

## مقاومت به نفوذ و میکرومورفولوژی پوسته‌های بیولوژیکی حاصل از کاربرد همزمان دو جنس سیانوباکتر

عاطفه اسمعیلی دستجردی پور<sup>۱</sup>، محمد هادی فرپور<sup>۲\*</sup>، مهدی سرچشمه پور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲\* نویسنده مسؤول: دانشیار بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ([farpoor@uk.ac.ir](mailto:farpoor@uk.ac.ir))

۳- استادیار بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۷

### چکیده

سیانوباکترها به دلیل توانایی تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی در خاک‌های شنی مناطق بیابانی، به عنوان اجزای اصلی این پوسته‌ها مورد توجه هستند. این تحقیق با هدف بررسی تشکیل این پوسته‌ها تحت سه تیمار سیانوباکتر (نوستوک (N)، فورمیدیوم (Ph) و ترکیب دو جنس)، دو سطح پلیمرسوپر جاذب [شاهد (S0) و ۰/۳ گرم پلیمر در ۲۵۰ گرم خاک (S1)] و دو سطح رطوبت [ظرفیت زراعی (M1) و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (M2)] در سه بخش مجزا انجام شد. در بخش اول ضخامت پوسته‌ها، افزایش در میزان کربن آلی خاک و مقاومت به نفوذ با گذشت زمان لازم جهت پوشیده شدن سطح خاک با پوسته‌ها (۶۰ روز) بررسی گردید. در بخش دوم با مشخص شدن تیمارهای بهینه رطوبتی و پلیمر، تأثیر زمان (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز) بر ضخامت پوسته‌ها و در بخش سوم مطالعات میکرومورفولوژیکی صورت گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب دو جنس در سطح رطوبت ظرفیت زراعی همراه با سوپر جاذب با ۶/۸۳ میلی‌متر ضخامت و مقاومت به نفوذ ۰/۲۲ مگاپاسکال، ضخیم‌ترین و مقاوم‌ترین پوسته‌ها را تشکیل داد. ترکیب دو جنس همراه با سوپر جاذب با ۱/۸۹ درصد و رطوبت ظرفیت زراعی با ۱/۶۶ درصد کربن آلی بیشترین افزایش در کربن آلی خاک را ایجاد کردند. همچنین ترکیب دو جنس در ۶۰ روز با ۶/۸ میلی‌متر ضخیم‌ترین پوسته را تشکیل داد. بررسی مقاطع نازک کاهش در اندازه خلل و فرج درشت در خاک‌های تلقیح شده را در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد. این کاهش در اندازه منافذ در ترکیب دو جنس در مقایسه با هر یک از دو جنس به تنهایی، بیشتر بود.

**کلید واژه‌ها:** پوسته بیولوژیکی، نوستوک، فورمیدیوم، مقاومت به نفوذ، میکرومورفولوژی

### مقدمه

و خزها تشکیل شده است (الدريج و گرین، ۱۹۹۴) و به صورت ترکیبی از این ریزجانداران و ذرات خاک به شکل لایه‌ای نازک در چند میلی‌متر فوقانی سطح خاک فعالیت می‌کنند (هیو و همکاران، ۲۰۰۲). بررسی‌های انجام شده نشان داده‌اند که سیانوباکترها قادر به ایجاد پوسته‌های بیولوژیکی روی سطح خاک‌های شنی می‌باشند. هیو و همکاران (۲۰۰۲) در

در اراضی خشک و نیمه خشک، رشد بسیاری از پوشش‌های گیاهی با محدودیت روبرو است؛ اما پوسته‌های بیولوژیکی به طور وسیع در این اراضی گسترش دارند و ۷۰ درصد از پوشش زنده سطح خاک را در برخی از این مناطق تشکیل می‌دهند. این پوسته‌ها به طور غالب از سیانوباکترها، قارچ‌ها، جلبک‌ها، گل‌سنگ‌ها

1- Eldridge and Greene

2- Hu *et al.*

پلیمری روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، رشد و عملکرد برخی گیاهان زراعی و باغی است (ظهوریان مهر و کبیری<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸) و تا به حال مطالعه‌ای در رابطه با کاربرد این مواد پلیمری در تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی انجام نشده است.

مالم ایسا و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۹۹) در مطالعات میکرومورفولوژیکی این پوسته‌ها نشان دادند که در برش عرضی آنها دو لایه کاملاً تفکیک شده وجود دارد. لایه بالایی ترکیبی از ذرات رس متصل به ریشه‌ها بود و در لایه‌های تحتانی میزان رس کاهش یافته و ذرات شن به دام افتاده در شبکه در هم تنیده‌ای از ریشه‌ها افزایش یافت. حفرات در مقاطع نازک به شکل وزیکل و دایره گزارش شدند. در بررسی دیگری از پوسته‌های موجود در این منطقه توسط مالم ایسا و همکاران (۲۰۰۱) مشخص شد که لایه بالایی دارای مقدار زیادی شن بود؛ اما لایه زیرین مقدار بیشتری رس داشت و تفاوت زیادی نیز در توزیع خلل و فرج این دو لایه مشاهده گردید، به نحوی که در لایه فوقانی خلل و فرج مسدود شدند و در لایه زیرین پوسته‌های رسی صفحه‌ای مشاهده گردید. در نمونه‌های برداشت شده از همان منطقه که فاقد پوسته‌های بیولوژیک بودند، لایه فوقانی فاقد شن و لایه زیرین نیز ترکیبی از مواد با دانه‌بندی متفاوت گزارش شد. از طرف دیگر در نمونه‌های حاوی پوسته‌های بیولوژیک، ضخامت مواد پلازمیک<sup>۷</sup> در مقایسه با نمونه‌های فاقد پوسته بیشتر بود. به دلیل اهمیت فراوان سیانوباکترها به در مناطق عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده پوسته‌های بیولوژیکی خشک و نیمه خشک و تاثیر این پوسته‌ها بر کیفیت خاک‌های مناطق بیابانی، این تحقیق با هدف بررسی تاثیر پلیمرهای سوپرجاذب، رطوبت و زمان بر تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی، تعیین ضخامت پوسته‌ها، تغییر در میزان کربن آلی خاک زیر پوسته‌ها و مقاومت به نفوذ نمونه‌ها و بررسی خصوصیات

بررسی اثر تلقیح سیانوباکترهای خاکری روی تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی و تثبیت شن نشان دادند گونه‌های میکروکولوس<sup>۱</sup> و فورمیدیوم<sup>۲</sup> گونه‌های برتر جهت تشکیل پوسته بودند. چن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) نیز بیان کردند پلی ساکاریدهای تولید شده توسط سیانوباکترها سلول‌ها را پوشش‌دار کرده و آنها را از خشکی، دمای بالا و اثرات مضر اشعه‌های ماوراء بنفش حفظ می‌کند. نیومن و همکاران (۱۹۹۶) دریافتند که سیانوباکترها در مقایسه با جلبک‌ها دارای انعطاف‌پذیری بیشتری هستند، در حالی که هیو و همکاران (۲۰۰۲) مطرح کردند که رشته‌های تولیدی مسئول مقاومت کششی در سطح خاک می‌باشند. البرت و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۹) در بررسی‌های خود بیان کردند گذشت زمان باعث افزایش ضخامت پوسته‌های بیولوژیکی ایجاد شده در سطح خاک می‌گردد. گذشت زمان با افزایش درصد پوشش ایجاد شده در نتیجه تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی در سطح همراه است. آنها این افزایش ضخامت و توسعه پوسته‌ها را به استقرار بهتر سیانوباکترها در محیط و تولید ترکیبات پلی ساکاریدی بیشتر توسط آنها نسبت دادند. با گذشت زمان و توسعه بیشتر این پوسته‌ها میزان کربن آلی خاک نیز افزایش می‌یابد. با گذشت زمان و رشد بیشتر سیانوباکترها میزان ترکیبات آلی تولید شده توسط آنها افزایش یافته و این امر موجب افزایش در میزان کربن آلی خاک می‌گردد.

رطوبت یکی از عوامل محدود کننده در تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی به حساب می‌آید. کاربرد برخی پلیمرها از جمله سوپرجاذب‌ها شرایط رطوبتی مناسب‌تری را جهت تشکیل این پوسته‌ها فراهم می‌آورد. پلیمرهای سوپرجاذب ترکیباتی از هیدروکربن‌ها و مشتقات نفت هستند که تا سه برابر وزن خود قادرند آب را جذب کرده و حتی تحت مکش‌های بالا در خود حفظ کنند. مطالعات انجام شده روی کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب محدود به تاثیر این مواد

5- Zohoriyanmehr and Kabiri  
6- Malam Issa *et al.*  
7- Plasmic materials

1- Microcoleus  
2- Phormidium  
3- Chen *et al.*  
4- Elbert *et al.*

در آزمایش دوم تاثیر زمان بر ضخامت پوسته‌های بیولوژیکی ایجاد شده حاصل از تلقیح سه تیمار سیانوباکتر مورد بررسی قرار گرفت. با مشخص شدن شرایط بهینه رطوبتی و تاثیر مثبت پلیمرهای سوپرجاذب در رشد سیانوباکترها به عنوان تیمار برتر، تاثیر ۴ تیمار زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز به ترتیب T1، T2، T3 و T4 بر ضخامت پوسته‌های بیولوژیکی حاصل از تلقیح سه تیمار سیانوباکتر در سه تکرار بررسی شد. در این بخش نیز تعداد نمونه‌ها ۳۶ عدد بود. هر دو بخش این تحقیق به صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی انجام اگردید.

