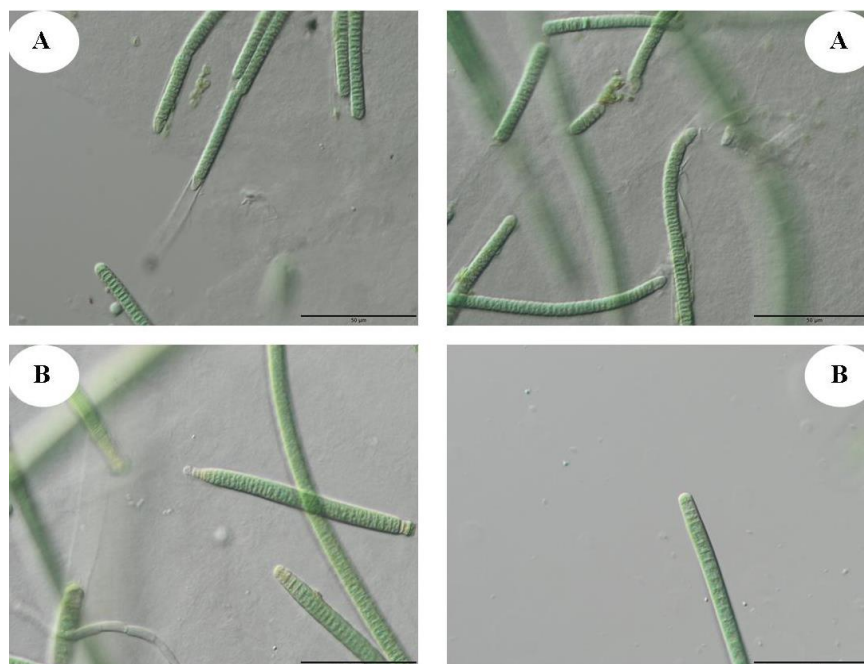
شناسایی گونه های سیانوباکتریایی

بر اساس ویژگی های مرفولوژیکی، دو گونه سیانوباکتری خاکی شامل *Coleofasciculus chthonoplastes* و *Microcoleus vaginatus* شناسایی شد که از دسته سیانوباکتری های رشته ای خطی و بدون هتروسیست^۱ است. این گونه ها، سیانوباکتری های تشکیل دهنده مت یا بیوفیلم های^۲ پری فیتیک^۳ روی رسوبات، خاک های مرطوب بر صخره ها و گیاهان شناور است (شکل ۴).

^۱ Non-Heterocyst Forming Filamentous Cyanobacteria

^۲ Biofilms

^۳ Prophetic



شکل ۴: تصاویر سیانوباکتری تهیه شده با میکروسکوپ نوری Olympus BX51

A: *Coleofasciculus chthonoplast*, B: *Microcoleus vaginatus*

سرعت آستانه فرسایش بادی و میزان بادبردگی

سرعت آستانه فرسایش و میزان بادبردگی، در چهار کلاس بافت خاک اندازه‌گیری و مقایسه شد. مشخصات نمونه‌های خاک در جدول ۳ ذکر شده است. در نمونه‌های تیمار شده با کربوهیدرات، سرعت آستانه فرسایش بادی به دست آمده دقیقاً برابر با نمونه‌های شاهد بود؛ به عنوان مثال، سرعت آستانه فرسایش در خاک لوم ۱۲/۲۲ متر بر ثانیه بود که در نمونه‌های تیمار شده با کربوهیدرات‌ها نیز ۱۲/۲۱ متر بر ثانیه به دست آمد؛ به عبارتی، تیمار با کربوهیدرات‌ها هیچ تأثیری بر افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی نداشت.

جدول ۳: مشخصات خاک‌های برداشت شده از دشت سجزی برای آزمایش‌های تونل باد

شماره نمونه بر روی نقشه منطقه مطالعاتی	محل نمونه برداری	کلاس بافت خاک
۱	ایستگاه منابع طبیعی سجزی	شن لومی ^۱
۲	حوالی روستای ورتون	لوم
۳	اول جاده زفره	لوم رسی شنی ^۲
۴	فساران	لوم سیلتی ^۳

نمودار سرعت آستانه فرسایش بادی در چهار کلاس بافت خاک در هر دو نمونه‌های شاهد و تیمار با سیانوباکتری به موازات هم بود، اما سرعت آستانه فرسایش بادی در نمونه‌های تیمار شده با سیانوباکتری اندکی بیش از نمونه‌های شاهد بود (شکل ۵)؛ به عبارتی، سرعت آستانه فرسایش بادی در کل تحت تأثیر بافت اندازه ذرات خاک

^۱ Sandy loam

^۲ Sandy clay loam

^۳ Silt loam

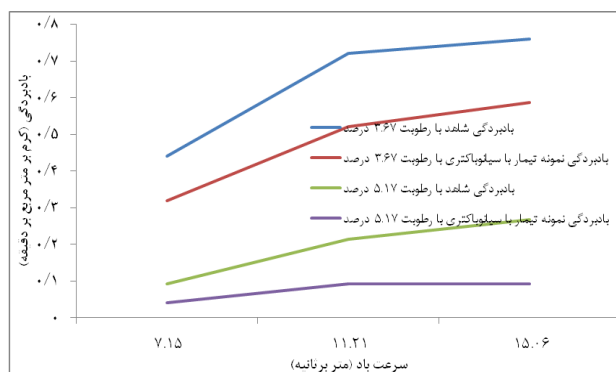
یا بافت آن است و تیمار با سیانوباکتری به همان نسبت، اندکی سرعت آستانه و مقاومت خاک را در برابر نیروی باد افزایش می‌دهد. این افزایش در کلاس بافت خاک لوم شنی در مقایسه با سایر کلاس‌های بافت خاک، بیشتر نمود یافته‌است. طبق نتایج به دست آمده، خاک‌های لومی بیشترین و خاک‌های لوم سیلتی کمترین مقاومت را در برابر نیروهای فرساینده باد داشت. در نمونه‌های شاهد در خاک لوم شنی، سرعت آستانه فرسایش بادی ۱۲/۲۲ متر بر ثانیه و در خاک‌های لوم سیلتی ۵/۷۱ متر بر ثانیه بود.



