تلقیح سیانوباکتری‌ها به منظور بهبود زیست پوسته سازی و تثبیت پذیری بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه

هانیه فرامرزی[۱]، میرحسن رسولی صدقیانی [۲*]، حسین خیرفام[۳]، محسن برین[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱)

چکیده

امروزه تلقیح سیانوباکترها به‌عنوان راه‌کاری نوین و دوست‌دار محیط زیست در تثبیت بسترهای حساس به فرسایش بادی، مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف دستیابی به زیست‌توده مناسب تلقیح سیانوباکتریایی در زیست‌پوسته‌سازی و تثبیت‌پذیری بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. بدین منظور، نمونه‌های حجمی از بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه در منطقه جبل‌کندی ارومیه تهیه گردید و پس از انتقال به داخل سینی‌های فرسایش، آماده‌سازی شدند. سیانوباکترهای مؤثر در تثبیت خاک، استخراج، شناسایی، خالص‌سازی و تکثیر شدند. سپس اقدام به تلقیح سیانوباکترها به سطح سینی‌ها در چهار غلظت صفر، یک، سه و شش گرم بر مترمربع از زیست‌توده سیانوباکترها شد. پس از ۱۲۰ روز، اقدام به شبیه‌سازی باد با سرعت ۷۲ کیلومتر بر ساعت در شش بازه زمانی ۵ دقیقه‌ای به‌مدت ۳۰ دقیقه روی سینی‌ها شد. نتایج نشان داد که میزان هدررفت خاک در تیمارهای شاهد، یک، سه و شش گرم بر مترمربع از تلقیح سیانوباکترها به‌ترتیب ۱۲/۳۵، ۸/۸۷، ۴/۱۱ و ۰/۷۳ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه بود. تلقیح سیانوباکترها در تیمارهای با غلظت یک، سه و شش گرم برمترمربع به‌ترتیب منجر به کاهش ۲۸/۱۵، ۶۶/۶۵ و ۹۹/۴۰ درصدی هدررفت خاک نسبت به تیمار شاهد شد. آستانه فرسایش‌پذیری تیمارهای شاهد، تلقیح یک و سه گرم بر مترمربع از سیانوباکترها به‌ترتیب در ابتدا (دقیقه صفر تا پنج)، دقیقه ۱۰ تا ۱۵ و دقیقه ۱۵ تا ۲۰ بوده و در تیمار تلقیح شش گرم بر متربع از سیانوباکترها تا انتهای آزمایش (دقیقه ۳۰) فرسایش محسوسی مشاهده نشد. یافته‌ها نشان داد که تلقیح سیانوباکترها با غلظت زیست‌توده شش گرم بر مترمربع بهترین عملکرد در زیست‌پوسته‌سازی و کاهش هدرفت خاک را داشت.

واژه های کلیدی: پوسته زیستی خاک، تثبیت کانون‌های ریزگرد، تلقیح خاک، پایداری خاک، فرسایش بادی

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (مکاتبه کننده)
۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه ، ایران
۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
* پست الکترونیک: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر، خشک‌سالی‌های مکرر و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی سبب اختلال در توازن بین منابع و مصارف آب شده است . نتیجه این امر ظهور بحران در بوم‌سازگان‌های آبی و خشکی آب‌های داخلی و بروز مخاطرات زیست محیطی متعدد می‌باشد. عدم توازن طبیعی در بیلان آب دریاچه ارومیه درنتیجه نوسانات اقلیمی و دخالت‌های انسانی نظیر سدسازی، کشاورزی و مدیریت ناکارآمد، منجر به خشکی بخش قابل توجهی از آن و ایجاد کانون‌های ریزگرد حاوی رسوبات نمکی با قابلیت پراکنش تا ۸۰۰ کیلومتری و حرکت ماسه‌های روان شده است (kheirfam & Roohi,2020) ریزگردهای انتقالی توسط بادهای فرساینده از بستر خشک دریاچه به‌عنوان یک آلاینده زیستی مخرب اثرات سوئی بر کیفیت آب، خاک، هوای مناطق پیرامون دریاچه دارد و تهدیدی جدی برای جوامع انسانی، گونه‌های گیاهی و جانوری ، کشاورزی و منابع طبیعی می‌باشد(Kheirfam & Asadzadeh, 2020 a,b,c) . لذا تمهیدات بسیاری در راستای تثبیت و افزایش آستانه برداشت ذرات مستعد فرسایش انجام یافته است که از جمله آنها می‌توان به مالچ‌پاشی، احداث بادشکن ، نهال‌کاری و بوته‌کاری، شن‌ریزی بر سطوح نمکی اشاره نمود. اما نتایج نشان داده است که هریک از روش‌های فوق با محدودیت‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، بهداشتی، اجراپذیری، پایداری و ماندگاری روبرو است(Román *et al*., 2020). از این رو تلاش پژوهشگران در راستای دستیابی به راه‌کار مدیریتی اقتصادی، محیط‌زیست محور، پایدار و ماندگار در جهت افزایش پایداری خاک سبب ابداع روش نوینی از حفاظت خاک در برابر عوامل فرساینده شده است. مطالعات نشان داده است که تثبیت و پایداری خاک‌های مستعد فرسایش با کم‌ترین محدودیت در زمینه اجراپذیری، هزینه و زمان توسط ریز موجودات خاک‌زی اعم از باکتری‌ها و سیانوباکترها انجام پذیر است (Mugnai *et al*., 2020; Namdar *et al*., 2023). مطالعات انجام شده در این راستا اهمیت استفاده از مایه تلقیح سیانوباکتریایی در تسریع توسعه پوسته زیستی خاک بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک ثابت کرده است (Kheirfam *et al*., 2020). سیانوباکترها از طریق ترشح مواد پلی‌ساکاریدی چسبنده، سبب ایجاد اتصال بین ذرات ریز خاک و تولید یک شبکه متسع و متصل و متخلخل در سطح خاک می‌شود. پوسته حاصل در افزایش نفوذپذیری و مهار رواناب‌های سطحی خاک و همچنین افزایش آستانه مقاومت خاک در برابر بادهای فرساینده نقش بسزایی دارد (Kheirfam & Asadzadeh, 2020 a,b,c). با این حال، جمعیت سیانوباکترها در بسترهای خشک و ماسه‌ای دریاچه ارومیه بسیار پایین می‌باشد و احیای پوسته‌های زیستی توسعه‌یافته خاک با مقدار پایین جمعیت سیانوباکتر تحت شرایط طبیعی امری بسیار زمان‌بر می‌باشد (Belnap *et al*., 2014).