در بخش سوم به منظور مشخص شدن تاثیر تیمارها بر اندازه منافذ خاک و شکل آنها، نمونه‌ها از جنبه میکرومورفولوژی نیز مورد بررسی قرار گرفتند. ضخامت پوسته‌های تشکیل شده توسط سیانوباکترها با دستگاه میکرومتر (ژائو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰)، مقاومت به نفوذ با دستگاه دیجیتالی پنترولاگر<sup>۶</sup> (هیو و همکاران، ۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد. کلیه آنالیزهای آماری در این تحقیق با نرم‌افزار ام‌اس‌تات-سی، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ صورت پذیرفت.

دو جنس سیانوباکتر نوستوک (ISC 26) و فورمیدیوم (ISC 24) به دلیل توانایی رشد بیشتر در سطح خاک، توانایی در تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی و به دلیل گزارش بیشتر این دو جنس در پوسته‌های بیولوژیکی طبیعی از پژوهشکده ریز جلبکی واحد دانشگاه شهید بهشتی تهران به صورت خالص در پلیت‌هایی مجزا تهیه شدند. هر یک از جنس‌ها به شکل مجزا در محیط کشت اختصاصی مایع جلبک‌ها (BG11) و شرایط نور سفید رشد یافتند. با توجه به تاثیری که محیط کشت روی رشد جنس‌های متفاوت سیانوباکتر

میکرومورفولوژیکی خاک‌های تلقیح شده با تیمارهای سیانوباکتر اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

برای انجام این مطالعه از خاکی با بافت شنی استفاده شد. این خاک در شهریور سال ۱۳۸۹ از منطقه ای در اطراف شهرستان کرمان از خاک سطحی عمق ۲۰-۰ سانتی متر برداشت گردید. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است. توزیع اندازه ذرات پس از عبور از الک ۲ میلی‌متر به روش پی‌پت (جی و بودرا<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶)، درصد رطوبت ظرفیت زراعی به صورت وزنی (بای بوردی، ۱۳۸۵)، گچ به روش ترسیب با استون (نلسون<sup>۲</sup>، ۱۹۸۲)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (نلسون، ۱۹۸۲)، کربن آلی به روش والکلی-بلاک<sup>۳</sup> (۱۹۳۴) اندازه‌گیری شد.

این مطالعه در سه آزمایش کاملاً مستقل به صورت زیر انجام شد. آزمایش اول با سه تیمار سیانوباکتر شامل نوستوک (N)، فورمیدیوم (Ph) و ترکیب دو جنس (N+Ph)، دو سطح پلیمر سوپر جاذب شامل شاهد (S0) و ۰/۳ گرم سوپرجاذب به ازای ۲۵۰ گرم خاک (S1) و دو سطح رطوبت شامل [ظرفیت زراعی (M1) و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (M2)] بود که با سه تکرار انجام شد. به دلیل این که سیانوباکترها برای رشد به سطوح کافی رطوبت نیاز دارند (بافتچی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷)، لذا دو سطح رطوبتی ظرفیت زراعی و ۸۰ درصد آن که به عنوان سطوحی که بیشترین میزان آب قابل دسترس را در اختیار ریزجانداران و گیاهان قرار می‌دهند، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. به این ترتیب تعداد نمونه‌ها در بخش اول به ۳۶ عدد رسید.

- 1- Gee and Bauder
- 2- Nelson
- 3- Walkley and Black
- 4- Baftehchi et al.

- 5- Zhao et al.
- 6- Penetrologer

فرپور و همکاران: مقاومت به نفوذ و میکرومورفولوژی ...

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

خصوصیت مقدار		خصوصیت مقدار	
۲۸/۳۴	درصد اشباع (%)	۷۹	شن (%)
۲۲/۶۷	ظرفیت زراعی (%)	۱۳/۶	رس (%)
-	گچ (%)	۷/۴	سیلت (%)
۰/۲۴	کربن آلی (%)	۷/۶۲	اسیدینه
۲۳	کربنات کلسیم (%)	۰/۶	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)

پس از تهیه مایه تلقیح و همگن کردن آن، ۲۰ میلی‌لیتر با اسپری دستی به سطح نمونه‌ها افزوده شد. در بخش اول به منظور بررسی تاثیر رطوبت و حضور پلیمر سوپرجاذب بر تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی، تیمارهای رطوبتی ذکر شده به صورت وزنی و با توزین روزانه اعمال و در طول آزمایش حفظ شد. مقدار ۰/۳ گرم از پلیمرهای سوپرجاذب دانه‌ای به صورت خشک نیز به منظور بررسی تاثیر حضور این پلیمرها بر توسعه پوسته-های بیولوژیکی در عمق ۲ سانتی‌متری به نمونه‌ها افزوده شد و تیمارهای S0 و S1 به صورت تیمارهای فاقد و دارای پلیمر سوپرجاذب تعریف گردیدند. این مقدار با توجه به اطلاعات موجود در راهنمای این محصول و با توجه به کارهای مشابه انجام شده تعیین شد (سیلبر بوش و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۳؛ ظهوریان مهر و کبیری، ۲۰۰۸). سپس روی ذرات پلیمر با خاک پوشیده شد و تیمارهای سیانویاکتر به سطح خاک اعمال شدند. پلیمر سوپرجاذب به کار رفته در این بررسی با نام استاکوزورب<sup>۴</sup> از نماینده کمپانی اوونیک<sup>۵</sup> آلمان تهیه شد.

مشخصات فیزیکوشیمیایی آن شامل پایه شیمیایی آکریل آمید دارای پیوند عرضی، همبستار<sup>۶</sup> اکریلیک اسید پتاسیم، نمک آمونیوم، پ-هاش ۷-۷/۸ (در صورت افزوده شدن آب و تشکیل سوسپانسیون)، ظرفیت جذب آب ۴۰۰-۱۵۰ میلی‌لیتر در هر گرم

دارد، در این بررسی از محیط کشت BG11 برای فورمیدیوم و BG11<sub>0</sub> (فاقد نیتروژن) برای نوستوک استفاده گردید (دی فیلپیز و وینسنزینی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰).

ارلن‌های با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر حاوی نمونه در طول کلیه مراحل در اتاقک‌های رشد در معرض نور سفید و دمای ۲۵-۲۸ درجه سانتیگراد در شرایط بدون شیکر نگهداری شدند. نمونه‌ها در طول دوره رشد چندین مرتبه به صورت دستی تکان داده شدند تا هوادهی آنها تامین گردد. نمونه‌ها بعد از رشد در محیط کشت مایع روی پارچه‌های ابریشمی نازک با ابعاد ۲۰ در ۳۰ سانتی‌متر ریخته شد و در ظروف پتری استریل قرار گرفتند. پس از هوا خشک و آسیاب شدن، از پودر حاصل جهت تهیه مایه تلقیح استفاده گردید.

### اعمال تیمارها

ابتدا نمونه خاک مورد نظر در اتوکلاو به مدت ۲ ساعت استریل شد و پس از سرد شدن به میزان ۲۵۰ گرم در ظروف پلاستیکی با قطر داخلی ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۸ سانتی‌متر توزین گردید. جهت تهیه مایه تلقیح مقدار ۳ گرم در لیتر از پودر تهیه شده از هر یک از جنس‌ها و ۱/۵ گرم در لیتر از هر جنس به شکل ترکیبی با در نظر گرفتن مقادیر استفاده شده در مطالعات مشابه در این زمینه مورد استفاده قرار گرفت (ماکوابلا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹).

3- Silberbush *et al.*

4- Stockosorb

5- Evonic

6- Copolymer

1- DePhilippis and Vincenzini

2- Maqubela *et al.*

به منظور بررسی و تهیه عکس از مقاطع نازک، از میکروسکوپ سنگ شناسی الیمپوس مدل BH2 استفاده و تصاویر تهیه شده با کمک راهنمای تفسیر مقاطع نازک خاک و رسوب استوپز<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) تفسیر شدند.