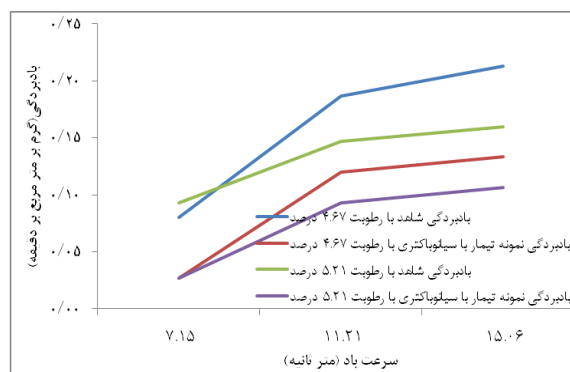
شکل ۵: سرعت آستانه فرسایش بادی در کلاس‌های مختلف بافت خاک، قبل و بعد از تیمار با سیانوباکتری

میزان بادبردگی نمونه‌های تیمار شده با کربوهیدرات‌ها (ترکیبات مونوساکاریدهای آرابینوز، زایلوز، مانوز و گلوکز) با نمونه‌های شاهد تفاوتی نداشت و مقادیر بادبردگی در هر دو نمونه تیمار شده با مونوساکاریدها و نمونه‌های شاهد یکسان بود؛ در حالی که نمودار بادبردگی خاک‌های شاهد و تیمار شده با سیانوباکتری به صورت منحنی پارابولیک^۱ تا سرعت ۱۱/۲۱ متر بر ثانیه، کاملاً حالت صعودی داشت و پس از آن، روند افزایشی بادبردگی کندتر شد. همان طور که از شکل ۱۱ برمی‌آید، اثر رطوبت در میزان بادبردگی در کلاس‌های مختلف باد بسیار زیاد بود. همچنین اختلاف مقادیر بادبردگی در خاک‌های تیمار شده با سیانوباکتری و نمونه‌های شاهد، کاملاً مشهود است. بیشترین مقدار بادبردگی در سرعت باد، ۱۵/۰۶ متر بر ثانیه در خاک‌های لوم شنی و در نمونه شاهد با رطوبت ۳/۶۷ درصد، به میزان ۰/۷۶ گرم بر متر مربع بر دقیقه و در نمونه شاهد خاک لوم سیلتی با رطوبت ۴/۲ درصد، به میزان ۰/۴۱ گرم بر متر مربع بر دقیقه بود و کمترین میزان بادبردگی در سرعت ۱۵/۰۶ متر بر ثانیه در خاک لوم شنی و در نمونه تیمار شده با سیانوباکتری در رطوبت ۵/۱۷ درصد، به میزان ۰/۰۹ گرم بر متر مربع بر دقیقه بود.

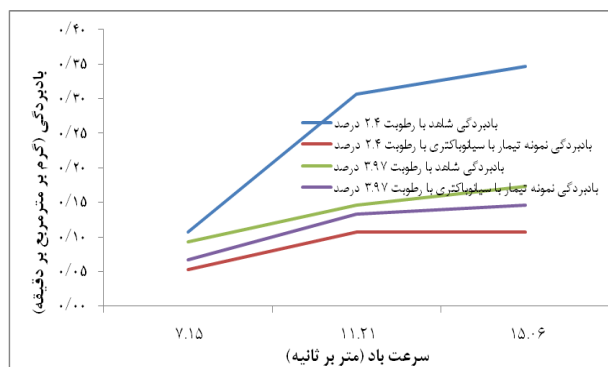
¹ Parabolic



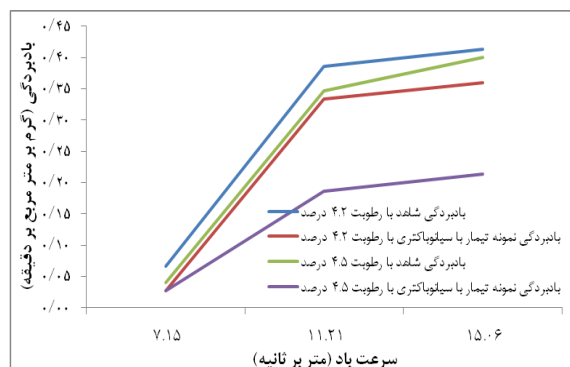
ب: بادبردگی خاک لوم شنی در سرعت‌های مختلف باد



الف: بادبردگی خاک لومی در سرعت‌های مختلف باد



د: بادبردگی خاک شنی - رس - لوم در سرعت‌های مختلف باد



ج: بادبردگی خاک سیلت - لوم در سرعت‌های مختلف باد

شکل ۶: میزان بادبردگی خاک‌های مختلف در نمونه‌های شاهد و تیمار شده با سیانوباکتری

مقایسه آماری بادبردگی

طبق نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه، میانگین بادبردگی در سرعت‌های مختلف باد متأثر از رطوبت و بافت خاک و تیمار با سیانوباکتری بود (جدول ۴). در سرعت ۷/۱۵ متر بر ثانیه، مقادیر بادبردگی با نوع تیمار و بافت خاک رابطه معنی‌داری داشت. هر چند میزان بادبردگی در سرعت ۷/۱۵ متر بر ثانیه در رطوبت‌های بالاتر خاک کمتر بود (شکل ۶)، ولی میانگین مقادیر بادبردگی رابطه معنی‌دار نداشت. در سرعت ۱۱/۲۱ متر بر ثانیه، مقادیر بادبردگی تحت تأثیر کلاس‌های بافت و درصد رطوبت خاک قرار داشت و با مقادیر رطوبت و نوع تیمار رابطه معنی‌داری نداشت. همچنین در سرعت ۱۵/۰۶ متر بر ثانیه نیز مقادیر بادبردگی با رطوبت خاک رابطه معنی‌داری نداشت. به طور کلی، مقدار بادبردگی کاملاً تحت تأثیر بافت خاک یا اندازه ذرات تشکیل‌دهنده آن و نوع تیمار با سیانوباکتری بود.