ازاین‌رو پژوهشگران از طریق تلقیح سیانوباکتریایی زمان پوسته‌سازی را به حداقل رسانده اند (Kheirfam & Roohi, 2020). تلقیح مقادیر مختلف سیانوباکتر به سطح خاک به منظور احیای پوسته زیستی ، بازخوردهای متنوعی در مولفه‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک در پی خواهد داشت که توسط (Kheirfam *et al*., 2017a) در مقیاس آزمایشگاهی و(Kheirfam *et al*., 2020) در مقیاس صحرایی تأیید شده است. از آنجا که استفاده از مقادیر بالای مایه‌تلقیح باعث ایجاد رابطه‌ی رقابتی بین سیانوباکترها می‌شود و انرژی این موجودات صرف رقابت می‌شود درنتیجه فرآیند پوسته‌سازی با بازده پایین و زیان اقتصادی همراه خواهد بود. لذا در روند تلقیح باید زیست‌توده مناسبی از سیانوباکترها استفاده شود. از طرفی نیز نتیجه حاصل از تلقیح غلظت پایین، تراکم و اثرگذاری کافی برای احیای پوسته مذکور را نخواهد داشت (Mugnai *et al*., 2020). از این رو، پوسته‌سازی کیفیت مطلوبی نخواهد داشت. لذا پژوهشگران ملزم به استفاده از زادمایه با غلظت مناسب می‌باشند. چراکه دست‌یابی به یک عملکرد مطلوب در زیست‌پوسته‌سازی و همچنین صرفه‌جویی در هزینه‌های اجرایی و زمان و سهولت در اجرای آزمایش، نیازمند غلظت مناسب از زیست‌توده می‌باشد. با این حال، این ابهام در رابطه با مقدار مناسب زادمایه مصرفی تاکنون روشن نشده و پژوهش حاضر با هدف تعیین سطح مناسب تلقیح زیست‌توده سیانوباکترها از طریق بررسی میزان افزایش آستانه فرسایش‌پذیری در راستای

احیای زیستی پوسته خاک‌های شور بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه برنامه‌ریزی شده است.

مواد و روش ها

نمونه‌برداری و آماده‌سازی سینی‌های فرسایش

برای انجام پژوهش حاضر از بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵۰ دقیقه و ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی، منطقه جبل‌کندی نمونه‌برداری شد. خاک لازم در دو مقیاس متفاوت بصورت تصادفی از بستر دریاچه ارومیه نمونه‌برداری شد. مرحله اول نمونه‌برداری از سطح صفر تا دو سانتی‌متری خاک ، به منظور استفاده در کشت و استخراج و تکثیر سیانوباکترها با استفاده از لوله‌های پلی وینیل‌کلرید برداشت و داخل کیسه‌های پلی اتیلنی به یخچال آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه انتقال و تا شروع آزمایش در دمای ۴- درجه سلسیوس نگهداری شد (Kheirfam *et al.*, 2017a,b) . مرحله دوم نمونه‌برداری به‌صورت حجمی از سطح صفر تا ده سانتی‌متری از بسترهای ماسه‌ای انجام شد و پس از حذف بقایای گیاهی، هواخشک شده و از الک هشت میلی‌متری عبور داده شدند و برای استفاده در فرآیند شبیه‌سازی استفاده شد (Kheirfam & Asadzadeh, 2020b).

به منظور شبیه‌سازی بسترهای فرسایشی دریاچه ارومیه در مقیاس آزمایشگاهی از سینی‌های استاندارد فرسایشی (با ابعاد ۵۰ در ۳۰ در ۱۰ سانتی‌متر) استفاده شد. چهار تیمار مطالعاتی (صفر، یک، سه و شش گرم بر لیتر) با سه تکرار و در مجموع ۱۶ آزمایش (سینی فرسایشی) مدنظر قرار گرفت. سینی‌های مذکور توسط نمونه‌های خاک سری دوم نمونه‌برداری پر شده و به منظور دستیابی به چگالی ظاهری خاک دست‌نخورده عملیات فشرده‌سازی توسط غلطک دستی انجام شد(Kheirfam *et al.*, 2017a,b) . سینی‌های مذکور تا حد امکان از لحاظ اندازه ذرات، چگالی و سایر ویژگی‌های فیزیکی به منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil used in the experiment

