

## بررسی اثر باکتری اسپوروسارسینا پاستوری و نوع محیط کشت بر رسوب زیستی کربنات کلسیم و کنترل فرسایش بادی خاک شنی در خوزستان

فهیمة نیک سرشت<sup>۱</sup>، احمد لندی<sup>۲\*</sup>، غلامعباس صیاد<sup>۳</sup>، غلامرضا قزلباش<sup>۴</sup>، حسینعلی بهرامی<sup>۵</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۴)

### چکیده

فرسایش بادی و انتقال رسوب حمل شده تهدیدی جدی برای اراضی کشاورزی، محیط زیست، آلودگی هوا و سلامت انسان بوده و یکی از مشکلات اساسی در ایران و بخصوص استان خوزستان است. هدف از این مطالعه بررسی کارایی باکتری اسپوروسارسینا پاستوری (*Sporosarcina pasteurii*) رشدیافته در محیط کشت Tryptic Soy Broth (TSB) و ملاس نیشکر بر کنترل فرسایش بادی بود. بدین منظور، تأثیر نوع محیط کشت باکتری و اثر گذشت زمان در کنترل فرسایش بادی در نمونه خاک شنی از منطقه حمیدیه در دشت آزادگان استان خوزستان بررسی شد. تیمارهای آزمایشی شامل ملاس نیشکر (۱۰ درصد) و TSB به عنوان محیط کشت باکتری و محلول اوره (دو درصد) و کلرید کلسیم به عنوان مایه تلقیح بود. بررسی فرسایش پذیری نمونه‌های منتخب در تونل باد با میانگین سرعت باد ۱۶ متر بر ثانیه انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. پس از گذشت زمان هفت، ۱۵ و ۳۰ روز، غلظت کربنات کلسیم، مقاومت به فروری و فرسایش پذیری نمونه‌ها به کمک تونل باد بررسی شد. نتایج نشان داد از میان تیمارهای مختلف بیشترین غلظت کربنات کلسیم در تیمار ملاس همراه با باکتری مشاهده شد به طوری که درصد کربنات کلسیم نمونه شن را ۵۲ درصد افزایش داد. بیشترین مقاومت به فروری مربوط به تیمار کاربرد ملاس بود که سبب افزایش ۱۰۰۰ برابری مقاومت به فروری شد. با گذشت زمان، مقاومت به فروری و درصد کربنات کلسیم تجمع یافته در خاک، افزایش معنی دار در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD نشان داد. بررسی فرسایش پذیری نمونه‌های منتخب در تونل باد نشان داد که مقدار فرسایش در خاک شنی شاهد از ۵۲ درصد به صفر کاهش یافت و باعث کاهش ۱۰۰ درصدی فرسایش شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان دهنده نقش قابل توجه ملاس در کاهش فرسایش پذیری خاک شنی و افزایش مقاومت فروری بود. بنابراین، استفاده از این ماده برای تثبیت شن‌های روان پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش بادی، ملاس نیشکر، اسپوروسارسینا پاستوری، کلسیت

نیک سرشت ف.، لندی ا.، صیاد غ.، قزلباش غ.، بهرامی ح.ع. ۱۳۹۸. بررسی اثر باکتری اسپوروسارسینا پاستوری و نوع محیط کشت بر رسوب زیستی کربنات کلسیم و کنترل فرسایش بادی خاک شنی در خوزستان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷، شماره ۳، صفحه: ۱۳-۱

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز (مکاتبه کننده)

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

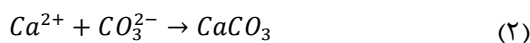
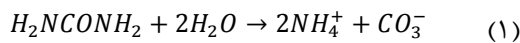
۴- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز

۵- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

\* پست الکترونیک: [landi@scu.ac.ir](mailto:landi@scu.ac.ir)

## مقدمه

کلرید کلسیم به خاک اضافه می‌شوند. در واقع رسوب میکروبی کلسیت ( $MICP^2$ ) روش جدیدی از به‌سازی خاک بوده که از باکتری‌ها برای کنترل فرآیند شیمیایی و رسوب کلسیت در خاک استفاده می‌شود. در این روش پس از تکثیر باکتری مولد اوره آز، باکتری به خاک مورد نظر تلقیح می‌شود. سپس اوره و کلرید کلسیم به‌عنوان مایه‌ی تلقیح به خاک اضافه می‌شوند. باکتری‌ها باعث هیدرولیز اوره شده و یون‌های کلسیم و کربنات به‌صورت کربنات کلسیم رسوب می‌کنند. کریستال‌های کربنات کلسیم پل‌هایی بین ذرات خاک ایجاد می‌کنند و در نتیجه قوام و پایداری خاک را افزایش می‌دهند (Anderson *et al.*, 2014). معادلات این واکنش به‌صورت روابط ۱ و ۲ است:



که در این معادله:  $H_2NCONH_2$  اوره،  $H_2O$  آب،  $NH_4^+$  یون آمونیاک،  $CO_3^{2-}$  یون کربنات و  $Ca^{2+}$  یون کلسیم است. کربنات کلسیم تولیدی توسط باکتری، عاملی شناخته شده در اتصال ذرات معدنی، بازسازی ترک بتن و بهبود قدرت ملات سیمان است. این فرآیند تولید سیمان زیستی، سرعت آبشویی آلاینده‌ها در خاک را کاهش داده و سبب استحکام ساختمان خاک‌های شنی می‌شود. باکتری اسپوروسارسینا پاستوری به‌عنوان عامل کنترل‌کننده فرسایش در خاک‌های مختلف شنی، سیلتی و رسی شناخته شده است (Meyer *et al.*, 2011). سرمست و همکاران (Sarmast *et al.*, 2014) و کانینگهام و همکاران (Cunningham *et al.*, 2011) در مطالعه خود تأثیر باکتری اسپوروسارسینا پاستوری را بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع و مقاومت مکانیکی خاک شنی مطالعه نمودند. ملکی و همکاران (Maleki *et al.*, 2015) *al.* میر و همکاران (Meyer *et al.*, 2011) و اندرسون و همکاران (Anderson *et al.*, 2014) اثر این باکتری در کنترل فرسایش بادی و تثبیت شن‌های روان را مورد مطالعه قرار دادند. کوچارسکی و همکاران