جدول ۴: نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) اثر عوامل مختلف بر میزان بادبردگی در سرعت‌های مختلف باد

ردیف	سرعت	منبع	جمع مربعات	میانگین مربعات	F
		بافت خاک	۳۱۹۲/۳۸۳	۲۴۵/۵۶۸*	۲/۰۵۳
۱	۷/۱۵	رطوبت	۷/۱۲۹	۰/۵۴۸ ^{ns}	۰/۶۶۸
		نوع تیمار	۵/۹۶۷	۰/۴۵۹*	۲/۵۸۶

ردیف	سرعت	منبع	جمع مربعات	میانگین مربعات	F
(شاهد و تیمار با سیانوباکتری)					
۲	۱۱/۲۱	بافت خاک	۵۸۱۸/۰۸۳	۲۰۷/۷۸۹*	۲/۷۳۸
		رطوبت	۲۱/۸۰۱	۰/۷۷۹*	۲/۱۱۷
		نوع تیمار	۸/۵۸۳	۰/۳۰۷ ^{ns}	۱/۷۰۵
(شاهد و تیمار با سیانوباکتری)					
۳	۱۵/۰۶	بافت خاک	۶۲۷۱/۸۳۳	۲۰۲/۳۱۷*	۳/۲۷۶
		رطوبت	۱۸/۷۵۳	۰/۶۰۵ ^{ns}	۰/۵۹۴
		نوع تیمار	۱۰/۳۳۳	۰/۳۳۳ ^o	۳/۲
(شاهد و تیمار با سیانوباکتری)					

ns: فقدان معنی داری

*: معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)

مقاومت برشی و فشاری

مقاومت فشاری در همه خاک‌ها، ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب بود. تنها در خاک لوم سیلتی و تیمار سیانوباکتری ۰/۶ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب بود، اما مقادیر مقاومت برشی در خاک‌های مختلف - که رطوبت متفاوتی با هم داشتند - یکسان نبود. بیشترین مقاومت برشی نیز در کلاس بافت لوم سیلتی به دست آمد که در نمونه شاهد، ۰/۵۷ و در نمونه تیمار با سیانوباکتری، ۰/۶۹ کیلوگرم بر سانتی متر بود. کمترین مقاومت برشی نیز مربوط به کلاس بافت لوم شنی، به میزان ۰/۴۱ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب و در رطوبت ۴/۵۷ درصد بود.

جدول ۵: اندازه‌گیری مقاومت فشاری و برشی در کلاس‌های مختلف خاک در نمونه‌های شاهد و تیمار با سیانوباکتری

ردیف	کلاس بافت خاک	نوع تیمار نمونه	رطوبت حجمی (%)	مقاومت برشی (kg/cm^3)	مقاومت فشاری (kg/cm^3)
۱	لوم شنی	شاهد	۴/۵۷	۰/۴۱	۰/۵
		تیمار با سیانوباکتری	۴/۴۹	۰/۵	۰/۵
۲	لوم	شاهد	۴/۲	۰/۵۶	۰/۵
		تیمار با سیانوباکتری	۴/۳۵	۰/۶۲	۰/۵
۳	لوم رسی شنی	شاهد	۴/۷۷	۰/۵۴	۰/۵
		تیمار با سیانوباکتری	۴/۸۳	۰/۵۸	۰/۵
۴	لوم سیلتی	شاهد	۵/۱۷	۰/۵۷	۰/۵
		تیمار با سیانوباکتری	۵/۱	۰/۶۹	۰/۶۱

میانگین مقادیر به دست آمده برای مقاومت برشی در رطوبت‌های مختلف و در هر دو نمونه شاهد و تیمار سیانوباکتری نشان داد که افزودن سیانوباکتری‌ها به خاک، به افزایش مقاومت خاک در برابر نیروی کنش باد منجر شد. نوع بافت و درصد رطوبت خاک نیز با مقادیر مقاومت برشی رابطه معنی داری نداشت.

جدول ۶: مقایسه اثر عوامل مختلف مورد مطالعه بر مقادیر مقاومت برشی

ردیف	منبع	جمع مربعات	میانگین مربعات	F
۱	بافت خاک	۲۳۱۲/۳۳	۱۹۲/۶۹۴ ^{ns}	۱/۲۵۰
۲	رطوبت	۱/۹۱۷	۱۶۰ ^{ns}	۰/۶۲۶
۳	نوع تیمار (شاهد و تیمار با سیانوباکتری)	۵/۵	۰/۴۵۸*	۱۰/۰۸۳

ns: فقدان معنی‌داری

*: معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$)

ویژگی‌های شاخص مقاومت برشی، برای بررسی کارایی تثبیت‌کننده‌های خاک ارائه شده‌است (Tahmasebi, Birgani et al, 2019). با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۷، محلول‌پاشی سیانوباکتری جزء تثبیت‌کننده‌های متوسط ارزیابی می‌شود.

جدول ۷: تشریح ویژگی‌های شاخص مقاومت برشی برای بررسی کارایی مواد تثبیت‌کننده خاک

ارزیابی						
معیار	شاخص	دستگاه اندازه‌گیری	ملاحظات	طبقات	امتیاز	کیفیت
استحکام	مقاومت برشی	توربین	اندازه‌گیری مقاومت برشی ذکر شود.	کمتر از ۰/۵	۱	ضعیف
				۰/۵-۱	۲	متوسط
				۱-۲	۳	خوب
				بیش از ۲	۴	بسیار خوب