Kava mg kg^{-1}	Pava (mg kg^{-1})	clay %	silt %	sand %	CCE %	OC %	EC (dS/m)	pH
124	11	15	23	62	12	0.36	12.4	7.8

کشت و استخراج سیانوباکترها و اعمال تیمارها:

به منظور کشت و استخراج سیانوباکترها، یک گرم از نمونه خاک‌های موجود توزین و در سه تکرار به پتری‌های هشت سانتی‌متری منتقل شد، و همچنین یک لامل در ابعاد چهار سانتی‌متر مربع به منظور پایش و شناسایی سیانوباکترها بر روی نمونه‌های خاک قرار گرفت (Lecomte et al., 2011). سپس دو محیط کشت سیانوباکتریایی مرسوم CHU10 و Bold's Basal مطابق با دستورالعمل‌های استاندارد شرکت‌های مرجع تهیه شدند (Andersen, 2005). برای تهیه محیط کشت CHU10 و Bold's Basal از ترکیبات زیر (جدول ۲) استفاده شد.

جدول۲- ترکیبات محیط کشت Chu10 و Bold's basal مورد استفاده در تکثیر سیانوباکتر ها

Table 2.Chu10 and Bold's basal medium compositions used in cyanobacteria propagation

Chu-10		Bold's basal			
Constituents	g lit^{-1}	Constituents	g lit^{-1}	Constituents	g lit^{-1}
$Ca(NO3)_2 .4H_2O$	0.232	$NaNO_3$	2.5	$ZnSO_4.7H_2O$	8.82
K_2HPO_4	0.01	NaCl	0.25	$MnCl_2.4H_2O$	1.44
$MgSO_4.7H_2O$	0.025	$MgSO_4.7H_2O$	0.75	Na_2MoO_4	0.71
Na_2CO_3	0.02	K_2HPO_4	0.75	$CuSO_4.5H_2O$	1.57
$Na_2SiO_3.5H_2O$	0.044	KH_2PO_4	1.75		
Iron (II) citrate	0.0035	$CaCl_2 \cdot 2H_2O.$	0.25		
Citric acid	0.0035	$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0.49		

محیط کشت‌های عمومی تهیه شده و به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر به ظرف پتری اضافه شد سپس در بازه زمانی سه روزه و به مدت ۳۰ روز بصورت مستمر به‌مقدار ۵ میلی‌لیتر درون ظروف پتری اضافه شد. پتری‌های مذکور در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوباتور به‌مدت یک ماه تا ظهور رنگ سبز مربوط به سیانوباکترها روی سطوح خاک و لامل قرار داده شدند (Kheirfam & Roohi, 2020).

پس از رشد سیانوباکترها روی سطح خاک و لامل‌ها، اقدام به انتقال لامل‌ها درون لوله‌های آزمایش ۱۰ میلی‌لیتری حاوی محیط‌های کشت شد. با گذشت ۴۵ روز از فرآیند انتقال توده‌هایی از زیست‌توده سیانوباکترها در داخل محیط مایع لوله‌های آزمایش ظاهر شد (Kheirfam *et al.*, 2017a). سپس، دو جنس *Nostoc sp.* و *Oscillatoria sp.* سیانوباکتر با استفاده از میکروسکوپ‌های نوری بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی ذکرشده در راهنمای جامع Bergey شناسایی شدند (Buchanan & Gibbons, 1974; Garrity *et al.*, 2001) در دو جنس مذکور توان ترشح مواد چسبنده پلی‌ساکاریدی، رشد شبکه‌ای و هم‌چنین عدم بیماری‌زا بودن برای انسان و سایر موجودات سنجیده و بعنوان بهترین جنس انتخاب شدند (Kheirfam *et al.*, 2017a). سپس فرآیند خالص‌سازی با استفاده از سوزن‌های نوک باریک میکروبیولوژی و انتقال به لوله‌های آزمایش محتوای محیط کشت CHU10 انجام شد (Kumar et al., 2013; Kheirfam et al., 2017a). و درنهایت سیانوباکترهای خالص‌سازی شده *Nostoc sp.* و *Oscillatoria sp.* به‌منظور تکثیر در حجم و زیست‌توده بالا به ارلن‌های ۵۰۰۰ میلی‌لیتری حاوی محیط کشت منتقل و در دوره‌های روشنایی (۱۴ ساعت)/تاریکی (۱۰ ساعت) و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند (Kheirfam *et al.*, 2020). به منظور تهیه تیمارهای غلظتی، فرآیند سانتریفیوژ (۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه) و تخلیه رطوبت بوسیله فریز درایر برای ۵۰ میلی‌لیتر از محلول، انجام شد و میزان زیست توده موجود در آن اندازه‌گیری شد. سیانوباکترها پس از جداسازی از بخش مایع حاوی محیط کشت به محیط آب استریل اضافه شده و مایع تلقیحی با وزن زیست‌توده مورد نظر برای هر تیمار مطالعاتی توزین شد و سپس مایه تلقیح سیانوباکتر در چهار سری غلظتی (صفر، یک، سه و شش گرم بر لیتر)، تهیه و آماده استفاده برای فرآیند تلقیح شد (Ansari & Fatma, 2016).

