مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

سال دهم، شماره سی‌ویکم، تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۱۱۱ـ۱۲۲

مقاله پژوهشی

بررسی امکان تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از پساب صنعتی و میکروارگانیسم‌های خاکزی

حمیدرضا عظیم‌زاده[۱*]، احمدرضا دهقانی تفتی[۲]، مریم ایرجی[۳]، شیما شهبازی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷**

چکیده

به‌منظور بررسی امکان تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از پساب صنعتی و میکروارگانیسم‌های خاکزی، دو آزمایش در سال ۱۳۹۸ در دانشگاه یزد طراحی و اجرا شد. آزمایش اول با هدف غربال‌گری باکتری خاکزی مناطق کویری ایران با بیشترین توانایی هیدرولیز اوره انجام شد. نتایج نشان داد باکتری *Sporosarcina pasteurii* با میانگین ۳۲۳۲/۳ میکروزیمنس بر دقیقه بیشترین توانایی هیدرولیز اوره را داشت. آزمایش دوم به‌منظور بررسی تثبیت بیولوژیک ماسه‌های روان در شرایط آزمایشگاه به‌صورت فاکتوریل دوعاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد نوع و میزان مصرف مالچ و اثر متقابل این دو، تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر صفات مقاومت فشاری، قطر سله و درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ داشت. بیشترین مقاومت فشاری و درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ به‌ترتیب به میزان ۴/۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و ۹۷/۵٪ با کاربرد باکتری *Sporosarcina pasteurii* به میزان یک‌سوم درصد اشباع خاک حاصل شد. بیشترین قطر سله به‌میزان ۵/۵ سانتی‌متر در کاربرد پساب شورابه کارخانه پتاس به‌میزان یک‌سوم اشباع خاک به دست آمد. نتایج آزمایش نشان داد باکتری‌های *Sporosarcina pasteurii* و *Pseudomonas fluorescens* و پساب شورابهٔ کارخانه پتاس، پتانسیل کاربرد به‌عنوان مالچ را دارند.

کلیدواژه‌ها: ماسهٔ روان، پساب، میکروارگانیسم، مالچ، رسوب میکروبی کربنات کلسیم، غربال‌گری.

---

۱. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۲. پژوهشگر پسادکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد؛ ahmadreza4814@yahoo.com

۳. کارشناسی ارشد خاکشناسی، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۴. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

* این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی دانشگاه یزد است.

DOI: 10.22052/deej.2021.10.31.59

مقدمه

گسترش روزافزون جمعیت، تغییر سبک زندگی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع، با ایجاد مخاطرات جدی زیست‌محیطی، زندگی و آیندهٔ بشریت را تهدید می‌کند. این مخاطرات توجه به مفاهیمی همچون پایداری را ضروری ساخته است. پایداری بر سه اصل قابل قبول بودن از نظر اجتماعی، دوام‌پذیری اقتصادی و مناسب بودن از نظر اکولوژیکی استوار است (سینگ[1] و همکاران، ۲۰۱۷).

کشور ایران با مساحتی بیش از ۱۶۴ میلیون هکتار در نوار خشک کرهٔ زمین قرار دارد (شهسواری، ۲۰۱۰). در سال‌های اخیر، میزان فرسایش بادی در برخی مناطق ایران افزایش چشمگیری داشته و وسعت عرصه‌های تحت‌تأثیر فرسایش بالغ بر ۳۰ میلیون هکتار است (رشینهو[2]، ۲۰۰۹)، به‌طوری که اکنون ۱۴ استان کشور درگیر پدیدهٔ فرسایش بادی هستند (بوعلی و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این، حرکت ماسه‌های روان از کشورهای همسایه نیز بر مشکلات افزوده است (کردوانی، ۲۰۰۱).

کنترل فرسایش بادی در ایران از بیش از نیم قرن پیش آغاز و با اجرای ۶/۴۶ میلیون هکتار عملیات نهال‌کاری، مالچ‌پاشی، بذرپاشی، احداث بادشکن زنده و غیر زنده، قرق و مدیریت پساب در استان‌های بیابانی کشور ادامه یافته است (موحدان و همکاران، ۲۰۱۲).

روش‌های تثبیت ماسه‌های روان به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: ۱. روش‌های زراعی: در این روش پوشش گیاهی یا باقی‌ماندهٔ محصولات برداشت‌شده به‌عنوان بادشکن و محافظ سطح خاک استفاده می‌شود (سرینیواسولو[3] و همکاران، ۲۰۲۰). ۲. روش‌های مکانیکی: در این روش‌ها با ایجاد موانع مکانیکی مانند فنس‌های فلزی در مقابل جریان باد، سرعت باد را کاهش می‌دهند و به این طریق فرسایش را کنترل می‌کنند (ملو[4] و همکاران، ۲۰۲۰). ۳. بهره‌گیری از مالچ: ایجاد لایهٔ مقاوم به فرسایش در سطح خاک با استفاده از تثبیت‌کننده‌های مختلف نظیر مالچ نفتی، مواد پلیمری و مالچ‌های زیستی (کای[5] و همکاران، ۲۰۲۰). بهره‌گیری از هرکدام از این روش‌ها با توجه به شرایط منطقهٔ هدف مزایا و معایب مختلفی دارد، اما بسیاری از این روش‌ها به دلایل مختلف اجرایی، اقتصادی و زیست‌محیطی با چالش مواجه هستند (توسین[6] و همکاران، ۲۰۲۰؛ هو[7] و همکاران، ۲۰۲۰)

به‌تازگی استفاده از میکروارگانیسم‌های خاکزی برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از روش‌های بیولوژیکی مورد توجه قرار گرفته است (دجونگ[8] و همکاران، ۲۰۱۰) و فناوری بیولوژیکی سبز و سازگار با محیط زیست با نام رسوب میکروبی کربنات کلسیم (MICP)[9] به‌عنوان یک روش بهسازی خاک مد نظر قرار گرفته است (تانگ[10] و همکاران،۲۰۲۰). این فرایند بر پایهٔ تولید میکروبی رسوب کربنات کلسیم است. در این روش، اوره توسط آنزیم اوره آز ترشح‌شده از باکتری، هیدرولیز شده و کربنات کلسیم در حضور یون کلسیم تشکیل می‌شود (ویلفین[11] و همکاران، ۲۰۰۷).

