ıive of SID



# ارزیابی شناسه‌های زیستی کیفیت خاک‌های لسی زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی شمال استان گلستان

محسن سلیمان‌زاده [۱]، فرهاد خرمالی [۲*]، محمد سهرابی [۳]، رضا قربانی نصرآبادی [۴] و مارتین کهل [۵]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ، ایران
۲- استاد گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ، ایران
۳- استادیار سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی، تهران، ایران
۴- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ، گرگان، ایران
۵- استاد موسسه جغرافیا دانشگاه کلن، آلمان

**تاریخچه مقاله**

دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۳

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۳۰

***کلمات کلیدی:***
***کربن آلی و فراهم،***
***پوسته‌های فیزیکی،***
***شناسه‌های کیفیت خاک،***
***گلسنگ‌های خاکزی***

* عهده دار مکاتبات

Email: khormali@yahoo.com

**چکیده**

**پوسته‌های زیستی خاک گروه گسترده‌ای از سیانوباکتری‌ها، جلبک‌های سبز، گلسنگ‌ها، خزه‌ها و جانداران دیگر هستند، که در سرزمین‌های خشک و نیمه خشک کارکرد ویژه ای در چرخه جهانی کربن و افزایش کربن آلی خاک دارند. کربن آلی خاک که آمیخته‌ای ازبخش های گوناگون است، یکی از شناسه‌های مهم برای بررسی کیفیت خاک می‌باشد. پوسته‌های زیستی و فیزیکی خاک، پوشش اصلی سطح لس‌های شمال استان گلستان در شیب‌های رو به جنوب و قله شیب می‌باشند. از اینرو بررسی باهدف شناخت کارکرد پوسته‌های زیستی گلسنگی بر کربن آلی و بخش‌های فراهم کربن خاک انجام شد. پس از انجام بررسی میدانی دو گونه از پوسته‌های زیستی گلسنگی غالب گردآوری و پس از شناسایی در آزمایشگاه، نمونه‌برداری از خاک زیر آن‌ها و پوسته‌های فیزیکی از عمق ۰-۲ و ۲-۵ سانتی‌متری انجام شد. کربن و بخش‌های گوناگون کربن آلی فراهم نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند. یافته‌ها نشان داد که پوسته‌های زیستی گلسنگی مایه افزایش کربن آلی و بخش‌های کربن فراهم خاک در برابر پوسته فیزیکی شده‌اند. خاک‌های زیر پوشش گونه *Diploschistes diacapsis* دارای اندازه‌های بیشتر کربن و بخش‌های فراهم کربن آلی خاک در برابر گونه *Fulgensia fulgens* و پوسته فیزیکی بودند. کربن آلی همبستگی بالایی با کربن بیومس میکروبی، کربوهیدرات و کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ داشت. بنابراین می‌توان از این سه شناسه برای ارزیابی کیفیت خاک در این سرزمین بهره‌گیری کرد. بودن پوسته‌های زیستی گلسنگی مایه افزایش کربن آلی خاک می‌شود و در نتیجه سطح افزایش کیفیت و پایداری خاک‌های لسی منطقه می‌شود.**

## مقدمه

سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک ۳۳ تا ۵۲ درصد سطح کره خاکی را پوشانده‌اند و بسته به کمبود بارش، پوشش گیاهی در این سرزمین‌ها کم می‌باشد (۱۳). بیشتر پوشش سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک را پوسته‌های زیستی تشکیل می‌دهند. پوسته‌های زیستی پدیدآمده بر

www.SID.ir

Archive of SID



سطح خاک آمیخته‌ای از مواد زنده و غیر زنده جانداران (ریز و درشت)، تراوش‌های آن‌ها و دانه‌های خاک هستند. پوسته‌های زیستی بیشتر دارای سیانوباکتری‌ها، جلبک‌ها، گلسنگ‌ها، خزه‌ها و باکتری‌ها می‌باشند. با توجه به سادگی پوسته‌های زیستی، کارکردهای ویژه ای در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک دارند، که با توجه به درجه توالی و مرحله رشد، بزرگی این کارکردها متفاوت می‌باشد. بر پایه جانداران غالب، می‌توان پوسته‌های زیستی را به مراحل مختلف توالی بخش‌بندی کرد. پیش گام توالی جمعیت پوسته‌های زیستی سطح خاک، کلونی‌های سیانوباکتری‌ها-جلبک‌های سبز و سپس گلسنگ‌ها و خزه‌ها می‌باشند (۴۳ و ۵۱). گلسنگ‌ها از همزیستی قارچ-ها با سیانوباکتری‌ها و یا جلبک‌های سبز پدید می‌آیند، قارچ ساختار یا پیکره گلسنگ را پدید می‌آورد، سیانوباکتری و جلبک با انجام فتوستنز کربن آلی قارچ را فراهم می‌کنند. گلسنگ‌ها مایه دگرگونی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، افزایش پایداری، نفوذ و نگهداری آب و افزایش حاصلخیزی خاک‌ها (تثبیت نیتروژن و کربن) می‌شوند (۸،۱۱،۱۴ و ۱۵). بررسی دلگادو-بائریزو و همکاران[1] (۱۰) نشان داد که پوسته‌های زیستی پدیدآمده از گلسنگ‌ها تاثیر ویژه‌ای بر روی جمعیت میکروبی خاک و چرخه کربن، نیتروژن و فسفر خاک دارند. این پوسته‌ها منبع مهم ورود کربن و نیتروژن به اکوسیستم در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. (۱۴ و ۵۳). لی و همکاران[2] (۲۹) گزارش کرده‌اند که اندازه افزایش کربن برای توالی‌های غالب سیانوباکتری-جلبک و گلسنگ-خزه در تپه‌های شنی بیابان تنجر به ترتیب ۱۱/۳۶ و ۲۶/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مربع در سال می‌باشد. میجر و توماس[3] (۳۱) گزارش کردند که سیانوباکتری‌ها با ساخت پلی‌ساکارید خارج سلولی، کربن آلی خاک سطحی را افزایش می‌دهند.

شناسه‌های زیستی کیفت خاک شامل بسیاری از بخش های خاک و فرآیندهای وابسته به چرخه مواد آلی مانند کربن و نیتروژن آلی کل، بیومس میکروبی، کربن و نیتروژن قابل معدنی شدن، بخش فراهم عناصر، کارایی آنزیم‌ها و جانوران و گیاهان خاک هستند. این شناسه‌های زیستی خاک به دگرگونی‌های طبیعی و انسانی به تندی پاسخ می‌دهند به عنوان شناسه ارزیابی کیفیت خاک بهره گیری می‌شوند. کربن آلی خاک آمیخته‌ای از بخش‌های گوناگون است و یکی از شناسه‌های مهم برای بررسی کیفیت خاک می‌باشد (۲۰).