اعمال تیمارها و شبیه‌سازی باد

برای انجام آزمایش حاضر چهار تیمار به‌ترتیب شاهد (بدون تلقیح سیانوباکتر؛ صرفاً آب مقطر)، تلقیح سیانوباکتر با غلظت‌های یک، سه و شش گرم بر مترمربع، به‌ترتیب روی سطح سینی‌های تیمارهای مطالعاتی با سه تکرار اسپری شده (در مجموع تعداد ۱۶ سینی) و ۱۲۰ روز با هدف تولید پوسته زیستی در سطح خاک دست نخورده باقیماندند (Kheirfam & Roohi, 2020). در طی مدت ۱۲۰ روز در بازه‌های زمانی ۱۰ روز یک بار به منظور فراهم سازی رطوبت سطحی مقدار ۳۰ میلی‌لیتر به‌ازای هر سینی فرسایشی بر روی خاک اسپری شد (Chen *et al.*, 2006). شبیه‌سازی فرآیند فرسایش بادی و انتقال ذرات ماسه توسط دستگاه شبیه‌ساز (تونل) باد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی

دانشگاه ارومیه انجام شد. دستگاه مذکور از نوع تونل‌های باد با مدار باز است و هوا از بیرون به داخل تونل جریان دارد. ابعاد (طول در عرض) محفظه آزمایش در این تونل برابر با ۴۰ در ۳۰ سانتی‌متر بوده و دارای مجرای مخروطی شکل به طول ۱۷۵ سانتی‌متر و قطر ورودی ۶۰ سانتی‌متر است. طول بخش پخش‌کننده در این تونل برابر با ۹۰ ساتی‌متر بوده و سطح مقطع آن در انتهای تونل ۱۰۰ × ۱۰۰ سانتی‌متر می‌باشد. نیروی لازم برای ایجاد جریان باد در این تونل با کمک یک موتور الکتریکی با قدرت سه کیلووات و یک پروانه متصل به موتور با قطر ۵۵ سانتی‌متر، تأمین می‌شود. سرعت چرخش پروانه و در نتیجه سرعت باد توسط یک دستگاه اینورتر متصل به دینام تقویت شده و سبب ایجاد حداکثر سرعت باد ۲۲ متر بر ثانیه می‌شود. هرچند طبق آخرین گزارشات سرعت بادهای غالب در منطقه بین پنج تا ۲۸ کیلومتر بر ساعت (۱/۴ تا ۷/۸ متر بر ثانیه) است (Ahmadi-Birgani *et al.*, 2018)؛ با این حال بادهای فرساینده در بازه سرعتی ۵۰ تا ۷۵ کیلومتر بر ساعت (تقریباً ۱۴ تا ۲۱ متر بر ثانیه) اتفاق می‌افتد (Douzali Joushin *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر نیز باد با سرعت ۷۲ کیلومتر بر ساعت (۲۰ متر بر ثانیه) شبیه‌سازی شد. از این رو برای انجام عملیات شبیه‌سازی باد در بستر دریاچه در مقیاس آزمایشگاه پس از توزین اولیه، سینی‌های فرسایشی به مدت ۳۰ دقیقه داخل محفظه تونل بادی قرار گرفتند و در طول فرآیند شبیه‌سازی، شدّت تلفات در هر پنج دقیقه و هم‌چنین در انتهای ۳۰ دقیقه از طریق توزین سینی‌ها ثبت شد. میزان هدررفت و فرسایش مربوط به هر تیمار غلظتی از طریق اختلاف وزن سینی‌ها بدست آمد و برحسب کیلوگرم بر مترمربع و بر دقیقه محاسبه شد.

تحلیل‌های آماری و جمع‌بندی نتایج

در نهایت پس از اجرای تمام آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، داده‌ها در محیط نرم‌افزار Excel 2013 به‌منظور تجزیه و تحلیل وارد شد. سپس نرمال و یا عدم نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد (Razali & Wah, 2011). و در موارد لازم تبدیل داده‌های غیرنرمال به حالت نرمال انجام شد (Lix *et al.*, 1996). همچنین آزمون همگنی واریانس‌ها نیز با استفاده از آزمون Levene بررسی شد (Vorapongsathorn *et al.*, 2004). پس از انجام تحلیل واریانس یک طرفه، در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی (Tabachnick & Fidell, 2013; McDonald, 2015) در محیط نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 23 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده های حاصل از پژوهش فوق نشان دهنده وجود تغییرات معنی‌دار ($p<0/05$) بین تیمارهای مطالعاتی در مقدار هدررفت خاک از روی سینی‌های آزمایش بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس میزان هدررفت خاک از سطوح سینی‌های فرسایشی در زمان‌های مختلف

Table 3. Variance analysis of the amount of soil loss from the surfaces of erosion trays at different times

Variable		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
0-5	Between Groups	1.467	3	.489	7.778	.004
	Within Groups	.755	12	.063		
	Total	2.222	15			
5-10	Between Groups	52.614	3	17.538	77.710	.000
	Within Groups	2.708	12	.226		
	Total	55.322	15			
10-15	Between Groups	13.615	3	4.538	30.370	.000
	Within Groups	1.793	12	.149		
	Total	15.408	15			

15-20	Between Groups	27.889	3	9.296	24.334	.000
	Within Groups	4.584	12	.382		
	Total	32.473	15			
20-25	Between Groups	12.139	3	4.046	4.803	.020
	Within Groups	10.109	12	.842		
	Total	22.248	15			
25-30	Between Groups	23.129	3	7.710	91.083	.000
	Within Groups	1.016	12	.085		
	Total	24.144	15			

زمان صفر تا پنج دقیقه (0-5)

میزان انتقال ماسه در بازه زمانی صفر تا پنج دقیقه در تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت صفر (شاهد)، یک، سه و شش گرم بر مترمربع به‌ترتیب ۰/۷۲۸، ۰/۰۴۴، ۰/۰۴ و ۰/۰۰۰۶۶، کیلوگرم بر مترمربع در دقیقه اندازه‌گیری شد (شکل ۱). به‌عبارتی مقدار هدررفت خاک در بازه زمانی مذکور در تیمار شاهد (بدون تلقیح) در مقایسه با تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع به‌ترتیب بیش از ۱۵، ۱۷ و ۱۰۸ برابر و به‌صورت معنی‌دار ($p<0/01$) بیش‌تر بود (شکل ۱).