### نتایج و بحث

#### تاثیر تیمار سیانوباکتر، پلیمر سوپرچاذب و

#### رطوبت بر ضخامت پوسته‌ها

تاثیر تیمار سیانوباکتر، پلیمر سوپرچاذب و رطوبت بر ضخامت پوسته‌ها در سطح یک درصد معنی دار شد. همچنین اثرات متقابل دو گانه و سه گانه بین تیمارهای فوق نیز در تمامی موارد در سطح یک درصد معنی دار شدند (جدول ۲). تیمار ترکیب دو جنس در حضور پلیمر سوپرچاذب و سطح رطوبتی ظرفیت زراعی با تشکیل پوسته‌هایی با ضخامت ۶/۸۳ میلیمتر در بالاترین سطح قرار گرفت (جدول ۳). جنس فورمیدیوم در شرایط مشابه با تشکیل پوسته‌هایی با ضخامت ۵/۹ میلیمتر سطح دوم را به خود اختصاص داد. در نمونه‌های فاقد پلیمر سوپرچاذب در سطح رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی که شرایط رطوبتی نامناسب تری در مقایسه با نمونه‌های دیگر حاکم بود، جنس فورمیدیوم پوسته‌هایی با ضخامت ۳/۳۶ میلیمتر تشکیل داد، که در مقایسه با دو تیمار دیگر سیانوباکتر اختلاف معنی داری داشت (شکل ۱). از بین دو جنس سیانوباکتر مورد مطالعه در این آزمایش جنس فورمیدیوم به دلیل توانایی بیشتر در تولید رشته‌های بلند و باریک در مقایسه با جنس نوستوک سطح بیشتری از رشته‌های تولید شده را در تماس با ذرات معدنی موجود در خاک قرار داد. این مسأله منجر به اتصال بیشتر ذرات معدنی خاک به یکدیگر با رشته‌های تولید شده توسط این جنس سیانوباکتر شد و پوسته‌هایی ضخیم‌تر در مقایسه با جنس نوستوک ایجاد گردید. در شرایط بهینه، سرعت تکثیر و رشد اندام‌های زاینده<sup>۳</sup> در جنس فورمیدیوم

می‌باشد و همچنین بیش از ۹۵ درصد آب قابل مصرف برای گیاه، ۷-۲ سال طول عمر موثر در خاک، فاقد سمیت برای گیاهان، موجودات زنده خاک و آبهای زیرزمینی،  $40 \pm 620$  گرم بر لیتر چگالی جرمی، نامحلول در آب و محلول‌های آلی است.

نمونه‌ها در طول آزمایش در این بخش به مدت ۶۰ روز نگهداری شدند تا تمام سطح نمونه با پوسته‌های ایجاد شده پوشیده شد. ضخامت پوسته‌ها، تغییر در کربن آلی خاک زیر پوسته‌ها و مقاومت به نفوذ در خاک حاوی پوسته‌های بیولوژیکی به عنوان شاخص‌هایی از درجه توسعه و تشکیل آنها اندازه‌گیری شد. در بخش دوم به منظور بررسی تاثیر زمان تماس بین سیانوباکتر و خاک بر ضخامت پوسته‌های تشکیل شده، روند تشکیل پوسته‌ها توسط سه تیمار سیانوباکتر در فواصل زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز مورد مطالعه قرار گرفت و ضخامت پوسته‌های تشکیل شده در این بخش نیز اندازه‌گیری شد.

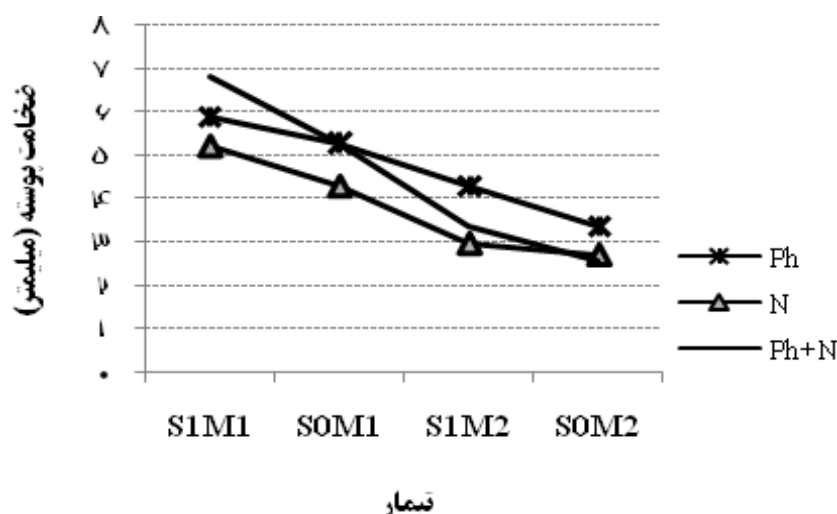
#### مطالعات میکرومورفولوژیکی

در این بخش به منظور تهیه نمونه پس از تشکیل پوسته‌ها، ظروف بریده شدند و کل محتویات آنها خارج و جهت هوا خشک شدن در معرض هوای آزاد قرار گرفتند. پوسته‌های تشکیل شده در سطح نیز به دلیل متراکم بودن و ممانعت از نفوذ رزین به داخل خاک جهت اشباع کردن نمونه، از سطح جمع‌آوری شده و خاک زیر پوسته‌ها برای تهیه نمونه جهت مطالعات میکرومورفولوژی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها پس از خشک شدن به وسیله هوا، با رزین و سپاتول (ایزوفتالیک) (فاکس و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴) و پس از سخت شدن، برش دادن و صیقلی کردن سطح آنها با پودرهای نرم کروندوم، نمونه‌ها روی اسلایدهای شیشه‌ای چسبانده شدند. مجدداً نمونه‌ها با پودرهای کروندوم زبر در ابتدا نازک شدند و سپس تا رسیدن به ضخامت ۳۰ میکرومتر با پودرهای نرم سائیده و صیقلی گردیدند.

2- Stoops  
3- Hormogonia

1- Fox et al.

فرپور و همکاران: مقاومت به نفوذ و میکرومورفولوژی ...



شکل ۱- اثرات متقابل تیمارهای سیانوباکتر، پلیمر سوپر جاذب و رطوبت بر ضخامت پوسته‌ها (Ph: جنس فورمیدیوم، N: جنس نوستوک، PH+N: ترکیب دو جنس)

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های ضخامت پوسته‌ها و مقاومت به نفوذ

مقاومت به نفوذ (مگاپاسکال)				ضخامت پوسته (میلی‌متر)								
SOM2	S1M2	SOM1	S1M1	T4	T3	T2	T1	SOM2	S1M2	SOM1	S1M1	
۰/۱۲ <sup>bc</sup>	۰/۱۵ <sup>bc</sup>	۰/۰۹ <sup>c</sup>	۰/۱۵ <sup>bc</sup>	۵/۹ <sup>b</sup>	۵/۰۳ <sup>c</sup>	۴/۰۳ <sup>d</sup>	۳/۰۳ <sup>e</sup>	۳/۳۶ <sup>e</sup>	۴/۳ <sup>d</sup>	۵/۳ <sup>c</sup>	۵/۹ <sup>b</sup>	Ph
۰/۱۷ <sup>b</sup>	۰/۱۷ <sup>b</sup>	۰/۱۸ <sup>b</sup>	۰/۱۲ <sup>bc</sup>	۵/۲۳ <sup>c</sup>	۴/۱ <sup>d</sup>	۳/۳۶ <sup>e</sup>	۲/۲۶ <sup>f</sup>	۲/۷ <sup>fg</sup>	۲/۹۶ <sup>f</sup>	۴/۳ <sup>d</sup>	۵/۲۳ <sup>c</sup>	N
۰/۱۴ <sup>bc</sup>	۰/۱۱ <sup>c</sup>	۰/۱۵ <sup>bc</sup>	۰/۲۷ <sup>a</sup>	۶/۸۳ <sup>a</sup>	۵/۲۳ <sup>c</sup>	۴/۲۳ <sup>d</sup>	۳/۲۶ <sup>e</sup>	۲/۵۶ <sup>g</sup>	۳/۳۶ <sup>e</sup>	۵/۲۶ <sup>c</sup>	۶/۸۳ <sup>a</sup>	Ph+N

میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند

جذب و ذخیره مقداری آب در ساختار ریشه‌ها و رشته‌های خود هستند، که همین مسأله موجب می‌شود تا این ریزجانداران به صورت یک لایه محافظ در اطراف ذرات معدنی منفرد در خاک‌های درشت بافت باقی‌مانند (الدريج و گرین، ۱۹۹۴). تشکیل پوسته‌هایی با ضخامت بیشتر در سطح رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی توسط جنس فورمیدیوم در مقایسه با سطح رطوبت ظرفیت زراعی نشان دهنده مقاومت بیشتر و رشد بیشتر این جنس در شرایط رطوبت کمتر است. ماکوابلا و همکاران (۲۰۰۹) نیز در بررسی‌های خود به مقاومت کمتر جنس نوستوک در شرایط رطوبت کمتر اشاره کردند. فعالیت‌های فیزیولوژیکی بسیاری از موجودات زنده موجود در خاک و از جمله سیانوباکترها تحت تاثیر

افزایش یافته و از حالت صفحه‌ای خارج می‌گردد و به صورت شبکه‌ای توسعه می‌یابد. به این ترتیب ذرات معدنی را در شبکه‌هایی از رشته‌های خود به دام می‌اندازد. فراهم شدن شرایط رطوبتی مناسب‌تر و تامین آب قابل دسترس بیشتر جهت رشد سیانوباکترها در سطح رطوبت ظرفیت زراعی را می‌توان دلیل اصلی اختلاف بین ضخامت پوسته‌های تشکیل شده در دو سطح رطوبتی دانست. رطوبت یکی از عوامل محیطی است که در رشد سیانوباکترها تاثیر زیادی دارد. این عامل در محیط‌های طبیعی به واسطه دمای زیاد و تاثیر باد اعمال می‌گردد. چنین شرایط نامناسب محیطی، سیانوباکترها را به شکل غیر فعال یا نیمه فعال در می‌آورد. حتی در شرایط فعالیت زیستی کم در سیانوباکترها این ریزجانداران قادر به