کاهش کربن آلی خاک یکی از آسیب‌های مهم شناخته‌شده برای توان باروری خاک است. فعالیت‌های انسانی مانند دگرگونی کاربری زمین یا چراگاه‌ها به زمین کشاورزی، کشت پی‌درپی، برداشت گیاه بدون افزودن مانده‌های آلی و فرسایش خاک به شدت کربن آلی خاک را کاهش می‌دهند (۳۲). دگرگونی‌های در کربن آلی کل خاک خیلی کند و به سختی قابل شناسایی هستند. کربن آلی خاک می‌تواند به جزه‌های با سرعت‌های گوناگون تجزیه‌پذیری به عنوان مثال جزء فراهم و جزء غیرفراهم (بخش پایدار کربن) بخش شود. جزء فراهم شامل کربن بیومس میکروبی، کربن محلول در آب (سرد و داغ)، کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم و کربن قابل عصاره‌گیری با هیدرولیز اسید رقیق هستند. دگرگونی‌ها در محتوای کربن آلی خاک بسته به دگرگونی‌های مدیریتی و تخریب‌های مداوم یا فرآیند بازیابی اولین بار در جزء کربن فراهم قابل مشاهده خواهد بود (۴۶). بخش کربن آلی قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم به عنوان یک شناسه مناسب از کربن فراهم خاک در نظر گرفته می‌شود. این بخش شامل تمام بخش‌های آلی به‌راحتی قابل اکسایش، از جمله مواد هومیکی و پلی‌ساکاریدها هستند (۵). کربن قابل عصاره‌گیری با آب داغ و هیدرولیز اسید رقیق در سال‌های اخیر برای ارزیابی کیفیت خاک بهره‌گیری می‌شوند (۹). کربوهیدرات‌ها جزء اصلی ذخیره فراهم مواد آلی هستند که بیشتر تحت تاثیر کاربری اراضی قرار

1- Delgado-Baquerizo *et al.*
2- Li *et al.*
3- Mager and Thomas

www.SID.ir

Archive of SID


می‌گیرند. همچنین اینها یک منبع انرژی مهم برای فعالیت میکروب‌های خاک می‌باشند. کربوهیدرات‌های تجمع یافته در خاک فقط به‌عنوان ذخیره کربن آلی نیستند بلکه آنها همچنین می‌توانند باعث حفاظت سطح خاک در مقابل فرسایش بادی بشوند (۵۲).

پوسته‌های زیستی خاک، پوشش اصلی سطح خاک در لس‌های شمال استان گلستان را تشکیل می‌دهند. اقلیم این منطقه خشک و نیمه‌خشک است و پوشش گیاهی در این منطقه مخصوصاً در شیب‌های رو به جنوب کم می‌باشد، در این شیب‌ها و قسمت قله شیب پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی غالب می‌باشند. از طرفی در این منطقه چرای مرتع توسط دام بسیار زیاد می‌باشد که باعث از میان رفتن پوسته‌های زیستی و در نهایت تبدیل آن‌ها به پوسته‌های فیزیکی می‌شود. مطالعات زیادی در مقیاس جهانی برروی نقش‌های پوسته‌های زیستی بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژکی خاک انجام گرفته است، اما پژوهشی در مورد نقش این پوسته‌ها بر کیفیت موادآلی و بخش‌های فراهنم کربن آلی انجام نشده است. لذا با فرض بر اینکه پوسته‌های زیستی گلسنگی گوناگون بر روی بخش‌های مختلف فراهم کربن آلی تاثیر می‌گذارند، بررسی با هدف بررسی دگرگونی‌های کربن آلی و بخش‌های فراهم کربن آلی زیر پوسته‌های زیستی و فیزیکی و در نهایت ارزیابی شناسه‌های زیستی کیفیت خاک انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

منطقه بررسی شده، روستای چناران ۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان مراوه تپه با مواد مادری تەنشست‌های لسی در شمال شرقی استان گلستان (عرض شمالی ۳۷ درجه و ۴۹ دقیقه و طول شرقی ۵۵ درجه ۵۷ دقیقه و ارتفاع ۳۶۰ متر از سطح دریا) است. بر پایه آمار بارش از ایستگاه هواشناسی مراوه تپه میانگین بارندگی سالانه ۳۶۱ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد و رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به تربیب زریک (زریک خشک) و ترمیک می‌باشد. پس از انجام بازدیدهای پرشمار میدانی دو تا از گونه‌های گلسنگ غالب منطقه گردآوری و برای شناسایی به آزمایشگاه منتقل شدند. گونه‌های *Diploschistes diacapsis* (Ach.) Lumbsch و *Fulgensia fulgens* (Sw.) Elenk شناسایی شدند (شکل ۱). پس از شناسایی عناصر گلسنگی، نمونه‌برداری از خاک زیر دو گونه گلسنگ (تقریبا ۱۱ درصد پوشش منطقه) و پوسته‌های فیزیکی (تقریبا ۴ درصد پوشش منطقه) از عمق ۲-۰ و ۵-۲ سانتی‌متر انجام شد. برای این کار ابتدا پوسته‌های زیستی گلسنگی از سطح خاک جدا شدند و سپس نمونه‌برداری کاملاً استریل (ضدعفونی وسایل نمونه‌برداری و دست با الکل) از خاک زیرین این پوسته‌ها با چهار تکرار انجام شد. نمونه‌ها برای اندازه‌گیری کربن آلی وبخش‌های گوناگون کربن فراهم به آزمایشگاه منتقل شدند.

### کربن آلی کل

اندازه کرین آلی خاک به‌روش اکسایش با دی‌کرومات پتاسیم و در کنار اسید سولفوریک اندازه-گیری شده و مانده دی‌کرومات پتاسیم با افزودن فروآمونیوم سولفات به‌روش تیتراسیون در کنار شناساگر ارتوفنانترولین اندازه‌گیری گردید. با برآورد اندازه بی‌کرومات بکار رفته برای اکسیداسیون کربن آلی، اندازه آن در خاک برآورد شد (۳۳).