درحالیکه، بین تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($p>0/05$).

زمان پنج تا ۱۰ دقیقه (5-10)

میزان انتقال ماسه در بازه زمانی پنج تا ۱۰ دقیقه در تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت صفر (شاهد)، یک، سه و شش گرم بر مترمربع به‌ترتیب برابر با ۴/۲۷، ۰/۲۳، ۰/۰۱ و ۰/۰۲ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه بود (شکل۱). تحلیل آماری نتایج نشان داد که میزان برداشت ذرات توسط نیروی باد در تیمار شاهد نسبت به تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع به‌ترتیب بیش از ۱۷، ۳۱۳ و ۲۱۲ برابر و به‌صورت معنی‌دار ($p<0/01$) بیش‌تر بود (شکل ۱). همانند بازه زمانی صفر تا پنج، در بازه زمانی پنج تا ۱۰ دقیقه نیز بین تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($p>0/05$).

زمان ۱۰ تا ۱۵ دقیقه (10-15)

میزان انتقال ماسه و خاک در بازه زمانی ۱۰ تا ۱۵ دقیقه از سطح سینی‌ها در تیمارهای شاهد، یک گرم بر مترمربع، سه گرم بر متر مربع و شش گرم برمترمربع به‌ترتیب۲/۳۹، ۰/۷۹ و ۰/۳ و ۰/۰۰۶، کیلوگرم بر مترمربع در دقیقه بود (شکل ۱). یافته‌ها حاکی از این بود که مقدار فرسایش بادی در تیمار شاهد در بازه زمانی ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به‌ترتیب دو، هفت و ۳۵۸ برابر بیش‌تر از تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع بود ($p<0/01$) (شکل ۱). در این بازه زمانی نیز همانند بازه‌های زمانی صفر تا پنج و پنج تا ۱۰ دقیقه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع با یکدیگر وجود نداشت ($p>0/05$).

زمان ۱۵ تا ۲۰ دقیقه (15-20)

در بازه زمانی ۱۵-۲۰ دقیقه میزان هدررفت خاک در تیمارهای شاهد، یک گرم بر مترمربع، سه گرم بر متر مربع و شش گرم برمترمربع به‌ترتیب برابر با ۳/۴۸، ۲/۲۸، ۰/۹ و ۰/۰۲ کیلوگرم بر مترمربع در دقیقه بود (شکل ۱). در بازه زمانی مذکور مقدار هدررفت در تیمار شاهد به‌ترتیب ۵۲ درصد، ۲۸۶ درصد و ۱۷۳ برابر بیش‌تر از تیمارهای تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع بود ($p<0/01$) (شکل ۱). در این بازه زمانی نیز بین تیمارهای

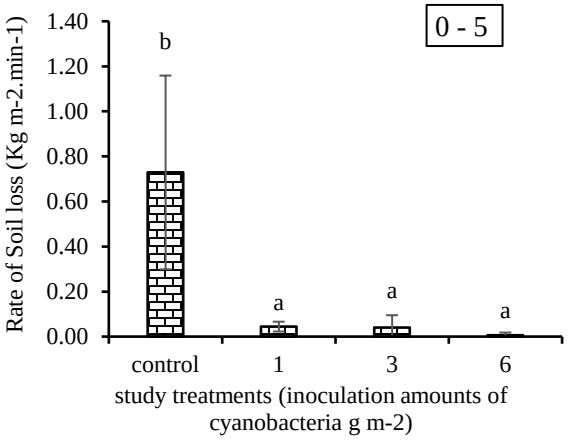
تلقیح سیانوباکتر با غلظت یک، سه و شش گرم بر مترمربع با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (p>۰/۰۵).

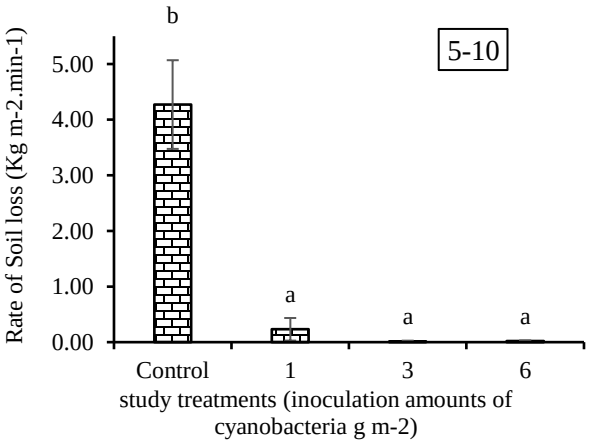
زمان ۲۰ تا ۲۵ دقیقه (20-25)