۵ درصد معنی دار شدند (جدول ۲). تیمار ترکیب دو جنس در حضور پلیمر سوپرجاذب و سطح رطوبت ظرفیت زراعی با مقاومت به نفوذ ۰/۲۷ مگاپاسکال در بالاترین سطح قرار گرفت. نمونه‌های حاوی جنس نوستوک نیز با اختلاف معنی داری نسبت به تیمار ترکیب دو جنس دومین سطح را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). در نمونه‌های حاوی جنس نوستوک بین تیمارهای رطوبتی و حضور یا عدم حضور پلیمر سوپرجاذب از نظر میزان مقاومت به نفوذ اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲). توانایی ریشه‌های سیانوباکترها در ایجاد خاکدانه و افزایش پایداری در سطح خاک ارتباط مستقیمی با تعداد، بیومس و ترکیبات آگروپلی ساکاریدی تولید شده توسط آنها دارد. بررسی تاثیر تلقیح سیانوباکترها بر مقاومت پوسته‌های بیولوژیکی در سطح خاک نشان داد که یکی از عوامل افزایش مقاومت سطحی در خاک‌های تلقیح شده با سیانوباکترها افزایش خاکدانه‌سازی در سطح در نتیجه حضور این ریزجانداران است (ولفارد و همکاران، ۱۹۹۹).

### بررسی تاثیر تیمار سیانوباکتر، پلیمر سوپرجاذب و رطوبت بر کربن آلی خاک

تاثیر تیمار سیانوباکتر، پلیمر سوپرجاذب و رطوبت بر ضخامت پوسته‌های ایجاد شده توسط سیانوباکترها در سطح یک درصد معنی دار شد. اثرات متقابل دو گانه سیانوباکتر با پلیمر سوپرجاذب و پلیمر با رطوبت در سطح یک درصد، و اثرات متقابل سیانوباکتر با رطوبت در سطح ۵ درصد معنی دار شد. اثرات متقابل سه گانه بین تیمارهای فوق معنی دار نشد (جدول ۲). تیمار ترکیب دو جنس در حضور پلیمر سوپرجاذب با ۱/۹۸ درصد کربن آلی، با اختلاف معنی داری نسبت به سایر تیمارها در بالاترین سطح قرار گرفت (جدول ۴). جنس فورمیدیوم و نوستوک نیز با اختلاف معنی داری نسبت به یکدیگر به ترتیب با ۱/۱۷ و ۱/۰۶ درصد کربن آلی به ترتیب در

رطوبت قابل دسترس است. چرخه‌های متابولیکی سیانوباکترها به صورت روزانه انجام می‌گردد و با تغییرات رطوبت قابل دسترس در سطح خاک این چرخه‌ها نیز تغییر می‌کنند (مازور و همکاران، ۱۹۹۶). اختلاف معنی دار ایجاد شده بین ضخامت پوسته‌ها در نمونه‌های دارای پلیمر سوپرجاذب و فاقد این پلیمر را می‌توان به توانایی آنها در جذب و نگهداری آب و در نتیجه ایجاد شرایط مناسب‌تر رطوبتی جهت رشد سیانوباکترها ارتباط داد. این ترکیبات تا چندین برابر وزن خود قادر به جذب آب بوده و در مکش‌های زیاد نیز آب را در خود حفظ می‌کنند و در اختیار ریشه گیاه و دیگر موجودات ساکن هیدروژل‌های پلیمری منجر به حفظ آب در خاک‌های خاک قرار می‌دهند (کبیری و امیدیان، ۲۰۰۲). کاربرد شنی، جابه‌جایی توزیع اندازه حفرات خاک و کاهش تبخیر فیزیکی آن می‌گردد. این عوامل به طور قابل ملاحظه‌ای میزان آب قابل دسترس را در خاک‌های شنی افزایش می‌دهند (ظهوریان مهر و کبیری، ۲۰۰۸). بررسی‌های انجام شده توسط سیلبربوش و همکاران (۱۹۹۳) نیز نشان داد که کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب در خاک‌های شنی موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در این خاک‌ها می‌گردد. حضور پلیمرهای سوپرجاذب باعث فراهم شدن شرایط رطوبتی مناسب‌تر در خاک‌های شنی (چن و همکاران، ۲۰۱۱) و ایجاد بستر مناسب‌تری جهت رشد سیانوباکترها می‌گردد و به دنبال آن امکان تشکیل این پوسته‌ها را در مناطق بیابانی با خاک‌های شنی فراهم می‌کند.

### تاثیر تیمار سیانوباکتر، پلیمر سوپرجاذب و رطوبت بر مقاومت به نفوذ پوسته‌ها

تاثیر تیمارهای سیانوباکتر و پلیمر سوپرجاذب بر مقاومت به نفوذ خاک حاوی پوسته‌های ایجاد شده توسط سیانوباکترها و اثرات متقابل سه گانه آنها در سطح

1- Mazor *et al.*

2- Kabiri and Omidian

3- Wolfaardt *et al.*

### تأثیر تیمار سیانوباکتر و زمان بر ضخامت پوسته‌ها در شرایط بهینه رشد

تأثیر تیمارهای سیانوباکتر و زمان بر ضخامت پوسته‌ها در سطح یک درصد و اثرات متقابل آنها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). تیمار ترکیب دو جنس در دوره ۶۰ روز با ضخامت  $6/83$  میلیمتر در بالاترین سطح قرار گرفت (جدول ۳). جنس فورمیدیوم و نوستوک در دوره ۶۰ روز با تشکیل پوسته‌هایی با ضخامت  $5/90$  و  $5/23$  میلیمتر به ترتیب با اختلاف معنی‌داری در رتبه دوم و سوم قرار گرفتند (شکل ۶). افزایش (آستین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴). زمان با افزایش در ضخامت پوسته‌های بیولوژیکی در هر سه تیمار سیانوباکتر همراه بود. این افزایش در ترکیب دو جنس در مقایسه با جنس‌های نوستوک و فورمیدیوم به تنهایی، به طور چشمگیری بیشتر بود. بررسی تأثیر زمان روی ضخامت پوسته‌های بیولوژیکی نیز نشان داد که افزایش زمان موجب افزایش ضخامت و درصد پوشش پوسته‌های بیولوژیکی می‌گردد (البرت و همکاران، ۲۰۰۹).

### مطالعات میکرومورفولوژیکی

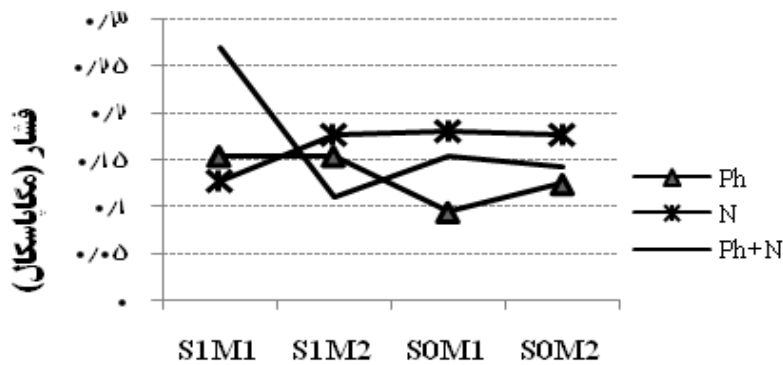
خلاصه‌ای از خصوصیات میکرومورفولوژیکی نمونه‌های تلقیح شده با سیانوباکتر در جدول ۶ آورده شده است. در کلیه مقاطع تهیه شده از نمونه‌های تلقیح شده با تیمارهای سیانوباکتر بی‌فابریک اسپکلد<sup>۳</sup> مشاهده شد. طبق نظر کهل و همکاران<sup>۴</sup>، بی‌فابریک به عنوان شاخصی از درجه توسعه یافتگی خاک‌های سطحی و مدفون مورد استفاده قرار می‌گیرد. این خصوصیت با افزایش درجه توسعه یافتگی در خاک، توالی کریستالیک<sup>۵</sup>، اسپکلد<sup>۶</sup> و استریتد<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد. نمونه

سطوح دوم و سوم قرار گرفتند (شکل ۳). بررسی تأثیر تلقیح سیانوباکتر جنس نوستوک نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های تلقیح شده و تلقیح نشده از نظر میزان کربن آلی وجود دارد. بررسی‌ها نیز نشان داده است که کاربرد جنس نوستوک به طور معنی‌داری باعث افزایش در میزان کربن آلی خاک‌های تلقیح شده در مقایسه با خاک شاهد می‌گردد (ماکوبلا و همکاران، ۲۰۰۹). تیمار ترکیب دو جنس در سطح رطوبت ظرفیت زراعی با  $1/66$  درصد کربن آلی در بالاترین سطح قرار گرفت و در سطح رطوبت ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با  $1/34$  درصد کربن آلی سطح دوم را به خود اختصاص داد (شکل ۴). مطالعه تأثیر تلقیح سیانوباکترها بر میزان کربن آلی خاک نشان داد که ساختمان ضعیف در خاک‌های بیابانی اغلب به دلیل پایین بودن میزان کربن آلی در آنهاست و کاربرد سیانوباکترها در این قبیل خاک‌ها نقش مهمی در بالا بردن آن دارد (نیشا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). نمونه‌های حاوی پلیمر سوپرجاذب و سطح رطوبتی ظرفیت زراعی با  $1/61$  درصد کربن آلی، با اختلاف معنی‌داری نسبت به نمونه‌های دیگر در سطح اول قرار گرفتند (جدول ۳). این مسأله نشان دهنده این واقعیت است که حضور پلیمرهای سوپرجاذب و سطح رطوبت FC که شرایط رطوبتی مناسب‌تری را جهت رشد سیانوباکترها فراهم می‌کند موجب افزایش بیشتر در میزان کربن آلی در مقایسه با سایر نمونه‌ها می‌گردد (شکل ۵). بررسی‌های انجام شده روی تغییر شرایط رطوبتی محیط نشان داد با تغییر در میزان رطوبت، میزان قابل دسترس آن برای رشد سیانوباکترها کاهش یافته و این موضوع موجب کاهش فعالیت آنها و تولید کمتر ترکیبات پلی‌ساکاریدی توسط سیانوباکترها می‌گردد.