۵- بحث و نتیجه‌گیری

سرعت آستانه فرسایش بادی در مرکز دشت سجزی به میزان ۳/۷۶ متر بر ثانیه به‌دست آمد و بیانگر آن بود که شدت فرسایش بادی در این ناحیه از دشت سجزی بسیار بالاست. با ترسیم گل‌توفان‌های منطقه معلوم شد که قدرت فرساینده باد در دشت سجزی زیاد است و درصد قابل‌توجهی از بادها با سرعت بیش از آستانه فرسایش بادی وارد دشت سجزی می‌شود و خاک منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در دو ناحیه از این دشت بررسی و مقایسه شد (جدول ۲). میانگین شوری خاک در نمونه‌های جمع‌آوری شده از حاشیه دشت سجزی - که پوسته‌های زیستی خاک به صورت پراکنده در آن یافت می‌شد - 1 ± 0.2 دسی‌زیمنس بر متر بود؛ در حالی که در مرکز آن، حوالی ایستگاه منابع طبیعی، که عاری از پوسته‌های زیستی خاک بود، $45/3 \pm 7/5$ دسی‌زیمنس اندازه‌گیری شد. تغییرات سایر خصوصیات خاک از جمله کربن آلی، از 0.67 ± 0.2 در جامعه دارای پوسته‌های زیستی تا 0.16 ± 0.1 در نقاط فاقد پوسته‌های زیستی کاهش یافته بود. میانگین قطر وزنی خاکدانه 0.32 ± 0.4 در خاک جمع‌آوری شده از ناحیه دارای پوسته‌های زیستی، بیش از خاک‌های فاقد پوشش زیستی بود. پایداری خاکدانه در ناحیه بدون پوشش زیستی خاک، کمتر بود و در نتیجه ذرات خاک در این نواحی، به فرسایش بادی یا نیروهای تخریبی دیگر حساس‌تر است. فرسایش بادی تابع دو دسته از عوامل فرسایش‌زایی و فرسایش‌پذیری است؛

عوامل فرسایش زایی به فیزیک باد و فرسایش پذیری به خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مربوط می شود (Azimzadeh et al, 2002 & Darvish, 1999). با وزش باد شدید، ذرات ریز خاک به صورت معلق به فواصل دور منتقل می شوند و ذرات درشت تر به صورت جهشی معمولاً تا موانع موجود در سر راه حرکت می کنند. ذرات درشت یا بر جای خود باقی می مانند یا تا فاصله کمی حرکت می کنند؛ بدین ترتیب، بافت خاک در نقاط تحت فرسایش بادی شدیدتر، دچار تغییرات می شود و اندازه ذرات به سمت ذرات درشت تر میل می کند (Chepil, 1953). تغییرات بافت خاک در وسعت زیاد و در مدت طولانی به طور طبیعی اتفاق می افتد، ولی یکی از دلایل متفاوت بودن بافت خاک در شرایط دشت سجزی و در وسعت محدوده مورد مطالعه، شدت فرسایش بادی در آن قسمت است. از طرفی، وزش باد به کاهش حاصلخیزی و فقیر شدن خاک منجر می شود؛ زیرا ذرات رس و مواد آلی خاک نیز به صورت معلق منتقل می شود. ذرات رس، حاوی ماکرومغذی های خاک از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم است (Rafahi, 2005)؛ بنابراین، می توان گفت قسمت های مرکزی دشت سجزی از نظر خصوصیات خاک به فرسایش بادی حساس است و در مقایسه با نوار حاشیه آن، فرسایش بادی با شدت بیشتری عمل و خاک دشت را تخریب می کند. Azimzadeh و همکاران (2002) نیز تأثیر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک را با شدت فرسایش بادی مرتبط دانستند و بین بافت خاک، درصد سطحی سنگریزه، آهک، گچ، ماده آلی خاک، شوری، میانگین وزنی قطر ذرات و درصد ذرات بزرگ تر از ۰/۸۴ در دشت یزد - اردکان رابطه معنی داری به دست آوردند.

عملکرد میکروارگانیزم های خاک در بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، افزایش حاصلخیزی (Kheirfam et al, 2017) و مقاومت خاکدانه در برابر فرسایش پذیری خاک (Kheirfam and Roohi, 2020)، طی تحقیقات متعددی به اثبات رسیده است. به منظور مقایسه اثر پوسته های زیستی در ترشح مواد پلی ساکاریدی و افزایش مقاومت خاک در عرصه منابع طبیعی، ترکیبی از چهار مونومر کربوهیدرات و دقیقاً به همان نسبت که در خاک های زیر پوشش پوسته های زیستی اندازه گیری شده بود، بر سطح خاک های فاقد پوسته های زیستی - که دارای مقدار بسیار ناچیز ماده آلی بود - اسپری شد. اما آزمایش ها نشان داد که ترکیبات کربوهیدرات در افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی، کاهش میزان بادبردگی و افزایش مقاومت و فشار در هیچ یک از انواع بافت خاک، هیچ تأثیری نداشت و نمونه های تیمار شده نیز با نمونه های شاهد تفاوتی نداشت. این موضوع بیانگر آن است که عملکرد بین میکروارگانیزم های زنده و ذرات خاک، در افزایش پایداری خاکدانه اهمیت زیادی دارد و اینکه اگر صرفاً ترکیبات کربوهیدرات به صورت مصنوعی اضافه شود، اثربخشی چندانی نخواهد داشت. از طرفی، این ترکیبات شناسایی شده دقیقاً همان ابرمولکول ترشح شده توسط میکروارگانیزم نیست؛ به عبارتی، می توان گفت بخشی از آن ابر مولکول است و مسلماً کارایی آن را نخواهد داشت و همان طور که قبلاً اشاره شد، شناسایی ابرمولکول های تولید شده توسط میکروارگانیزم ها فرایند بسیار دشواری است. وجود میکروارگانیزم در خاک و تکثیر پیاپی آن، به افزایش محتوای آلی خاک منجر می شود و پایداری آن را افزایش می دهد؛ در حالی که با افزودن مقدار مشخصی از مواد کربوهیدرات به صورت مصنوعی در لایه سطحی خاک به ویژه در عرصه های منابع طبیعی، به تجزیه آنها در اثر شرایط محیطی و اقلیمی از قبیل اشعه ماورای بنفش منجر می شود و عملکرد آنها را در خاک کاهش می دهد، حتی ممکن است متوقف شود؛ به عبارتی اندکی پس از محلول پاشی، اثرات آنها کاهش می یابد یا ناپدید می شود. Sher و همکاران (2020) نیز

اثر پلی‌ساکاریدهای ترشح شده از سیانوباکتری‌ها را در افزایش رطوبت و مقاومت خاک تأیید کردند، اما کاربرد آنها را به تنهایی مثبت ارزیابی نکردند.