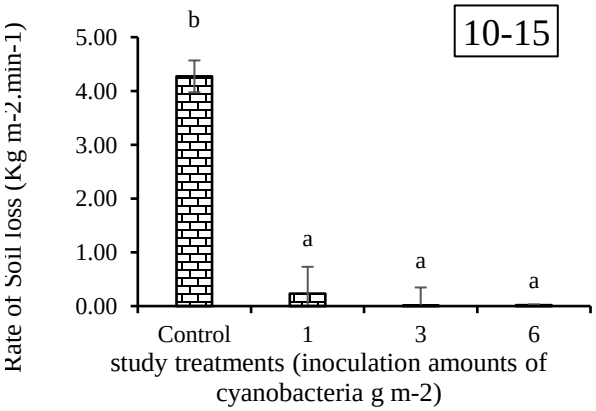
اندازه‌گیری‌ها نشان داد که هدررفت خاک در تیمارهای شاهد، یک، سه و شش گرم برمترمربع در بازه زمانی ۲۰ تا ۲۵ دقیقه به‌ترتیب برابر با ۱/۰۲ ،۵۴/۳۶ ۱/۶۷ و ۰/۰۰ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه بود (شکل ۱). تحلیل یافته‌ها حاکی از این بود که بیش‌ترین میزان هدررفت خاک در تیمار غلظت کم (یک گرم بر مترمربع) و متوسط (سه گرم بر مترمربع) بوده که حدود ۳۸ تا ۵۶ درصد به‌صورت معنی‌دار (p<۰/۰۱) بیش‌تر از شاهد بود.

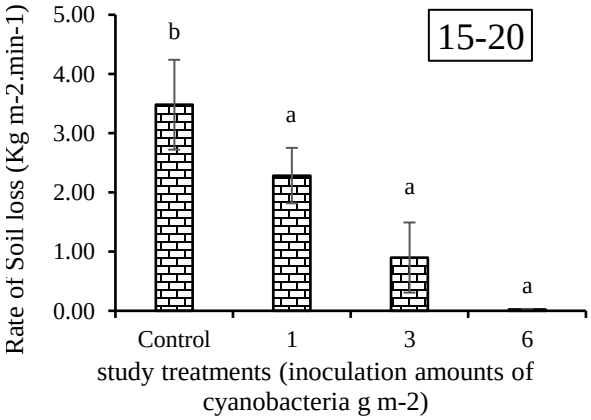
زمان ۲۵ تا ۳۰ دقیقه (25-30)

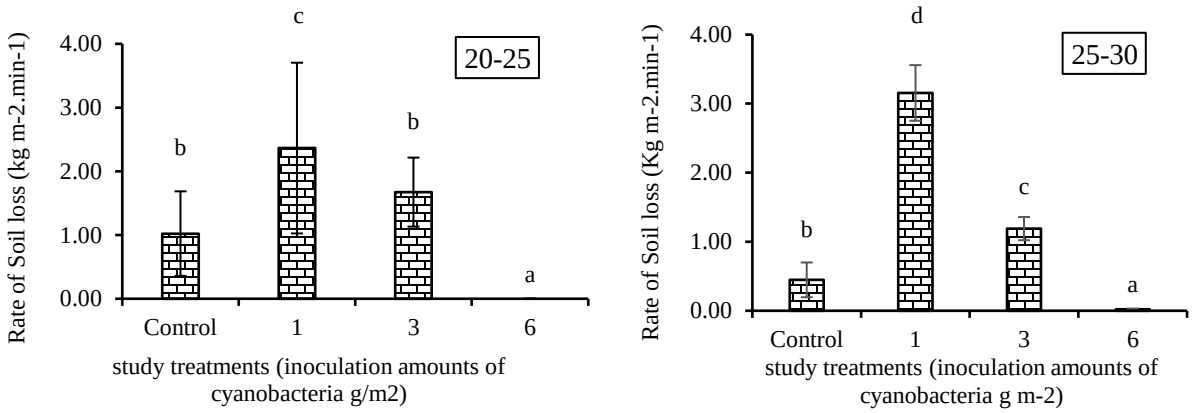
در بازه زمانی ۲۵ تا ۳۰ دقیقه میزان فرسایش در تیمارهای شاهد، یک، سه و شش گرم برمترمربع به‌ترتیب ۰/۴۴، ۳/۱۵ و ۱/۱۹ و ۰/۰۲ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه بود (شکل ۱). یافته ها نشان داد تیمار با تلقیح غلظت کم (یک گرم بر مترمربع) دارای بالاترین میزان فرسایش بود که به ترتیب حدود ۶۰۵ درصد، ۱۶۵ درصد و ۱۵۷ برابر بیش‌تر از تیمارهای شاهد و تلقیح سه و شش گرم برمترمربع بود (p<۰/۰۱). سپس تیمار سه گرم بر مترمربع نیز به‌صورت معنی‌دار دارای مقادیر فرسایش حدود ۱/۶۵ و ۵۸ برابر بیش‌تر نسبت به تیمار شاهد و تلقیح با غلظت شش گرم بر مترمربع بود. همچنین میزان فرسایش تیمار شاهد نیز نسبت به تیمار غلظت شش گرم بر مترمربع به‌صورت معنی‌داری (p<۰/۰۱) بیش از ۲۱ برابر بود.