2- Austin *et al.*  
3- Speckled b-fabric  
4- Kehl *et al.*  
5- Crystallitic b-fabric  
6- Striated b-fabric

1- Nisha *et al.*





شمار

شکل ۲- اثرات متقابل تیمار سیانوباکتری، پلیمر سوپر جاذب و رطوبت بر مقاومت به نفوذ خاک (Ph: جنس فورمیدیوم، N: جنس نوستوک، Ph+N: ترکیب دو جنس)

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارها بر پارامترهای اندازه گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی			مقاومت به نفوذ
	میانگین مربعات	کربن آلی	ضخامت پوسته‌ها	
سیانوباکتر	۲	۱/۰۶۰**	۲/۷۷۱**	۰/۰۰۵*
سوپر جاذب	۱	۲/۱۲۲**	۴۶/۰۱۴**	۰/۰۰۴*
سیانوباکتر در سوپر جاذب	۲	۰/۵۰۷**	۱/۵۴۲**	۰/۰۱۳**
رطوبت	۱	۰/۶۴۵**	۶/۵۰۲**	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
سیانوباکتر در رطوبت	۲	۰/۰۰۸*	۰/۲۷۱**	۰/۰۰۹**
سوپر جاذب در رطوبت	۱	۰/۱۷۱**	۰/۳۰۲**	۰/۰۰۴*
سیانوباکتر در سوپر جاذب در رطوبت	۲	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۷۸**	۰/۰۰۳*
خطا	۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۲۷	۰/۰۰۱*
ضریب تغییرات	-	۳/۸۶%	۳/۷۸%	۱۹/۸۴%

ns: عدم تفاوت معنی دار \* : تفاوت معنی دار در سطح ۰.۰۵ % \*\* : تفاوت معنی دار در سطح ۰.۰۱ %

جفوریک<sup>۴</sup> الگوی حفرات از سیمپل پکینگ<sup>۵</sup> به ووگ<sup>۵</sup> و ریز ساختمان از تک دانه به ووگی<sup>۶</sup> به ترتیب در دوره ۱۵ روز تا ۶۰ روز تبدیل شد (شکل ۸). این مسئله را می توان به تولید کمتر ترکیبات پلی ساکاریدی توسط این جنس و نیز ماهیت متفاوت این ترکیبات نسبت داد. تعدادی از محققان نیز در مطالعات خود این اختلاف را در جنس فورمیدیوم در مقایسه با دیگر جنس های سیانوباکتر

خاک شاهد به دلیل شنی بودن ریز ساختمان تک دانه<sup>۱</sup> و الگوی حفرات سیمپل پکینگ<sup>۲</sup> را نشان داد (شکل ۷). مقایسه چهار مقطع حاصل از نمونه های تلقیح شده با جنس فورمیدیوم نشان داد که این جنس تغییرات اندکی در نمونه های تلقیح شده در مقایسه با نمونه شاهد ایجاد کرد. الگوی پراکنش C/F از مونیک درشت<sup>۳</sup> به

4- Gefuric C/F  
5- Vugh voids  
6- Vughy microstructure

1- Single grain microstructure  
2- Simple packing voids  
3- Coarse monic

در بررسی پوسته‌های بیولوژیکی مشخص شد که ترکیبات پلی‌ساکاریدی تولید شده توسط سیانوباکترها مسؤول اتصال ذرات و خاکدانه‌سازی هستند. ریشه‌ها و رشته‌های تولید شده توسط این موجودات ذرات شن را به صورت مکانیکی به یکدیگر متصل کرده و آنها را به مواد زیرین متصل می‌کند (دویندر و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۹). ورونین<sup>۱۲</sup> (۱۹۸۴) بیان کرد تخلخل خاک مربوط به ترتیب قرار گیری، اندازه، شکل و جهت یابی اجزای معدنی و نیز خاکدانه‌ها در خاک است.

گزارش کردند (دی فیلیپ و وینسنزین<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳؛ هلم و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲). در نمونه‌های تلقیح شده با جنس نوستروک روند تغییرات متفاوتی نسبت به جنس فورمیدیوم دیده شد. در این نمونه‌ها الگوی پراکنش C/F از جفوریک<sup>۳</sup> به دابل اسپیس پورفیریک<sup>۳</sup>، الگوی حفرات از سیمپل پکینگ<sup>۴</sup> به ووگ<sup>۵</sup> و ریز ساختمان از ووگی به دانه‌ای<sup>۴</sup> در طول ۱۵ تا ۶۰ روز تبدیل شد (شکل ۹). در واقع گذشت زمان و فعالیت بیشتر سیانوباکترها موجب تولید ریشه‌ها و ترکیبات آلی بیشتر در بین ذرات درشت و منفرد گردید و اندازه خلل و فرج درشت کاهش یافت (هیو و همکاران، ۲۰۰۲). در نمونه‌های تلقیح شده با تیمار ترکیب دو جنس پراکنش C/F از جفوریک<sup>۳</sup> به این پورفیریک<sup>۵</sup>، حفرات از سیمپل پکینگ<sup>۶</sup> به ووگ<sup>۷</sup> و ریز ساختمان از بریدج گرین<sup>۸</sup> به کمپلکس<sup>۹</sup> به ترتیب در دوره‌های ۱۵ روز تا ۶۰ روز تبدیل شدند (شکل ۱۰). در خاک‌های مدفون شده در شمال غرب آسیای مرکزی که دارای پوسته بودند نیز وجود حفرات وزیکولی و آرایشی، ریز ساختمان صفحه‌ای و C/F پورفیریک گزارش شد (لییدوا و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۰).

مقایسه مقاطع نازک حاصل از نمونه‌های تیمار شده با سه تیمار سیانوباکتر نشان داد که احتمال کاهش در اندازه خلل و فرج درشت بین ذرات پایه‌ای شن وجود داشته است. این کاهش در نمونه‌هایی با تیمار ترکیب دو جنس مشهودتر بود. مقایسه شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ نشان دهنده الگوی توزیع خلل و فرج جدید در نمونه‌های تلقیح شده در مقایسه با خاک شاهد (شکل ۷) است. بررسی روند تغییرات این الگو در جدول ۶ نیز قابل مشاهده می‌باشد.

1- De Philippis and Vincenzini

2- Helm *et al.*

3- Double spaced porphyric C/F

4- Granular microstructure

۵- Open porphyric C/F

۶- Simple packing voids

۷- Vugh voids

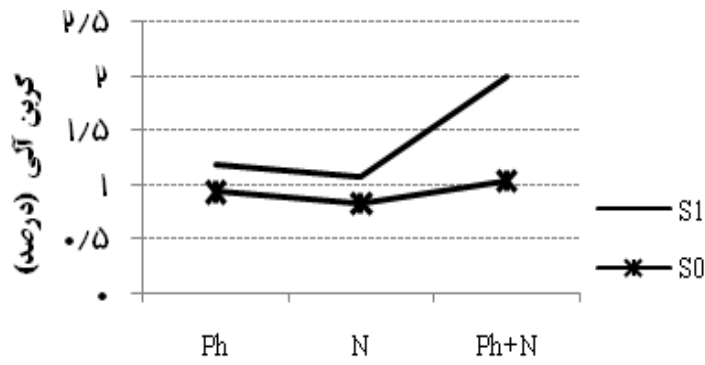
۸- Bridge grain

۹- Complex

۱۰- Lebedeva *et al.*

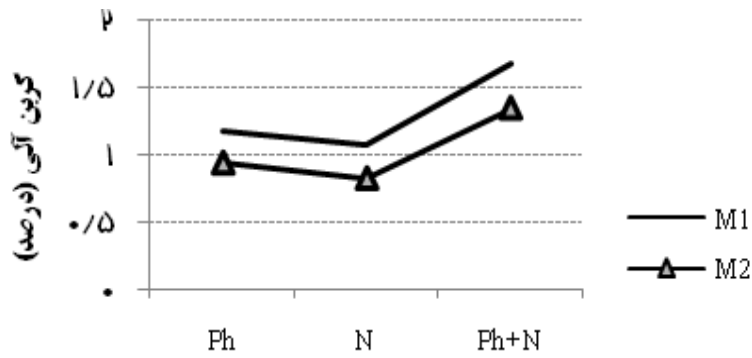
11- Dewinder *et al.*

۱۲- Voronin



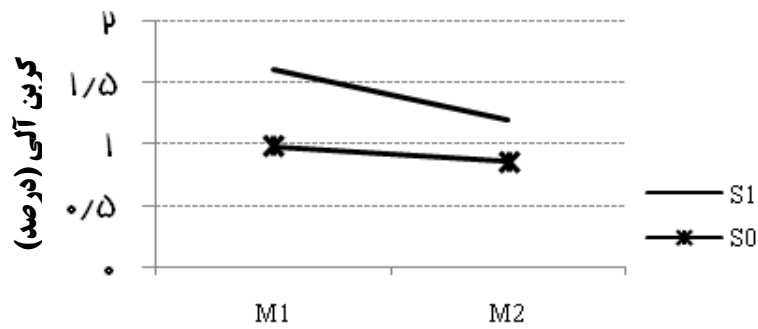
تیمار

شکل ۳- اثرات متقابل تیمار سیانوباکتری و پلیمر سوپر جاذب بر کربن آلی خاک (Ph: جنس فورمیدیوم، N: جنس نوستوک، Ph+N: ترکیب دو جنس)



تیمار

شکل ۴- اثرات متقابل تیمار سیانوباکتری و رطوبت بر کربن آلی خاک (Ph: جنس فورمیدیوم، N: جنس نوستوک، PH+N: ترکیب دو جنس)



تیمار

شکل ۵- اثرات متقابل پلیمر سوپر جاذب و رطوبت بر میزان کربن آلی در خاک (Ph: جنس فورمیدیوم، N: جنس نوستوک، Ph+N: ترکیب دو جنس)

فرپور و همکاران: مقاومت به نفوذ و میکرومورفولوژی ...

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های کربن آلی

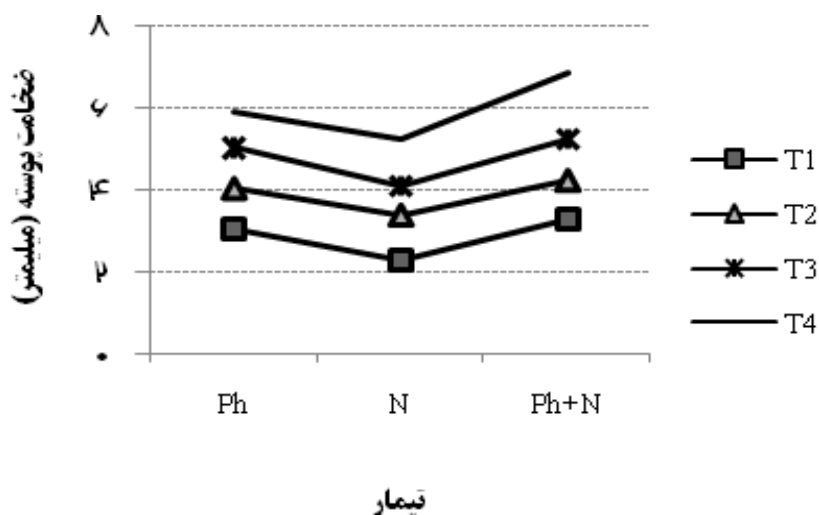
کربن آلی (درصد)		کربن آلی (درصد)					
S1	S0	M2	M1	S1	S0		
۱/۶۱ <sup>a</sup>	۰/۹۸ <sup>c</sup>	M1	۰/۹۳ <sup>e</sup>	۱/۱۶ <sup>c</sup>	۱/۱۷ <sup>b</sup>	۰/۹۲ <sup>d</sup>	Ph
۱/۲ <sup>b</sup>	۰/۸۵ <sup>d</sup>	M2	۰/۸۲ <sup>f</sup>	۱/۰۶ <sup>c</sup>	۱/۰۶ <sup>c</sup>	۱/۸۲ <sup>e</sup>	N
			۱/۳۴ <sup>b</sup>	۱/۶۶ <sup>ab</sup>	۱/۹۸ <sup>a</sup>	۱/۰۲ <sup>c</sup>	Ph+N

میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمار سیانوباکتری و زمان بر ضخامت پوسته‌ها

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
سیانوباکتری	۲	۴/۱۰۲ <sup>**</sup>
زمان	۳	۱۵/۹۹۶ <sup>**</sup>
سیانوباکتری در زمان	۶	۰/۱۲۴ <sup>*</sup>
خطا	۲۴	۰/۰۳۹
ضریب تغییرات	-	%۴/۴۹

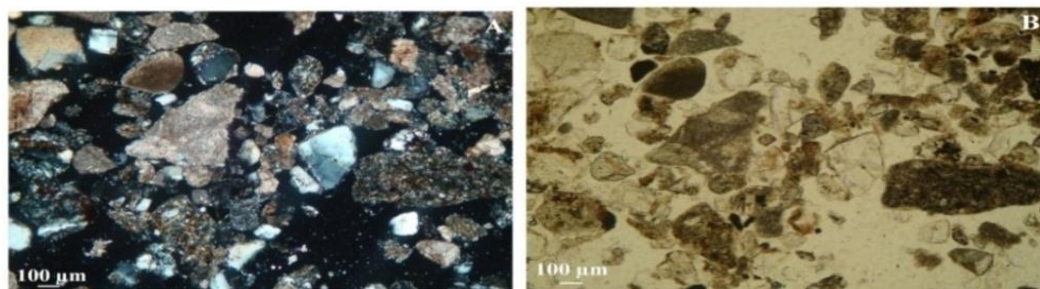
Ns: عدم تفاوت معنی دار \* : تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ \*\* : تفاوت معنی دار در سطح ۱٪



شکل ۶- اثرات متقابل تیمار سیانوباکتری و زمان بر ضخامت پوسته‌ها (Ph: جنس فورمیدیوم، N: جنس نوستوک، Ph+N: ترکیب دو جنس)

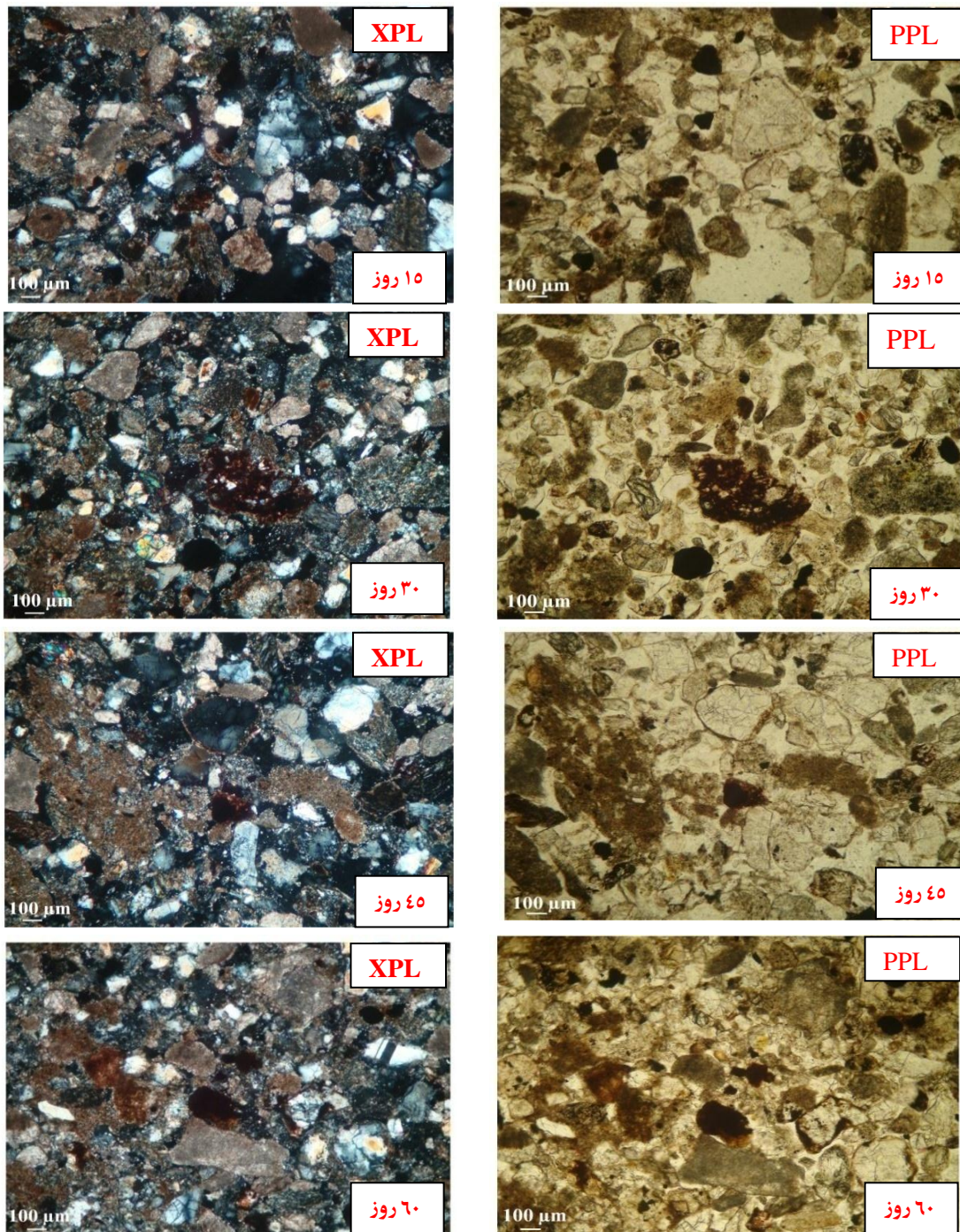
جدول ۶- برخی خصوصیات میکرومورفولوژیکی نمونه‌های تلقیح شده با سیانوباکتر