باکتری‌هایی با حداکثر فعالیت آنزیم اوره آز، به‌عنوان کاتالیزور باعث هیدرولیز اوره به آمونیاک و دی اکسید کربن می‌شوند. در نتیجهٔ این واکنش آنزیمی، pH محیط افزایش می‌یابد و یون‌های کربنات و بی‌کربنات تشکیل‌شده با یون‌های کلسیم موجود در محیط به شکل کریستال‌های کربنات کلسیم رسوب می‌کنند. هنگامی که این کریستال‌ها تشکیل می‌شوند، به‌صورت پوشش با پل در بین دانه‌های شن قرار می‌گیرند و باعث اتصال ذرات به یکدیگر می‌شوند که در نتیجهٔ آن، تخلخل و هدایت هیدرولیکی خاک کاهش می‌یابد (ال کابانی[12] و همکاران، ۲۰۱۲؛ تانگ و همکاران، ۲۰۲۰). در حال حاضر، این روش به‌منظور کاهش تخلخل و نفوذپذیری مواد، کاهش فرسایش کانال‌های زهکشی و

1. Singh
2. Rashinho
3. Srinivasulu
4. Melo
5. Qi
6. Tosin
7. Hu
8. DeJong
9. Microbial Induced Carbonate Precipitation
10. Tang
11. Whiffin
12. Al Qabany

جلوگیری از ریزش سدهای خاکی و خاکریزها مورد استفاده قرار می‌گیرد (وان پاسن[1]، ۲۰۱۱).

در یک تحقیق در منطقهٔ جبل کندی دریاچهٔ ارومیه هیدرولیز اوره توسط باکتری *Sporosarsina pasteurii* موجب بهبود مقاومت برشی خاک به میزن ۰/۶۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع شد (دوزالی[2] و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین تزریق مجدد محلول باکتری و سیمانتاسیون (کلرید کلسیم و اوره) موجب افزایش ۶۰ درصدی مقاومت نمونه‌ها شد (دوزالی و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیقی دیگر، کاربرد مالچ بیولوژیک موجب افزایش مقاومت برشی ماسه کوارتزی شد (چشومی و منصوری، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر، کارایی مالچ‌های غیرنفتی شامل مالچ رزینی، پلیمری، بیوپلیمری، معدنی و بیولوژیک برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای بیابان‌های ریگ بلند کاشان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مالچ بیولوژیک به‌علت تشکیل سله محکم، بالاترین ضریب اثر تثبیت‌کنندگی را نشان داد (زارع و همکاران، ۲۰۱۹). ولپوری[3] و همکاران (۲۰۱۶) در تگزاس آمریکا دریافتند تعداد دفعات تزریق باکتری به خاک، غلظت محلول باکتریایی و محلول‌های حاوی اوره و ترکیبات کلسیمی و اندازهٔ ذرات خاک نقش مهمی در تولید سیمان زیستی دارند.

با توجه به گسترش روزافزون پدیدهٔ خشکسالی و بالتبع آن افزایش شدت بیابانی شدن عرصه‌های منابع طبیعی، بهره‌گیری از روش‌های تثبیت پایدار شن‌های روان، جلوگیری از فرسایش و پدیدهٔ ریزگردها امری ضروری است. توسعهٔ روش‌هایی با بهره‌گیری از منابع در دسترس، می‌تواند از کاربرد مالچ‌های شیمیایی جلوگیری کرده و پدیدهٔ ریزگردها را با روش‌های سازگار با محیط زیست کنترل کند. لذا این تحقیق با هدف شناسایی باکتری‌های خاکزی مؤثر بر پدیدهٔ رسوب میکروبی کربنات کلسیم و ارزیابی مقادیر مختلف پساب کارخانهٔ پتاس به‌عنوان یک محلول ارزان، بر تثبیت ماسه‌های روان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

جداسازی باکتری از نمونه‌های خاک

به‌منظور غربال‌گری[4] و تعیین گونهٔ باکتری با بیشترین توانایی هیدرولیز اوره، یک آزمایش در آزمایشگاه تونل باد دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۸ طراحی و اجرا شد. نمونه‌های خاک جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف کویری شامل کویر اشتهارد و کویر مرکزی ایران به آزمایشگاه منتقل شد (دیاس[5] و همکاران، ۲۰۱۰). سپس با استفاده از سرم فیزیولوژیک، رقت‌های مختلف (10^{-2} تا 10^{-10}) تهیه و بر روی محیط کشت نوترینت براث[6] کشت گردید. پس از رشد کلنی باکتری‌ها، برای خالص‌سازی، کلنی باکتری‌ها بر روی محیط جامد نوترینت آگار[7] کشت داده شدند (گرونگ[8] و همکاران، ۲۰۰۹). پس از اطمینان کامل از خلوص جدایه‌های فوق، باکتری‌ها تا زمان استفاده بعدی بر روی محیط کشت جامد، در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند.

ارزیابی توانایی هیدرولیز اوره

توانایی باکتری‌ها در هیدرولیز اوره، در محیط کشت جامد بر پایهٔ اوره و آگار[9] به همراه فنل قرمز مورد بررسی قرار گرفت. در این روش با توجه به تجزیهٔ اوره و تبدیل شدن به فرم آمونیاک، pH محیط افزایش یافته و رنگ محیط در طی ۲۴ ساعت از زرد به صورتی تغییر می‌یابد (سیورلی[10] و همکاران، ۱۹۹۶؛ کیان[11] و همکاران، ۲۰۱۰). برای بررسی فعالیت آنزیم اوره آز از روش اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد استفاده شد. فعالیت اوره آز از طریق افزایش هدایت الکتریکی انجام شد (رودریگز ناوارو[12] و همکاران، ۲۰۰۳). باکتری‌های مورد آزمون شامل ۴ جدایه باکتری از کویر اشتهارد، ۶ جدایه باکتری جداسازی‌شده از خاک مناطق بیابانی کویر مرکزی ایران و باکتری

1. Van Paassen
2. Douzali
3. Velpuri
4. Screening
5. Dias
6. Nutrient Broth
7. Nutrient Agar
8. Gurung
9. Urea Agar Base
10. Ciurli
11. Qian
12. Rodriguez-Navarro

(*Sporosarcina pasteurii*) بود.

شناسایی باکتری

برای تکثیر ژن 16s rDNA از پرایمرهای 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') و (5'-1492R GGTTACCTTGTTACGACTT) استفاده شد. برنامهٔ PCR با استفاده از آنزیم تگ پلیمراز انجام گرفت. سپس دناتوراسیون اولیه به‌منظور جدا شدن دو رشته DNA انجام گرفت و در ادامه، اتصال پرایمرها به توالی DNA انجام شد. در نهایت، فرایند طویل‌سازی و نگهداری در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد صورت گرفت (کایسر[1] و همکاران، توالی DNA حاصل بر اساس آنالیز مولکولی به کمک نرم‌افزار Blast در پایگاه NCBI مورد بررسی قرار گرفت و تشابه آن‌ها با اطلاعات موجود در GenBank مقایسه و ثبت شد.

آزمون تثبیت ماسه‌های روان

به‌منظور بررسی امکان تثبیت بیولوژیک ماسه‌های روان با استفاده از پساب کارخانهٔ پتاس و میکروارگانیسم‌ها در شرایط آزمایشگاه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل دوعاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تونل باد دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۸ انجام شد.