شکل ۱- مودار مقایسه‌ای میزان هدررفت خاک تیمارهای پژوهشی توسط نیروی باد در بازه‌های زمانی مختلف

Figure 1. The comparative diagram of the amount of sand and soil transfer of the study treatments by wind force in the time period of 0 to 30 minutes

نتیجه‌گیری کلی

هدف از پژوهش حاضر دستیابی به غلظت مناسب سیانوباکتریایی در زیست‌پوسته سازی و تثبیت بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه در مقیاس آزمایشگاه بود. از این رو، نمونه‌برداری از قسمت غرب دریاچه ارومیه انجام شد و سیانوباکترهای بومی *Nostoc* sp. و *Oscillatoria* sp. جداسازی، خالص‌سازی و تکثیر شدند. سپس مایه تلقیح در سه سطح غلظتی آماده‌شده (صفر، یک، سه و شش گرم بر مترمربع) و در چهار تکرار روی خاک سینی‌های فرسایشی اسپری شد و پس از گذشت ۱۲۰ روز از شروع آزمایش، فرآیند شبیه‌سازی باد با سرعت ۷۲ کیلومتر بر ساعت توسط دستگاه تونل باد ثابت انجام شد و میزان هدررفت خاک به‌مدت ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. یافته ها حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) بین تیمارهای مطالعاتی در میزان هدررفت خاک از روی سینی‌ها بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان هدررفت خاک متعلق به تیمار شاهد (۱۲/۳۵ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه) در مدت صفر تا ۲۰ دقیقه از شروع شبیه‌سازی بود که این میزان از فرسایش حاکی از عدم وجود اتصال و پایداری ضعیف ذرات خاک بود. در تیمار تلقیح یک گرم بر مترمربع از زیست‌توده سیانوباکترها، میزان هدررفت خاک در دقیقه‌های صفر تا ۱۵ به مقدار ناچیز (۱/۰۶) بود. درحالیکه از دقیقه ۱۵ تا ۳۰ شدت فرسایش در این تیمار روند افزایشی داشت. با این حال مقدار کل فرسایش در این تیمار (۸/۸۷ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه) نسبت به تیمار شاهد کمتر بود. در تیمار تلقیح سه گرم بر مترمربع در دقیقه صفر تا ۲۰، میزان فرسایش با مقدار کم (۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه) و پس از دقیقه ۲۰ با افزایش (۲/۸۶ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه) همراه بود.

همچنین میزان فرسایش در تیمار تلقیح شش گرم بر مترمربع از زیست‌توده سیانوباکترها نشان داد که این تیمار در طول فرآیند شبیه‌سازی (دقیقه صفر تا ۳۰) مقاومت بالایی در برابر باد فرساینده ۷۲ کیلومتربر ساعت دارد و میزان فرسایش در آن بسیار ناچیز (۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمربع بر دقیقه) بود. یافته‌های این پژوهش نشان از مقاومت بالای تیمار تلقیح سیانوباکترها با غلظت زیست‌توده شش گرم بر مترمربع نسبت به سایر تیمارها بود بطوریکه این تیمار با ایجاد بیش‌ترین میزان غنای پوسته زیستی، منجر به افزایش آستانه فرسایش‌پذیری و تثبیت حداکثری ذرات خاک برداشت‌شده از بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه شد. لذا، این غلظت از زیست‌توده سیانوباکترهای به عنوان مایه تلقیح بهترین گزینه با عملکرد عالی برای استفاده در تثبیت بسترهای حساس به فرسایش ، پیشنهاد می‌شود. در این میان، سایر تیمارهای تلقیح سیانوباکترها ازجمله غلظت زیست‌توده یک و به‌ویژه سه گرم بر مترمربع نیز تاثیر مثبت در کاهش هدررفت خاک نسبت به تیمار شاهد داشتند. لذا می‌توان در راستای کاهش هزینه‌های اجرایی و صرفه‌جویی در زمان از غلظت سه گرم بر مترمربع نیز به‌عنوان مایه تلقیح استفاده نمود.

References

Ahmady-Birgani H., Agahi E., Ahmadi SJ., and Erfanian M. 2018. Sediment source fingerprinting of the Lake Urmia sand dunes. *Scientific Reports*, 8(1): 206.

Anderson J.P.E., and Page A.L. 1982. Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties. *Agronomy Monograph*, (9): 831-45.

Ansari S., and Fatma T. 2016. Cyanobacterial polyhydroxybutyrate (PHB): screening, optimization and characterization. *PLoS One*. 11(6):e0158168.

Belnap J., Walker B.J., Munson S.M., and Gill, R.A. 2014. Controls on sediment production in two US deserts. *Aeolian Research*, 14: 15-24.

Buchanan R.E. and Gibbons N.E. 1974. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology (8nd Ed). Williams and Wilkins. Baltimore, Maryland, 1246 p.

Chen L., Xie Z., Hu C., Li D., Wang G., and Liu, Y. 2006. Man-made desert algal crusts as affected by environmental factors in Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 67(3): 521-527.

Douzali Joushin F., Badv K., Barin M., and Sultani Jige, H. 2018. Inhibition of wind erosion by SBR polymer and Bacillus pasteurii microorganism (Case study: Jabal Kandy region). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(4): 795-806.

Garrity G.M., Boone D.R. and Castenholz R.W. 2001. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (2nd Ed). Microbiology. Lippincott Williams & Wilkins, New York, 1, 173 p.

Kheirfam H. 2020. Increasing soil potential for carbon sequestration using microbes from biological soil crusts. *Journal of Arid Environments*, 172: 104022.

Kheirfam H., and Asadzadeh F. 2020a. Creation and Restoration of Biocrusts in the Degraded Ecosystems by Cyanobacterization Technology. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(1): 132-138.