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تیمار با سیانوباکتری‌های *Microcoleus vaginatus* و *Coleofasciculus chthonoplastes*، بر کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی (شکل ۶)، شار تلفات خاک (شکل ۶ و جدول ۴) و افزایش مقاومت برشی، اثر مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵). سرعت آستانه فرسایش بادی در دشت سجزی، به میزان ۳/۷۶ متر بر ثانیه بر روی خاک کاملاً خشک و دارای بافت لوم شنی به‌دست آمد. در شرایط آزمایشگاهی با توجه به افزودن رطوبت، مقاومت خاک اندکی بیشتر شد و همین امر عامل بالاتر بودن سرعت آستانه فرسایش بادی در آزمایشگاه بود. با توجه به شکل ۶، میزان بادبردگی در همه خاک‌ها با تیمار سیانوباکتری کاهش یافت، اما کاهش تلفات خاک در سرعت باد ۱۱/۲۱ متر بر ثانیه معنی‌دار نبود و بیشتر تحت تأثیر بافت خاک قرار داشت و طبعاً از آنجا که بافت خاک در حفظ نگهداشت سطحی رطوبت مؤثر است (Bybordi, 2009) در سرعت ۱۱/۲۱ متر بر ثانیه، اثر رطوبت نیز بر میزان تلفات خاک معنی‌دار شده‌است. به طور کلی منحنی بادبردگی خاک به صورت یک منحنی پارابولیک، بعد از وقوع حداکثر باددرفت خاک به صورت یکنواخت و ثابت در می‌آید. هر قدر که درصد ذرات حساس به فرسایش بادی - ذرات در اندازه کوچک‌تر از ۰/۸۴ و بزرگ‌تر از ۰/۸ میلی‌متر (Chepil, 1945) - بیشتر باشد، نقطه عطف منحنی بادبردگی در سرعت‌های کمتر اتفاق می‌افتد یا اینکه شار، تلفات خاک بیشتری خواهد داشت. همه خاک‌ها در سرعت‌های باد یکسان آزمایش شده‌اند و از طرفی اندازه ذرات بهینه برای رشد و استقرار سیانوباکتری *Microcoleus vaginatus*، ذرات کوچک‌تر از ۱۲۵ میکرومتر است (Rozenstein et al, 2014). با توجه به نمودارهای بادبردگی در شکل ۶، میزان بادبردگی به صورت لوم شنی < لوم رسی شنی < لوم سیلتی < لوم است. بنابراین، سیانوباکتری‌ها در خاک‌های لوم و لوم سیلتی بهتر از انواع دیگر خاک استقرار یافته‌اند و همین امر در شار تلفات خاک تأثیر داشته‌است، اما به دلیل حساسیت ذرات کوچک‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر به فرسایش بادی، بیشتر ذرات در سرعت بالاتر از آستانه فرسایش بادی برداشت شده‌است. در سرعت ۷/۱۵ متر بر ثانیه، اثر تیمار سیانوباکتری به کاهش تلفات خاک منجر شده‌است و در سرعت ۱۵/۰۶ متر بر ثانیه - که تقریباً همه ذرات حساس به فرسایش جدا شده‌اند - تفاوت نمونه‌های تیمار شده با سیانوباکتری به دلیل مقاومت ذرات ریز در بین فیلامان‌های سیانوباکتری‌های *Microcoleus vaginatus*، *Coleofasciculus chthonoplastes* و ذرات درشت و سنگین‌تر بوده - است. با توجه به طبقه‌بندی USDA، محدوده ذرات خاک برای Fine Sand و Very Fine Sand از ۰/۲۵ تا ۰/۰۵ میلی‌متر متغیر است (Bybordi, 2009). بنابراین، سیانوباکتری‌های *Microcoleus vaginatus* و *Coleofasciculus chthonoplastes* برای تثبیت Fine Sand و Very Fine Sand، گزینه مناسبی به شمار می‌رود و البته Very Fine Sand به لحاظ اندازه ذرات مناسب‌تر است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، سیانوباکتری‌ها در حفظ رطوبت خاک نیز مؤثر است (Kheirfam et al, 2017)؛ بنابراین، در سرعت‌های ۷/۱۵ و ۱۵/۰۶ متر بر ثانیه با توجه به مقدار رطوبت خاک، تیمار سیانوباکتری رابطه معنی‌داری نشان داد و با آن که در نمونه‌های شاهد با رطوبت بیشتر، میزان بادبردگی کمتری اتفاق افتاد، این میزان کاهش بادبردگی معنی‌دار نبود و اثر سیانوباکتری‌ها بیشتر نمود یافت. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات Fattahi و همکاران (2020) همسو است. طی تحقیقات ایشان، سیانوباکتری‌های *Microcoleus*

vaginatus و *Nostoc punctiforme* بر کاهش فرسایش بادی و افزایش پایداری خاکدانه در سرعت های مختلف باد تأثیر مثبتی داشت. اما اثر سیانوباکتری ها به طور جداگانه بررسی شد و عملکرد *Microcoleus vaginatus* را بهتر ارزیابی کرد.

علاوه بر میزان بادبرگی، تیمار سیانوباکتری با مقادیر مقاومت برشی در خاک های مختلف نیز رابطه معنی داری نشان داد. سیانوباکتری های *Microcoleus vaginatus* و *Coleofasciculus chthonoplastes*، دارای اندام های رشته ای است (Etemadifar and Derik Vand, 2019) که بین ذرات خاک توسعه می یابد، شبکه منسجمی را از رشته ها و ذرات خاک به وجود می آورد و به افزایش مقاومت آن منجر می شود (Wang et al, 2009). طبق یافته های تحقیق، هر چند که میزان مقاومت برشی در خاک های لوم و لوم سیلتی بیشتر است، اما نوع بافت خاک با میزان مقاومت برشی رابطه معنی داری ندارد. به نظر می رسد تنها به دلیل ساختار سیانوباکتری هاست که با ایجاد یک لایه رشته ای ضخیم، مقاومت برشی نمونه های تیمار شده از نمونه های شاهد بیشتر شده است. در خاک های لوم و لوم سیلتی، مقدار مقاومت فشاری (0.6 کیلوگرم بر سانتی متر مکعب) بیش از سایر نمونه ها (0.5 کیلوگرم بر سانتی متر مکعب) برآورد شد.