نمونه	نسبت C/F	حفرات	ساختمان میکروسکوپی
شاهد	مونیک	سیمپل پکینگ	تک دانه
جنس فورمیدیوم - ۱۵ روز	مونیک درشت	سیمپل پکینگ	تک دانه
جنس فورمیدیوم - ۳۰ روز	جفوریک	سیمپل پکینگ	تک دانه
جنس فورمیدیوم - ۴۵ روز	جفوریک	وگ	ووگی
جنس فورمیدیوم - ۶۰ روز	جفوریک	وگ	ووگی
جنس نوستوک - ۱۵ روز	جفوریک	سیمپل پکینگ	ووگی
جنس نوستوک - ۳۰ روز	جفوریک	کامپوند پکینگ	ووگی
جنس نوستوک - ۴۵ روز	سینگل اسپیسد پورفیریک	پلین	صفحه ای
جنس نوستوک - ۶۰ روز	دابل اسپیسد پورفیریک	وگ	دانه ای
ترکیب دو جنس - ۱۵ روز	جفوریک	سیمپل پکینگ	بریدج گرین
ترکیب دو جنس - ۳۰ روز	ایکوال انولیک	وزیکل	ووگی
ترکیب دو جنس - ۴۵ روز	دابل اسپیسد پورفیریک	وگ	کرامب
ترکیب دو جنس - ۶۰ روز	این پورفیریک	وگ	کمپلکس

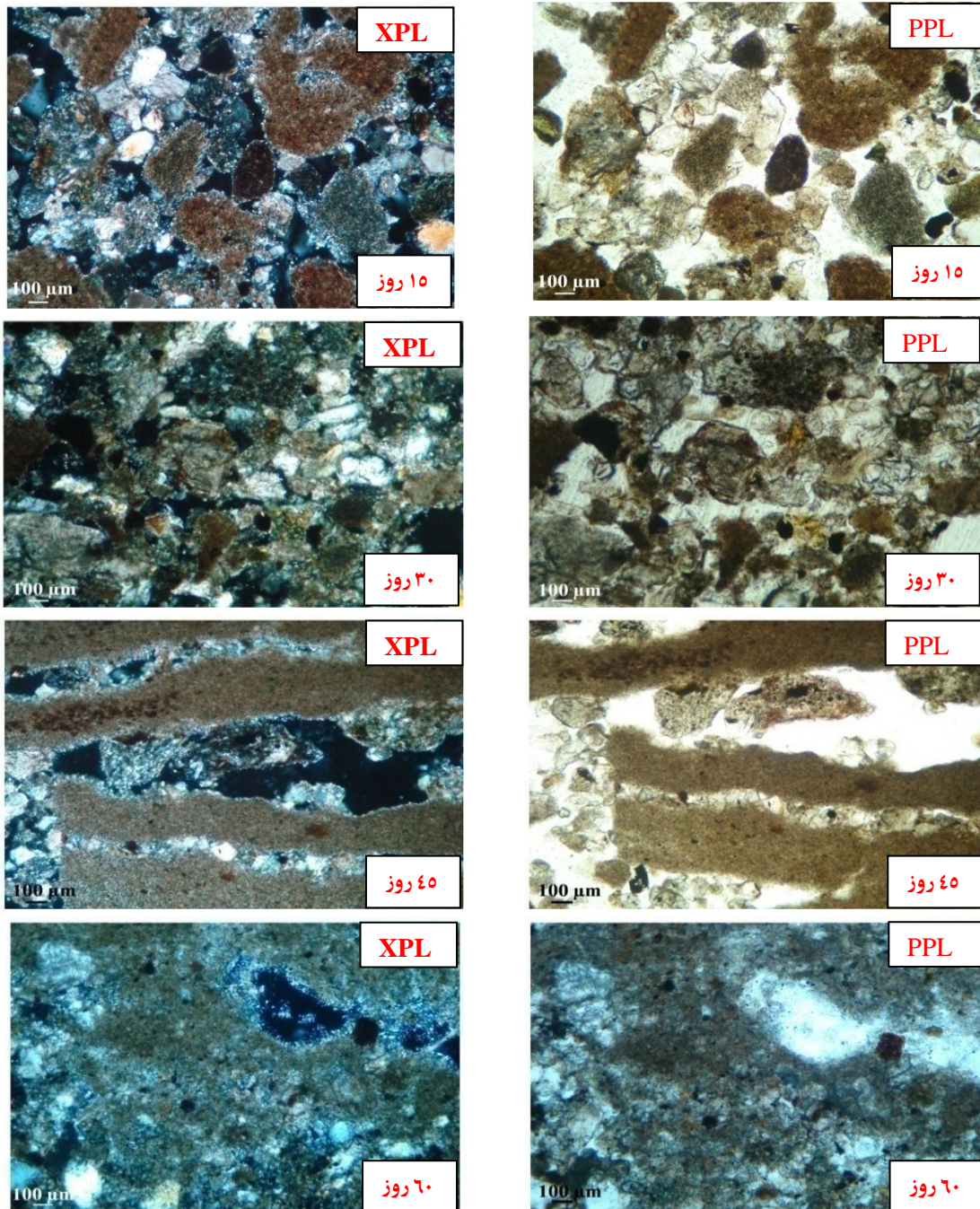


شکل ۷- مقطع نازک نمونه شاهد، A: نور پلاریزه متقاطع (XPL) و B: صفحه‌ای (PPL)

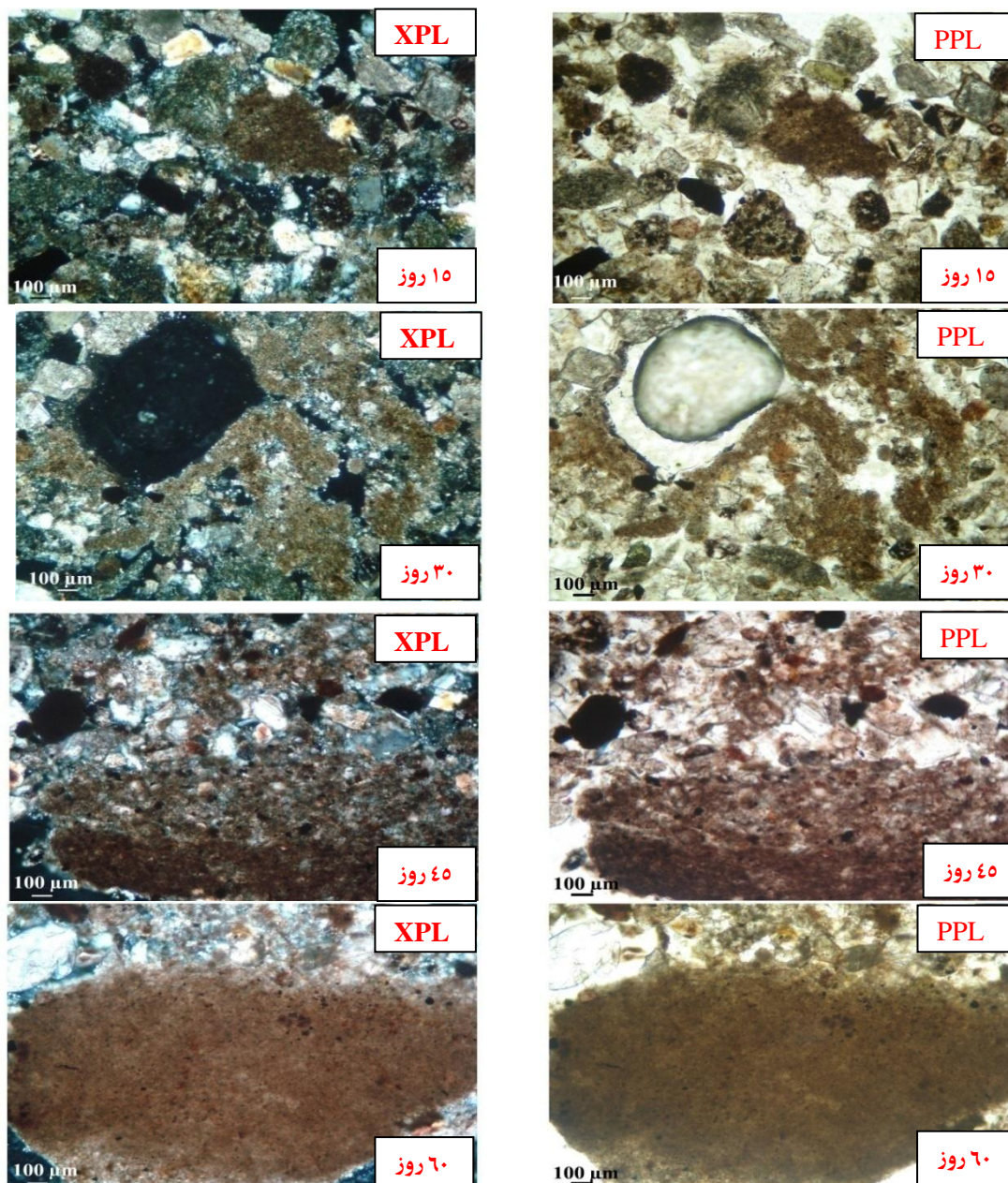
فرپور و همکاران: مقاومت به نفوذ و میکرومورفولوژی ...



شکل ۸- مقاطع نازک نمونه‌های تلقیح شده با جنس فورمیدیوم در زمان‌های مختلف با استفاده از نور پلاریزه متقاطع (XPL) و صفحه‌ای (PPL)



شکل ۹- مقاطع نازک نمونه‌های تلقیح شده با جنس نوستوک، در زمان‌های مختلف با استفاده از نور پلاریزه متقاطع (XPL) و صفحه‌ای (PPL)



شکل ۱۰- مقاطع نازک نمونه‌های تلقیح شده با ترکیب دو جنس در زمان‌های مختلف با استفاده از نور پلاریزه متقاطع (XPL) و صفحه‌ای (PPL)

سیانوباکترها به حساب می‌آید، حضور رطوبت کافی و قابل دسترس برای رشد آنها الزامی است. پلیمرهای سوپر جاذب به دلیل توانایی جذب و نگهداری آب، شرایط رطوبتی مناسب‌تری را جهت رشد سیانوباکترها فراهم کردند. زمان نیز روندی افزایشی در ضخامت پوسته‌های ایجاد شده نشان داد. این مسأله گویای این واقعیت است که با افزایش زمان و رشد بیشتر، سیانوباکترها به نحو بهتری در محیط استقرار یافته

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد سیانوباکترهای جنس نوستوک و فورمیدیوم هر دو توانایی تشکیل پوسته‌های بیولوژیکی را در سطح خاک شنی دارا می‌باشند. تیمار ترکیب دو جنس به دلیل تشکیل پوسته‌هایی با ضخامت بیشتر به عنوان تیمار برتر سیانوباکتر در این بررسی معرفی شد. از آنجایی که رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده در رشد



و بارندگی که رطوبت لازم جهت تشکیل این پوسته‌ها را فراهم می‌آورد، لایه‌هایی نازک از این پوسته‌ها در مقاطع زمانی کوتاه تشکیل شده و با نامساعد شدن شرایط به حالت غیر فعال تبدیل می‌شوند؛ لذا ضخامت تجمعی این پوسته‌ها در طی سالی‌های متوالی ضخامت نهایی این پوسته‌ها را تشکیل می‌دهد.

و توانایی تشکیل پوسته‌هایی با ضخامت بیشتر را دارا می‌باشند. مطالعات میکرومورفولوژیکی تغییر در توزیع خلل و فرج نمونه‌های تلقیح شده در مقایسه با شاهد را نشان داد. این تغییر شکل ظاهری خلل و فرج بیشتر در جهت کاهش اندازه آنها بود. از آنجایی که در محیط‌های طبیعی با فراهم شدن شرایط مساعد رشد پوسته‌های بیولوژیکی از قبیل حرارت

## منابع

۱. بای بوردی، م. ۱۳۸۵. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم. ۶۷۱ ص.
2. Austin, A.T., Yahdjian, L., Stark, J.M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., Ravetta, D.A., and Schaeffer, S.M. 2004. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, 141: 221-235.
3. Baftehchi, L., Samavat, S., Parsa, M., and Soltani, N. 2007. Study the function of blue-green algae in urban garbage compost of Iran. *Asian Journal of Plant Science*, 6: 187-189.
4. Chen, L., Tianli, L., and Li, P. 2011. Flocculating activities of polysaccharides released from the marine mat forming cyanobacteria *Microcoleus* and *Lyngbya*. *Aquatic Biology*, 11: 243-248.
5. Chen, X., Jia, S., Yue, S., Wang, N., Li, C.T., and Wang, Y. 2009. Effect of solid bed-materials on vegetative cells of *Nostoc flagelliforme*. *Journal of Applied Phycology*, 57:145-164.
6. De-Philippis, R., and Vincenzini, M. 2003. Outermost polysaccharides investments of cyanobacteria: nature, significance and possible applications. *Recent Research Developments in Microbiology*, 7: 13-22.
7. Dewinder, B., Staats, N., Stal, L.J., and Paterson, D.M. 1999. Carbohydrate secretion by phototrophic communities in tidal sediments. *Journal of Sea Research*, 42: 131-146.
8. Elbert, W., Weber, B., Budel, B., Andreael, M.O., and Poschll, U. 2009. Micro biotic crusts on soil, rock and plants: neglected major players in the global cycles of carbon and nitrogen. *Biogeoscience Discussion*, 6: 698-701.
9. Eldridge, D.J., and Greene, R.S.B. 1994. Assessment of sediment yield by splash erosion on a semi-arid soil with varying cryptogam cover. *Journal of Arid Environments*, 26: 221-232.
10. Fox, D.M., Bryan, R.B., and Price, A.G. 2004. The role of soil surface crusting in desertification and strategies to reduce crusting. *Environmental Monitoring and Assessment*, 99: 149-159.
11. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science

Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp: 383-411.

12. Helm, R. F., Huang, Z., Edwards, D., Leeson, H., Peery, W., and Potts, M. 2000. Structural characterization of the released polysaccharide of desiccation-tolerant *Nostoc commune* DRH. *Journal of Bacteriology*, 182: 974–982.

13. Hu, C., Liu, Y., Song, Y., and Zhang, D. 2002a. Effect of desert soil algae on the stabilization of fine sands. *Journal of Applied Phycology*, 14: 281–292.

14. Hu, C. X., Liu, Y. D., and Zhang, D. L. 2002b. Cementing mechanism of algal crusts from desert area. *Chinese Science Bulletin*, 47(16): 1361-1368.

15. Kabiri, K., and Omidian, H. 2002. Synthesis of fast swells superabsorbent Hydrogel. Effect of Initiator concentration on porosity and absorption rate. *Journal of Polymer Materials*, 17: 51-77.

16. Kehl, M., Frechen, M., and Skowronek, A. 2005. Paleosols derived from loess and loess-like sediments in the Basin of Persepolis, Southern Iran. *Quaternary International Journal*, 140 (141): 135-149.

17. Lebedeva, M., Gerasimova, M., and Golovanov, D. 2010. Systematization of the topsoil fabrics in soils of the arid lands in northwest of central Asia. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia. pp: 5-9.

18. Malam Issa, O., Le Bissonnais, Y., Defarge, C., and Trichet, J. 2001. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. *Geoderma*, 101: 15–30.

19. Malam Issa, O., Trichet, J., Defarge, C., Couté, A., and Valentin, C. 1999. Morphology and microstructure of micro biotic soil crusts on a tiger bush sequence (Niger, Sahel), *Catena*, 37: 175-196.

20. Maqubela, M.P., Mnkeni, P.N. S., Malam Issa, O., Pardo, M.T., and D'Acqui, L.P. 2009. *Nostoc* cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. *Plant and Soil*, 315: 79–92.

21. Mazor, G., Kidron, G.J., Vonshak, A., and Abeliovich, A. 1996. The role of cyanobacterial exopolysaccharid in structuring desert microbial crusts. *Microbiology and Ecology*, 21: 121-130.

22. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In Crane, E., and Page, A.L., (ed): *Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties*, second Edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp: 181-197.

23. Neuman, C., Maxwell, C.D., and Boulton, J.W. 1996. Wind transport of sand surfaces crusted with photoautotrophic microorganisms. *Catena*, 27: 229-247.

24. Nisha, R., Kaushik, A., and Kaushik, C.P. 2007. Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. *Geoderma*, 138: 49–56.

25. Silberbush, M., Adar, E., Malach, Y., and De Malach, Y. 1993. Use of a hydrophilic polymer improves water storage and availability to crops grown in sand dunes. *Agricultural Water Management*, 23(1): 122-133.

26. Stoops, G. 2003. Guideline for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. 183 p.
27. Voronin, A.D. 1984. Structural and Functional Hydrophysics of Soils. Moscow University Press, Russia. pp: 318.
28. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-37.
29. Wolfaardt, G.M., Lawrence, J.R., and Korber, D.R. 1999. Function of EPS. In Wingender, J., Neu, T.R., and Flemming, H.C. (Eds.), Microbial Extracellular Polymeric Substances: Characterization, Structure and Function. Springer Verlag, Berlin. pp: 171-200.
30. Zhao, H.L., Guo, Y.R., Zhou, R.L., Drake, S. 2010. Biological soil crust and surface soil properties in different vegetation types of Horqin Sand Land, China. Catena, 82: 70-76.
31. Zohuriaan Mehr, M.J, and Kabiri, K. 2008. Superabsorbent Polymer Materials: A Review. Iranian Polymer Journal, 17 (6): 451-477.