Kheirfam H., and Asadzadeh F. 2020b. Feasibility of Mowing Sands Stabilization in the Dried-up Beds of Lake Urmia using Inoculation and Stimulation of Soil Native Cyanobacteria. *Applied Soil Research*, 8(1): 31-43. (In Persian)

Kheirfam H., and Asadzadeh F. 2020c. Stabilizing sand from dried-up lakebeds against wind erosion by accelerating biological soil crust development. *European Journal of Soil Biology*, 98: 103189.

Kheirfam H., and Roohi M. 2020. Accelerating the formation of biological soil crusts in the newly dried-up lakebeds using the inoculation-based technique. *Science of the Total Environment*, 706: 136036.

Kheirfam H., Sadeghi S.H., and Darki, B.Z. 2020. Soil conservation in an abandoned agricultural rain-fed land through inoculation of cyanobacteria. *Catena*, 187: 104341.

Kheirfam H., Sadeghi S.H., Darki B.Z., and Homaee, M. 2017a. Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental plots through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena*, 152: 40-46.

Kheirfam H., Sadeghi S.H., Homaee M., and Darki, B.Z. 2017b. Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil and Tillage Research*, 165: 230-238.

Kumar D., Kvíderová J., Kaštánek P., and Lukavský, J. 2017. The green alga *Dictyosphaerium chlorelloides* biomass and polysaccharides production determined using cultivation in crossed gradients of temperature and light. *Engineering in Life Sciences*, 17(9): 1030-1038.

Lecomte J., St-Arnaud M., and Hijri, M. 2011. Isolation and identification of soil bacteria growing at the expense of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 317(1): 43-51.

Lix L.M., Keselman J.C., and Keselman H.J. 1996. Consequences of assumption violations revisited: A quantitative review of alternatives to the one-way analysis of variance F test. *Review of Educational Research*, 66(4): 579-619.

McDonald J. H. 2009. Handbook of biological statistics, Vol. 2, Baltimore, MD: sparky house publishing, pp. 6-59.

Mugnai G., Rossi F., Chamizo S., Adessi A., and De Philippis R. 2020. The role of grain size and inoculum amount on biocrust formation by *Leptolyngbya ohadii*. *Catena*, 184: 104248.

Namdar D., Bazgir M., and Hashemi Babaheidari S. A. 2023. Evaluation and comparison of the performance of two methods, Microbial Induced Calcium Carbonate Precipitation and polyvinyl acetate in reducing wind erosion. *Applied Soil Research*, 11(3):110-120

Razali N.M., and Wah Y.B. 2011. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1): 21-33.

Román J.R., Chamizo S., Roncero-Ramos B., Adessi A., De Philippis R., and Cantón Y. 2021. Overcoming field barriers to restore dryland soils by cyanobacteria inoculation. *Soil and Tillage Research*, 207: 104799.

Tabachnick B.G., Fidell L.S. and Ullman J.B. 2013 (6nd Ed). Using Multivariate Statistics. Boston, MA: Pearson, 497-516p.

Vorapongsathorn T., Taejaroenkul S., and Viwatwongkasem C. 2004. A comparison of type I error and power of Bartlett's test, Levene's test and Cochran's test under violation of assumptions. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(4): 537-547.

Inoculation of Cyanobacteria in order to Improve Biocrustation and Stabilizing Dried-up Beds of Urmia Lake

Hanieh Faramarzi [1], MirHassan Rasouli-Sadaghiani [2]*, Hossein Kheirfam [3], Mohsen Barin[4]

(Received: April, 2023 Accepted: June, 2023)

Abstract

Nowadays, the inoculation of cyanobacteria has been noticed as a new and environmentally friendly strategy in stabilizing erosion-prone beds. The current study was carried out with the aim of evaluating cyanobacteria inoculation in the biocrustation and stabilization of the dried-up beds of Lake Urmia in laboratory conditions. For this purpose, samples were prepared from the dried-up bed of Urmia Lake in Jabalkandi region of Urmia and were prepared after being transferred into erosion trays. The efficient cyanobacteria in soil stabilization were isolated and identified. Then, cyanobacteria were inoculated to the surface of the trays at four concentrations of 0, 1, 3, and 6 g m^{-2}. After 120 days, the wind simulation was done at a speed of 72 km/h in six 5-minute intervals for 30 minutes on the trays. The results showed that the amount of soil loss in control treatments, 1, 3 and 6 g m^{-2} cyanobacteria inoculation was 12.35, 8.87, 4.11 and 0.73 kg m^{-2} min^{-1}, respectively. Inoculation of cyanobacteria in treatments with concentrations of 1, 3 and 6 g m^{-2}, respectively led to a declining of 28.15, 66.65, and 99.40 % of soil loss compared to the control treatment. The erodibility threshold of the control treatments and inoculation of 1 and 3 g m^{-2} of cyanobacteria biomass was at the beginning (minutes 0-5), minutes 10-15 and minutes 15-20, respectively. No noticeable erosion was observed in the inoculation of 6 g m^{-2} by the end of the experiment (minutes 30). The results showed that the inoculation of cyanobacteria with a biomass concentration of 6 g m^{-2} had the best performance in biocrustation and reducing soil loss.

Key words: Soil biocrust, Stabilization of dust hot-spots, Soil inoculation; Soil stability, Wind erosion

Faramarzi H, Rasouli-Sadaghiani MH. , Kheirfam H., Barin M. 2024. Inoculation of cyanobacteria in order to improve biocrustation and stabilizing dried-up beds of Urmia Lake. *Applied Soil Reseach*. 12(1): 15-25.

1.Phd Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2.Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3.Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.
4.Association Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
Corresponding Author Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir