

تأثیر پوسته‌های زیستی در افزایش اسیدهای آلی خاک و آهن قابل دسترس گیاه در خاک‌های بیابان سجزی

لیلا کاشی زنوزی^۱، سیدحسن کابلی^{۲*}، کاظم خاوازی^۳، محمد خسروشاهی^۴، محمد سهرابی^۵، فرزاد حیدری مورچه خورتی^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱

چکیده

پوسته‌های زیستی خاک عملکرد ویژه‌ای در چرخه جهانی کربن و افزایش ماده آلی خاک به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارند. کربن آلی خاک که آمیخته‌ای از بخش‌های گوناگون از جمله اسیدهای آلی می‌باشد، از شناسه‌های مهم برای بررسی کیفیت خاک است. اسیدهای آلی، قابلیت انحلال عناصر غذایی کم محلول از جمله آهن خاک را افزایش می‌دهند. در این پژوهش، اثر پوسته‌های زیستی در افزایش اسیدهای آلی خاک و مشارکت آن‌ها در واجذب آهن بررسی شده است. بدین منظور پس از تهیه نقشه پراکنش پوسته‌های زیستی در دشت سجزی از خاک زیر پوشش پوسته‌های زیستی با غالبیت گلسنگ نمونه‌برداری شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک شامل اسیدیته، هدایت الکتریکی، مقادیر ماده آلی، آهن و بافت خاک اندازه‌گیری شدند. ضریب همبستگی پیرسون بین درصد ماده آلی و پوشش پوسته‌های زیستی 0.653 محاسبه شد که نشان‌دهنده اهمیت پوسته‌های زیستی در افزایش کربن آلی خاک بود. همچنین نتایج آزمون *t-Student* نشان داد که مقادیر آهن قابل جذب در خاک زیر پوشش پوسته‌های زیستی و بدون پوسته‌های زیستی اختلاف معنی‌دار دارند. با رسته‌بندی پارامترهای به روش PCA معلوم شد که در دشت سجزی با اطمینان $0.67/51$ ، شوری خاک و در سطح $0.21/73$ ، بافت خاک و آهن جزء مهم‌ترین عوامل محدودکننده استقرار پوسته‌های زیستی هستند. برای تشخیص وجود عامل اسید آلی در خاک آزمون مادون قرمز فوریه انجام یافت و طیف‌های FTIR برای نمونه‌های خاک به دست آمد. اسید سیتریک و اسید اگزالیک به ترتیب در طول موج‌های 1400 تا 1600 (cm^{-1}) و 1700 تا 1800 (cm^{-1}) قرائت شدند. بنابراین پوسته‌های زیستی از طریق افزایش اسیدهای آلی که بخشی از کل ماده آلی خاک را تشکیل می‌دهند، در افزایش آهن قابل جذب خاک نقش مؤثری دارند.

کلیدواژه‌ها: اسید اگزالیک، اسید سیتریک، طیف‌سنجی مادون قرمز فوریه، PCA.

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

۲. استادیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، نویسنده مسئول؛ hkaboli@semnan.ac.ir

۳. استاد، بخش تحقیقات بیولوژی خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۴. دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۵. استادیار، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

۶. کارشناس ارشد پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشگاه سمنان است.

مقدمه

کربن آلی خاک به دلیل اثرات تعیین کننده بر ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مانند قدرت نگهداری آب و در دسترس قرار دادن آن، چرخه عناصر غذایی، رشد ریشه گیاه، شدت جریان گازها و حفاظت خاک نقش تعیین کننده ای بر فراهمی و حرکت فلزات در خاک، (کومپینی^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). پایداری، کیفیت خاک، تولید محصول و کیفیت محیط زیست دارد (والن و چانگ^۲، ۲۰۰۲) از طرفی اسیدهای آلی تراوش شده از ریشه گیاهان دارای پتانسیل بالایی برای افزایش تحرک فلزات در پروفیل خاک به واسطه کاهش اسیدیته و تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین است (رنلا^۳، ۲۰۰۴). اندازه ذرات و مساحت سطوح خاکدانه، دو عامل مهم در پروسه جذب سطحی هستند و می توانند زیست فراهمی فلزات را در خاک تحت تأثیر قرار دهند. ذرات کوچک با سطح زیاد، جذب سطحی بیشتری در مقایسه با ذرات درشت دارند (مک گات و لان^۴، ۱۹۸۹). همچنین وجود یا عدم وجود کربنات کلسیم نیز جذب فلزات و نگهداری آن در خاک تأثیر بسزایی دارد (نادیو^۵ و همکاران، ۲۰۰۳). در این میان، واکنش اسیدهای آلی با آهن در خاک علاوه بر توانایی کمپلکس سازی اسیدهای آلی، به واکنش جذب و واجذب فاز جامد، سرعت انتشار، تجزیه میکروبی و هیدرولیز اسیدهای آلی وابسته است. بنابراین واکنش اسیدهای آلی به نوع خاک بستگی دارد (چن^۶ و همکاران، ۲۰۰۲). به طور کلی کاهش ماده آلی خاک تأثیر زیادی در کاهش توان باروری خاک دارد (گرگوریک^۷ و همکاران، ۱۹۹۷) و اسیدهای آلی نقش اساسی در انحلال آهن و سایر فلزات کم مصرف برای رشد گیاه ایفا می کنند (رنگل و رومهلد^۸، ۲۰۰۰). اسیدهای آلی مانند سترات (citrate)، اگزالات (oxalate) و مالات (malate) در بسیاری از فرایندهای ریشه شرکت می کنند که این فرایندها شامل استخراج عناصر غذایی، سمیت زدایی فلزی، هوازگی مینرالی و جذب پاتوژن هاست. البته تا زمانی که

مکانیسم رهاسازی اسیدهای آلی و سرنوشت این ترکیبات در خاک کاملاً درک نشود، ارزیابی کامل نقش اسیدهای آلی در فرایندهای یادشده مقدور نخواهد بود (خادمی و همکاران، ۲۰۰۸). آهن یکی از عناصر حیاتی و ضروری برای تمام جانداران محسوب می شود و در بسیاری از فرایندهای متابولیک نظیر فتوسنتز و تنفس نقش اساسی دارد (مارشنر^۹، ۱۹۹۵). عنصر آهن در بافت خاک به وفور یافت می شود ولی به دلیل حلالیت کم آن در شرایط قلیایی، گیاه قادر به جذب این عنصر از خاک نیست (ولش^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۱) لذا کمبود آهن سبب ایجاد اختلالاتی در سیستم فتوسنتزی و کاهش مقدار کلروفیل می گردد (برتامینی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۱؛ پستانا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۱). کمبود آهن همچنین باعث کاهش و اختلال در فتوسنتز شده که ارتباط مستقیم با کاهش انتقال الکترون دارد (ورت^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۲). از طرفی، آهن از مهم ترین ترکیبات آزیم های مرتبط با انتقال الکترون مثل سیتوکروم و مراکز سولفور آهن است (تایز و زیگر^{۱۴}، ۱۹۹۸).

پوسته های بیولوژیکی خاک نقش بسزایی در تولید کربن آلی از طریق تثبیت کربن (بایمر و کلپاتک^{۱۵}، ۱۹۹۱) و تجزیه مواد آلی (دنین و گانور^{۱۶}، ۱۹۹۱) در خاک های خشک دارند. فیلیپ و بلنپ^{۱۷} (۱۹۹۸) دریافتند که تثبیت کربن در حضور گل سنگ و حزه افزایش می یابد. کلاینر و هارپر^{۱۸} (۱۹۷۲) و شاخص های کیفیت خاک در خاک های پوشیده شده با پوسته های زیستی گل سنگی بیشتر از پوسته های فیزیکی خاک است. این افزایش کیفیت در اثر تجمع مواد آلی و در نتیجه بهبود ساختمان خاک و پایداری خاک رخ می دهد (سلیمان زاده و همکاران، ۲۰۱۹). پوسته های زیستی خاک علاوه بر افزایش ماده آلی و حفظ رطوبت، مقدار اسیدیته خاک را کاهش و در دسترس بودن ماده غذایی را افزایش می دهند (بلنپ^{۱۹} و

9. Marschner
10. Welch
11. Bertamini
12. Pestana
13. Vert
14. Taiz, and Zeiger
15. Beymer and Klopatek
16. Dainin and Ganor
17. Phillips and Belnap
18. Kleiner and Harper
19. Belnap

1. Kumpiene
2. Whalen and Chang
3. Renella
4. McGrath and Lane
5. Naidu
6. Chen
7. Gregorich
8. Rengel and Romheld

دیگر باعث افزایش حاصلخیزی خاک نیز می‌شود و در احیای خاک‌های بیابانی مفید واقع می‌شوند.

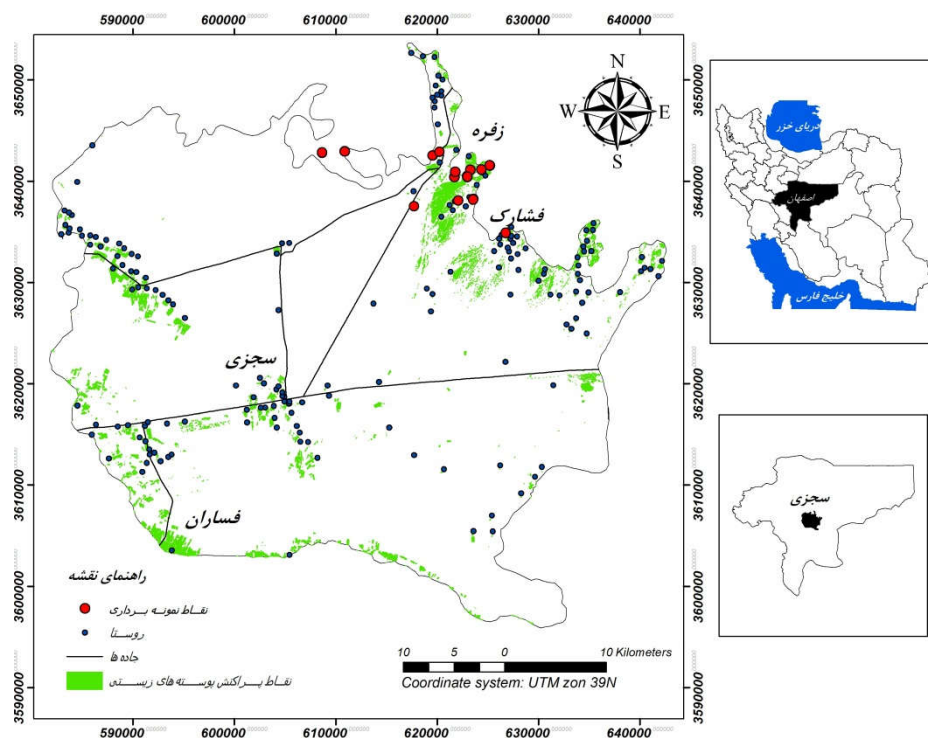
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از بیابان سجزی (بیابان‌های مرکزی ایران) است که در استان اصفهان از کشور ایران واقع شده است. محدوده مورد مطالعه با مساحت ۱۹۹/۵ هکتار بین طول‌های شرقی $51^{\circ}52'32''$ تا $52^{\circ}27'41''$ و عرض‌های شمالی $32^{\circ}33'31''$ تا $32^{\circ}55'01''$ گسترده شده است (شکل ۱). شیب متوسط دشت سجزی ۱/۰۸٪ و ارتفاع متوسط آن ۱۶۸۰ متر است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان (ایستگاه شهید بهشتی)، متوسط بارش سالانه منطقه ۱۰۶ میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه از نوع خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه از نوع خشک سرد است. تپ رویشی غالب منطقه *Artemisia salsola* و *siberi-Noea mucronata-Scariola orientalis* و *Alhagi persarum-* و *tomentosa-Artemisia siberi* است.

همکاران، ۲۰۰۳). این پوسته‌های زیستی به توسعه پوشش گیاهی کمک می‌کنند؛ زیرا علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک، به‌عنوان تله‌ای برای دانه‌ها، آب و مواد معدنی عمدتاً از طریق افزایش ناهمواری و درشتی سطح عمل می‌کنند (بلنپ و همکاران، ۲۰۰۱). لی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کرده‌اند که اندازه افزایش کربن برای توالی‌های غالب سیانوباکتری-جلبک و گل‌سنگ و خز در تپه‌های شنی بیابان تنجر به‌ترتیب ۱۱/۳۶ و ۲۶/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مربع در سال می‌باشد.

در این پژوهش، با توجه به برهم‌کنش متقابل ماده آلی و آهن موجود در خاک و همچنین تأثیر پوسته‌های زیستی خاک در افزایش ماده آلی خاک، تأثیر پوسته‌های زیستی در افزایش کربن آلی خاک و متعاقباً میزان آهن قابل دسترس گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش در کاربرد فرضیه توسعه پوسته‌های زیستی برای احیای خاک‌های از دست‌رفته کاربردی خواهد بود. به‌خصوص در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور در عرصه‌های منابع طبیعی، که از نظر ماده آلی فقیر هستند، از یک طرف باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل حفظ و نگهداری رطوبت، افزایش پایداری خاکدانه و... و از طرف



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران به همراه نقاط نمونه‌برداری
Figure (1): The location of study area in Iran with sampling points

مرفولوژیکی آنها و با استفاده از استریومیکروسکوپ، میکروسکوپ معمولی و معرف‌های رنگی متداول از قبیل هیدروکسید پتاسیم (KOH) انجام یافته است. نمونه‌های جمع‌آوری شده در موزه گلسنگ‌شناسی در سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران نگهداری می‌شوند.

اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

هریک از نمونه‌های خاک همگن را از الک ۲ میلی‌متری رد کرده و در نهایت برای ۴۰ نمونه خاک ۵ ویژگی خاک شامل اسیدیته (pH متر)، هدایت الکتریکی (EC متر)، درصد کربن آلی (روش والکلی و بلاک)، درصد نیتروژن (کج‌لدال) و بافت خاک (هیدرومتری) برای ۴۰ نمونه خاک (شامل ۲۰ نمونه خاک زیر پوشش بیوکراست و ۲۰ نمونه فاقد پوشش بیوکراست) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری آهن قابل دسترس گیاه، پس از تهیه عصاره خاک با محلول DTPA (Diethylene Triamine Pentaacetic Acid) برای ۴۰ نمونه خاک، با استفاده از دستگاه ICP-OES به صورت ppb قرائت شدند.

آزمون FTIR (Fourier-Transform Infrared spectroscopy)

به منظور شناسایی نوع ترکیبات آلی موجود در خاک به‌ویژه وجود یا عدم وجود اسیدهای آلی، برای آن دسته از نمونه‌های خاک که میزان OC% بالاتر داشتند، آزمون FTIR انجام گرفت (مارگنوت^۲ و همکاران، ۲۰۱۷؛ مارگنوت و همکاران، ۲۰۱۵؛ پارینخ و همکاران، ۲۰۱۴؛ کاکس^۳ و همکاران، ۲۰۰۰) و طیف‌های مربوط به هرکدام از نمونه‌ها به دست آمد. ترکیب‌های جامد باید به‌صورت خمیر یا پودر، به شکل قرص فشرده یا به‌صورت فیلم رسوب داده‌شده شفاف مورد آزمایش قرار گیرند. به‌منظور جلوگیری از پراکنش پرتو IR ذرات ریز خاک (سیلت و رس) با استفاده از الک استاندارد شماره ۲۰۰ تفکیک شدند. ذرات زیر ۷۴ میکرون به میزان ۲ تا ۵ میلی‌گرم در پتری دیش‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا اثر

برای نمونه‌برداری از خاک، نقشه پراکنش پوسته‌های زیستی خاک با استفاده از داده‌های سنجنده Landsat 8 OLI مربوط به نوامبر ۲۰۱۸ بر اساس شاخص BSCI (Soil Biological Crust Index) (رودریگوئز^۱ و همکاران، ۲۰۱۷) تهیه شد (شکل ۱).

$$BSCI = \frac{1 - Lx | R_{red} - R_{green} |}{R_{redgreenNIR}}$$

با توجه به شروع بارش باران از اواخر ماه اکتبر در دشت سجزی که هم‌زمان با افزایش رطوبت خاک فعالیت پوسته‌های زیستی نیز آغاز می‌شود، اواسط ماه دسامبر برای فصل نمونه‌برداری انتخاب شد. از تمام نقاط پراکنش پوسته‌های زیستی بازدید میدانی به عمل آمد. لیکن نمونه‌برداری از خاک زیر پوشش پوسته‌های زیستی با غالبیت گلسنگ انجام یافت و از نقاط با پراکنش جلبک (به‌ویژه در اطراف زمین‌های کشاورزی و داخل نهرهای آب یا نواحی کوچک و پراکنده با حالت ماندابی که جلبک‌ها در آنها رشد کرده بودند) صرف نظر شد. به دلیل یکسان بودن گونه‌های پوسته‌های زیستی، تا شعاع تقریباً ۳۰ متری هر یک از نقاط، در هر نقطه سه نمونه خاک از هرکدام به میزان یک کیلوگرم برداشت شدند. ۱۲۰ نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه خاک در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، در سینی‌ها ریخته و به مدت یک هفته هواخشک شدند. سپس با توجه به فواصل نقاط نمونه‌برداری هر سه نمونه با هم مخلوط شده و تبدیل به یک نمونه خاک شد. به همین ترتیب از نقاط فاقد پوشش پوسته‌های زیستی نمونه‌برداری انجام یافت و در مجموع ۴۰ نمونه خاک (۲۰ نمونه از خاک زیر پوشش پوسته‌های زیستی و ۲۰ نمونه از خاک فاقد پوشش پوسته‌های زیستی) تهیه شدند.

روش پژوهش

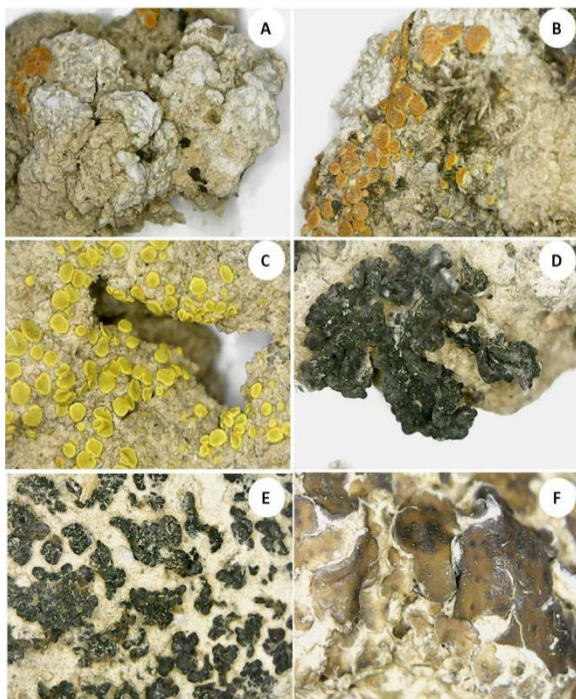
شناسایی پوسته‌های زیستی غالب (گلسنگ)

نمونه‌های جمع‌آوری شده طی دو سال متوالی (۲۰۱۸-۲۰۱۹) شماره‌گذاری شده و در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند. شناسایی نمونه‌های گلسنگ بر اساس خصوصیات

2. Margenot
3. Cox

1. Rodriguez

شوری خاک و تابش‌های اشعه ماوراء بنفش سازگاری دارند.



A *Circinaria mansourii*, B *Caloplaca raesaeneni*, C *Candelariella* sp., D *Enchylium tenax*, E *Peccania terricola*, F *Placidium squamulosum*, G *Collema cocophorum*, H *Xanthocarpia tominii*.

J *Collema crispum*.

شکل (۲): گونه‌های گل‌سنگ‌های خاکزی با فراوانی زیاد در بیابان سجزی

Figure (2): Some of species of terrestrial lichens with high abundance in Sejzi desert

تأثیر پوسته‌های زیستی در افزایش مواد آلی خاک

ضریب همبستگی پیرسون برای مقادیر کربن آلی کل خاک در دو کلاس شامل خاک‌های زیر پوشش پوسته‌های زیستی و بدون پوشش پوسته‌های زیستی محاسبه شد (جدول ۲). ضریب همبستگی پیرسون بین پوشش پوسته‌های زیستی با مقادیر کربن آلی کل و همچنین درصد نیتروژن کل، 0.653 در سطح اعتماد 99% به دست آمد و نشان می‌دهد پوسته‌های زیستی در ترسیب کربن و افزایش ماده آلی در خاک‌های خشک دشت سجزی بسیار مؤثر هستند. پوشش پوسته‌های زیستی باعث کاهش شوری خاک شده و اسیدیته را افزایش می‌دهند. در خاک‌های شنی کمتر یافت می‌شوند درحالی‌که وجود مقادیر بالای رس در خاک سبب استقرار و رشد پوسته‌های زیستی می‌شود و با مقادیر سیلت خاک رابطه معنی‌دار ندارند. میزان کربنات کلسیم خاک در حضور

آب در انعکاس طیفی FTIR از بین برود. سپس به نسبت 2 در 200 میلی‌گرم در یک هاون عقیق با پودر برمید پتاسیم خشک مخلوط شدند و به صورت قرص خمیری آماده شدند. قرص‌های کوچک با قطر 0.5 تا 1.5 میلی‌متر را می‌توان با استفاده از چگالنده نوری مورد آزمایش قرار داد. سپس مخلوط در قالب، زیر فشار $10000-15000$ psi به صورت قرص فشرده شفاف درمی‌آید. قرص‌های شفاف در محفظه مخصوص دستگاه طیف‌سنج *Bomem MB-154* مدل *FT-IR* قرار داده شد و طیف‌های مربوط به هر نمونه با نرم‌افزار *Bomem Easy* به دست آمد.

تحلیل آماری نتایج

ضریب همبستگی پیرسون به عنوان معیاری برای بررسی رابطه خطی بین دو متغیر (سگویک^۱، 2012) برای بررسی رابطه میان پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک زیر پوشش بیوکراست و بدون پوشش بیوکراست محاسبه شد. سپس برای تحلیل چگونگی تأثیر عوامل از آزمون آماری PCA^2 (جولیف^۳، 2012) استفاده شده است. همچنین برای مقایسه مقادیر آهن و کربن در خاک زیر پوشش بیوکراست و بدون پوشش بیوکراست آزمون آماری *T-test* انجام یافت.

نتایج

گل‌سنگ‌های خاک‌زی در دشت سجزی

در محدوده مورد مطالعه از بیابان سجزی 32 گونه گل‌سنگ خاک‌زی جمع‌آوری شدند. اغلب این گل‌سنگ‌ها از نوع سیانوگل‌سنگ بوده و جزء فتوبیونت آن‌ها از سیانوباکتری است. تصاویر گونه‌ها با فراوانی زیاد نسبت به سایر گونه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.

گونه‌های ماکروبیوکراست (گل‌سنگ‌ها، خزّه و جلبک) که در 20 نقطه از دست سجزی جمع‌آوری شدند، در جدول (۱) آمده است. این گونه‌های ماکروبیوکراست به لحاظ بومی مناطق خشک و نیمه‌خشک بودن با شرایط تنش خشکی،

1. Sedgwick
2. Principal Component Analysis
3. Jolliffe

پوسته‌های زیستی افزایش می‌یابد ولی مقدار افزایش در حد قابل توجهی نیست چنان‌که ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر کربنات کلسیم با پوشش پوسته‌های زیستی تقریباً ۰/۳۰ محاسبه شد اما این رابطه معنی‌دار نیست. همچنین مقادیر آهن قابل جذب در خاک‌های زیر پوشش پوسته‌های زیستی اختلاف معنی‌دار با خاک‌های فاقد پوشش پوسته‌های زیستی در سطح اعتماد ۹۵٪ دارد. درصد کربن آلی کل خاک با درصد ماسه همبستگی منفی در سطح اعتماد ۹۹٪ نشان داده است. در خاک‌های دارای بافت سبک استقرار پوشش بیوکراست دشوار بوده و به تبع آن ترسیب کربن کاهش یافته است. همان‌طور که از داده‌های جدول (۲) برمی‌آید، درصد کربن خاک با مقادیر بالای اسیدپته و هدایت الکتریکی رابطه معکوس دارد؛ یعنی پوسته‌های زیستی با افزایش کربن آلی مقادیر عددی اسیدپته خاک را کاهش داده و در نتیجه قلیائیت خاک کاهش می‌یابد و به سمت اسیدی بودن میل می‌کند. کربن آلی موجود در خاک با مقادیر آهن قابل جذب، درصد رس، درصد سیلت و کربنات کلسیم رابطه مثبتی دارد لیکن این رابطه معنی‌دار نیست.

جدول (۱): گونه‌های ماکروبیوکراست جمع‌آوری شده از دشت سجزی

Table (1): Macrobiocross species collected from Segzi plain

گونه ماکروبیوکراست	YLL	XLL	کد نمونه	ردیف
Moss, Algae				
Moss, Algae Collema coccophorum				
Moss, Algae Collema coccophorum				
Peccania arizonica		۵۲۹۴۳/۶۰		
Moss		۵۲۱۸۵۳/۱۰		
Moss, Collema coccophorum		۵۲۱۹۱۵/۳۰		
Moss		۵۲۲۰۱۹/۷۰		
Collema tenax, Moss		۵۲۱۱۸/۳۰		
Collema tenax, Endocarpon pocilum, Candelariella sp, Moss				
Candelariella sp, Caloplaca roselans, Megasporea rimisorediata, Caloplaca raesaenenii, Moss				
Endocarpon pocilum				
Collema coccophorum, Circinaria mansourii, Placidium squamulosum, Moss				
Collema tenax, Collema coccophorum, Placidium squamulosum				
Peccania terricola, Collema tenax, Collema coccophorum				
Moss, Collema coccophorum				
Moss, Collema coccophorum				
Moss, Collema coccophorum, Collema tenax				
Collema coccophorum, Peccania terricola				
Candelariella sp				
Circinaria mansourii, Circinaria elmorei, Collema tenax, Candelariella sp				

جدول (۲): همبستگی پیرسون بین خاک زیر پوشش بیوکراست و بدون بیوکراست با خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و مواد آلی

Table (2): Pearson correlation between biocrust and non-biocrust soils with physicochemical properties of soil and organic matter

پوسته‌های زیستی	پوسته‌های زیستی	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی %	نیترژن %	کربنات کلسیم %	آهن (mg/Kg)	ماسه %	سیلت %	رس %
پوسته‌های زیستی	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰/۳۸۱*	-۰/۵۱۵**	۰/۶۵۳**	۰/۶۵۳**	۰/۲۹۶	۰/۳۸۴*	-۰/۴۰۶**	۰/۱۴۵
	سطح معنی داری	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰۶۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
اسیدیته	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰/۳۸۱*	۰/۲۵	-۰/۰۱۹	-۰/۰۱۹	-۰/۱۰۴	۰/۴۱۱**	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳
	سطح معنی داری	۰/۰۱۵	۰/۸۷۷	۰/۹۰۶	۰/۹۰۶	۰/۵۲۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۱۷
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
هدایت الکتریکی (dS/m)	ضریب همبستگی پیرسون	-۰/۵۱۵**	۱	۰/۲۵	-۰/۲۰۳	-۰/۲۰۳	-۰/۲۸۸	۰/۲۳	۰/۴۰	۰/۲۳۶
	سطح معنی داری	۰/۰۰۱	۰/۸۷۷	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۰۷۱	۰/۸۸۱	۰/۸۰۸	۰/۱۴۲
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
% کربن آلی	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۶۵۳**	-۰/۰۱۹	۱	۰/۲۰۳	۰/۲۰۳	۰/۲۹۱	-۰/۳۳۰**	۰/۲۹۰	۰/۲۵۱
	سطح معنی داری	۰/۰	۰/۹۰۶	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۴۱۳	۰/۰۶۲	۰/۰۰۶	۰/۰۶۹
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
% نیترژن	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۶۵۳**	-۰/۰۱۹	۱	۰/۲۰۳	۰/۲۰۳	۰/۲۹۱	-۰/۳۳۰**	۰/۲۹۰	۰/۲۵۱
	سطح معنی داری	۰/۰	۰/۹۰۶	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۲۱۰	۰/۴۱۳	۰/۰۶۲	۰/۰۰۶	۰/۰۶۹
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
کربنات کلسیم %	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۲۹۶	-۰/۱۰۴	-۰/۲۸۸	۱	۰/۱۳۳	۰/۱۳۳	-۰/۳۳۳*	۰/۲۳۶	۰/۵۵۲**
	سطح معنی داری	۰/۰۶۴	۰/۵۲۲	۰/۰۷۱	۰/۴۱۳	۰/۴۱۳	۰/۰۷۱	۰/۳۸۳	۰/۲۳۰	۰/۰
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
آهن (mg/Kg)	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۳۸۴*	۰/۴۱۱**	۰/۳۳۳	-۰/۱۴۲	۰/۲۹۱	۰/۲۹۱	۱	-۰/۰۵۳	-۰/۱۷۳
	سطح معنی داری	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	۰/۸۸۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۸۸۱	۰/۰۰۸	۰/۲۴۵	۰/۲۸۶
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
% ماسه	ضریب همبستگی پیرسون	-۰/۴۰۶**	۰/۰۶۷	۰/۴۰	-۰/۳۳۳*	-۰/۳۳۳**	-۰/۳۳۳**	۱	-۰/۸۴۵**	-۰/۲۷۹
	سطح معنی داری	۰/۰۰۹	۰/۶۸۰	۰/۸۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۸۰۸	۰/۸۴۵	۰/۰۸۱
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
% سیلت	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۱۴۵	۰/۰۷۳	۰/۳۳۶	۰/۲۹۰	۰/۲۹۰	۰/۲۹۰	-۰/۸۴۵**	۱	-۰/۲۷۸
	سطح معنی داری	۰/۳۶۳	۰/۶۵۴	۰/۱۴۲	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۲۳۰	۰/۲۳۰	۰/۰۸۳
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
% رس	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۴۷۰**	-۰/۲۵۲	-۰/۴۹۶**	۰/۲۵۱	۰/۲۵۱	۰/۲۵۱	۰/۱۷۳	-۰/۳۶۹	۱
	سطح معنی داری	۰/۰۰۲	۰/۱۱۷	۰/۰۰۱	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۰۸۳	۰/۰۸۱	۰/۰۸۳
	تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

با توجه به رابطه معنی دار بین پوشش پوسته‌های زیستی با مقادیر آهن قابل جذب و درصد کربن آلی کل خاک و عدم وجود رابطه معنی دار بین مقادیر کربن آلی با آهن قابل جذب، آزمون آماری T-test برای مقایسه خاک در دو کلاس دارای پوشش پوسته زیستی و بدون پوسته زیستی انجام

یافت (جدول ۳). نتایج نشان داد که با توجه به مقادیر sig (2-tailed) در سطح اعتماد ۰/۰۵ اختلاف معنی دار بین مقادیر این دو پارامتر با پوشش بیوکراست وجود دارد. بنابراین مقادیر آهن قابل جذب در خاک زیر پوشش پوسته‌های زیستی اختلاف معنی دار با خاک بدون پوشش زیستی دارد.

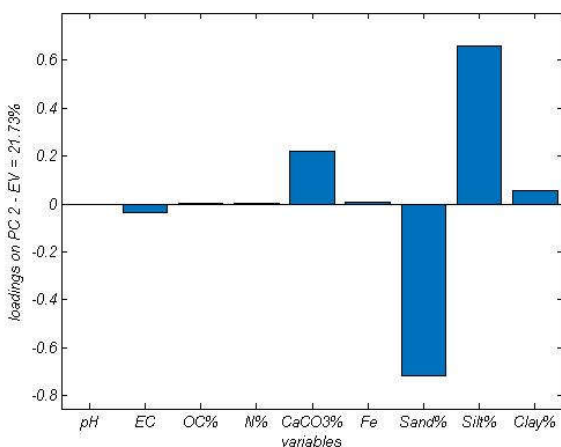
جدول (۳): مقایسه آماری مقادیر کربن آلی کل و آهن قابل دسترس (میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های زیر پوشش پوسته‌های زیستی و بدون

پوسته‌های زیستی

Table (3): Statistical comparison of total organic carbon and available iron (mg/kg) in soils covered with biocrust and without biocrust

Sig. (2 tailed)	df	t	مقایسه زوجی		انحراف معیار	میانگین	
			در سطح اعتماد ۰/۰۵ حداکثر	میانگین خطای استاندارد			
۰/۰۰۷	۱۹	۳	۲/۹۴	۰/۵۳	۲/۵۸	۱/۷۳	گروه ۱ مقادیر آهن در خاک زیر بیوکراست و بدون بیوکراست
۰/۰	۱۹	۵/۳	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲۵	گروه ۲ مقادیر درصد کربن آلی در خاک زیر بیوکراست و بدون بیوکراست

می‌یابد و در منطقه بیابانی، پوسته‌های زیستی عملکرد متفاوت از طریق افزایش کربن آلی دارند؛ به عبارتی چنین نیست که از طریق افزایش کربنات کلسیم سبب استحکام خاکدانه شوند و گونه‌های کمتری از پوسته‌های زیستی مستقر در بیابان سجزی از انواع مولد کربنات کلسیم هستند. اغلب آن‌ها مولد ماده آلی بوده و سبب افزایش کربن آلی خاک شده‌اند.



شکل (۳-ب): نمودار مؤلفه دوم Loading به روش PCA

Figure (3b): The second component of Loadings by PCA method

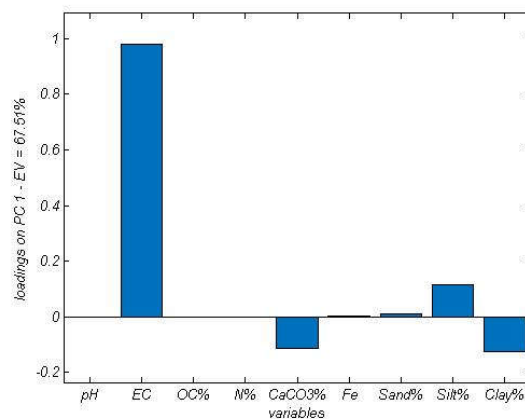
عوامل محدودکننده پراکنش پوسته‌های زیستی در

دشت سجزی

مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک در دو کلاس (خاک زیر پوشش بیوکراست و بدون بیوکراست) به روش PCA استفاده از نرم‌افزار Matlab 2013b طبقه‌بندی شدند. نمودارهای Loading برای مؤلفه‌های اول و دوم و سوم به ترتیب در سطح اعتماد ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ محاسبه شدند. از گزینه‌های مؤلفه سوم به دلیل سطح اعتماد کمتر، صرف نظر شده است. طبق نمودار 1 PCA (شکل ۳-الف) بیشترین عامل مؤثر در تمایز جامعه دارای بیوکراست و بدون بیوکراست میزان هدایت الکتریکی یا همان میزان شوری خاک است. با توجه به جدول (۲) و نمودار مؤلفه اول خاک‌های بدون بیوکراست در مقایسه با خاک‌های زیر پوشش بیوکراست شوری بیشتری دارند. همچنین در نمودار 2 PCA (شکل ۳-ب) بافت خاک در وهله اول و سپس کربنات کلسیم در تمایز دو جامعه بیشترین نقش را داشته‌اند. احتمال تشکیل پوسته زیستی با غالبیت گلسنگ در خاک‌های دارای بافت سبک که درصد بیشتری ماسه و سیلت در مقایسه با مقادیر رس دارند، ۰/۰۱ کمتر است. همچنین در دشت سجزی در خاک‌های آهکی بیوکراست کمتری استقرار

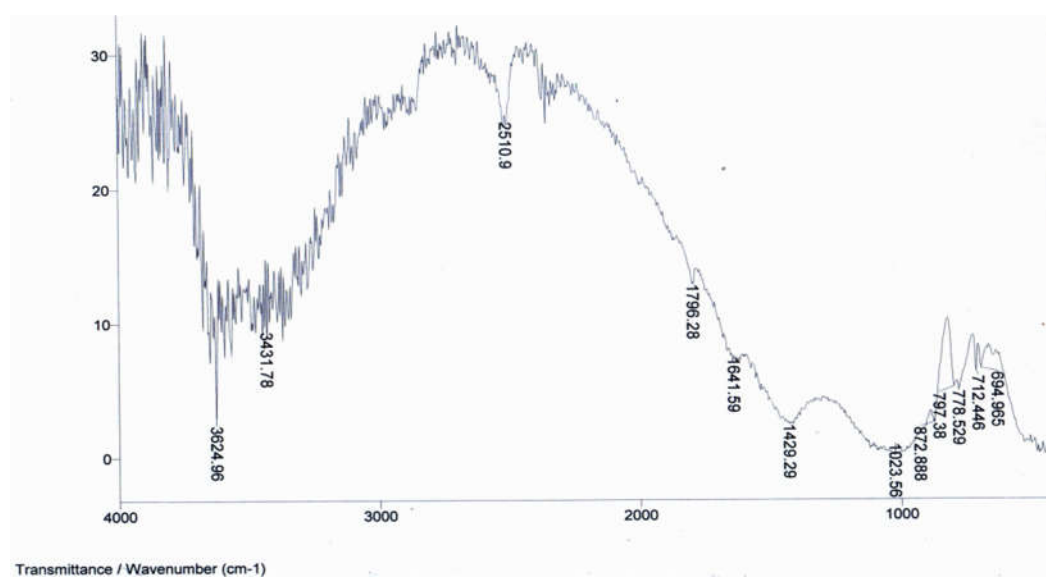
تفسیر منحنی FTIR و شناسایی اسیدهای آلی در خاک

با ترسیم منحنی‌های FTIR مشاهده شد محدوده نقاط پیک در همه آن‌ها تقریباً یکسان است. فقط عمق پیک‌ها با یکدیگر متفاوت بود. به همین دلیل طیف FTIR یکی از نمونه‌ها به صورت ذیل تفسیر و ارائه شده است.



شکل (۳-الف): نمودار مؤلفه اول Loading به روش PCA

Figure (3a): The first component of Loadings by PCA method



شکل (۴): طیف مادون قرمز فوری (FTIR) برای نمونه‌های خاک زیر پوشش پوسته‌های زیستی (نمونه ۵۶۷)

Figure (4): The FTIR spectroscopy of soil samples collected from soil under biocrusts cover (number 567)

COOH⁻, C-OH را نشان دادند.

لیکن در محدوده در ۱۳۰۰ (cm⁻¹) تا ۱۴۰۰ (cm⁻¹) گروه‌های عامل اسید آگزالیک مشاهده نشد. درحالی‌که در باندهای کششی OH و C-OH برای اسید آگزالیک در محدوده ۱۷۰۰ (cm⁻¹) تا ۱۸۰۰ (cm⁻¹) مشاهده شد (یانگ^۲، ۲۰۰۳). محتوای خاک زیر پوشش پوسته‌های زیستی حاوی اسید سیتریک و اسید آگزالیک بودند. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، باندهای عامل اسیدی و آلکل آلی در طول موج‌های ۱۶۴۱/۵۹، ۱۷۹۶/۲۸ و ۳۴۳۱/۲۷ (cm⁻¹) قرائت شدند. بنابراین پوسته‌های زیستی سبب تولید اسید سیتریک و

در طیف مادون قرمز فوری محدوده طول موج مربوط به ناحیه ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ (cm⁻¹) مربوط به باندهای O-H و COOH⁻ اسید سیتریک می‌باشد (کای^۱ و همکاران، ۲۰۱۹) و همچنین محدوده ۲۸۰۰ تا ۳۶۰۰ مربوط به آنیون‌های سترات پس از فعل و انفعالات شیمیایی (باندهای کششی COOH و C=O) در خاک هستند. آنیون‌های سترات پس از شرکت در واکنش‌های خاک بدون تغییر می‌مانند. طیف‌های مادون قرمز فوری نمونه‌های خاک دشت سجزی که از زیرلایه پوشش پوسته‌های زیستی جمع شده بودند، همگی در محدوده (cm⁻¹) ۱۶۵۰ تا (cm⁻¹) ۱۷۵۰ گروه‌های عاملی

اسید اگزالیک یا بنیان‌های فعال سیترات و اکسالات در خاک می‌شوند.

بحث و نتیجه‌گیری

پوسته‌های زیستی گل‌سنگی مایه نگهداری خاک و با انجام ترسیب کربن باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شوند، درحالی‌که پوسته‌های فیزیکی به‌غیر از پوشش گیاهی و زیستی از جمله پوشش سنگریزه و انواع مالچ‌های شیمیایی و نفتی و... در سطح خاک می‌باشند و هر سال تحت تأثیر فرسایش و رسوب و در نتیجه در معرض هدررفت کربن آلی قرار دارند. گل‌سنگ از دو بخش سیانوباکتری، جلبک و یا قارچ پدید آمده است. سیانوباکتری‌ها و جلبک‌ها فتواتوتروف هستند، با انجام فتوسنتز و تولید ماده غذایی سبب ترسیب کربن در خاک شده‌اند. نتایج پژوهش نشان داد پوسته‌های زیستی با کربن آلی خاک رابطه همبستگی مثبت دارند. طی تحقیقات لی و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش ماده آلی در خاک‌های پوشیده شده با توالی غالب پوسته‌های زیستی گل‌سنگ و خزّه مورد تأیید قرار گرفته است. سیانوباکتری‌ها به‌عنوان جزء فتوبیونت پوسته‌های زیستی گل‌سنگی و اولین زنجیره فتوسنتز و تولید در اکوسیستم، منبع اصلی ورود کربن آلی به خاک در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک هستند و با ساخت ترکیبات کربنی باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شوند (ماگر^۱، ۲۰۱۰). مناطق بیابانی یا به‌عبارتی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک دارای مقادیر ماده آلی بسیار کمی هستند و در معرض تخریب عوامل فیزیکی و شیمیایی قرار دارند (لال، ۲۰۰۴). بیابان‌زایی که در نتیجه فرسایش خاک اتفاق می‌افتد، پیامد کاهش کربن آلی خاک و به‌تبع آن ناشی از کاهش باروری خالص خاک می‌باشد (لال، ۲۰۰۳). بنابراین حضور پوسته‌های زیستی خاک که نقش بسیار مؤثری در افزایش انواع ترکیبات آلی در خاک دارند، باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های بیابانی شده و در سلامت بیابان مؤثر هستند.

همچنین پوسته‌های زیستی همانند ریشه گیاهان در خاک عمل کرده و با ترشح اسیدهای آلی که بخشی از ماده آلی کل خاک را تشکیل می‌دهند، سبب تسهیل واکنش‌های شیمیایی در

خاک می‌شوند و این امر در خاک‌های خشک و نیمه‌خشک که از نظر حاصلخیزی جزء خاک‌های فقیر محسوب می‌شوند، بسیار حائز اهمیت است. ماده آلی خاک سبب ایجاد بهبود وضعیت تهویه خاک و ایجاد شرایط احیا، تولید اسیدها و عوامل کیلیت‌کننده می‌شود. مهم‌ترین اثر مواد آلی احیای Fe^{3+} به Fe^{2+} است که قابلیت انحلال‌پذیری آهن را افزایش می‌یابد. تجزیه مواد آلی سبب احیای میکروکلیمای خاک شده و در نتیجه فراهمی آهن برای گیاهان می‌شود (لیندسای^۲، ۱۹۹۱). کمپلکس اولیه Fe^{2+} توسط بنیان‌های کربوکسیلیک آلیفاتیک احاطه شده و در بین ذرات خاک رسوب می‌کند (سودانو^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). بنیان‌های کربوکسیلیک آلیفاتیک در طیف مادون قرمز در محدوده طول موج‌های در محدوده (cm-1) ۱۶۵۰ تا (cm-1) ۱۷۵۰ و در محدوده (cm-1) ۱۴۲۰ شناسایی شدند.

درصد بالای ماسه برای رابطه معکوس با آهن قابل جذب در خاک دارد (شکل ۳). این امر به دلیل جذب سطحی بالای رس می‌باشد. با توجه به اینکه رطوبت اشباع تحت تأثیر کمیت و ماهیت رس‌های خاک است و از طرفی پوشش‌های آهنی معمولاً در سطح رس‌ها تشکیل می‌شود، همبستگی مشاهده‌شده قابل توجیه است (ریحانی‌تبار و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس یافته‌های پژوهش، در دشت سجزی کربنات کلسیم به‌عنوان عامل محدودکننده تثبیت کربن بود. کربنات کلسیم باعث افزایش قلیائیت خاک شده و استقرار پوسته‌های زیستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ به‌عبارتی با افزایش کربنات کلسیم ترسیب کربن و مقدار کربن آلی خاک کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش مقدار pH در خاک عمکرد اسیدهای آلی از قبیل سیترات (Citrate) و اگزالات (Oxalate) کاهش می‌یابد و در نتیجه جذب عناصر ریزمغذی خاک از جمله آهن توسط گیاهان کاهش یافته و رشد اندام هوایی و ریشه گیاه دچار اختلال می‌شود. خادمی و همکاران (۲۰۰۸) نیز افزایش کربنات کلسیم را دلیل کاهش جذب عناصر ریز مغذی خاک از جمله آهن توسط گیاه دانسته‌اند. تجزیه مواد آلی باعث کاهش pH خاک (هرچند به‌صورت موضعی) شده و پیوند آهن با کربنات‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ریحانی‌تبار و همکاران،

با افزایش ماده آلی که اسیدهای آلی یکی از دستجات مواد آلی موجود در خاک هستند، در افزایش و جذب آهن که از میکرومغذی‌های مهم خاک است تأثیر بسزایی دارند. این موضوع به‌ویژه در خاک‌های دشت سجزی که از قلیائیت بالایی برخوردارند ($pH > 7/5$) و همین امر عامل محدودکننده انحلال میکرومغذی‌ها در خاک بوده و متعاقباً استقرار پوشش گیاهی را دچار اختلال می‌کند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. لی و همکاران (۲۰۱۶) نیز تنوع زیستی و عملکرد پوسته‌های زیستی خاک را جوامع گیاهی مختلف در بیابان گربانتونگوت^۳ کشور چین بررسی کرده و به نتایج مشابهی دست یافتند. این محققان نقش پوسته‌های زیستی را در افزایش ماده آلی و اسیدهای آلی از جمله اسید سیتریک و اسید اگزالیک خاک مؤثر دانسته‌اند و یافته‌های ایشان همسو با نتایج پژوهش در دشت سجزی است.

بنابراین دور از انتظار نیست که مقادیر آهن قابل جذب با افزایش کربنات کلسیم همبستگی منفی نشان داشته باشد. مقدار کل آهن خاک ارزش چندانی در تشخیص کمبود آهن ندارد. حلالیت آهن خاک بسیار کم بوده و حداقل آن در اسیدیته ۷ تا ۸/۵ می‌باشد (تاگلیوینی^۱ و همکاران، ۱۹۹۵). اسید سیتریک و اسید اگزالیک از طریق کاهش اسیدیته عصاره سلول برگ باعث افزایش آهن فعال برگ شده و میزان کلروفیل برگ را افزایش می‌دهند (سینگ^۲، ۱۹۷۰). به‌طور کلی، اسیدهای آلی با کمپلکس کردن آهن باعث کاهش جذب سطحی و افزایش تحرک آن شده و از این طریق می‌توانند قابلیت دسترسی آن را برای گیاه بهبود بخشند. در این میان، تأثیر اسید سیتریک و اسید اگزالیک بیشتر از سایر اسیدهای آلی از قبیل اسید مالیک اسید است (رسولی صدقیانی، ۲۰۱۵). با توجه به نتایج پژوهش پوسته‌های زیستی

منابع

1. Belnap, J., Büdel, B. and Lange, O. L., 2003. Biological soil crusts: characteristics and distribution Biological soil crusts: structure, function, and management, Springer, p. 3-30.
2. Belnap, J., Prasse, R. and Harper, K., 2001. Influence of biological soil crusts on soil environments and vascular plants Biological soil crusts: structure, function and management, Springer, p. 281-300.
3. Bertamini, M., N. Nedunchezian and B. Borghi. 2001. Effect of iron deficiency induced changes in photosynthetic pigments, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase, and photosystem activities in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves. *Photosynthetica* 39: 59-65.
4. Beymer, R.J., and Klopatek, J.M. 1991. Potential contribution of carbon by microphytic crusts in pinyon-juniper woodlands. *Arid soil Research and Rehabilitation*, 5: 187-98.
5. Cai, Z., Ji, B., Yan, K. and Zhu, Q., 2019. Investigation on Reaction Sequence and Group Site of Citric Acid with Cellulose Characterized by FTIR in Combination with Two-Dimensional Correlation Spectroscopy. *Polymers*, 11(2071):1-13.
6. Cox, R. J., Peterson, H. L., Young, J., Cusik, C. and Spinoza, E. O., 2000. The forensic analysis of soil organic by FTIR. *Forensic Science International*, 108: 107-116.
7. Chen, Y.L., Guo, Y.Q., Han, S.J., Zou, C.J., Zhou, Y.M., and Cheng, G.L. 2002. Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil. *J. Forest. Res.* 13: 2. 115-118.
8. Dainin, A., and Ganor, E. 1991. Trapping of airborne dust by mosses in the Negev Desert Earth Surf process Landforms, 16: 153-162.
9. Gregorich, E.G., Carter, M.R., Doran, J.W., Pankhurst, C.E., and Dwyer, L.M. 1997. Biological attributes of soil quality. *Developments in soil science*, 25:81-113.
10. Jolliffe, I. T., 2012. *Principal component analysis*. Second Edition, Springer, 518p.
11. Khademi, Z., Malakouti, M. J. and Johnz, D., 2008. Effect of organic root acids on the ability to absorb nutrients in the rhizosphere. *Iranian Journal of Soil Research*, 21(2):171-189.
12. Kleiner, E. F. and Harper, K. T. 1972. Environment and community organization in grasslands on Canyonlands National Park. *Ecology*, 53: 2. 299-309.
13. Kumpiene J., Lagerkvist A., Maurice C. 2002. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments-a review, Division Of Waste Science & Tecnology, Lulea University Of Tecnology, SE97187- Lulea, Sweden.
14. Lal, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29: 437-450.
15. Lal, R., 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management*, 33: 528-544.
16. Lindsay, W. L. 1991. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. *Plant. Soil.* 130(1-2): 27-34.

18. Li, X. R., Zhang, P., Su, Y.G. and Jia, R. L. 2012. Carbon fixation by biological soil crusts following revegetation of sand dunes in arid desert regions of China: a four-year field study. *Catena*, 97: 119-126.
19. Mager, D. M., 2010. Carbohydrates in cyanobacterial soil crusts as a source of carbon in the southwest Kalahari, Botswana. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(2): 313-318.
20. McGrath S.P and P.W Lane.1989. An Explanation for the apparent losses of metals in a long-term field experiment with sewage sludge. *Nviron. Pollut.* 256-60:235.
21. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
22. Naidu, R. Oliver, D. McStuart. 2003. Heavy Metal Phytotoxicity in Soils. In: A. Langley, M. Gilbey, and B. Kwnnedey (Eds). *Proceeding of the Fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination*. 24-235.
23. Margenot, A. J., Calderon, F. J., Bowles, M. T., Parikh, S. J. and Jackson, E. L., 2015. Soil organic matter functional group composition in relation to organic carbon, nitrogen and phosphorus fraction in organically managed tomato field. *Soil Sci. Soci. of Am J.*, 772-782.
24. Margenot, A. J., Calderon, F. J., Goyne, K. W., Mukome, F. N. D. and Parikh, S. J., 2017. IR spectroscopy, Soil analysis application. *Eyclopedia of spectroscopy and spectrometry*, Third Edition, 2:448-454.
25. Parikh, J. S., Goyne, W. K., Margenot, J. A., Mukome, F. N. D. and Calderon, F. J., 2014. *Advances of agronomy: Chapter 1: Soil Chemical Insights Provided through Vibrational Spectroscopy*. Department of Plant and Soil Science, University of Delaware, USA, 16: 313p.
26. Pestana, M., P.J. Correia, A. de-Varenes, J. Abadia and E.A. Faria. 2001. Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 24(5): 613-622.
21. Phillips, S.L., and Belnap, J. 1998. Shifting carbon dynamics due to the effects of *Bromus tectorum* invasion on biological soil crusts. *Ecological Bulletin*, 79: 205.
22. Rasouli Sadaghiani, M. H., Dareghayedi, B., Khodaverdiloo, H. and Moradi, N., 2015. Effect of organic acids on sorption and immobilization of Fe in acidic and calcareous soils. *Journal of soil Management and Sustainable*, 5(1): 215-228.
23. Renella, G., Landi, L.L., and Nannipieri, P. 2004. Degradation of low molecular weight organic acids complexed with heavy metals in soil. *Geoderma*. 122: 311-315.
24. Rengel, Z., and Romheld, V. 2000. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. *Plant Soil*. 222: 25-34.
25. Sedgwick, Ph., 2012. Pearson's correlation coefficient. Article in *BMJ* (online), 3p, <https://www.researchgate.net/publication/275470782>.
26. Reyhanitabar, A., Khalkhal, K. and Pashapoor, N. 2017. Relationship between Available Fe and its Chemical Fractions in Some Calcareous Soils of East Azarbaijan Province. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 21(3):69-83.
27. Rodriguez Caballero, E., Escribano, P., Olehowski, C., Chamizo, S., Hill, J., Canton, Y. and Weber, B., 2017. Transferability of multi-Hyperspectral optional biocrust indices. *ISPRS J.of photo & remote sens*, 126: 94-107
28. Soleimanzadeh, M., Khormali, F., Sohrabi, M., Ghorbani Nasrabadi, R. and Kehel, M., 2019. Evaluation of biological characteristics of soil quality under the biological site of Glasgow misguidance Golestan. *Journal of Agriculture of Engineering*, 42(3): 1-17.
29. Singh, G. H., 1970. Effect of sulfur in preventing the occurrence of chlorosis in peas. *Agronomy Journal*, 62:708-711.
30. Sodano, M., Lerda, C., Nistico, R., Martin, M. Magnacca, G., Celi, K. and Said-Pullicino, D., 2017. Dissolved organic carbon retention by coprecipitation during the oxidation of ferrous iron. *Geoderma*, 307: 19-29.
31. Taglivini, M., SCudellani, D., Maragani, B. and Toselli, M., 1995. Acid -spray regreening of kiwifruit leaves affected by lime induced iron chlorosis. In:191-195. Abadia, J.(Eds), *Iron nutrition in soil plant*. Kluwer Academic Publications.
32. Taiz, L. and E. Zeiger. 1998. Assimilation of mineral nutrients. PP. 323-345. In: *Plant Physiology*, 2nd Edition, Sinauer Assoc. Inc., Publishers, Sunderland, MA.
33. Vert, G., N. Grotz, F. Dedaldechamp, F. Gaymard, M.L. Guerinot, J.F. Briat and C. Curie. 2002. IRT1, an Arabidopsis transporter essential for iron uptake from the soil and plant growth. *Plant Cell J.* 14: 1223-1233.
34. Whalen, J.K., Chang, C. 2002. Macroaggregate characteristics for sustainable land use in Danangou catchment of the Loess Plateau, China, *Catena*, 54: 17-29.
35. Welch, R.M., W.H. Allaway, W.A. House and I. Kubota. 1991. Geographic distribution of trace element problems. In: Mordvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*, 2nd Edition, SSSA Book Series, Madison, WI, USA.
37. Young, M. J., 2003. Characterization of pH-Dependent IR Spectra of Oxalic Acid: Comparison of Self-Modeling Curve Resolution Analysis with Calculation of IR Frequencies. *Bullten of Korean Chemistry Society*, 24(9): 1410-1413.

Investigating the Effect of Biocrusts on increasing the soil's organic acids and absorbable iron in desert soils

L. Kashi Zenouzi¹, S. H. Kaboli^{2*}, K. Khavazi³, M. Khosroshahi⁴, M. Sohrabi⁵, F. Heydari Mourchekhorti⁶

Received: 21/06/2020

Accepted: 01/03/2021

Extended Abstract

Introduction: The soil's biological crusts increase soil's organic matter, especially in arid and semi-arid regions, performing a special function in the global carbon cycle. Organic soil carbon, which is a mixture of various components, including organic acids, is an important indicator of soil quality. Organic acids increase the solubility of low-soluble nutrients, including soil iron. Therefore, this study attempted to investigate the effect of biological shells in increasing soil organic acids and their participation in iron uptake.

Materials and Methods: The map of biological soil crusts' distribution in the Sejzi plain was prepared, and soil was sampled under cover of biological soil crusts from lichen-dominated areas. Then, soil's physicochemical properties, including pH, EC, Fe, OC%, CaCO₃%, and soil texture, were measured. Next, the Pearson correlation coefficient was calculated to determine the relationship between soil parameters and biological soil crusts. The values of the soil's physicochemical parameters were classified into two classes (soils covered by biocrust and non-biocrust) via PCA (Principal Component Analysis) using Matlab 2013b software. Then, loading charts for the first, second, and third components were calculated at the confidence level of 67.51%, 21.73%, and 6.71%, respectively. Fourier-Transform Infrared spectroscopy was performed, and FTIR spectra were obtained for all collected soil samples to identify the existence of an organic acid agent in the soil.

Results: In the study area, 32 specimens of terrestrial lichens were collected from the Sejzi desert, most of which had been classified as cyanolichens whose photobiont part was cyanobacteria.

The Pearson correlation coefficient between the percentage of organic matter and the coating of biological soil crusts was reported to be 0.653, indicating the significance of biological soil crusts in increasing soil organic carbon. Also, the results of the t-Student test showed that the amounts of absorbable iron in biocrust-covered and biocrust-free soils were significantly different.

The classification of the relevant parameters via the PCA method revealed that in the Sejzi plain, soil salinity with 67.51% confidence, and at 21.73% level, soil texture and lime percentage were among the most important limiting factors in the establishment of biological soil crusts.

Based on FTIR curves, Citric acid and oxalic acid were read from 1400 to 1600 (cm⁻¹) and 1700 to 1800 (cm⁻¹),

1. Ph.D. Candidate in Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, University of Semnan
2. Assistant Professor of Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, University of Semnan; hkaboli@semnan.ac.ir
3. Professor, Department of Soil Biology Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran
4. Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran
5. Assistant Professor, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran
6. Research Expert, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan
DOI: 10.22052/deej.2021.10.31.41

respectively.

Discussion and conclusion: Deserts, arid, and semi-arid ecosystems contain very small amounts of organic matter, and, thus, they are exposed to the destructive effects of physical and chemical agents. Therefore, biocrusts, which play a very influential role in increasing the soil's organic compounds, improve the properties of desertified soils and enhance the desert's health. Moreover, secreting organic acids that form part of the whole soil's organic matter, biological soil crusts act like plant roots and facilitate chemical reactions in arid and semi-arid soils that are considered poor in terms of fertility. According to the study's findings, calcium carbonate, which increases soil alkalinity and affects the establishment of biological soil crusts, was found to be a limiting factor in carbon sequestration in the Sejzi plain. In other words, with an increase in calcium carbonate, the carbon sequestration and the amount of soil's organic carbon decreased.

On the other hand, increased pH in the soil reduces the efficiency of organic acids such as citrate and oxalate, and as a result, the plants' absorption of the soil's micronutrients, including the iron, was reduced, and the growth of aerial parts and roots of the plant was disrupted.

Furthermore, it was found that the probability of the formation of the lichen-dominated biological crust is 21.73% in sandy and silty soils, which contain more sand and silt than the clay soils. Also, in the Sejzi plain, fewer biocrusts are established in calcareous soils. Moreover, in deserts, biocrusts increase organic carbon and thus perform different functions compared to other regions. However, they do not increase aggregate soil stability by increasing calcium carbonate. It should be noted that most of the Sejzi desert's biocrusts produce organic matter and increase soil's organic carbon, and a few of them are of calcium carbonate-producing types.

Finally, it could be argued that biological soil crusts significantly increased iron absorption, which is considered as one of the most important micronutrients in the soil, by increasing the organic matter, which is among the categories found in the soil's organic matter. An increase in iron absorption was especially significant in the Sejzi plain's soils with high alkalinity (pH 7.5), limiting micronutrients dissolution and subsequently disrupting the establishment of vegetation.

Keywords: Oxalic acid, citric acid, February infrared spectroscopy, PCA, Sejzi.