عامل اول شامل میزان مصرف مالچ در ۴ سطح ۰/۵، ۱، ۲ و یک‌سوم درصد اشباع[2] خاک بود. عامل دوم نوع مالچ در ۸ سطح عدم کاربرد باکتری (کاربرد محیط کشت بدون باکتری)، کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* (جداسازی‌شده از خاک کویر اشتهارد)، کاربرد باکتری *Sporosarcina pasteurii* (تهیه‌شده از کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی به شماره *PTCC 1645DSM33*)، کاربرد باکتری‌های *Phormidium tenue* و *Oscillatoria tenuis* (تهیه‌شده از کلکسیون میکروارگانیسم‌های دانشگاه تهران)، کاربرد باکتری جداشده از ماسهٔ کویر مرکزی ایران (b4)، آب مقطر و پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس (محلول SSR400) بود.

به‌منظور آماده‌سازی محلول مالچ بیولوژیک ابتدا محیط کشت نوترینت براث آماده شد. به محلول‌های آماده‌شده ۱٪ اوره + ۱٪ نیترات کلسیم اضافه گردید. پس از گذشت ۲۴ ساعت و اطمینان از آلوده نبودن محیط‌های کشت آماده‌شده، باکتری‌ها تلقیح و به انکوباتور منتقل شدند. سپس جذب نوری محلول باکتری‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفوتومتر اندازه‌گیری شد و غلظت محلول‌ها با توجه به جذب نوری آن‌ها یکسان شد (مرچان[3] و همکاران، ۲۰۰۳). ظروف پلاستیکی با ابعاد ۲۰×۱۴×۵ سانتی‌متر از ماسه پر شد.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی تپه‌های ماسه‌ای و پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس (محلول SSR400) به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

محلول‌های آزمایشی بر اساس مقادیر محاسبه‌شده با آبپاش روی سطح ماسه‌ها پاشیده شد. واحدهای آزمایشی مدت‌زمان یک ماه در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از اسپری محلول‌ها بر روی واحدهای آزمایشی و گذشت مدت‌زمان لازم برای ایجاد لایهٔ سیمانی سله صفات مقاومت فشاری، قطر سله و قطر ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. تجزیهٔ داده‌ها و محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SASV9 و EXCEL صورت گرفت. مقایسهٔ میانگین توسط آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

جدول (۱): برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماسه‌های مورد آزمایش

Table (1): Some physicochemical properties of the experimental sands

pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت
۷/۷۲ قلیایی ضعیف	۰/۸۳ غیرشور	۹۷	۲	۱	شنی

1. Kieser
2. Saturation Percentage
3. Merchan

جدول (۲): برخی از ویژگی‌های شیمیایی پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس

Table (2): Some chemical properties of potash wastewater

pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	نسبت جذب سدیم $(meq/L)^{0.5}$	کلر (meq/L)	نیترات (meq/L)	کلسیم (meq/L)	منیزیم (meq/L)	سدیم (meq/L)
۲/۳۳	۱۳۸	۰/۲۰	۲۱۸	۶۰	۵۵۷	۲۷۱	۴/۳

نتایج

بررسی نتایج آزمون ارزیابی توانایی هیدرولیز اوره نشان داد باکتری‌ها در هیدرولیز اوره تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ داشتند. مقایسهٔ میانگین نتایج نشان داد باکتری *Sporosarcina pasteurii* با میانگین ۳۲۳۲/۳ میکروزیمنس بر دقیقه تغییر هدایت الکتریکی بیشترین توانایی هیدرولیز اوره را نشان داد (جدول ۳). در رتبهٔ بعدی، توانایی هیدرولیز اوره، باکتری جداشده از خاک کویر اشتهارد (b2) با ۲۴۲۱/۳ میکروزیمنس بر دقیقه تغییر هدایت الکتریکی قرار گرفت (شکل ۱). این باکتری برای شناسایی ژنتیکی و استفاده در مراحل بعدی آزمایش نگهداری شد. رتبهٔ سوم بیشترین توانایی هیدرولیز اوره به باکتری (b4) به‌میزان ۲۰۷۲/۳ میکروزیمنس بر دقیقه متعلق به خاک مناطق کویر مرکزی ایران بود (شکل ۱). دیگر نمونه‌های باکتری جداسازی‌شده از خاک مناطق کویری توانایی کمی در هیدرولیز اوره از خود نشان دادند، به‌طوری که تغییرات هدایت الکتریکی آن‌ها کمتر از ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر دقیقه بود (شکل ۱). کمترین توانایی به باکتری b8 به میزان ۸۲۱/۶ میکروزیمنس بر دقیقه تعلق داشت که از کویر مرکزی ایران جداسازی شده بود (شکل ۱).

نتایج مقایسهٔ توالی 16S rRNA باکتری b2، جداسازی‌شده از خاک کویر اشتهارد که بیشترین توانایی هیدرولیز اوره بعد از باکتری *Sporosarcina pasteurii* را داشت، با دیگر باکتری‌ها در پایگاه بانک ژن NCBI نشان داد توالی RNA ریبوزومی 16s جدایه b2 ۹۹٪ شباهت با توالی‌های *Pseudomonas fluorescens* دارد.

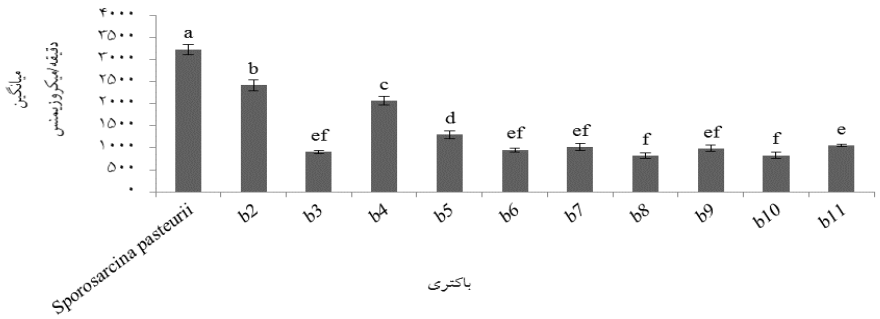
روی هم‌اندازی متعدد توالی‌ها و آنالیز فیلوژنتیکی نشان داد که سوش جداشده به *Pseudomonas fluorescens* نزدیک‌تر بود (شکل ۲).

جدول (۳): میانگین مربعات توانایی هیدرولیز اوره جدایه‌های باکتری

Table (3): Mean squared urea hydrolysis ability of bacterial isolates

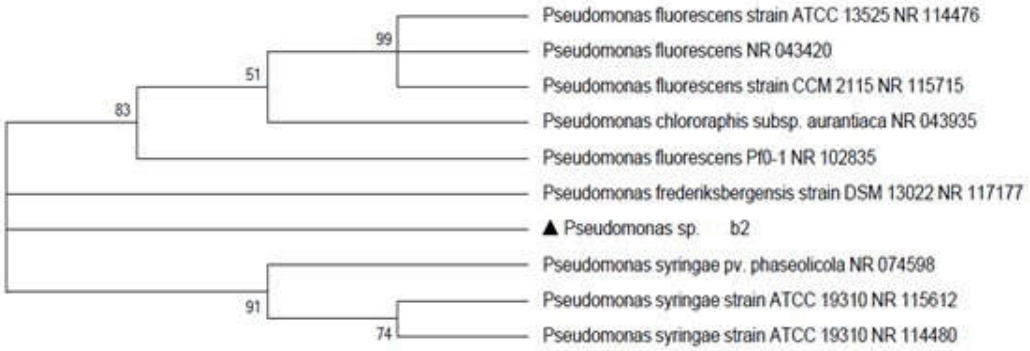
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		توانایی هیدرولیز اوره
باکتری	۱۰	۱۹۲۳۲۲۵**
خطای آزمایشی	۲۲	۱۹۸۴۶/۲۷
کل	۳۲	۶۱۴۶۵۲
ضریب تغییرات (٪)		۹/۹

ns: غیر معنی‌دار؛ * و ** معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد



شکل (۱): مقایسهٔ میانگین نتایج آزمون ارزیابی توانایی هیدرولیز اوره جدایه‌های باکتری

Figure (1): Comparison of mean test results of urea hydrolysis of bacterial isolates



شکل (۲): درخت فیلوژنتیکی ترسیم‌شده از ژن RNA ریبوزومی 16s جدایه b2 و باکتری‌های خانوادهٔ سودوموناس

Figure (2): Phylogenetic tree drawn from 16s rRNA isolate b2 and *Pseudomonas* bacteria

تجزیهٔ واریانس نتایج آزمون تثبیت ماسه‌های روان نشان داد نوع و میزان مصرف مالچ و اثر متقابل این دو، اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر صفات مقاومت فشاری، قطر سله و قطر ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر داشته است (جدول ۴).

مقایسهٔ میانگین نتایج اثر متقابل میزان مصرف و نوع مالچ نشان داد بیشترین مقاومت فشاری در ترکیب تیماری کاربرد باکتری *Sporosarcina pasteurii* به مقدار یک‌سوم درصد اشباع خاک به میزان ۴/۴۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع حاصل شد. در رتبهٔ بعدی، مقاومت فشاری ترکیب تیماری کاربرد پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس به مقدار یک‌سوم درصد اشباع خاک به میزان ۳/۸۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و ترکیب تیماری باکتری *Pseudomonas fluorescens* به مقدار یک‌سوم درصد اشباع خاک به میزان ۳/۸۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود. کمترین مقاومت فشاری در ترکیب تیماری ۰/۵ و ۱ لیتر آب مقطر در مترمربع به میزان ۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع حاصل شد (شکل ۳). در همهٔ سطوح کاربرد مالچ به‌جز ۲ لیتر بر مترمربع، کاربرد باکتری *Sporosarcina pasteurii* بیشترین و کاربرد آب مقطر کمترین مقاومت فشاری را حاصل کرد. در سطح کاربرد ۲ لیتر بر مترمربع مالچ، پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس با ۱/۸۴ کیلوگرم بر سانتی مترمربع بیشترین مقاومت فشاری را ایجاد کرد (شکل ۳). بررسی روند تغییرات مقاومت فشاری نشان داد درمجموع، افزایش مصرف مالچ موجب افزایش مقاومت فشاری شده است. اما اثرگذاری هر مالچ متفاوت بود، به‌طوری که کاهش مصرف باکتری *Sporosarcina pasteurii* از یک‌سوم درصد اشباع خاک به ۰/۵ لیتر بر مترمربع موجب کاهش ۴/۷ برابری مقاومت فشاری خاک شد، اما کاهش مصرف پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس از یک‌سوم درصد اشباع خاک به ۰/۵ لیتر بر مترمربع موجب کاهش ۱۶/۱ برابری مقاومت فشاری خاک شد (شکل ۳).

مقایسهٔ میانگین نتایج اثر متقابل میزان مصرف و نوع مالچ نشان داد بیشترین قطر سله در ترکیب تیماری پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس + یک‌سوم درصد اشباع خاک به میزان ۵/۵۱ سانتی‌متر حاصل شد (شکل ۴). ترکیب تیماری پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس به میزان ۲ لیتر در مترمربع با ۴/۹۹ سانتی‌متر و ترکیب تیماری پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس به‌میزان ۱ لیتر در مترمربع با ۴/۱۱ سانتی‌متر قطر سله به‌ترتیب رتبهٔ دوم و سوم قطر سله را به دست آوردند (شکل ۴).

در میان باکتری‌های مورد آزمایش کاربرد یک‌سوم اشباع خاک باکتری *Sporosarcina pasteurii*، ۳/۵۱ سانتی‌متر قطر سله را ایجاد کرد (شکل ۴). کاربرد آب مقطر در هر سطح کاربرد، هیچ گونه سله‌ای در خاک ایجاد نکرد.

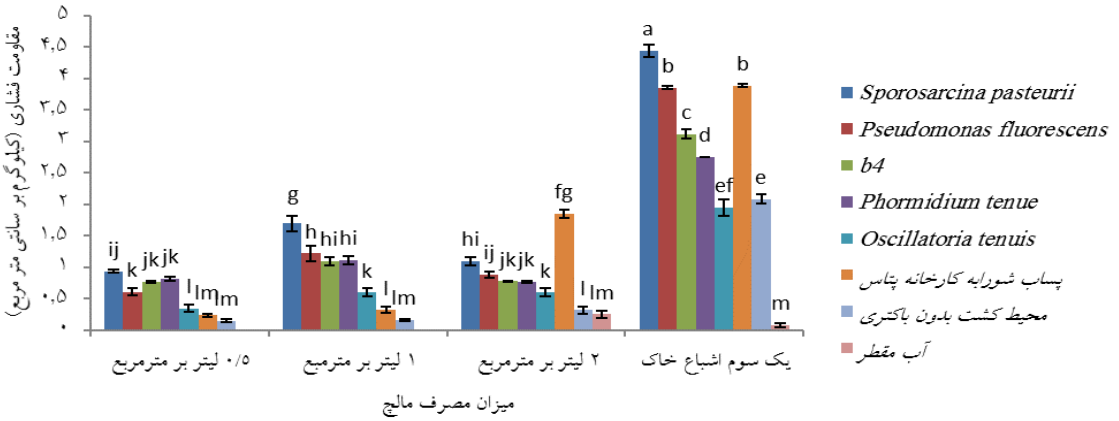
مقایسهٔ میانگین نتایج نشان داد در همهٔ سطوح کاربرد مالچ، پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس، بیشترین قطر سله را در ماسه‌های مورد آزمایش حاصل کرد. از بین باکتری‌های مورد آزمایش در همهٔ سطوح کاربرد مالچ، باکتری‌های *Sporosarcina pasteurii* و *Pseudomonas fluorescens* بیشترین قطر سله را در واحدهای آزمایشی ایجاد کردند. در سطح کاربرد ۰/۵ لیتر بر مترمربع مالچ تفاوت معنی‌داری بین پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس و باکتری *Sporosarcina pasteurii* وجود نداشت (شکل ۴).

جدول (۴): میانگین مربعات اثر نوع و میزان مصرف مالچ بر میانگین مربعات آزمون تثبیت ماسه‌های روان

Table (4): Mean squares of the effect of type and amount of mulch consumption on the mean squares of stabilization of sand dunes

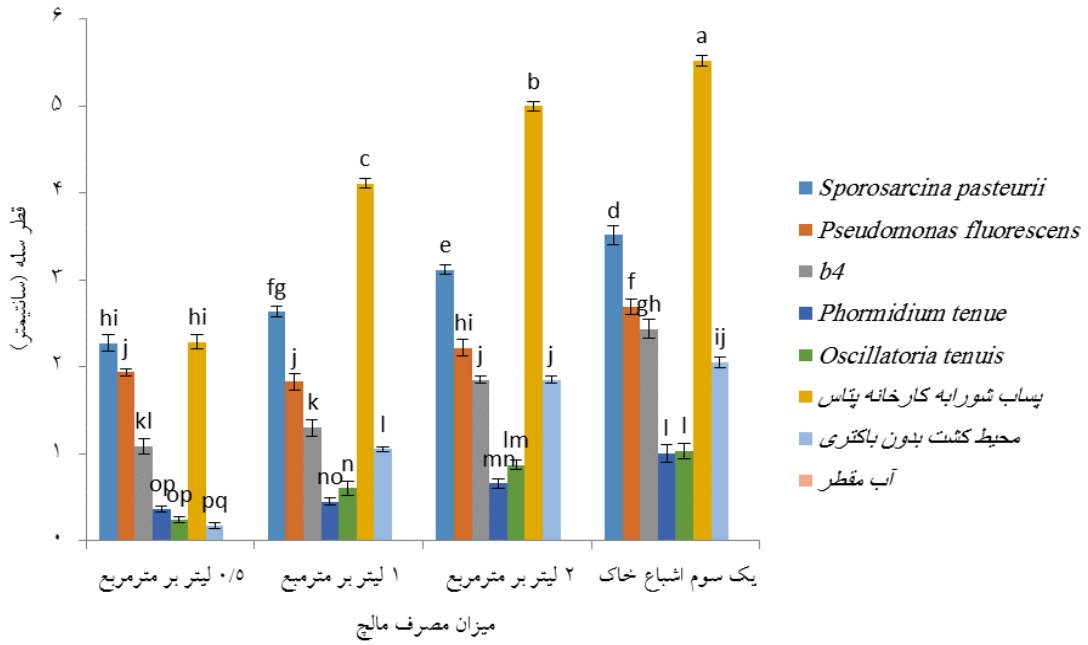
منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات		
		مقاومت فشاری	قطر سله	قطر ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر
میزان مصرف مالچ	۳	۲۶/۳۹**	۶/۹۳**	۴۸۴/۴۵**
نوع مالچ	۷	۴/۷۲**	۲۲/۷۲**	۱۴۵۵۹۰/۰۸**
میزان مصرف مالچ × نوع مالچ	۲۱	۱/۱۱**	۰/۶۱**	۱۸۳۹/۸۴**
خطا	۶۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۹۴/۴۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۴	۸/۴	۳/۶

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل (۳): اثر متقابل نوع و میزان مصرف مالچ بر مقاومت فشاری

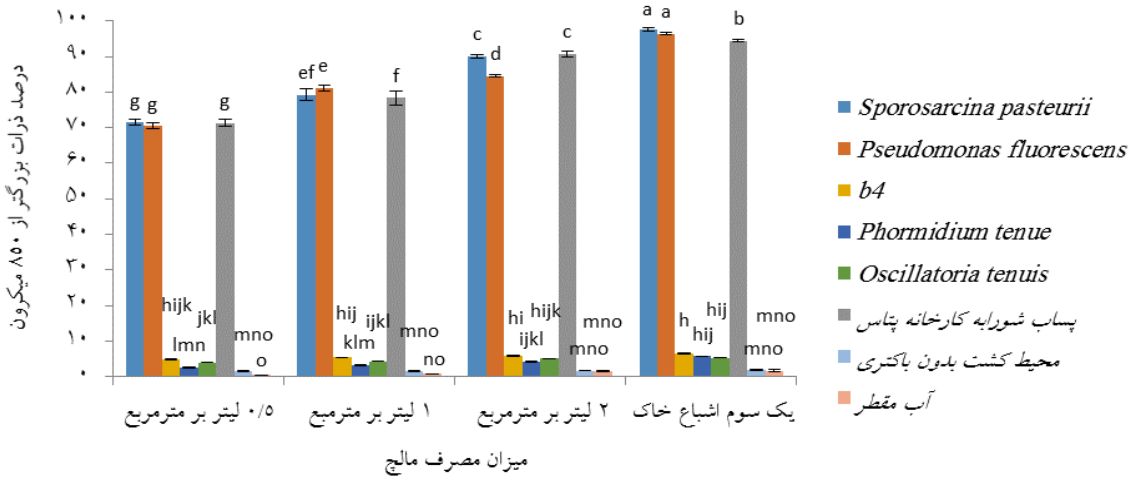
Figure (3): Interaction of type and amount of mulch consumption on compressive strength



شکل (۴): اثر متقابل نوع و میزان مصرف مالچ بر قطر سله

Figure (4): Interaction of type and amount of mulch consumption on the diameter of the crusted soil

مقایسهٔ میانگین اثر متقابل نتایج میزان و نوع مالچ مصرفی نشان داد کاربرد باکتری *Sporosarcina pasteurii* به میزان یک‌سوم درصد اشباع خاک با ۹۷/۵٪ بیشترین ذرات بزرگ‌تر از ۸۵۰ میکرون را به دست آورد. این میزان تفاوت آماری معنی‌داری با کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* به میزان یک‌سوم درصد اشباع خاک (۹۶/۴٪) نداشت (شکل ۵). در رتبهٔ بعدی، کاربرد پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس به میزان یک‌سوم درصد اشباع خاک با ۹۴/۴٪ ذرات بزرگ‌تر از ۸۵۰ میکرون قرار داشت. کمترین درصد ذرات بزرگ‌تر از ۸۵۰ میکرون در ترکیب تیماری کاربرد نیم لیتر آب مقطر به میزان ۰/۴۴ حاصل شد. این میزان تفاوت آماری معنی‌داری با دیگر سطوح کاربرد آب مقطر و همچنین سطوح مختلف محیط کشت باکتری نداشت (شکل ۵). باکتری‌های *Phormidium tenue* و *Oscillatoria tenuis* در هیچ کدام از صفات مورد ارزیابی نتایج قابل قبولی در افزایش صفات مرتبط با کنترل فرسایش خاک در مقایسه با دیگر مالچ‌ها نداشتند (اشکال ۳، ۴ و ۵).



شکل (۵): اثر متقابل نوع و میزان مصرف مالچ بر درصد ذرات بزرگ‌تر از ۸۵۰ میکرون

Figure (5): Interaction of type and amount of mulch consumption on the percentage of particles larger than 850 microns

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی نتایج مقاوت فشاری نشان داد باکتری‌هایی که توانایی بالایی در هیدرولیز اوره و رسوب کربنات کلسیم دارند، می‌توانند نقش مؤثری در افزایش مقاوم‌سازی خاک ایفا کنند. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققان در زمینهٔ اثرگذاری باکتری‌های هیدرولیزکنندهٔ اوره در کنترل فرسایش بادی مطابقت داشت (دوزالی و همکاران، ۲۰۲۰؛ زارع و همکاران، ۲۰۱۹؛ ال کابانی و همکاران، ۲۰۱۲).

همچنین مالچ معدنی پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس به‌دلیل دارا بودن ترکیباتی همچون نیترات کلسیم در فضای بین ذرات نفوذ کرده و با ایجاد پیوند قوی بین ذرات شن نقش مؤثری در چسبندگی ذرات ریز خاک و افزایش مقاومت فشاری ایفا کرده است.

نتایج این تحقیق نشان داد دو باکتری *Sporosarcina pasteurii* و *Pseudomonas fluorescens* و پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس پتانسیل خوبی برای کاربرد به‌عنوان مالچ دارند. تحقیقات حضیرئی و زارع ارنانی (۲۰۱۳) نشان داد حداکثر مقا.مت فشاری مالچ رسی–آهکی، ۱/۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بوده است. بدین لحاظ مالچ بیولوژیک و معدنی استفاده شده در این آزمایش نزدیک به دو برابر، مقاومت فشاری بیشتری نسبت به مالچ رسی آهکی ایجاد کرده است. همچنین در پژوهش دیگری کوپائی‌نیا (۲۰۱۶) نشان داد میانگین مقاومت فشاری تیمارهای مالچ معدنی شامل خاک رس، پودر سنگ و لجن، در دامنهٔ ۱/۶۵ تا ۲/۴۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود که در مقایسه با نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد مقاومت فشاری حاصل از کاربرد مالچ‌های مختلف در این تحقیق در دامنهٔ قابل قبولی قرار دارد.

محلول پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس حاوی ترکیبات

کلسیم و منیزیم کلرید و نیترات کلسیم است. این ترکیبات باعث افزایش چسبندگی بیشتر ذرات خاک در مقایسه با باکتری‌ها شده است. همچنین به‌دلیل وجود این املاح، جذب رطوبت بالا رفته و باعث تثبیت خاک می‌شود. این املاح کشش سطحی خاک را افزایش داده و پیوند بین ذرات خاک را مستحکم‌تر می‌کند. یون کلسیم موجود در شورابه نقش مؤثری در هم‌آوری کلوئیدهای خاک و کاهش فرسایش‌پذیری دارد. این نتایج با یافته‌های ارزاقی و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر اثر مثبت کاربرد مادهٔ پلیمری پلی اکریل آمید بر افزایش نیروی اتصال بین ذرات خاک و تبدیل آن‌ها به یک ساختمان پایدارتر و بهبود خصوصیات فرسایش‌پذیری خاک مطابقت داشت. همچنین فرامهر و همکاران (۲۰۱۶) تحقیقی در زمینهٔ کارایی انواع مالچ‌های سازگار با طبیعت در تثبیت ماسه‌های روان اهواز انجام دادند؛ نتایج آن تحقیق نشان داد ضخامت مالچ‌های مورد استفاده در تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری در شاخص‌های مختلف فرسایش‌پذیری خاک همچون مقاومت فشاری، برشی و دگرچسبی داشت که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. کاهش شدیدتر مقاومت فشاری در کاربرد مقادیر کمتر پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس نسبت به مصرف مقادیر کمتر باکتری *Sporosarcina pasteurii*، بیانگر کارایی بیشتر میکروارگانیسم‌های خاکزی در افزایش مقاومت فشاری با کاربرد مقادیر کمتر است.

بر پایهٔ تحقیق چپیل و وودروف[1] (۱۹۵۴) برای رتبه‌بندی فرسایش خاک با استفاده از خاکدانهٔ خشک، خاکدانه با قطر بزرگ‌تر ۰/۸۴ میلی‌متر غیرقابل تخریب است. لذا این فاکتور نقش مهمی در جلوگیری از فرسایش و تثبیت ماسهٔ روان دارد. در نتیجه باکتری‌های *Sporosarcina pasteurii*، *Pseudomonas fluorescens* و پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس که درصد ذرات بزرگ‌تر از ۸۵۰ میکرون بیشتری در هر سطح کاربرد مالچ تولید کردند، توان بیشتری در تثبیت ماسه‌های روان داشتند. اثرگذاری کمتر باکتری‌های *Phormidium tenue* و *Oscillatoria tenuis* بر خصوصیات مؤثر بر کاهش فرسایش‌پذیری خاک در مقایسه با دیگر باکتری‌های مورد آزمون و پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس را می‌توان به آن نسبت داد که این میکروارگانیسم‌ها بیشتر در اکوسیستم‌های مرطوب یافت می‌شوند و سازگاری چندانی با شرایط خشک بیابانی ندارند (اوهکوبو و اوکادا[2]، ۱۹۹۳).

در مجموع، بررسی نتایج آزمون کیفی هیدرولیز اوره نشان داد باکتری *Sporosarcina pasteurii* توانایی بسیار خوبی در هیدرولیز اوره دارد. توانایی این باکتری در هیدرولیز اوره در بسیاری از تحقیقات ثابت شده است (کارگر و کارگر، ۲۰۱۸) همچنین باکتری *Pseudomonas fluorescens* توانایی تولید آنزیم اوره آز را از خود نشان داد. این دو باکتری (به‌خصوص باکتری *Sporosarcina pasteurii*) توانایی مناسبی از تثبیت بیولوژیک ماسه‌های روان از خود نشان دادند.

پساب شورابهٔ کارخانهٔ پتاس نیز به‌عنوان یک مالچ معدنی توانایی مناسبی در تثبیت ماسه‌های روان از خود نشان داد. اما باید توجه داشت شوری بسیار بالای این محلول می‌تواند مشکلات زیادی در اراضی بیابانی ایجاد کند. لذا ضروری است پیش از توصیهٔ این محلول به‌عنوان مالچ نسبت به کاهش شوری آن اقدام شود.

همچنین افزایش حجم کاربرد مالچ در مترمربع باعث بهبود خصوصیات تثبیت ماسه‌های روان شد، به‌طوری که کاربرد یک‌سوم درصد اشباع خاک در تمامی مالچ‌ها موجب افزایش تثبیت گردید. اما باید توجه داشت به‌دلیل محدودیت‌های کاربرد مالچ‌ها در اراضی بیابانی، از جمله محدودیت آب و حمل‌ونقل این محلول‌ها در مناطق کویری، با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان با کاربرد میزان کمتری از مالچ‌های منتخب، نتایج قابل قبولی در بهبود خصوصیات فرسایش خاک کسب کرد.

1. Chepil and Woodruff

2. Ohkubo and Okada

منابع

1. Al Qabany. A., Soga, K. and Santamarina, C., 2012. Factors affecting efficiency of microbial induced calcite precipitation. Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, 138(8), 992–1001.
2. Arzaghi, F., Farrokhian, M., Firouzi, A., Enayatizamir, N. and Khalilimoghaddam, B., 2017. Effect of Polyacrylamide Polymer on Wind Erosion Control of Sandy Soil in Azadegan Plain. Journal of Water and Soil, 31(4), 1070-1082.
3. Boali, A., Jafari, R. and Bashari, H., 2017. Wind erosion estimation and assessment using Bayesian belief networks in eastern Isfahan Township. Desert Ecosystem Engineering Journal, 6 (14), 45-58.
4. Chepil, W. S. and Woodruff, N. P., 1954. Estimations of wind erodibility of field surfaces. Journal of Soil and Water Conservation, 9(6), 257-265.
5. Cheshomi, A. and Mansouri, S., 2018. Improving the Shear Strength of Quartz Sand using the Microbial Method. Geomicrobiology Journal, 35, 6123-6131.
6. Ciurli, S., Marzadori, C., Benini, S., Deiana, S. and Gessa, C., 1996. Urease from the soil bacterium *Bacillus pasteurii*: immobilization on Ca-polygalacturonate. Soil Biology and Biochemistry, 28(6), 811-817.
7. DeJong, J. T., Mortensen, B. M., Martinez, B. C. and Nelson, D. C., 2010. Bio-mediated soil improvement. Ecological Engineering, 36, 197-210.
8. Dias A. C., Andreote F. D., Rigonato J., Fiore M. F., Melo I. S. and Araujo W. L, 2010. The bacterial diversity in Brazilian non-disturbed mangrove sediment. Antonie Van Leeuwenhoek 2010, 98, 541-51.
9. Douzali Joushin, F., Badv, K. and Barin, M., 2020. Evaluation of Efficiency of Microbial-Induced Carbonate Precipitation on Surface Strength of Jabalkandi Dune Sand. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 9(2), 141-153.
10. Farahmehr, F., Khalili Moghadam, B., Shahbazi, E. and Rahnama, M., 2016. Comparison of the Environmentally Friendly Mulches Efficiency for Sand Dune Stabilization in Ahvaz, Iranian Journal of Soil Research, 29(4), pp. 463-474.
11. Gurung, T. D., Sherpa, C., Agrawal, V. P. and Lekhak, B., 2009. Isolation and characterization of antibacterial actinomycetes from soil samples of Kalapatthar, Mountain of Everest Region. Nepal Journal of Science and Technology. 10, 173-182.
12. Hazirei, H. and Zare Ernani, A., 2013. Investigation of Effect of Clay-Lime Mulch for Sand Dunes Fixation. Journal of Water and Soil, 27(2), 373-380.
13. Hu, Q., Li, X., Gonçalves, J. M., Shi, H., Tian, T. and Chen, N., 2020. Effects of residual plastic-film mulch on field corn growth and productivity. Science of the Total Environment, 138901.
14. Kargar, M. and Kargar, M., 2018. Monitoring of biocement- and biogrout- producing bacteria in desert habitats of Iran. Journal of Microbial World, 11(1), 51-60.
15. Kieser, T., Bibb, M. J., Buttner, M. J., Chater, K. F. and Hopwood, D .A. 2000. Practical Streptomyces Genetics. Crowes, Norwich, England.
16. Koopaeeniya, M., 2016. Strength determination of some soil stabilizer mulches. Journal of Water and Soil Conservation, 23(1), 219-231.
17. Kurdovani, P., 2001. Drought and ways of coping with it in Iran, Tehran University Press, pp. 125-127.
18. Melo, P. L., Cherubin, M. R., Gomes, T. C., Lisboa, I. P., Satiro, L. S., P Cerri, C. E. and Siqueira-Neto, M., 2020. Straw Removal Effects on Sugarcane Root System and Stalk Yield. Agronomy, 10(7), 1048.
19. Merchan, F., Breda, C., Hormaeche, J. P., Sousa, C., Kondorosi, A., Aguilar, O. M. and Crespi, M. , 2003. A Krüppel-like transcription factor gene is involved in salt stress responses in *Medicago* spp. Plant and Soil, 257(1), 1-9.
20. Movahedan, M., Abbasi, N. and Keramati, M., 2012. Wind Erosion Control of Soils Using Polymeric Materials. Eurasian Journal of Soil Science, 2, 81-86.
21. Ohkubo, N., Yagi, O. and Okada, M., 1993. Studies onthe succession of blue-green algae, Microcystis, Anabaena, *Oscillatoria* and *Phormidium* in Lake Kasumigaura. Environmental technology, 14(5), 433-442.
22. Qian, C., Wang, R., Cheng, L. and Wang, J., 2010. Theory of microbial carbonate precipitation and its application in restoration of cement-based materials defects. Chinese Journal of Chemistry. 28, 847-857.
23. Qi, Y., Ossowicki, A., Yang, X., Lwanga, E. H., Dini-Andreote, F., Geissen, V. and Garbeva, P., 2020. Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. Journal of Hazardous Materials, 387, 117-121.
24. Rashinho, A., 2009. Dust phenomenon in Khuzestan province, Quarterly of rainfall, the internal publication of the Meteorological Administration of Khuzestan province.
25. Rodriguez-Navarro, C., Rodriguez-Gallego, M., Ben Chekroun, K. and Gonzalez-Munoz M. T., 2003. Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus* induced carbonate biomineralization. Applied Environmental Microbiology. 69, 2182-2193.
26. Shahsavari, M., 2010. Effects on dust storms on

the health and environment. Journal of science and Medicine University of north Khorasan, 4(2), 45- 56.
27. Singh, S. R., Joshi, D., Tripathi, N., Singh, P. and Srivastava, T. K., 2017. Plant Growth-Promoting Bacteria: An Emerging Tool for Sustainable Crop Production under Salt Stress. In Bioremediation of Salt Affected Soils: An Indian Perspective. Springer International Publishing, pp. 101-131.
28. Srinivasulu, D. V., Prabhakara Reddy, G., Chandrika, V., Sudhakar, P. and Naidu, M. V. S., 2020. Post-harvest nutrient availability as influenced by live mulching and nitrogen management practices in maize–groundnut sequence. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(4), 3038-3042.
29. Tang, C. S., Yin, L. Y., Jiang, N. J., Zhu, C., Zeng, H., Li, H. and Shi, B., 2020. Factors affecting the performance of microbial-induced carbonate precipitation (MICP) treated soil: a review. Environmental Earth Sciences, 79 (5), 1-23.
30. Tosin, M., Barbale, M., Chinaglia, S. and Degli-Innocenti, F., 2020. Disintegration and mineralization of mulch films and leaf litter in soil. Polymer Degradation and Stability, 179, 109309.
31. Van Paassen, L. A., 2011. Bio-mediated ground improvement: from laboratory experiment to pilot applications. In Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering, pp. 4099-4108.
32. Velpuri, N. V. P., Yu, X., Lee, H. I. and Chang, W. S., 2016. Influence Factors for Microbial-Induced Calcite Precipitation in Sands. In Geo-China 2016, pp. 44-52.
33. Whiffin, V. S., van Paassen, L. A. and Harkes, M. P., 2007. Microbial carbonate precipitation as a soil improvement technique. Geomicrobiology Journal 24, 417-423.
34. Zare, S., Jafari, M., Ahmadi, H., Rouhipour, H. and Khalil Arjomandi, R., 2019. Studying the effectiveness of some non-oil mulches on sand dunes fixation, Journal of Range and Watershed Managment, 71(4), pp. 939-948.

Investigating the Possibility of Sand Dunes' Stabilization via Industrial Wastewater and Soil Microorganisms

Hamidreza Azimzadeh[1*], Ahmadreza dehghanitafti[2], Maryam Iraji[3], Shima Shahbazi[4]

Received: 16/112/2020 Accepted: 07/03/2021

Extended abstract

Introduction: located in the dry belt of the earth, Iran has more than 164 million hectares of drylands. As the rate of wind erosion has significantly increased in recent years, applying sand dunes' stabilization methods seems essential. Therefore, this study sought to identify the soil bacteria affecting the microbial-induced carbonate precipitation and evaluate different amounts of potash wastewater (SSR400 solution) as a cheap solution for stabilizing sand dunes.

Materials and methods: To investigate the possibility of sand dunes' stabilization via industrial wastewater and soil microorganisms, two experiments were designed and performed in 2019 at Yazd University. The first experiment was performed to screen the soil bacteria in those Iran's desert areas with the highest ability to hydrolyze urea. The tested bacteria included four bacterial isolates from the Eshtehard desert, six bacterial

1. Associate Prof, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University
2. Postdoctoral Researcher, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University; ahmadreza4814@yahoo.com
3. M.Sc. of Soil Science, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University
4. Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University
DOI: 10.22052/deej.2021.10.31.59

isolates from Iran's central desert, and *Sporosarcina pasteurii* bacteria. The second test was performed to evaluate the stabilization of sand dunes as a two-factor factorial in a completely randomized design with three replications. The first factor included the use of mulch at 0.5, 1, 2 and, 1/3 soil saturation (SP) levels. The second factor was the mulch type that was examined in eight levels: no bacteria, *Pseudomonas fluorescens*, *Sporosarcina pasteurii, Phormidium tenue, Oscillatoria tenuis*, b4, distilled water, and potash wastewater (SSR400 solution). Data analysis and statistical calculations were performed using SASV9 and EXCEL software. Also, the mean comparison was performed by the protected LSD test at a 5% probability level.

Result: The results of the urea hydrolysis ability test showed that the bacteria in urea hydrolysis had a significant difference in the level of one percent probability. Comparison of the mean results suggested that *Sporosarcina pasteurii* with an average of 3223.3 µs/min of electrical conductivity (EC) had the highest ability to hydrolyze urea. In the next rank, the bacteria isolated from the Eshtehard desert's soil (b2) with 2421.3 µs/min of electrical conductivity and the bacteria (b4) with 2072.3 micro Siemens per minute belonged to Iranian central deserts' soil. Moreover, the results of comparing b2 bacterium's 16S rRNA sequence with other bacteria in the NCBI gene bank's database indicated that the ribosomal RNA sequence of the 16S b2 isolate was 99% similar to the sequences of *Pseudomonas fluorescens*. On the other hand, the analysis of the variance of the second experiment's data showed that the type and amount of mulch application and the interaction of the two had a significant effect at the level of 1% probability on compressive strength and tuber diameter, making the particle's percentage greater than 0.84 mm. Following the application of *Sporosarcina pasteurii* at the rate of 1/3 soil saturation, the highest compressive strength and the highest percentage of particles larger than 0.84mm were observed to be 4.4 kg/cm2 and 97.5%, respectively. Moreover, the compressive strength of potash wastewater (SSR400 solution) and *Pseudomonas fluorescens* after applying 1/3 soil saturation was 3.88 and 3.85 kg/cm2, respectively. The highest tuber's diameter at a rate of 5.5 cm was obtained with the application of potash wastewater (SSR400 solution) at a rate of 1/3 of soil saturation. Also, the tube's diameter after applying potash wastewater (SSR400 solution) at the rate of 2 and 1 Lit/m^2 was found to be 4.99 and 4.11 cm, respectively. Also, applying *Pseudomonas fluorescens* and potash wastewater (SSR400 solution) in 1/3 soil saturation led to the creation of 96.4% and 94.4% of particles larger than 0.84 mm, respectively.

Discussion and Conclusion: The study's results showed that those bacteria with a high ability to hydrolyze urea and deposit calcium carbonate could play an influential role in increasing soil firmness. It was also found that the properties of the calcium, magnesium chloride and calcium nitrate in the potash wastewater (SSR400 solution) increased the adhesion of soil' particles and the soil's stabilization. These solutions increased the surface tension of the soil and strengthened the bond between the soil's particles. Moreover, the calcium ion in potash wastewater (SSR400 solution) effectively softened soil's colloids and reduced erosion.

Generally, the qualitative urea hydrolysis test results indicated that while *Sporosarcina pasteurii* had a high ability in the hydrolysis of urea and the sand dunes' biological stabilization-related traits, *Pseudomonas fluorescens* was less able in these regards. Moreover, as a mineral mulch, wastewater (SSR400 solution) showed an excellent ability to stabilize sand dunes. However, it should be noted that the very high salinity of this solution can cause many problems in desert lands. Therefore, it is necessary to reduce the solution's salinity before recommending it as mulch. Also, as the application of 1/3 soil saturation increased stabilization in all mulch types, it could be argued that increasing the volume of mulch application per square meter can improve the stabilization of sand dunes. However, due to the limitations of using mulch in desert lands, including water shortages and the difficulty of transporting such solutions to desert areas, applying less amount of the selected mulch may improve soil erosion.

Keywords: Sand dunes, Wastewater, Microorganism, Mulch, Microbial induced carbonate precipitation, screening.