به طور کلی، قابلیت های فیزیولوژیکی از قبیل توانایی ترشح مواد درون سلولی برون سلولی، سازگاری بسیار زیاد و تحمل شرایط شوری و اسیدیته خاک، تحمل تنش های خشکی و اشعه ماورای بنفش، گزینه مناسبی برای اصلاح خاک های تخریب یافته است. از طرفی، موجودات یوکاریوتی دارای کلروفیل و اتوتروف است و می تواند کربن را در خاک ترسیب کند؛ بدین سبب، به افزایش ماده آلی خاک منجر می شود (Kheirfam and Asadzadeh, 2020). نتایج تحقیق نیز نشان داد که سیانوباکتری های *Microcoleus vaginatus* و *Coleofasciculus chthonoplastes* - که از گونه های بومی دشت سجزی است - بر کاهش میزان باد بردگی، افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی و مقاومت برشی خاک اثر مثبتی دارد. بنابراین، می توان گفت سیانوباکتری ها مانند یک گیاه سبز نامرئی در بین ذرات خاک استقرار می یابد و به اصلاح خاک و افزایش مقاومت آن در برابر نیروهای فرساینده باد در مناطق بیابانی منجر می شود. از آنجا که این موجودات بومی بیابان است، افزودن آنها به خاک به طور مصنوعی به منظور تسریع فرایند اصلاح خاک، به دور از هر گونه آثار و عواقب زیست محیطی است. این امر به ویژه در دراز مدت اثربخشی مثبتی دارد و برای مقابله با بیابان زدایی، به عنوان یک روش بیوتکنولوژی دوستدار محیط زیست بسیار مناسب است؛ به خصوص در شرایط فعلی که به دلیل طغیان پدیده بیابان زایی و افزایش طوفان های گرد و غبار، با وجود استفاده مکرر از انواع روش های مکانیکی و شیمیایی (مالچ های شیمیایی و نفتی) نتیجه مطلوبی حاصل نشده و مرزهای بیابان رو به گسترش است. گرچه تغییرات اقلیمی و خشکسالی نیز به پدیده بیابان زایی دامن زده است، اما نوع مدیریت سرزمین و استفاده از روش های بهتر، نوعی سازگاری در برابر تغییرات اقلیمی است.

منابع

1. Azimzadeh, H. R.; Ekhtesasi, M.; Hatami, M.; & M. AkhavanGhalibaf, 2002. Effects of some physical and chemical properties on wind soil erodibility and development of a model to estimate it in Yazd Ardekanplain, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9, 1-12.

2. Adessi, A.; De Carvalho, R. C.; De Philippis, R.; C. Branquinho, C.; & da J. M. Silva., 2018. Microbial extracellular polymeric substances improve water retention in dryland biological soil crusts, *Soil Biology & Biochemistry*, 116, 67-69.
3. Ajaj, Q. M.; Pradhan, B.; Noori, A. M.; & M. N. Jebur, 2007. Spatial monitoring of desertification extent in western Iraq using landsat images and GIS, *Land Degraded Development*, 28, 2418-2431.
4. Antoninka, A.; Bowker, M. A.; Barger, N. N.; Belnap, J.; Giraldo-Silva, A.; Reed, S. C.; Garcia-Pichel, F.; & M. C. Duniway, 2020. Addressing barriers to improve biocrust colonization and establishment in dryland restoration, *Restoration Ecology*, 28, S150-S159.
5. Belnap, J., 2006. The potential roles of biological soil crust in dry land hydrologic cycles, *Hydrology Process*, 20, 3159-3178.
6. Bowker, M. A.; Reed, S. C.; Maestre, F. T.; & D. Eldridge, 2018. Biocrusts: the living skin of the earth, *Plant Soil*, 429, 1-7.
7. Bybordi, M., 2009. Soil physics. Tehran University Press, 676p.
8. Chamizo, S.; Mugnai, G.; Rossi, F.; Certini, G.; & R. De Philippis, 2018. Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration, *Frontiers in Environmental Science*, 6, 49-61.
9. Chepil, W. S., & R. A. Milne., (1941). Wind erosion in relation to roughness of the surface. *Soil Sci.* 52, 417-433.
10. Chepil, W. S., 1945. Dynamics of wind erosion: I. nature of movement of soil by wind, *Soil Science*, 60(4), 305-320.
11. Chepil, W. S., 1953. Factors that influence cold structure and erodibility of soil by wind soil texture, *Soil Science*, 75, 473-483.
12. Chock, T.; Antoninka, A. J.; Faist, A. M.; Bowker, M. A.; Belnap, J.; & N. N. Barger, 2019. Responses of biological soil crusts to rehabilitation strategies, *Journal of Arid Environments*, 163, 77-85.
13. Darvish, M., 1979. Inhibition of desertification. Available at: <http://www.mohammaddarvish.ir>
14. Dregne, H.; Kassas, M.; & B. Rozanov, 1991. A new assessment of the world status of desertification, *Desertification Control Bulltein*, 20, 6-18.
15. Dodorioo, P.; Bhattachan, A.; Davis, K. F.; Ravi, S.; & C. W. Ruyan, 2013. Global desertification: drivers and feedback, *Advances Water Resources*, 51, 326-344.
16. Etemadifar, Z., & P. Derik Vand., (2019). The biology of cyanobacteria, Isfahan University Press, 237p.
17. Fattahi, S. M.; Soroush, A.; & N. Huang, 2020. Wind erosion control using inoculation of Aeolian sand with cyanobacteria, *Land Degraded Development*, 31(15), 2104-2116.
18. Hu Y.; Han Y.; & Y. Zhang, 2020. Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan, *Journal of Arid Environment*, 180, 104203.
19. Khalil Moghadam, B.; Afyuni, M.; Jalalian, A.; Abbaspour, K. C.; & A. A. Dehghani, 2011. Estimation Surface Soil Shear Strength by Pedo-Transfer Functions and Soil Spatial Prediction Functions, *Journal of Water and Soil*, 25(1), 187-195.
20. Kheirfam, H., & F. Asadzadeh., (2020). Creation and Restoration of Biocrusts in the Degraded Ecosystems by Cyanobacterization Technology. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*. 1(1), 132-138.
21. Kheirfam, H., & M. Roohi., (2020). Accelerating the formation of biological soil crusts in the newly driedup lakebeds using the inoculation-based technique. *Scince of the Total Environment*. 706, 136036.
22. Kheirfam, H. S.; Sadeghi, H. R.; M. Homae, M.; & B. Zarei Darki, 2017. Quality improvement of an erosionprone soil through microbial enrichment, *Soil and Tillage Research*, 165, 230-238.