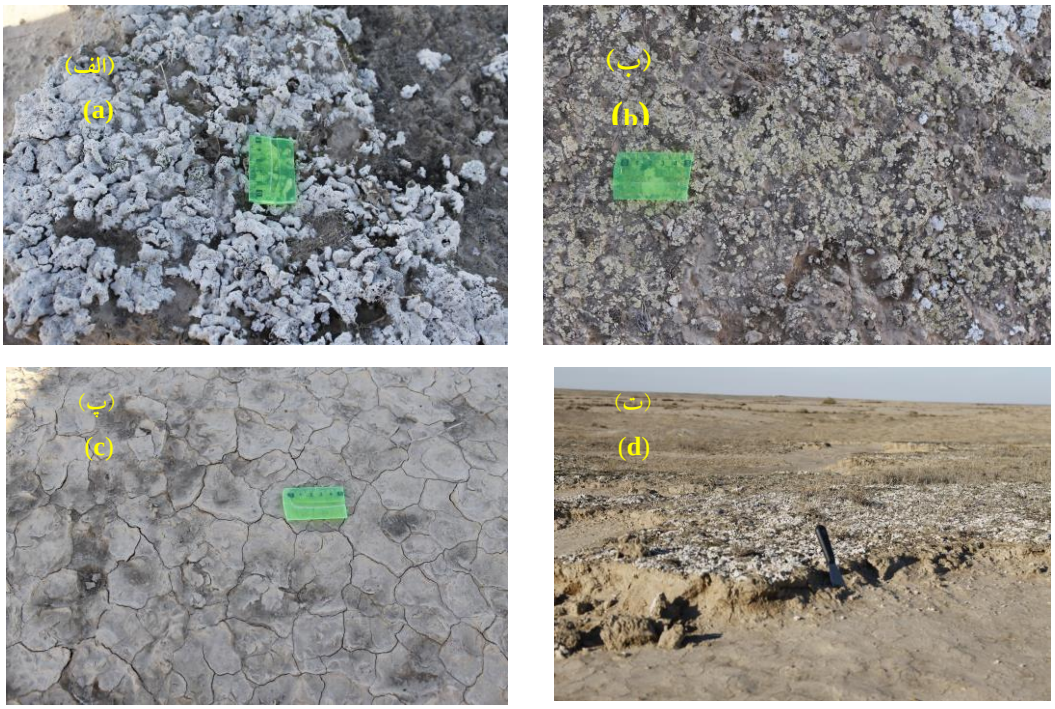
### کربوهیدرات

برای هضم و عصاره‌گیری کربوهیدرات آن، نمونه‌های خاک از الک ۴/۷۵ میلی‌متری عبور داده شدند و با بهره گیری از روش آون (۸۵ درجه سانتیگراد) و افزودن اسید سولفوریک عصاره‌گیری انجام شد. در روش آون به یک گرم از هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۰/۵ مولار اضافه شد و برای ۱۶ ساعت در داخل آون و دمای ۸۵ درجه قرار داده شد و با سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ برای ۳۰ دقیقه عصاره‌گیری انجام شد (۱) و از محلول صاف رویی برای تعیین غلظت کربوهیدرات بهره‌گیری شد.

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل (۱) پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی بر روی سطح خاک‌های لسی الف) گونه *Diploschistes diacapsis* ب) گونه *Fulgensia fulgens* پ) پوسته فیزیکی ت) پوسته‌های زیستی و فیزیکی**

**Figure (1) Lichen biological and physical crusts on loess surface soils a) *Diploschistes diacapsis* species b) *Fulgensia fulgens* species; c) Physical crust d) physical and biological crusts**

بدین ترتیب که ۲ میلی‌لیتر از عصاره برداشته و به آن ۰/۰۵ میلی‌لیتر فنل ۸۰ درصد وزنی و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (خلوص ۹۸ درصد) جهت ایجاد رنگ زرد متمایل به نارنجی افزوده شد و اندازه جذب با بهره‌گیری از اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر خوانده شد (۱۲). برای تهیه منحنی استاندارد جهت برآورد اندازه کربوهیدرات، از محلول گلوکز بهره‌گیری گردید (۱).

## کربن بیومس میکروبی

برای اندازه‌گیری کربن بیومس میکروبی از روش نمونه‌ها تدخین شده و تدخین نشده بهره‌گیری شد. برای نمونه‌های تدخین نشده مقداری خاک برابر ۵۰ گرم خاک آون خشک وزن گردید سپس ۲۰۰ میلی‌لیتر سولفات پتاسیم ۰/۵ مولار به نمونه‌ها اضافه شد و برای ۳۰ دقیقه شیک سپس بوسیله کاغذ صافی ۴۲ صاف گردید. برای نمونه‌های تدخین شده مقداری خاک برابر ۵۰ گرم خاک آون خشک برداشته و در ظروف پلی اتیلن در دسیکاتور خلا در معرض کلروفرم برای ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از بیرون آوردن نمونه‌ها از دسیکارتور مراحل عصاره‌گیری طبق روش تدخین نشده انجام شد. برای اندازه‌گیری کربن بیومس میکروبی در عصاره‌ها از روش تیتراسیون بهره‌گیری شد (۴۹).

## کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم

نمونه‌های الک شده با الک ۲ میلی‌متر باید پودر شده (بوسیله هاون چینی) بطوریکه اندازه دانه‌های آن از ۵۰۰ میکرومتر کوچکتر باشد. سپس مقداری از نمونه که شامل ۱۵ میلی‌گرم کربن آلی است را برداشته و به ظروف درب-دار پلاستیکی با گنجایش ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل شد. سپس به نمونه‌های ۲۵ میلی‌لیتر پرمنگنات پتاسیم ۳۳۳ میلی‌مولار اضافه گردید. برای نمونه شاهد هم همین مراحل بدون افزودن خاک انجام شد. نمونه‌ها برای ۱ ساعت با ۶۰ دور در دقیقه تکان داده و سپس برای ۵ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ عصاره گیری شدند. عصاره‌ها به نسبت ۱ به ۲۵۰ توسط آب مقطر رقیق شدند. اندازه مصرف پرمنگنات پتاسیم به روش اسپکتروفتومتری (مدل

www.SID.ir

Archive of SID


Shimadzu UV 1900) در طول موج ۵۶۵ نانومتر تعیین شد (۵).

## کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد و داغ

برای اندازه‌گیری کربن قابل اندازه‌گیری با آب سرد به اندازه‌ای از نمونه خاک که برابر ۳ گرم خاک آون خشک باشد به لوله سانتریفیوژ افزوده شد، سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و برای ۳۰ دقیقه تکان داده شدند. پس از آن لوله‌ها برای ۳۰ دقیقه با دور ۳۵۰۰ سانتریفیوژ و عصاره بدست آمده از فیلترهای ۰/۴۵ میکرومتر سلولاز نیترات عبور داده شدند. عصاره بدست آماده برای اندازه‌گیری کربن نگهدار شد. برای اندازه‌گیری کربن آب داغ به خاک ته نشستی از مرحله پیشین ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و سپس لوله‌ها برای ۱۰ ثانیه برای پراکندگی دانه های خاک ورتکس شدند. لوله‌ها برای ۱۶ ساعت در گرمابه با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. پس از این مرحله لوله‌ها دوباره برای ۱۰ ثانیه برای پراکنده شدن ورتکس شدند و در پایان مراحل عصاره‌گیری به‌روش عصاره‌گیری کربن آب سرد انجام شد و کربن عصاره‌های گردآوری شده، اندازه-گیری شد (۱۷).

در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از نرم افزار SAS و طرح آماری فاکتوربل بر پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار (۲۴ نمونه) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. متغیرهای مستقل این پژوهش گونه-های گلسنگ و عمق و متغیرهای وابسته شامل کربن آلی، کربن بیومس میکروبی، کربن عصاره‌گیری شده با آب سرد و داغ، کربوهیدرات و کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم می‌باشند.

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به مقادیر کربن آلی، کربوهیدرات، کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم، کربن بیومس میکروبی و کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد و داغ در جدول ۱ نشان داده شده است.

### کربن آلی کل

میانگین کربن آلی کل در خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و پوسته فیزیکی در دو عمق در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین اندازه کربن آلی وابسته به خاک‌های زیر گونه *D.diacapsis* در عمق اول می‌باشد که دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با گونه *F.fulgens* و پوسته فیزیکی در دو عمق است. کمترین اندازه‌های کربن آلی وابسته به خاک‌های زیر پوسته فیزیکی در دو عمق و گونه *F.fulgens* در عمق دوم می‌باشد.