فرسایش بادی یکی از فاکتورهای اساسی در تخریب خاک و محیط زیست، آلودگی هوا و انتقال ذرات معلق و از مشکلات اساسی در اراضی کشاورزی ایران و دیگر نقاط دنیاست. این عامل در مناطق خشک و نیمه‌خشک که یک‌سوم مساحت زمین و یک‌ششم جمعیت دنیا را دربر می‌گیرد، شدیدتر است (Azimzadeh *et al.*, 2008). با توجه به اینکه ایران از نظر اقلیمی در شرایط خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و هم‌چنین با در نظر گرفتن ملاحظه‌های زیست محیطی، کنترل فرسایش بادی در کشور از اهمیت زیادی برخوردار است (Maleki *et al.*, 2015). فراوانی و تشدید ریزگردها و ذرات شن منتقل شده در محیط توسط باد، به‌دلیل تأثیر منفی شدید بر سلامت انسان و توازن اکوسیستم، به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (Anderson *et al.*, 2014). در ایران، فرسایش بادی یکی از مشکلات غالب در غالب در ۲۰ میلیون هکتار از اراضی کشور می‌باشد (Azimzadeh *et al.*, 2008). میزان خسارت فرسایش بادی به ویژگی‌های باد نظیر شدت و مدت وزش باد، مقدار، نوع ذرات حمل‌شده و ویژگی‌های لایه سطحی بستگی دارد (Movahedan *et al.*, 2012). اکثر روش‌های کنترل ریزگردها، سنتی و شامل روش‌های شیمیایی (پاشیدن آب، نمک‌ها، ترکیبات شیمیایی و محصولات نفتی)، مکانیکی (افزایش مقاومت سطحی)، زراعی (افزایش پوشش سطحی) و تلفیقی از این روش‌هاست (Anderson *et al.*, 2014). اجرای روش زراعی اغلب به دلیل خاک نامناسب، عدم امکان رشد گیاه، دوره طولانی رشد و نیاز به منابع آب برای رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک دشوار است. روش‌های شیمیایی و مکانیکی عمدتاً هزینه بالایی داشته و علاوه بر آن پیامدهای منفی زیست محیطی به همراه دارند (Maleki *et al.*, 2015). امروزه روش‌های کنترل بیولوژیکی ریزگردها به‌عنوان روش‌های بی‌خطر و دوست‌دار محیط زیست در مهار ذرات معلق پیشنهاد می‌شوند. در این روش یک باکتری ترشح‌کننده آنزیم اوره آز (مثل اسپوروسارسینا پاستوری<sup>۱</sup>) به همراه اوره و

2. Microbial induced carbonate precipitation

1. *Sporosarcina pasteurii*

### منطقه مورد مطالعه

منطقه حمیدیه واقع در دشت آزادگان به‌عنوان یکی از نقاط حساس به فرسایش بادی در استان خوزستان انتخاب شد (Ajdari *et al.*, 2015). نمونه‌برداری از عمق صفر تا پنج سانتی‌متری انجام شد. خاک نمونه‌برداری شده بعد از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، pH و EC در عصاره دو به یک آب به خاک، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون تعیین شدند (Allison *et al.*, 1965). همچنین جرم ویژه ظاهری و حقیقی خاک به ترتیب به روش‌های سیلندر (Mahmodi & Hakimian, 2007) و پیکنومتر (ASTM D854-14, 2014) تعیین شده و پارامترهای تخلخل و نسبت پوکی محاسبه شدند.

### آماده‌سازی باکتری و محیط کشت

باکتری مورد استفاده در این تحقیق اسپوروسارسینا پاستوری با کد PTCC 1645 بود که از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم‌های صنعتی ایران<sup>۲</sup> تهیه و طبق دستورالعمل فعال‌سازی شد. این باکتری گرم مثبت، دارای اندوسپور و بهترین دمای رشد آن ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. در کلیه استانداردهای شناخته شده در سطح بین‌المللی، این باکتری در دسته باکتری‌های بدون آلودگی قرار گرفته و رسوب کربنات کلسیم ناشی از آن برای محیط زیست خطری ندارد (Meyer *et al.*, 2011). باکتری مورد استفاده در محیط جامد حاوی نوترینت آگار حاوی اوره دو درصد فعال شد. برای بهینه‌سازی محیط رشد ملاس برای رشد باکتری اسپوروسارسینا پاستوری، محیط‌های پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد از این ملاس و آب مقطر، همراه و بدون مخمرها و نمک‌های معدنی مورد آزمایش قرار گرفت و بیش‌ترین زیست‌توده میکروبی<sup>۳</sup> در محیط ملاس ۱۰ درصد مشاهده شد. محلول سیمانی کننده شامل اوره دو درصد و کلسیم کلرید یک مولار بود. این سطوح بر اساس تحقیقات گذشته و به‌عنوان سطوح بهینه انتخاب شد (Maleki *et al.*, 2015). باکتری پس از فعال‌سازی و

(Kucharski *et al.* 2005) با استفاده از میکروارگانیسم-های مولد اوره‌آز، اوره و نمک‌های محلول کلسیم، فرآیند سیمانی شدن زیستی را در مواد نفوذپذیر بررسی کردند. استابنیکو و همکاران (Stabnikov *et al.* 2011) اثر سیمان زیستی حاصل از مخلوط نمک کلسیم، اوره و تعلیق باکتریایی را بر نفوذپذیری شن بررسی کردند.

در مطالعات پیشین به‌منظور رشد باکتری در محیط مایع، از محلول‌های غذایی نظیر محیط‌های کشت پایه آگار یا TSB<sup>۱</sup> استفاده شده است که معمولاً هزینه‌بر بوده و لذا ضروری است که برای تولید عمده و در مقیاس وسیع باکتری‌ها از محیط کشت‌هایی با هزینه کم‌تر استفاده شود. یکی از موادی که می‌توان از آن به‌عنوان یک محیط کشت برای رشد باکتری‌ها استفاده کرد ملاس می‌باشد. ملاس، شربتی تیره‌رنگ و شیرین، یکی از فراوان‌ترین پسماندها در صنایع تولید قند و در حال حاضر یکی از ارزان‌ترین منابع قند بوده که در تولید اتانول توسط ساکارومایسس سروریه استفاده می‌شود (Goksungur & Zorlu, 2001). مقدار ملاس تولیدی کارخانه‌های قند ایران در سال‌های مختلف، نسبت به میزان تولید نیشکر متغیر بوده ولی به‌طور متوسط در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۷ مقدار آن ۳۵۶۴۳۰ تن بوده است. از کل ملاس تولیدی کشور به‌طور متوسط حدود ۲۰۰ هزار تن به مصرف رسیده و ۱۵۰ هزار تن به هدر می‌رود (Ghorbani *et al.*, 2009). با توجه به این مطلب که استان خوزستان دارای بیش‌ترین سطح زیر کشت نیشکر در کشور بوده و نظر به هدررفت حجم بالای ملاس تولیدی در کارخانجات نیشکر این استان، می‌توان از ملاس به‌عنوان محیط کشت باکتری اسپوروسارسینا پاستوری استفاده کرد. بنابراین هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر باکتری اسپوروسارسینا پاستوری تحت تأثیر TSB و ملاس به‌عنوان محیط کشت بر تشکیل کربنات کلسیم در خاک و اثر آن بر تثبیت شن‌های روان و کنترل فرسایش بادی بود.

### مواد و روش‌ها

2. IROST  
3. Microbial biomass

1. Tryptic soy broth

در زمان انجام این پژوهش، قیمت اوهره، کلرید کلسیم، TSB و ملاس نیشکر به ترتیب ۱۹۲۴۰۰۰، ۲۲۴۰۰۰۰، ۵۶۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰ ریال در کیلوگرم بوده است. با احتساب نسبت‌های ذکر شده در این آزمایش، هزینه‌ی تمام شده برای کاربرد این تیمارها در یک هکتار خاک برای اوهره و کلرید کلسیم، TSB و ملاس نیشکر به ترتیب ۳۷۴۰۰۰۰۰، ۱۹۶۶۰۰۰۰ و ۲۶۵۰۰ ریال می‌باشد.

### تهیه نمونه و آزمایش فروروی

به منظور بررسی اثر باکتری در افزایش مقاومت لایه سطحی خاک، قالب‌های خاک با حجم ۹۰ سانتی‌متر مکعب تهیه شد (Sidik *et al.*, 2015). با توجه به چگالی تقریبی خاک و نسبت پوکی اندازه‌گیری شده، در هر قالب مقدار معینی خاک ریخته شد تا مشابه شرایط طبیعی باشد. حجم محلول باکتری و ماده سیمان کننده اضافه شده به قالب‌های خاک معادل با تخلخل یک سانتی‌متر از عمق نمونه‌ها بود. در ابتدا محلول باکتری و سپس ماده سیمانی کننده به آرامی و به صورت یکنواخت بر روی قالب‌های خاک پاشیده شد (Maleki *et al.*, 2015). آزمایش فروروی در روزهای هفت، ۱۵ و ۳۰ روز بعد از تلقیح انجام شد. مخروط استاندارد نفوذسنج (ASTM D7380) با سرعت ثابت (۳۰ میلی‌متر در ثانیه) در نمونه‌ها فرو رفت و نقطه شکست در نمودار ترسیم تعیین شد.

### آزمایش‌های تونل باد

به منظور بررسی اثر باکتری و محیط‌های کشت در کنترل فرسایش بادی، از دستگاه تونل باد دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. دستگاه تونل باد مورد استفاده دارای موتور جت فن، یکنواخت کننده توزیع هوا، بدنه و کیسه‌ای در انتها برای جمع‌آوری مقدار رسوب تولیدی است. ابعاد بدنه دستگاه ۷۰×۷۰×۹۰ سانتی‌متر و ابعاد سینی‌های تونل در این آزمایش ۳۰×۵۰×۴ سانتی‌متر بود (Ekhtesasi, 1991; Movahedan *et al.*, 2011). این دستگاه توانایی ایجاد جریان باد با سرعت ۱۰ تا ۸۰ کیلومتر در ساعت را داراست و میانگین سرعت باد در مقطع آزمایش، به مدت پنج دقیقه، ۵۸ کیلومتر در ساعت (۱۶ متر در ثانیه) انتخاب شد. بر اساس داده‌های سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان متوسط سرعت باد در استان از هشت متر بر ثانیه فراتر

کشت شبانه‌ی ۱۲ ساعته، در محیط کشت مایع قرار داده شد. در فواصل زمانی مشخص (هشت ساعته) کدورت<sup>۱</sup> باکتری رشد یافته در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین و پس از رسیدن به عدد ۱/۵ از آن استفاده شد (Shahrokhi-Shahraki *et al.*, 2015). زمان رسیدن به این عدد کدورت در محیط‌های کشت، به طور متوسط ۲۴ ساعت بود. تعداد سلول‌های باکتری معلق درون محلول با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$Y = 8.59 \times 10^7 \times Z^{1.36277} \quad (3)$$

که در این رابطه  $Z$  مقدار قرائت‌شده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۰۰ نانومتر و  $Y$  غلظت سلول‌ها در هر میلی‌لیتر می‌باشد. طبق فرمول یاد شده تعداد سلول باکتری معلق در یک میلی‌لیتر از محلول، معادل ۱۶۰۴۹۱۴۲۵ عدد می‌باشد (Okwadha & Li, 2010). نمونه‌های خاک با وزن مشخص (۱۲۲ گرم) در بلوک‌های آماده‌شده به حجم کل ۸۵ سانتی‌متر مکعب ریخته شد. وزن خاک به اندازه‌ای بود تا به چگالی تقریبی برابر با ۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب برسد که مشابه شرایط صحرا باشد. سطح خاک به طور کامل صاف و یکنواخت شد. حجم تیمار بیولوژیکی MICP شامل باکتری و محلول سیمان کننده اضافه شده به بلوک‌ها معادل با تخلخل یک سانتی‌متر از عمق نمونه‌های بود؛ به عبارت دیگر حجم محلول MICP و سیمانی کننده به گونه‌ای انتخاب شد که بتواند یک سانتی‌متری سطح نمونه‌ها را به طور کامل اشباع کند. سپس با مقدار مشابه (۱۷ میلی‌لیتر از هر کدام) به صورت کاملاً یکنواخت و به کمک آبپاش به روی خاک پاشیده شد. تیمارهای آزمایشی عبارت‌اند از:

- ۱- ملاس + باکتری + اوهره و کلرید کلسیم (M+B+U)
- ۲- ملاس + اوهره و کلرید کلسیم (M+U) -۳
- ۴- (M) TSB + باکتری + اوهره و کلرید کلسیم
- ۵- (T+B+U) TSB + اوهره و کلرید کلسیم (T+U) -۶
- ۷- (T) TSB اوهره و کلرید کلسیم (U) و -۸ تیمار شاهد (Blank) که تنها با آب مقطر آبپاشی شد.

1. Turbidity or Optical Density

### نتایج و بحث

در جدول ۱ برخی ویژگی‌های خاک مورد آزمایش آورده شده است. مطابق این نتایج، خاک بافت سبک داشت و عاری از کربنات کلسیم بود. pH خاک مورد آزمایش در محدوده خنثی و خاک غیر شور بود. جرم مخصوص ظاهری ۱/۴۴ و جرم ویژه حقیقی معادل ۲/۶۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که در بافت شنی طبیعی به نظر می‌رسد. تخلخل مشابه آرایش گوی‌های باز و همسان و معادل ۴۵ درصد بود که نشان می‌دهد تقریباً نیمی از منافذ خاک توسط آب و هوا اشغال شده است. نسبت پوکی ۰/۸۲ بود که نشان دهنده‌ی نسبت حجمی منافذ به حجم ذرات جامد است (Hajabbasi, 2007).

نمی‌رود. مقدار کاهش جرم نمونه‌های خاک پس از وزش باد، به‌عنوان مقدار خاک فرسایش یافته در نظر گرفته شد.

### تحلیل آماری

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور شامل محیط کشت و زمان آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. سه زمان هفت، ۱۵ و ۳۰ روز پس از تلقیح به‌عنوان فاکتورهای زمانی آزمایش در نظر گرفته شد. محیط کشت آزمایش شامل ملاس ۱۰ درصد، تی اس بی همراه و بدون باکتری، اوره و کلرید کلسیم بودند. نرمال بودن داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها به‌وسیله نرم‌افزار Minitab با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some of the physicochemical properties of the studied soil

Property	Unit	Amount
pH in 1:1 extraction of soil to water		6.61
EC in 1:1 extraction of soil to water	dS m <sup>-1</sup>	0.71
CaCO <sub>3</sub> content	%	0
Soil texture	-	Sandy
Bulk density	g cm <sup>-3</sup>	1.44
Particle density	g cm <sup>-3</sup>	2.62
Porosity	-	0.45
Void ratio	-	0.82

کلسیم است که درصد کربنات کلسیم را (نسبت به شاهد) به ۵۰ درصد رسانده‌اند. بررسی کلی نتایج حاصل از کاربرد محیط کشت‌های متفاوت در تولید کربنات کلسیم نشان داد که کاربرد ملاس، تأثیر چشمگیری در افزایش محتوای کربنات کلسیم خاک داشت. احتمال دارد افزودن محیط کشت ملاس به‌عنوان یک ماده مغذی، باعث تحریک باکتری‌های بومی خاک و در نتیجه تولید کربنات کلسیم شده باشد (Torkashvnan *et al.*, 2009).

با توجه به شکل ۱، حضور باکتری در TSB و اوره و کلرید کلسیم سبب افزایش بیش‌تری در درصد کربنات کلسیم شده است. TSB و اوره و کلرید کلسیم بدون حضور باکتری، کم‌ترین تأثیر را بر درصد کربنات کلسیم نشان داده‌اند. شاید کاربرد محیط کشت TSB به‌دلیل دارا بودن مواد مغذی، بیش‌تر از اوره و کلرید کلسیم منجر به تحریک باکتری‌های بومی خاک شده است.

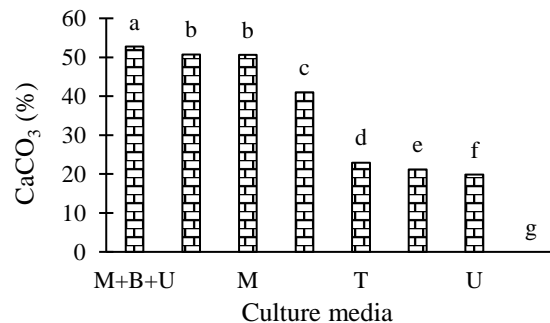
### تأثیر کاربرد باکتری و محیط‌های کشت بر غلظت کربنات کلسیم خاک

نتایج مربوط به تغییرات درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های خاک شنی با محیط کشت‌های مختلف اعمال شده (ملاس + باکتری + اوره و کلرید کلسیم؛ ملاس + اوره و کلرید کلسیم؛ TSB + باکتری + اوره و کلرید کلسیم؛ TSB؛ TSB + اوره و کلرید کلسیم؛ اوره و کلرید کلسیم) در شکل ۱ ارائه شده است. سطوح معنی‌دار با حروف a، b و غیره در شکل ۱ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین غلظت کربنات کلسیم در محیط کشت ملاس ۱۰ درصد همراه با باکتری / اسپوروسارسینا پاستوری + اوره و کلرید کلسیم مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که درصد کربنات کلسیم نمونه‌شن را (نسبت به شاهد) ۵۲ درصد افزایش داده است. پس از آن بیش‌ترین درصد کربنات کلسیم مربوط به محیط کشت ملاس و ملاس + اوره و کلرید

کلرید کلسیم در خاک‌های شنی و آلی دریافتند که کاربرد این محیط کشت‌ها سبب افزایش درصد کربنات کلسیم به میزان هشت درصد نسبت به نمونه شاهد شد.

نتیجه این بخش از مطالعه با نتیجه بولینگ (Boling, 2015) و سیدیک و همکاران (Sidik *et al.*, 2015) هماهنگی دارد. سیدیک و همکاران (Sidik *et al.*, 2015) پس از اعمال محیط کشت‌های باکتری، اوره و

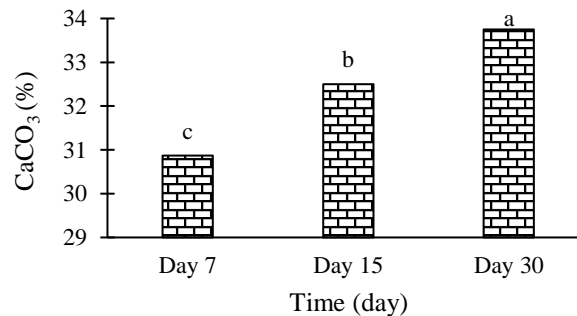


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر اصلی محیط کشت بر درصد کربنات کلسیم

Figure 1. Comparison of the main effect of different culture media on CaCO<sub>3</sub> content

افزایش در سطح پنج درصد آزمون LSD معنی‌دار. افزایش درصد کربنات کلسیم، ناشی از حضور باکتری در خاک است که با گذشت زمان و براساس معادلات ۱ و ۲ موجب افزایش مقدار رسوب می‌گردد.

تأثیر کاربرد باکتری و محیط‌های کشت بر غلظت کربنات کلسیم خاک در زمان‌های مختلف نتایج مربوط به تغییرات درصد کربنات کلسیم با گذشت زمان در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با گذشت زمان، درصد کربنات کلسیم تجمع یافته در خاک، افزایش داشته که این



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی گذشت زمان بر درصد کربنات کلسیم

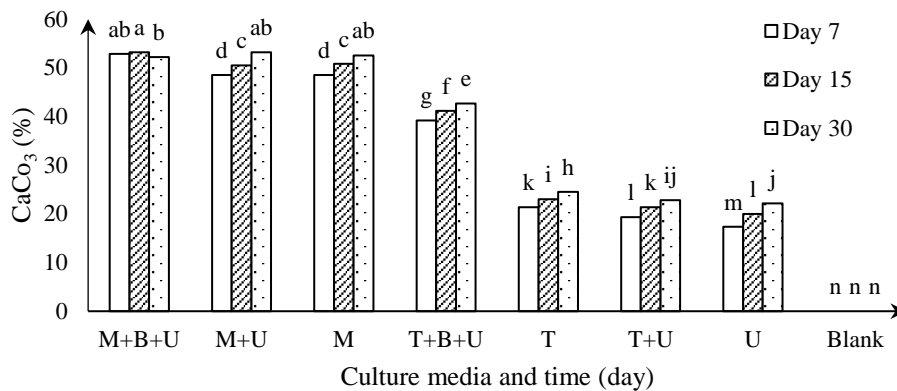
Figure 2. Comparison of the main effect of time on CaCO<sub>3</sub> content

اثر متقابل کاربرد محیط‌های کشت و زمان بر غلظت کربنات کلسیم خاک

در این پژوهش، اثر متقابل کاربرد محیط‌های کشت متفاوت و زمان، بر غلظت کربنات کلسیم بررسی و نتایج مقایسه میانگین مربوط به آن در شکل ۳ گزارش شد. چنانچه از اعداد ستون میانگین در شکل ۳ پیداست، پس از تیمار شاهد کم‌ترین مقدار مربوط به اوره و کلرید کلسیم در روز هفتم است و محیط کشت ملاس + باکتری + اوره و کلرید کلسیم در روز پانزدهم به همراه

افزایش مقدار کربنات کلسیم تجمع یافته در خاک با نتیجه گوربوز و همکاران (Gurbuz *et al.*, 2011) مشابه بود. این پژوهشگران با استفاده از باکتری اسپوروسارسینا پاستوری اقدام به افزایش برخی ویژگی‌های نمونه خاک سست شنی از جمله مقاومت برشی، نفوذپذیری، ظرفیت باربری و غیره نموده و نتیجه گرفتند با اعمال این باکتری، رسوب کلسیت ایجاد شده در خاک با گذشت زمان روند افزایشی دارد.

مقدار را به خود اختصاص دادند. ملاس + اوره + کلرید کلسیم در روز سی ام، بیشترین

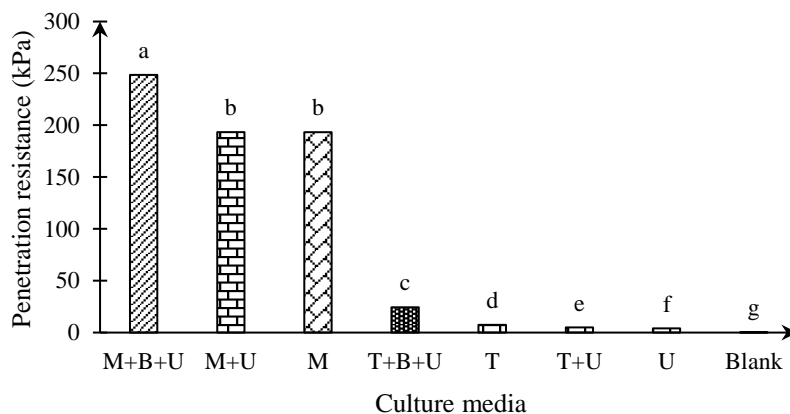


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد محیط کشت و زمان بر درصد کربنات کلسیم  
Figure 3. Comparison of CaCO<sub>3</sub> content as affected by time and culture media

فروروی در محیط کشت ملاس ۱۰ درصد همراه با باکتری اسپوروسارسینا پاستوری + اوره و کلرید کلسیم مشاهده می شود به طوری که کاربرد محیط کشت (۲۴۸ کیلو پاسکال)، مقاومت به فروروی را بیش از ۱۰۰۰ برابر نسبت به شاهد (۰/۲۳ کیلو پاسکال) برابر افزایش داده است. کمترین مقاومت بعد از شاهد در محیط کشت کاربرد اوره و کلرید کلسیم (۳/۹۴ کیلو پاسکال) مشاهده شد.

تأثیر کاربرد باکتری و محیط های کشت بر مقاومت به فروروی

نتایج آزمایش مقاومت فروروی لایه سطحی نمونه خاک شنی به عنوان شاخصی از مقاومت در برابر فرسایش بادی در شکل ۴ نشان داده شد. علاوه بر این، سطوح معنی-داری نتایج با حروف a, b و غیره در این شکل ۴ مشخص شده است. همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می شود، بیشترین مقاومت به فروروی مربوط به محیط کشت های کاربرد ملاس است. بیشترین مقاومت به



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی محیط کشت بر مقاومت به فروروی  
Figure 4. Comparison of the main effect of different culture media on penetration resistance

(Pedreira, 2014)، بولینگ (Boling, 2015) و لی و همکاران (Li et al., 2016). مطابقت دارد. مطالعه ملکی و همکاران (Maleki et al., 2015) نشانگر آن است که کاربرد MICP تا حدود تا برابر منجر به افزایش مقاومت فروروی لایه های سطحی خاک می شود. این نتیجه

افزایش مقاومت به فروروی در اثر کاربرد باکتری با نتایج آزمایش مقاومت فروروی ملکی و همکاران (Maleki et al., 2015)، کوچارسکی و همکاران (Kucharski et al., 2005)، ویفین و همکاران (Whiffin et al., 2007)، استابنیکو و همکاران (Stabnikov et al., 2011)، پدیریا

مطالعه مختلف است. نتایج مطالعه سرمست و همکاران (Sarmast *et al.*, 2014) نشان داد استفاده از باکتری اسپوروسارسینا پاستوری موجب کاهش هدایت هیدرولیکی نمونه‌های تیمار شده (۱۱/۵۷ سانتی‌متر در ساعت) نسبت به شاهد (۴۱/۶۱ سانتی‌متر در ساعت) گردیده است. افزایش زمان واکنش (از ۱۲ تا ۲۸۸ ساعت) و غلظت واکنشگرها (از ۰/۵ تا ۱/۵ مولار) به ترتیب موجب کاهش ۴۹ و ۱۶ درصدی هدایت هیدرولیکی شد. غلظت واکنشگرها و زمان واکنش باعث افزایش معنی‌دار مقاومت خاک شد. کانینگهام و همکاران (Cunningham *et al.*, 2011) نتیجه گرفتند سیمانی شدن زیستی، تخلخل و هدایت هیدرولیکی محیط‌های متخلخل را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد، به‌طوری‌که ۶۶ درصد کاهش در هدایت هیدرولیکی در مدت زمان ۳۶ روز مشاهده شد. کیل و همکاران (Kale *et al.*, 2016) به مطالعه اثر میکروارگانیزم‌ها بر ویژگی‌های مختلف خاک شنی مثل ظرفیت باربری برای تحلیل غلظت‌های مختلف MICP در خاک و تأثیر آن در طول زمان (۷، ۱۴ و ۲۸ روز پس از اعمال محیط کشت)، پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از MICP به مرور زمان سبب افزایش مقاومت خاک می‌شود. علاوه بر این، این محققان گزارش کردند که ظرفیت باربری در روز ۱۴ دو برابر بیش‌تر از روز هفتم و این مقدار در روز ۱۴ مساوی ۰/۶۷ روز ۲۸ می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت به مرور زمان، باکتری واکنش بیش‌تری با خاک نشان می‌دهد و سبب افزایش مقاومت می‌گردد.

#### اثر متقابل کاربرد محیط‌های کشت و زمان بر مقاومت به فروری

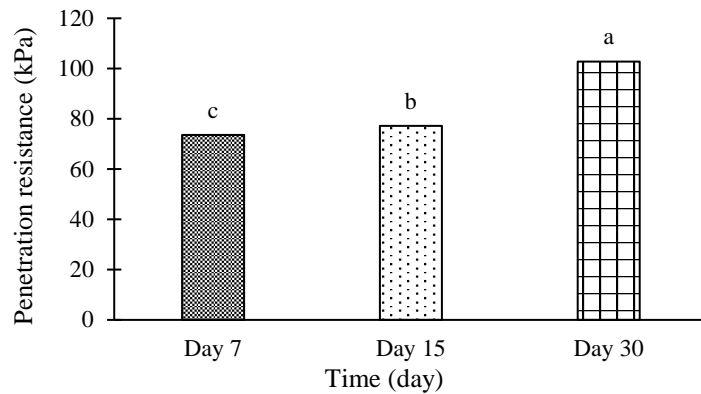
در این مطالعه، متقابل گذشت زمان و محیط‌های مختلف کشت بر مقاومت فروری نمونه‌های خاک شنی بررسی و نتایج مقایسه میانگین مربوط به آن در شکل ۶ گزارش شد. چنانچه از اعداد ستون میانگین در شکل ۶ پیداست، کم‌ترین مقدار مربوط به اوره و کلرید کلسیم در روز هفتم است و محیط کشت ملاس+ باکتری+ اوره و کلرید کلسیم در روز سی‌ام بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

بیانگر تشکیل لایه مقاوم سطحی بر روی نمونه‌های سیمانی می‌شود. کوچارسکی و همکاران (Kucharski *et al.*, 2005) دریافتند که میکروارگانیزم‌ها با رسوب-گذاری کلسیت درون خاک و سنگ موجب افزایش مقاومت فشاری به بیش از پنج مگا پاسکال می‌شوند. نتایج مطالعات انجام شده توسط ویفین و همکاران (Whiffin *et al.*, 2007) نشان داد که باکتری اسپوروسارسینا پاستوری با تولید کربنات کلسیم سبب کاهش تخلخل (۹۰ درصد) می‌شود. استابنیکو و همکاران (Stabnikov *et al.*, 2011) نشان دادند که سیمان زیستی حاصل از مخلوط نمک کلسیم، اوره و تعلیق باکتریایی سبب کاهش نفوذپذیری شنی از  $10^{-4}$  متر بر ثانیه به  $10^{-7} \times 1/6$  متر بر ثانیه می‌شود. پدیریا (Pedreira, 2014) از MICP برای بهبود ویژگی‌های خاک از طریق ترسیب کربنات کلسیم در خاک شنی استفاده کرد. مقاومت فشاری نمونه‌ها با دو توزیع اندازه ذره مختلف مطالعه شد. در یکی از توزیع اندازه ذرات پس از اعمال باکتری، مقاومت نمونه نسبت به شاهد کاهش نشان داد. این پژوهشگر بیان کرد که این مسأله باید در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد. بولینگ (Boling, 2015) در مطالعه خود از باکتری اسپوروسارسینا پاستوری برای افزایش مقاومت خاک استفاده کرده و گزارش کرد کاربرد این باکتری سبب افزایش درصد رسوب کلسیت شده است. در پژوهشی، لی و همکاران (Li *et al.*, 2016) به بررسی تأثیر باکتری اسپوروسارسینا پاستوری بر مقاومت نمونه خاک شنی پرداخته و دریافتند کاربرد این باکتری باعث افزایش مقاومت خاک مورد بررسی شده است. مقاومت خاک حاوی باکتری بیش از دو برابر مقاومت نمونه شاهد بود.

#### تأثیر کاربرد باکتری و محیط‌های کشت بر مقاومت به فروری در زمان‌های مختلف

تغییرات مقاومت فروری نمونه‌ها با گذشت زمان (هفت، ۱۵ و ۳۰ روز پس از اعمال باکتری) در شکل ۵ ارائه شده است. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، مقاومت به فروری نیز مشابه روند کربنات کلسیم با گذشت زمان افزایش (معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون LSD) دارد. این نتیجه مطابق یافته چندین

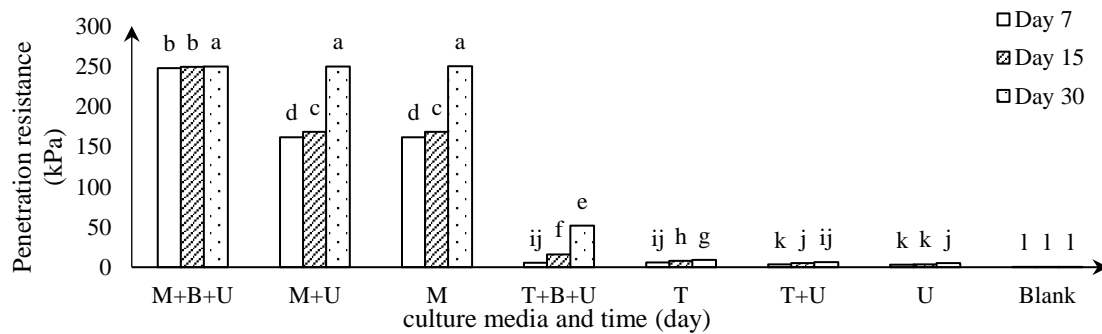




شکل ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی گذشت زمان بر مقاومت فروری  
Figure 5. Comparison of the main effect of time on penetration resistance

محققان همچنین ثابت کردند در خاک استریل شده که هیچ باکتری بومی در خاک وجود ندارد، مقاومت به نفوذپذیری تغییری نمی‌کند و درصد کربنات کلسیم تولید شده در خاک (شناسایی شده با اشعه‌ی ایکس) صفر باقی می‌ماند. به همین دلیل این خاصیت تولید آهک و افزایش مقاومت برشی خاک را به اثر باکتری‌های بومی خاک در تولید کربنات کلسیم نسبت داده‌اند. در نتیجه احتمال می‌رود کاربرد محیط کشت ملاس نیشکر، باعث افزایش فعالیت باکتری‌های اوره‌آزی بومی خاک شده باشد.

نتایج مشابه آزمایش فروری و درصد کربنات کلسیم شاید مؤید این مطلب باشد که افزایش کربنات کلسیم در اثر کاربرد ملاس، باعث افزایش مقاومت به فروری می‌شود. ویفین و همکاران (Whiffin *et al.*, 2007) در نتایج مشابهی نشان دادند که افزایش ۳/۵ درصدی کربنات کلسیم می‌تواند مقاومت به فروری را به شدت افزایش دهد. بوربانک و همکاران (Burbank *et al.*, 2011) نشان دادند که کاربرد محیط کشت مغذی می‌تواند باعث افزایش باکتری‌های بومی خاک و در نتیجه افزایش میزان کربنات کلسیم تولیدی در خاک شود. این



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد محیط کشت و زمان بر مقاومت فروری  
Figure 6. Comparison of penetration resistance as affected by time and culture media

کشت) ۵۲ درصد بود و پس از کاربرد محیط کشت‌های ملاس، ملاس با اوره و کلرید کلسیم در حضور و بدون حضور باکتری اسپوروسارسینا پاستوری، به صفر درصد کاهش یافت؛ به عبارت دیگر، کاربرد محیط کشت ملاس باعث کاهش ۱۰۰ درصدی فرسایش نسبت به خاک شاهد شد. کاربرد محیط کشت ملاس نیشکر با افزایش کربنات کلسیم تولیدی توسط باکتری‌های بومی خاک و همچنین مقاومت به فروری، باعث ایجاد سخت‌پوسته

با توجه به نتایج به دست آمده، بهترین محیط کشت‌های مقاومت به فروری انتخاب و در سینی‌های تونل باد دانشگاه شهید چمران اهواز قرار داده شد. این محیط کشت‌ها عبارت‌اند از ملاس؛ ملاس + اوره و کلرید کلسیم و ملاس + باکتری + اوره و کلرید کلسیم. نتایج مربوط به تغییرات مقدار خاک فرسایش یافته در قالب درصد فرسایش در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار فرسایش در خاک شنی شاهد (بدون اعمال محیط

پاستوری لایه‌های شبیه سله بر روی سطح خاک تشکیل دادند که سبب کاهش قابل توجه تلفات و تغییرات وزن خاک شد. این پژوهشگران نتیجه گرفتند استفاده از باکتری در تثبیت خاک، روشی مؤثر و سازگار با محیط زیست است. نتایج مطالعه اندرسون و همکاران (Anderson *et al.*, 2014) نشانگر کاهش قابل توجه تلفات جرمی خاک حاوی باکتری در مقایسه با خاک شنی شاهد بود.

در سطح خاک و ایجاد پل ارتباطی بین خاکدانه‌ها می‌شود که در نهایت فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. نتایج ملکی و همکاران (Maleki *et al.*, 2015) نشان داد که در تمامی سرعت‌های باد، محیط کشت MICP در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش معنی‌داری در مقدار فرسایش خاک ایجاد کرده است. نتایج مطالعه میر و همکاران (Meyer *et al.*, 2011) نشان داد که هر دو نمونه خاک مورد بررسی با باکتری اسپوروسارسینا

جدول ۲- مقایسه خاک فرسایش یافته تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Table 2. Comparison of wind erosion as affected by different treatment

Culture media	Control	Molasse	Molasse + CaCl <sub>2</sub> + Urea	Molasse+Bacteria+CaCl <sub>2</sub> +Urea
% Erosion	52.52	0	0	0

منتخب در تونل باد با میانگین سرعت باد ۱۶ متر بر ثانیه انجام شد. مقدار فرسایش در خاک شنی شاهد (بدون اعمال محیط کشت) ۵۲ درصد بود و پس از کاربرد محیط کشت‌های ملاس، ملاس با اوره و کلرید کلسیم در حضور و بدون حضور باکتری اسپوروسارسینا پاستوری، به صفر درصد کاهش یافت؛ به عبارت دیگر، کاربرد محیط کشت ملاس باعث کاهش ۱۰۰ درصدی فرسایش شد. نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نشانگر نقش قابل توجه ملاس در کاهش فرسایش‌پذیری خاک شنی و افزایش مقاومت فروری بود. احتمالاً کاربرد ملاس باعث تحریک فعالیت باکتری‌های بومی تولیدکننده کربنات کلسیم در خاک و در نتیجه افزایش مقاومت به فرسایش می‌شود. بنابراین، می‌توان از این ماده به عنوان منبع ارزان قیمت در تثبیت شنی‌های روان استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده گونه‌های باکتری بومی موجود در خاک، شناسایی و شمارش شوند.

### نتیجه‌گیری کلی

باکتری اسپوروسارسینا پاستوری در محیط کشت TSB و ملاس به ترتیب باعث افزایش ۴۱ و ۵۲ درصدی محتوای کربنات کلسیم نمونه شن نسبت به شاهد شد. بدون حضور باکتری اسپوروسارسینا پاستوری نیز محتوای کربنات کلسیم در محیط کشت TSB و ملاس به ترتیب ۲۳ و ۵۱ درصد افزایش نشان داد. در نتیجه کاربرد اسپوروسارسینا پاستوری، تأثیر زیادی در افزایش کربنات کلسیم نداشته است. آزمایش فروری خاک نشان داد که بیش‌ترین مقاومت به فروری مربوط به محیط کشت‌های کاربرد ملاس ۱۰ درصد بود که سبب افزایش ۱۰۰۰ برابری مقاومت به فروری شد. با گذشت زمان، مقاومت به فروری و درصد کربنات کلسیم در خاک، افزایش یافته که این افزایش در سطح پنج درصد آزمون LSD معنی‌دار بود. افزایش کربنات کلسیم و مقاومت به فروری در نمونه‌های بدون حضور باکتری اسپوروسارسینا پاستوری، به فعالیت باکتری‌های اوره آزی بومی خاک نسبت داده شد. بررسی نمونه‌های

### References

- Ajdari A., Heydarian P., Joudaki M., Darvishi J., and Shahbazi R. 2015. Investigation of Critical Dust Point in Khuzestan. Geological Survey and Mineral Explorations of Iran (GSI). 62p. (In Persian)
- Allison L.E, and Moodie C.D. 1965. Carbonate. p. 1379-1400. In C.A. Black et al. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> Ed. Agron. Monogr. 9. ASA, CSSA, and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Anderson J., Bang S., Bang S.S., Lee S.J., Choi S.R., and Dho N.Y. 2014. Reduction of Wind Erosion Potential Using Microbial Calcite and Soil Fibers. In Geo-Congress. Geo-characterization and Modeling for Sustainability: 1664-1673.

- ASTM D854-14. 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM International. West Conshohocken. PA.
- Azimzadeh H.R., Ekhtesasi M.R., Refahi H.G., Rohipour H., and Gorji M. 2008. Wind erosion measurement on fallow lands of Yazd-Ardakan plain, Iran. *Desert*, 13(2): 167-174.
- Boling J. 2015. Bioprecipitation of Calcite by *Sporosarcina pasteurii*: Developing Efficient Methodologies for Microbially Indurated Rammed Earth (Doctoral dissertation, University of Kansas), 58p.
- Burbank M.B., Weaver T.J., Green T.L., Williams B.C., and Crawford R.L. 2011. Precipitation of calcite by indigenous microorganisms to strengthen liquefiable soils. *Geomicrobiology Journal*, 28: 301-312.
- Cunningham A.B., Gerlach R., Spangler L., Mitchell A.C., Parks S., and Phillips A. 2011. Reducing the risk of well bore leakage of CO<sub>2</sub> using engineered biomineralization barriers. *Energy Procedia*, 4: 5178-5185.
- Ekhtesasi M. R. 1991. Wind erosion meter. Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST). Yazd. 446p. (In Persian)
- Ghorbani F., Yonesi H., Esmaeeli Sari A., Ghasempoori M., Amini M., and Daneshi A. 2009. Production of fuel ethanol by *Saccharomyces cerevisiae* yeast from molasses of sugar factories in a discontinuous fermentation system. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4): 139-148. (In Persian)
- Goksungur Y., and Zorlu N. 2001. Production of ethanol from beet molasses by Ca-alginate immobilized yeast cells in a packed-bed bioreactor. *Turkish Journal of Biology*, 25(3): 265-275.
- González I., Vázquez M.A., Romero-Baena A.J., and Barba-Brioso C. 2017. Stabilization of fly ash using cementing bacteria. Assessment of cementation and trace element mobilization. *Journal of Hazardous Materials*, 321: 316-325.
- Gurbuz A., Sari Y.D., Yuksekdog Z.N., and Cinar B. 2011. Cementation in a matrix of loose sandy soil using biological treatment method. *African Journal of Biotechnology*, 10(38): 7432-7440.
- Hajabbasi M. A. 2007. Soil physical properties. Isfahan University of Technology Publication. 302p. (In Persian)
- Kale R.Y., Ghade V.S., Wankhade G.D., and Godhe P.R. 2016. Improving strength of sandy soil by microbial induced calcite precipitation. *International Conference on Science and Technology for Sustainable Development (ICSTSD)*: 95-100.
- Kucharski E.S., Winchester W., Leeming W.A., Cord-Ruwisch R., Muir C., Banjup W.A., Whiffin V.S., Thawadi S., and Mutlaq J. 2005. Microbial Biocementation, Patent Application. WO/2006/066326 ; International Application No.PCT/ AU2005/001927.
- Li M., Li L., Ogbonnaya U., Wen K., Tian A., and Amini F. 2015. Influence of fiber addition on mechanical properties of MICP-treated sand. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(4): 04015166.
- Mahmodi Sh., and Hakimian M. 2007. Fundamentals of Soil Science. University of Tehran Press. 706p. (In Persian)
- Maleki M., Ebrahimi S., Asadzade F., and Emami Tabrizi M. 2016. Performance of microbial-induced carbonate precipitation on wind erosion control of sandy soil. *International Journal of Environmental Science Technology*, 13: 937-944.
- Meyer F.D., Bang S., Min S., Stetler L.D., and Bang S.S. 2011. Microbiologically-induced soil stabilization: Application of *Sporosarcina Pasteurii* for fugitive dust control. In: Geo-Frontiers Congress: *Advances in Geotechnical Engineering*, pp. 4002-4011.
- Movahedan M., Abbasi N., and Keramati M. 2011. Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application on wind erosion control of soils. *Journal of Water and Soil*, 25(3): 606-616. (In Persian)
- Movahedan M., Abbasi N., and Keramati M. 2012. Wind erosion control of soils using polymeric materials. *Eurasian Journal of Soil Science (EJSS)*, 1(2): 81-86.
- Okwadha G. D. O., and Li J. 2010. Optimum conditions for microbial carbonate precipitation. *Chemosphere*, 81(9): 1143-1148.
- Pedreira R. R. 2014. Bio – Cimentação de Solos Arenosos para Melhoramento das suas Características Hidro-Mecânicas. MSc Thesis. Técnico Lisboa. (In Portuguese with English Abstract).

- Sarmast M., Farpoor M H., Sarcheshmepoor M., and Karimian Eghbal M. 2014. The effect of bio calcite on some physical properties of sandy soils. *Journal of Water and Soil Science*, 18(66): 69-77. (In Persian)
- Sel I., Ozhan H.B., Cibik R., and Buyukcangaz E. 2015. Bacteria-induced cementation process in loose sand medium. *Marine Georesources and Geotechnology*, 33(5): 403-407.
- Shahrokhi-Shahraki R., Zomorodian S. M. A., Niazi A., and O'Kelly B.C. 2015. Improving sand with microbial-induced carbonate precipitation. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 168(3): 217-230.
- Sidik W., Canakci H., and Kilic I.H. 2015. An investigation of bacterial calcium carbonate precipitation in organic soil for geotechnical applications. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 39(C1): 201-205.
- Stabnikov V., Ivanov V., and Chu J. 2016. Sealing of sand using spraying and percolating biogrouts for the construction of model aquaculture pond in arid desert. *International Aquatic Research*, 8(3): 207-216.
- Stabnikov V., Naeimi M., Ivanov V., and Chu J. 2011. Formation of water-impermeable crust on sand surface using biocement. *Cement and Concrete Research*, 41: 143- 1149.
- Torkashvrad A.M., Hashemabadi D., Kaviani B., and Sedaghatpoor S. 2009. Cane molasses: An ammonia suppressant in the composting manure and municipal wastes. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3(5): 567-573.
- Whiffin V.S., Van Passen L.A., and Harkes M.P. 2007. Microbial Carbonate Precipitation as a Soil Improvement Technique. *Geomicrobiology Journal*, 24: 1-7.
- Yoosathaporn S., Tiangburanatham P., Bovonsombut S., Chaipanich A., and Pathom-Aree W. 2016. A cost effective cultivation medium for biocalcification of *Bacillus pasteurii* KCTC 3558 and its effect on cement cubes properties. *Microbiological Research*, 186: 132-138.

## Effect of *Sporosarcina pasteurii* and Culture Media on Microbial Carbonate Induced Precipitation and Wind Erosion Control in Sandy Soil of Khuzestan province, Iran

Fahime Nikseresht<sup>1</sup>, Ahmad Landi<sup>2\*</sup>, Gholamabbas Sayyad<sup>3</sup>, Gholamreza Ghezelbash<sup>4</sup>, HosseinAli Bahrami<sup>5</sup>

(Received: April 2018

Accepted: June 2018)

### Abstract

Wind erosion and sediment transport are serious threat to agricultural lands, environment, air pollution and human health in Iran, especially in Khuzestan province. The aim of this research was to investigate the efficiency of *Sporosarcina pasteurii* bacteria grown in Tryptic Soy Broth (TSB) and sugarcane molasse culture media on wind erosion control. The sandy soil sample was collected from the Hamidyeh area, Khuzestan province, Iran and the effect of time and different culture media on wind erosion control were considered. The treatments were included sugarcane molasse (10%) and TSB as a culture media and urea (2%) and calcium chloride as an injection solution. The investigation of erodibility for selected samples was performed in wind tunnel with an average wind speed of 16 m/s. The experiment was carried out with the basis of completely randomized design with three replications. The calcium carbonate content, penetration resistant and erodibility were assessed by wind tunnel after 7, 15, and 30 days of injection. Results showed that the highest calcium carbonate content was obtained in 10% molasses treated with the bacteria, which increased the percentage of calcium carbonate to 52%. The highest resistance to penetration was related to 10% molasses application, which resulted in an increase of 1000 times in the penetration resistance. The penetration resistance and the percentage of calcium carbonate accumulated in the soil showed a significant increase at the 5% level by LSD test, over time. The amount of erosion in the sandy soil was decreased from 52% to zero, which indicates a 100% reduction in erosion. The results of this study indicate the significant role of molasses in reducing the erodibility of sandy soil and increasing the penetration strength. Thus, it can be suggested as a to stabilize the sand.

**Keywords:** Calcite, *Sporosarcina pasteurii*; Sugarcane molasse; Wind erosion

Nikseresht F., Landi A., Sayyad GH. A., Ghezelbash GH., Bahrami H.A. 2019. Effect of *Sporosarcina pasteurii* and culture media on Microbial Carbonate Induced Precipitation and wind erosion control in sandy soil of Khuzestan. *Applied Soil Research*, 7(3): 1-13.

1. Ph.D Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz

2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz

3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz

4. Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

5. Associated Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

\* Corresponding Author Email. [landi@scu.ac.ir](mailto:landi@scu.ac.ir)