23. Khosroshahi, M.; Abtahi, M.; & M. T. Kashki, 2017. Determining deserts domain of Iran aspect of natural environmental factors, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(2), 404-417.
24. Khosroshahi, M., & M. Abtahi., (2015). Effects of Six Chemical and Mineral Mulches on the Establishment and Survival of Calligonum and Haloxylon. *Water and Soil Science*. 26(1), 39-46.
25. Lan, S., Wu, L.; Zhang, D.; & C. Hu, 2012. Successional stages of biological soil crusts and their microstructure variability in Shapotou region (China), *Environmental Earth Science*, 65, 77-88.
26. Memarian, H., 1994. Geology and geotechnical engineering, Tehran University Press, No, 2268, 470p.
27. Mugnai, G.; Rossi, F.; Felde, V. J. M. N. L.; Colesie, C.; Budel, B.; Peth, S.; Kaplan, A. & R. De Philippis, 2018. The potential of the cyanobacterium *Leptolyngbya ohadii* as inoculum for stabilizing bare sandy substrates, *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 318-328.
28. Park, C.; Li, X.; Jia, R.; & J. Hur, 2017. Combined application of cyanobacteria with soil fixing chemicals for rapid induction of biological soil crust formation, *Arid Land Resources Management*, 31, 1-13.
29. Refahi, H., 2005. Wind erosion and its control. Tehran University Press, 3th Edition. 320p.
30. Reynolds, J.; Smith, E.; Lambin, E.; Turner, B.; Mortimore, M.; Batterbury, S.; Downing, T.; Dowlatabadi, H.; Fernandez, R.; Herrick, J.; Hubber-Sannwald, H.; Jiang, R.; Leemans, R.; Lynam, T.; Maestre, F.; Ayarza, M.; & B. Walker, 2007. Global desertification: building a science for dryland development, *Science*, 316, 847-851.
31. Ritchie, R. J., 2006. Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents, *Photosynthesis Research*, 89(1), 27-41.
32. Román, J. R.; Roncero-Ramos, B.; Chamizo, S.; Rodriguez-Caballero, E.; & Y. Cantón, 2018. Restoring soil functions by means of cyanobacteria inoculation: Importance of soil conditions and species selection, *Land Degradation & Development*, 29, 3184-3193.
33. Rossi, F.; Li, H.; Liu, Y.; & R. De Philippis, 2017. Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal, *Earth- Science Review*, 171, 28-43.
34. Sher, Y.; Baker, N. R.; Herman, D.; Fossum, Ch.; Hale, L.; Zhang, X.; Nuccio, E.; Saha, M.; Zhou, J.; Pett-Ridge, J.; & M. Firestone, 2020. Microbial extracellular polysaccharide production and aggregate stability controlled by switchgrass (*Panicum virgatum*) root biomass and soil water potential, *Soil Biology and Biochemistry*, 143, 107742, 13p.
35. Strauss, S. L.; Day, T. A.; & F. Garcia-Pichel, 2012. Nitrogen cycling in desert biological soil crusts across biogeographic regions in the Southwestern United States, *Biogeochemistry*, 108, 171-182.
36. Tahmasebi Birgani, A. M.; Zare, S.; & Z. Rafiee, 2019. Protocols of assessment of soil stabilizers (mulches), *Department of Environment Press*, 783, 160p.
37. Velasco Ayuso, S.; Giraldo-Silva, A.; Barger, N. N.; & F. Garcia-Pichel, 2020. Microbial inoculum production for biocrust restoration: testing the effects of a common substrate versus native soils on yield and community composition, *Restoration Ecology*, 28, S194-S202.
38. Veron, S.; Paruelo, J.; & M. Oesterheld, 2006. Assessing desertification, *Journal of Arid Environment*, 66, 751-763.
39. Tahmasebi Birgani, A. M.; Zare, S.; & Z. Rafiee, 2019. Technical instructions for evaluating the performance of soil stabilizers (mulch), *Department of Environment Publication*, 783, 160p.

40. Xie, Z.; Wang, Y.; & Y. Liu, 2009. Ultraviolet-B exposure induces photo-oxidative damage and subsequent repair strategies in a desert cyanobacterium *Microcoleus vaginatus* Gom, *European Journal of Soil Biology*, 45, 377-382.
41. Wang, W.; Liu, Y.; Li, D.; Hu, C.; & B. Rao, 2009. Feasibility of cyanobacterial inoculation for biological soil crusts formation in desert area, *Soil Biology Biochemistry*, 41, 926-929.
42. Weber, B.; Budel, B.; & J. Belnap, 2016. Biological soil crusts: an organizing principle in drylands. *Biological Soil Crusts: an Organizing Principle in Drylands*, Springer, Berlin, 586p.
43. Zaady, E.; Katra, I.; Barkai, D.; Knoll, Y. M.; & S. Sarig, 2017. The coupling effects of using coal fly-ash and bio-inoculant for rehabilitation of disturbed biocrusts in active sand dunes, *Land Degraded Development*, 28, 1228-1236.
44. Zhao, Y.; Jia, R. L.; & W. Wang, 2019. Towards stopping land degradation in drylands: water-saving techniques for cultivating biocrusts in situ, *Land Degraded Development*, 30, 2336-2346.

Investigation of the Effect of Native Cyanobacteria in Sejzi Plain on Wind Erosion Control in the Laboratory

Leila Kashi Zenouzi: *Ph.D. Candidate in Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Iran*

Seyed Hasan Kaboli*: *Assistant Professor of Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Iran*

Kazem Khavazi: *Professor, Department of Soil Biology Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran*

Mohammad Khosroshahi: *Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran*

Article History (Received: 2021/08/19

Accepted: 2021/12/17)



[20.1001.1.22517812.1401.12.2.7.4](https://doi.org/10.1001.1.22517812.1401.12.2.7.4)

Extended abstract

1- Introduction

The destructive phenomenon of desertification, in addition to land degradation, and causing environmental problems and dust events, exert great damages to human societies such as damage to transmission lines, and blockage of roads and railways. Various mechanical, chemical, and biological methods have been proposed to deal with desertification. Recently, in different parts of the world and some parts of Iran, biological soil crusts have been used as biological improvers to modify and stabilize the soil against desertification. Biocrusts consists of a collection of lichens, mosses, algae, fungi, bacteria, and cyanobacteria that play a major role in soil regeneration, increasing desert ecosystem performance, and combating desertification. Researchers have identified the addition of cyanobacteria to the soil as an effective way to improve soil and increase soil ecosystem performance, especially in desert areas. For this purpose, cyanobacteria are used alone or in combination with plant cultivation.

2- Methodology

The study area is part of the Sejzi Desert (Central Deserts of Iran) which is located in Isfahan province of Iran. Wind erosion threshold speed was measured in Sajzi plain using a portable wind tunnel. After plotting the storm rose by the data obtained from the synoptic station of Shahid Beheshti Airport in a period of 25 years from 1991 to 2016 by using WR Plot 7 software in different seasons, the speed and frequency of winds were determined. For conducting the intended experiments, 4 soil samples were collected from the area with biocrust cover and 4 other samples from the area without biocrust cover. PH, EC, OC, saturated moisture content, MWD, dry grain size distribution and soil texture were measured for soil samples. Carbohydrate monomers were identified by HPLC. For the culture of cyanobacteria, very small pieces of soil undercovered with cyanolichens were placed on BG 11 medium, and the processes of isolation, culture, and purification were done, respectively. After sieving the soil through a 4.75 mm, the wind tunnel trays in the dimensions of 30 x 50 x 8 cm with an area of 1500 cm² were filled with soil and their surface was smoothed. The control trays were also saturated to a depth of one centimeter with a distilled water. The amplified cyanobacteria were then isolated from the culture medium under a BX51 light microscope and prepared in a water solution with a biomass weight of 2.5 g/l by inoculated water method and in the required amount according to the pore volume and were sprayed on soil samples. Mass fluxes were measured for all soil classes at different wind speeds according to the erosion

* Corresponding author: Email: hkaboli@semnan.ac.ir

threshold speed between 7.15 to 15.06 m/s. Shear strength and soil moisture were also measured. Experiments were performed completely in a randomized design in three replications.

3-Results

The wind erosion threshold in the center of the Sejzi plain was 3.76 m/s on the sandy loam soil texture. Most wind erosion occurs in late winter and early spring. In spring, 35.8%, and in winter, 21.9% of winds had a speed of 7-11 m/s. The EC, sand, and silt were lower, in the soil undercovered biocrusts, but saturation moisture, MWD, clay, and OC were higher. Of the four identified monosaccharides, arabinose was found in all three samples, but its amount was different in soil samples. Also, Mannose and Xylose were identified and measured in only one of the soil samples at 0.01% and 0.02%, respectively. Based on morphological characteristics, two specimens of cyanobacteria including *Microcoleus vaginatus* and *Coleofasciculus chthonoplastes* were identified. In samples treated with carbohydrates, there was no change of mass fluxes and threshold velocity of wind erosion, and shear strength with control samples. According to the results of the ANOVA test, the mean winding at different wind speeds was affected by soil moisture and texture and treatment with cyanobacteria. By speed of 7.15 and 15.06 m/s, mass fluxes had a significant relationship with cyanobacterial treatment and soil texture. At 11.21 m/s, sediment yield values were affected by texture classes and soil moisture content and had no significant relationship with cyanobacterial treatment. The results showed that the addition of cyanobacteria to the soil increases the shear strength of the soil against the wind force. Texture type and soil moisture percentage had no significant relationship with shear strength values.

4- Discussion & Conclusions

The central parts of the Sejzi plain were sensitive to wind erosion in terms of soil characteristics and compared to its peripheral strip, wind erosion was more intense and had destroyed the plain soil. The presence of microorganisms in the soil and its successive proliferation increases the organic content of the soil and increase soil stability, while adding a certain amount of carbohydrates artificially in the soil surface layer, especially in natural resources, leads to their decomposition by environmental conditions and climates such as ultraviolet rays and their function in the soil is reduced and may even stop. Cyanobacteria are better established in loam and silty loam soils than other types of soil and this has affected the soil loss flux, but due to the sensitivity of particles smaller than 0.84 mm to wind erosion of more particles at a speed of 11.21 m/s, cyanobacterial treatment was significant. The difference between the samples treated with cyanobacteria was due to the resistance of fine particles between the filaments of cyanobacteria *Microcoleus vaginatus* and *Coleofasciculus chthonoplastes*. According to the USDA classification, the range of soil particles for Fine Sand and Very Fine Sand varies from 0.25 to 0.05 mm and are suitable for stabilization with *Microcoleus vaginatus* and *Coleofasciculus chthonoplastes* cyanobacteria.

Keywords: HPLC, Mass flux, Monosaccharide, Wind erosion treshold velocity, Wind tunnel.