اندازه کربن آلی در خاک‌های پوشیده شده با گونه‌های گلسنگ در عمق اول بیشتر از عمق دوم می‌باشد و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است. نتایج نشان می-دهد که دو گونه گلسنگ غالب سطح خاک تاثیر قابل توجهی بر افزایش کربن آلی در خاک دارند. پوسته‌های زیستی گلسنگی مایه نگهداری خاک و با گذشت زمان با انجام ترسیب کربن باعث افزایش کربن آلی خاک شده‌اند، در حالی که پوسته‌های فیزیکی بدون پوشش گیاهی و زیستی در سطح خاک می‌باشند و هر سال تحت تاثیر فرسایش و رسوب و در نتیجه در معرض هدر رفت کربن آلی قرار دارند. گلسنگ از دو بخش سیانوباکتری یا جلبک و قارچ پدید آمده است با توجه به اینکه سیانوباکتری و جلبک فتواتوتروف می‌باشند با انجام فتوسنتز باعث تثبیت کربن می‌شوند. لی و همکاران (۲۹) افزایش کربن آلی خاک را در خاک‌های پوشیده شده با توالی غالب پوسته-های زیستی گلسنگ و خزه گزارش کردند. پوسته‌های سیانوباکتری به عنوان منبع اصلی ورود کربن آلی به خاک در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک خاک در نظر گرفته می‌شوند، در زمان فتوسنتز با ساخت ترکیبات کربنی باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شوند (۳۰). پوسته‌های سیانوباکتری خاک با انجام فتوسنتز باعث ترسیب کربن و درنتیجه تشکیل کربوهیدرات به عنوان ذخیره انرژی برای سلول‌ها می‌شوند (۴). تثبیت کربن از اتمسفر با موجودات زنده مایه افزایش ماده آلی خاک، بهبود بخشیدن خاکدانه-سازی خاک و در نتیجه بهبود تهویه خاک، ذخیره آب،

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش فرسایش خاک، بهبود نفوذ آب در خاک می‌شود و همچنین کارکرد ویژه‌ای در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقابله با اثرات دگرگونی‌های آب و هوایی دارد (۳۸).

بسته به اینکه اکوسیستم‌های خشک نیمه‌خشک حاوی اندازه کمی کربن هستند خاک‌های این نواحی در معرض تخریب قرار دارند (۲۵). فرسایش خاک یکی از علل و نشانه‌های فرآیند بیابان‌زایی محسوب می‌شود، که از طریق کاهش کربن آلی باعث کاهش باروری خالص خاک می‌شود (۲۷). همچنین با توجه به اینکه ته‌نشست‌های لسی در مقابل فرسایش آبی و بادی حساس هستند (۳۹). افزایش کربن آلی در خاک‌های زیر پوشش پوسته‌های گلسنگی مایه افزایش خاکدانه‌سازی و پایداری خاک می‌شوند، در نتیجه می‌توانند مایه کاهش فرسایش آبی و بادی شوند.

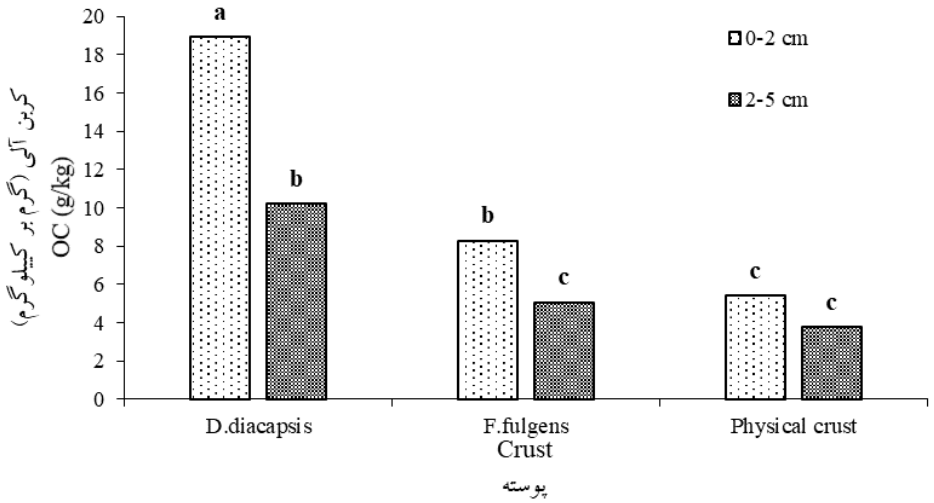
**جدول(۱) تجزیه واریانس بر پایه میانگین مربعات کربن آلی، کربوهیدرات، کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم، کربن بیومس میکروبی و کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد و داغ**

**Table (1) The analysis of variance based on mean squares for organic carbon (OC), carbohydrate (CHO), permanganate oxidizable carbon (POXC), microbial biomass carbon (MBC), and cold and hot-water extractable organic carbon (CWEOC and HWEOC) traits**

| منابع تغییرات S.O. V | درجه آزادی df | OC | CHO | POXC | MBC | CWEOC | HWEOC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گلسنگ Lichen | ۲ | ۱۶۶/۱۳$^{**}$ | ۲/۵۹$^{**}$ | ۱۲/۰۲$^{**}$ | ۰/۰۱۹$^{**}$ | ۰/۰۱۱$^{**}$ | ۰/۴۵۷$^{**}$ |
| عمق Depth | ۱ | ۹۱/۹۹$^{**}$ | ۳/۷۲$^{**}$ | ۱۶/۶۸$^{**}$ | ۰/۰۰۷$^{**}$ | ۰/۰۵۵$^{**}$ | ۰/۷۰۷$^{**}$ |
| گلسنگ × عمق Lichen × Depth | ۲ | ۲۰/۷۰$^{**}$ | ۰/۴۵۹$^{**}$ | ۱/۹۵ | ۰/۰۰۱$^{**}$ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۶۳$^{**}$ |
| خطا Error | ۱۹ | ۲/۱۲ | ۰/۰۲۲ | ۰/۶۶۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۸ |

$^{**}$ معنی‌داری در سطح یک درصد

$^{**}$Significantly at 1%




**شکل (۲) میانگین کربن آلی خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی در دو عمق. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.**

**Figure (2) Mean of organic carbon in soils as affected by lichen biological and physical crusts at two depths. Means with the same letters are not significantly different at P≤0.05.**

www.SID.ir

Archive of SID


چامیزو و همکاران[1] (۸) گزارش داشتند که پوسته‌های زیستی خاک باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شوند و در نتیجه آن باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها تا عمق ۵ سانتی‌متری سطح خاک می‌شوند.

**کربوهیدرات**

میانگین غلظت کربوهیدرات در خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و پوسته فیزیکی در دو عمق در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین اندازه کربوهیدرات در خاک‌های زیر پوشش گونه *D.diacapsis* در عمق اول مشاهد گردید که دارای تفاوت معنی‌داری با گونه *F.fulgens* و پوسته فیزیکی در دو عمق است. به طور کلی اندازه کربوهیدرات در عمق اول بیشتر از عمق دوم مشاهده شد و دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با عمق دوم می‌باشد. دو گونه گلسنگی پوسته‌های زیستی باعث افزایش کربوهیدرات خاک بویژه در عمق اول شده‌اند. گلسنگ‌ها حاصل همزیستی قارچ‌ها با سیانوباکتری‌ها و یا جلبک‌های سبز می‌باشند، قارچ ساختاریا پیکره اصلی گلسنگ را بوجود می‌آورد، سیانوباکتری و جلبک با انجام فتوسنتز کربن مورد نیاز قارچ را تامین می‌کنند وقتی کربن اتمسفر با گونه‌های گلسنگ تثبیت شد به گونه ترکیبات کربنی برای تامین انرژی ذخیره می‌شوند. یکی از مهم‌ترین ترکیبات که سیانوباکتری‌ها و جلبک‌های سبز در مسیر فتوسنتزی خود ساخت می‌کنند کربوهیدارت‌ها می‌باشند. کربوهیدرات‌ها یک منبع انرژی مهم برای فعالیت میکروب-های خاک می‌باشند (۵۲). بیرتوکی و همکاران[2] (۴) گزارش کردند که پوسته‌های سیانوباکتری خاک با انجام فتوسنتز باعث ترسیب کربن و درنتیجه تشکیل کربوهیدرات به عنوان ذخیره انرژی برای سلول‌ها می‌شوند.

ساخت کربوهیدرات یا پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی با گونه‌های گلسنگی پوسته‌های زیستی خاک موجب چسبیدن دانه‌های خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه و در پایان بهبود ساختمان خاک می‌شود. همچنین کربوهیدرات‌ها با حالت لزجی که در اثر جذب آب به‌خود می‌گیرند باعث به دام انداختن گرد و غبار هوا می‌شوند. ساخت ترشحات لزج خارج سلولی و موسیلاژ در زمان اکسیدکردن ماده آلی با میکروارگانیسم‌ها به نظر می‌رسد که به گونه موقتی باعث پایداری خاکدانه‌های خاک می-شود (۴۵). ژی و همکاران[3] (۵۲) گزارش کردند که کربوهیدرات‌های تجمع یافته در خاک فقط به عنوان ذخیره کربن آلی شناخته نمی‌شوند بلکه آنها همچنین می‌توانند باعث حفاظت سطح خاک در مقابل فرسایش بادی بشوند. پوسته‌های سیانوباکتری خاک با شبکه‌های فیلامنت و پلی ساکاریدها می‌توانند باعث مقاومت خاک در مقابل فرسایش آبی و بادی و هم چنین به دام انداختن گردوغبار شوند (۳۷).

مقادیرکربوهیدرات خاک‌های پوشیده شده با دو گونه گلسنگ و پوسته فیزیکی ۱۵/۰۷ تا ۲۴/۴۶ درصد کربن آلی خاک را شامل می‌شوند. به طور کلی کربوهیدرات‌های خاک ۵ تا ۲۵ درصد مواد آلی خاک را تشکیل می‌دهند (۴۲) و جزء اصلی ذخیره فراهم مواد آلی هستند که بیشتر زیر تاثیر کاربری اراضی و نوع مدیریت قرار می‌گیرد. بسته به ذات فراهم کربوهیدارت‌ها، تاثیر عملیات مدیریت خاک بر روی غلظت کربوهیدرات بیشتر از قسمت پایدار و هوموسی شده است (۳۴). کربوهیدرات های خاک معمولا به سرعت قابل دسترس برای معدنی شدن هستند و عمر کمی دارند بسته به اینکه به سرعت با جمعیت میکروبی جذب می‌شوند، درحالی که آن‌ها می توانند به ترکیبات آلی پایدار متصل، و باعث کاهش حلالیتشان بشوند (۲۳). اندازه کربوهیدرات ساخت شده در پوسته‌های سیانوباکتری خاک در جنوب غربی صحرای کالاهاری، تا ۷۵ درصد از کربن آلی کل را تشکیل می‌دهد و به همین دلیل یکی از بخش‌های مهم باوری خاک‌های شنی صحرای کالاهاری می‌باشد (۳۰).

1- Chamizo *et al.*
2-Bertocchi *et al.*
3- Xie *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID



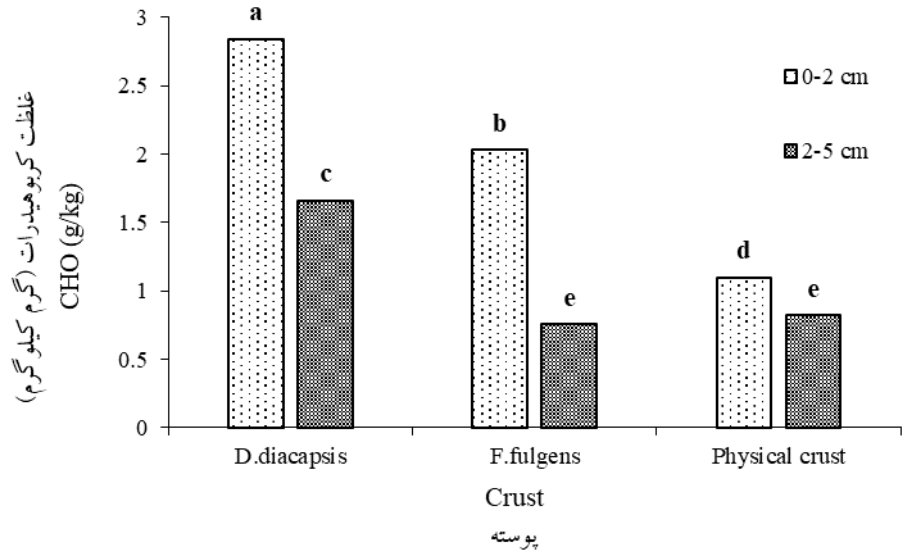
با افزیش عمق در خاک‌های پوشیده شده با دو گونه گلسنگ اندازه کربوهیدرات کاهش پیدا می‌کند.کاهش غلظت کربوهیدرات با افزایش عمق خاک بسته به حضور باکتری‌ها و جلبک‌های فتوسنتز کننده موجود در گلسنگ است، این ریزجانداران فتوسنتز کننده در شرایط رطوبت و دمایی کافی عمدتاً در قسمت‌های بالایی و نزدیک سطح خاک فعالیت می‌کنند (۳). به‌گونه کلی با افزایش عمق خاک در زیر پوسته‌های زیستی غلظت کربوهیدارت کاهش پیدا می‌کند (۳۰).

**کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم**

میانگین کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم در خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و پوسته فیزیکی در دو عمق در شکل ۴ نشان داده شده است. بیشترین اندازه کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم وابسته به خاک‌های زیر پوشش گونه *D.diacapsis* در عمق اول می‌باشد که دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با گونه *F.fulgens* و پوسته فیزیکی در دو عمق است. اندازه‌های کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. کمترین اندازه کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم وابسته به خاک‌های داری پوسته فیزیکی می‌باشد.

پوسته‌های زیستی گلسنگی با پایدار کردن سطح خاک و حفاظت خاک از فرسایش آبی و بادی مایه افزایش کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم شده است در حالی که اندازه کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم برای پوسته فیزیکی به طور قابل توجهی کاهش یافته است.

کربن آلی خاک قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم ۳۳۳ میلی‌مولار به عنوان یک شناسه مناسب از کربن فراهم خاک در نظر گرفته می‌شود (۵). این بخش شامل تمام بخش‌های آلی به راحتی قابل اکسایش، از جمله مواد هومیکی و پلی‌ساکاریدها هستند. به طور کلی، این بخش ۵-۳۰ درصد کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد (۵). مطالعات گوناگون نشان دادند که این بخش از کربن در مقایسه با کربن آلی کل بیشتر در برابر دگرگونی‌های در اثر کشت یا مدیریت حساس است. کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم برای اندازه‌گیری کربن فراهم در خاک‌های گوناگونی و کاربرهای گوناگون بهره‌گیری می‌شود (۵). خاک‌های زیر کشت و کار کربن قابل اکسایش کمتری نسبت به خاک‌های دست‌نخورده مرتعی دارند (۶).

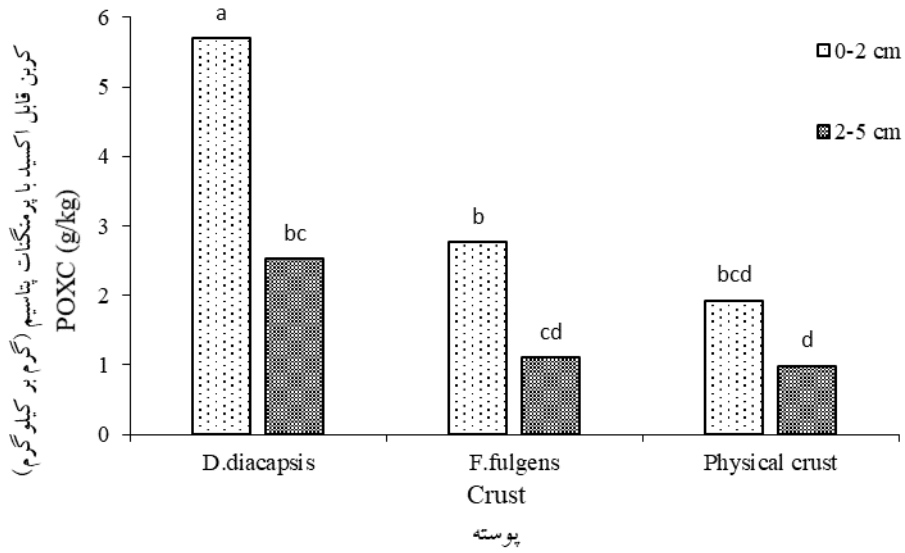



**شکل (۳) میانگین غلظت کربوهیدرات خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی در دو عمق. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.**

**Figure (3) Mean concentration of carbohydrate in soils as affected by lichen biological and physical crusts at two depths. Means with the same letters are not significantly different at P≤0.05. CHO: carbohydrate**

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل (٤) میانگین کربن قابل اکسایش با پرمنگنات پتاسیم خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی در دو عمق. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.**

**Figure (4) Mean of permanganate oxidizable carbon in soils as affected by lichen biological and physical crusts at two depths. Means with the same letters are not significantly different at P≤0.05. POXC: permanganate oxidizable carbon**

## کربن بیومس میکروبی

میانگین کربن بیومس میکروبی در خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و پوسته فیزیکی در دو عمق در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین اندازه‌های کربن بیومس میکروبی درخاک‌های پوشیده شده با گونه *D.diacapsis* در دو عمق مشاهده گردید، که دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ با گونه *F.fulgens* و پوسته فیزیکی در دو عمق می‌باشد. کمترین اندازه های کربن بیومس میکروبی در خاک‌های دارای پوسته فیزیکی مشاهده شد. با افزایش عمق از سطح خاک کربن بیومس میکروبی خاک‌های تحت تاثیر دو گونه گلسنگ کاهش پیدا کرد و تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بین دو عمق مشاهد شد، ولی در پوسته-های فیزیکی این کاهش به‌گونه جزئی مشاهده شد و داری تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ نمی‌باشد. پراکنش پوسته‌های زیستی گلسنگی بر روی سطح خاک با فراهم آوردن مواد کربنی باعث تجمع و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد عمده فعالیت این میکروارگانیسم‌ها در چند میلی‌متری خاک سطحی می‌باشد و باعث افزایش زیست توده میکروبی در این ناحیه می‌شود. که غلظت کربن بیومس میکروبی خاک با افزایش عمق خاک به‌گونه نمایی کاهش می‌یابد. کربن بیومس میکروبی خاک در چند سانتی‌متری نزدیک سطح خاک می‌تواند ۱۰۰ برابر بیشتر از عمق پایین تر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، مخصوصا برای زمین‌های زراعی و مراتع که معمولا سیستم ریشه‌ای کم‌عمق دارند (۲۲). کاهش کربن و نیتروژن بیومس میکروبی با عمق خاک شدیدتر از کاهش کربن آلی خاک می‌باشد (۲۴). کربن بیومس میکروبی عمدتا شامل قارچ‌ها و باکتری‌ها است و نزدیک ۱-۵ درصد کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد و به عنوان عامل دگرگونی‌های بیوشیمیایی در خاک در نظر گرفته می‌شود (۲۱). کربن بیومس میکروبی به طور قابل توجهی در چرخه کربن آلی خاک شرکت می‌کنند اگر چه تنها ۵٪ کربن آلی کل را تشکیل می‌دهد. زیست توده میکروبی فعال‌ترین ذخیزه مواد مغذی در خاک است (۴۸). مرتع و مزرعه که تحت مدیریت انسان هستند دارای غلظت کمتری کربن، نیتروژن و فسفر در خاک ها و بیومس میکروبی خاک در برابر زیست‌بوم‌های[1] دارای پوشش طبیعی می‌باشد. فعالیت‌های انسان اثرات خود را بروی ذخیره و فرم‌های کربن، نیتروژن و فسفر نشان می‌دهد (۵۰). تبدیل اکوسیستم‌های به مزارع یا تخریب آن‌ها اغلب موجب تخیله شدن

1- Biomes

www.SID.ir

Archive of SID


کربن آلی خاک می‌شود. این دگرگونی‌های باعث کاهش بیومس، افزایش تجزیه، کاهش پوشش گیاهی و افزایش فرسایش می‌شود (۲۶ و ۳۵). ذخیره کربن فراهم مانند کربن آلی محلول و کربن بیومس میکروبی سریع‌ترین سرعت بازگشت دارند و بیشتر حساس به مدیریت زمین در برابر ذخیره پایدار کربن خاک هستند (۲،۱۶ و ۴۷).

**کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد و داغ**

میانگین کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد و داغ در خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و پوسته فیزیکی در دو عمق در شکل ۶-الف و ب نشان داده شده است. بیشترین اندازه‌های کربن آب سرد و داغ وابسته به خاک‌های تحت تاثیر گونه *D.diacapsis* می‌باشد که دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ با گونه و پوسته فیزیکی می‌باشند. اندازه‌های کربن آب سرد و داغ با افزایش عمق کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که از نتایج مشخص است کربن عصاره گیری با آب داغ چندین برابر کربن قابل عصاره گیری با آب سرد می‌باشد. گریگوریچ و همکاران[1] (۱۹) گزارش کردندکه کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ نزدیک چند برابر کربن آب سرد می‌باشد. ترکیبات قابل تجزیه با میکروارگانیسم‌ها در عصاره آب داغ بیشتر از آب سرد می‌باشد. همچنین گزارش کردند ماده آلی عصاره‌گیری شده با آب داغ بیشتر دارای کربوهیدارت، فنل، لیگنین، مونومرها و هیتروسیکلیک ترکیبات نیتروژن‌دار در برابر آب سرد هستند (۲۸). اندازه و طبیعت زیستی مواد آلی محلول بوسیله دمای عصاره‌گیری تحت تاثیر قرار می‌گیرد. موادی که با آب داغ عصاره‌گیری می‌شوند احتمالا از نظر شیمیایی ناهمگون هستند، زیرا آب داغ سلول‌های رویشی را می‌کشد، استخراج ترکیبات بیومس میکروبی و همچنین اندازه قابل توجهی از مواد آلی غیر-میکروبی را استخراج می‌کند (۴۱). تجزیه زیستی ماده آلی عصاره‌گیری شده با آب داغ به گونه نزدیکی به ترکیب شیمیایی ذاتی و خواص ساختاری وابسته است. ترکیبات آبگریز و خیلی متراکم آروماتیک نسبتا پایدار هستند و ممکن است در مقابل تجزیه با میکروارگانیسم‌ها مقاوم باشد. کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ از ۱۰ سانتی‌متری خاک تحت تاثیر چهار پوشش گیاهی، شامل اندازه قابل توجهی قسمت پایدار هستند که نشان می دهد سهم کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ در ترسیب کربن در خاک مهم می باشد (۷).

ماده آلی محلول، مواد آلی موجود در محلول خاک هستند، در سال‌های اخیر به عنوان یک بخش کربن لابیل، برای ارزیابی کیفیت خاک بهره‌گیری می‌شود (۲۱). این بخش شامل ترشحات موجودات ریز خاک و ریشه‌ها، هیدرولیز کربن آلی غیر محلول و و مواد نشت یافته از مانده‌های گیاهی است. این بخش از کربن خاک در خاک مرطوب مزرعه نزدیک به ترتیب ۰/۰۵- ۰/۴ و ۰/۲۵- ۲ درصد کربن آلی کل خاک در خاک‌های کشاورزی و جنگلی را تشکیل می‌دهد (۴۰). کربن قابل عصاره‌گیری با آب داغ و هیدرولیز اسید رقیق در این سال‌های اخیر برای ارزیابی کیفیت خاک بهره‌گیری می‌شوند. کربن قابل عصاره‌گیری با آب داغ ۱-۵ درصد کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد (۹).

## نقش گوناگون گونه‌های گلسنگ بر بخش‌های کربن فراهم و آلی

نتایج نشان می‌دهد که گونه *D. diacapsis* تاثیر بیشتری بر روی بخش‌های کربن فراهم و کربن آلی نسبت به گونه *F. fulgens* دارد (شکل‌های ۲، ۳،۴، ۵ و ۶). ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو گونه پوسته زیستی گلسنگی به احتمال زیاد عامل اصلی تفاوت در تاثیر گوناگون این دو گونه بر کربن آلی و بخش-های گوناگون کربن فراهم می‌باشد. گونه *D. diacapsis* دارای اندازه تال[2] بزرگتر نسب به گونه *F. fulgens* می‌باشد (شکل ۱). چامیزو و همکاران[3] (۸) گزارش کردند که تال ضخیم و اندازه بزرگ گونه *D. diacapsis* سطح خاک را در مقابل فرسایش آبی و بادی محافظت می‌کند. پوسته‌های زیستی که دارای بیومس بیشتری هستند پلی‌ساکارید و اسیدهای آلی بیشتری نسبت به گونه-های داری بیومس کمتر تراوش می‌کنند (۳).

1- Gregorich *et al*.

2- Thallus

3- Chamizo *et al*.

www.SID.ir

Archive of SID

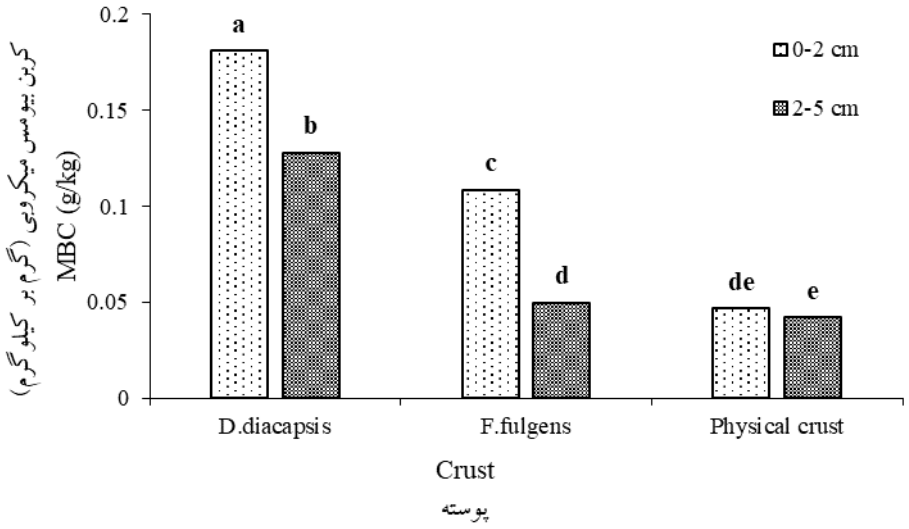

**ضریب همبستگی**

ضریب همبستگی میان کربن آلی و بخش‌های فراهم کربن خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. همبستگی مثبت و معنی‌دار میان همه بخش‌های کربن فراهم و کربن آلی در سطح احتمال ۱٪ مشاهده شد. کربن آلی خاک همبستگی بالایی با کربن بیومس میکروبی، کربوهیدرات و کربن قابل عصاره‌گیریبا آب داغ داشت. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۵۹) میان کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ و کربوهیدرات مشاهده گردید. به طور کلی همبستگی بالایی میان کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ با کربن آلی و بقیه بخش‌های کربن به غیر کربن عصاره-گیری با آب سرد مشاهده شد، در حالی که ضریب همبستگی برای کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد با بقیه پارامترها پایین‌تر بود. ضریب همبستگی بالا میان کربن عصاره گیری شده با آب داغ و بقیه پارامترها را می‌توان به حضور ترکیبات میکروبی، ترشحات ریشه و مواد نشت یافته از باقیمانده گیاهان در عصاره آب داغ نسبت داد. همچنین قانی و همکارن[1] (۱۷) همبستگی بالایی میان کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ و کربن بیومس میکروبی گزارش کردند، این همبستگی بالا نشان می‌دهد که عصاره استخراج شده بوسیله آب داغ حاوی متابولیت میکروبی و تولیدات تجزیه‌ای آن‌ها است (۲۸). همبستگی بالا میان کربن قابل عصاره‌گیری با آب داغ نشان می‌دهد که عمده ترکیبات عصاره آب داغ کربوهیدارت‌ها و دارای منشا میکروبی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بالایی میان کربن بیومس میکروبی و کربوهیدرات وجود دارد. بو و همکاران[2] (۷) نشان دادن ۳۸/۵ تا ۴۴/۸ درصد از کربن استخراج شده با آب داغ وابسته به کربوهیدارت می باشد، همچنین قانی و همکاران (۱۷) گزارش کردند که ۴۰ تا ۵۰ درصد کربن استخراج شده با آب داغ وابسته به کربوهیدارت می‌باشد. قانی و همکاران (۱۸) مشاهده کردند که ۴۵-۶۰ کربن استخراج شده با آب داغ کربوهیدرات است و محققانی دیگر گزارش کردند که ترکیبات موجود در عصاره آب داغ عمدتا داری منشا میکروبی هستند (۳۶). همبستگی‌ها نشان می‌دهد که بهترین پارامترها برای بررسی کیفیت کربن آلی خاک در منطقه بررسی شده کربن بیومس میکروبی، کربوهیدرات و کربن عصاره‌گیری شده با آب داغ می‌باشد و می‌توان از آن‌ها به عنوان شاخص‌های خوب برای بررسی کیفیت خاک بهره‌گیری کرد.

1- Ghani *et al.*
2- Bu *et al.*

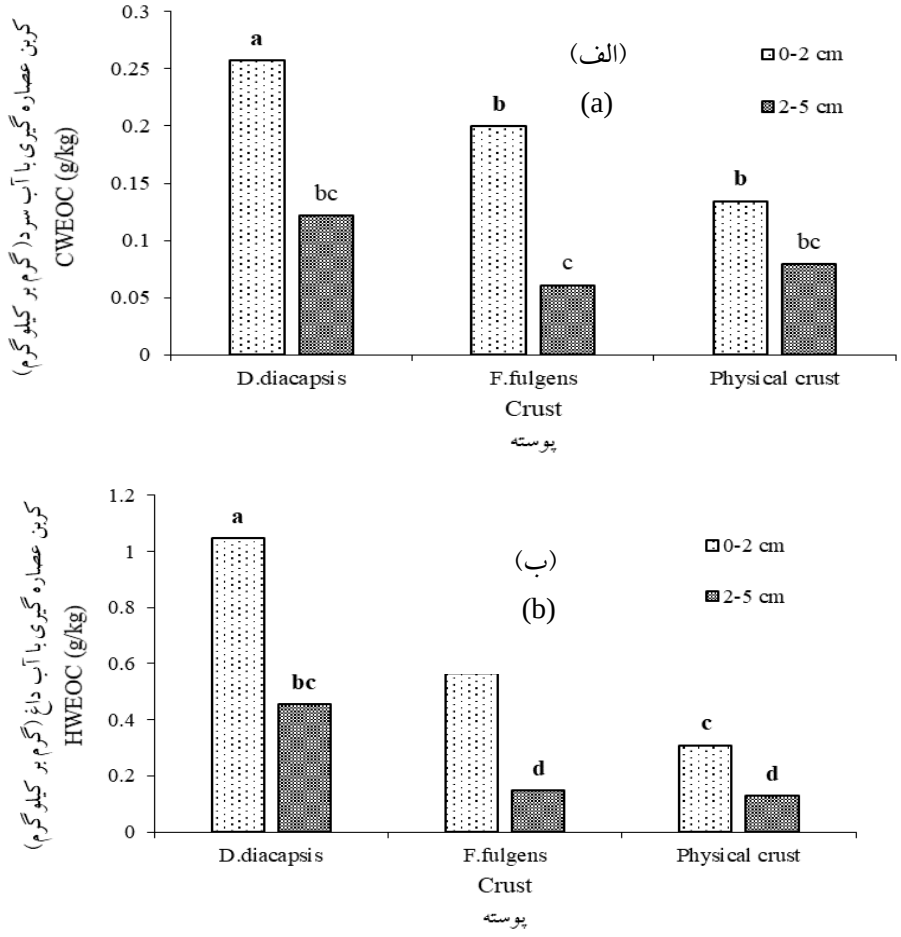
www.SID.ir

Archive of SID


**شکل (۵) میانگین کربن بیومس میکروبی خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی در دو عمق. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.**

**Figure (5) Mean of microbial biomass carbon in soils as affected by lichen biological and physical crusts at two depths. Means with the same letters are not significantly different at P≤0.05. MBC: microbial biomass carbon**




**شکل (٦) میانگین کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد (الف) و آب داغ (ب) خاک‌های زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی در دو عمق. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.**

**Figure (6) Mean cold (a) and hot (b) water extractable carbon in soils as affected by lichen biological**

www.SID.ir

Archive of SID


**and physical crusts at two depths. Means with the same letters are not significantly different at P≤0.05. CWEOC: cold-water extractable organic carbon; HWEOC: hot-water extractable organic carbon.**

**جدول(۲) ضریب همبستگی پیرسون میان پارامترهای اندازه‌گیری شده زیر پوسته‌های زیستی گلسنگی و فیزیکی**

**Table (2) Pearson correlation coefficients between measured parameters under lichen biological and physical crusts**

| HWEOC | CWEOC | MBC | POXC | CHO | OC | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | OC |
| | | | | 1 | 0.918** | CHO |
| | | | 1 | 0.863** | 0.881** | POXC |
| | | 1 | 0.863** | 0.937** | 0.931** | MBC |
| | 1 | 0.752** | 0.799** | 0.895** | 0.810** | CWEOC |
| 1 | 0.877** | 0.916** | 0.921** | 0.959** | 0.915** | HWEOC |

معنی‌دار در سطح یک درصد **

** Significance at P <0.01

## نتیجه‌گیری

حضور پوسته‌های زیستی گلسنگی بر روی خاک‌های لس باعث افزایش اندازه کربن آلی، کربوهیدرات، کربن بیومس میکروبی، کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم و کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد و داغ می‌شود. گونه *D.diacapsis* دارای بیشترین تاثیر بر روی کربن آلی و بخش‌های فراهم خاک‌های لسی می‌باشد. به نظر می‌رسد که کربوهیدرات ساخت شده با گونه‌های گلسنگی مایه افزایش کربن خاک و همچنین با اتصال دانه های خاک به یکدیگر از عوامل اصلی تشکیل خاکدانه و در نتیجه پایداری خاک در خاک‌های پوشیده با پوسته‌های زیستی گلسنگی می‌باشد. شاخص‌های کیفیت خاک در خاک‌های پوشیده شده با پوسته‌های زیستی گلسنگی بیشتر از پوسته‌های فیزیکی می‌باشد. این افزایش کیفیت در اثر تجمع مواد آلی و در نتیجه بهبود ساختمان و پایداری خاک با پوسته-های زیستی گلسنگی بوجود آمده است. همبستگی مثبتی میان پارامترهای اندازه‌گیری شده وجود داشت. همبستگی بالایی میان کربن قابل عصاره‌گیری با آب داغ و بقیه پارامترها به غیر از کربن قابل عصاره‌گیری با آب سرد وجود داشت. همچنین همبستگی بالایی میان کربن بیومس میکروبی و کربوهیدرات با کربن آلی وجود داشت در نتیجه می‌توان از کربن قابل عصاره-گیری با آب داغ و کربن بیومس میکروبی و کربوهیدارت به-عنوان شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک در این مناطق بهره‌گیری کرد. حفظ و جلوگیری از تخریب این گونه‌های گلسنگ با انسان و دام می‌تواند عاملی برای افزایش کیفیت خاک، کاهش انتشار گاز کربن‌دی اکسید به اتمسفر، پایداری خاک باشد. همچنین با توجه به اینکه ماده مادری این مناطق لس می‌باشد و این مواد مادری حساسیت بالایی در مقابل فرسایش آبی و بادی دارند حضور پوسته‌های زیستی گلسنگی در قسمت‌های که پوشش گیاهی مناسب وجود ندارد می‌تواند باعث حفاظت خاک‌های این مناطق در مقابل فرسایش آبی و بادی شود.

## منابع


1. Adesodun, J.K., Mbagwu, J.S.C., and Oti, N. 2001. Structural stability and carbohydrate contents of an Ultisol under different management systems. Soil and Tillage Research, 60: 135–142.

2. Alvarez, C.R., and Alvarez, R. 2016. Are active organic matter fractions suitable indices of management effects on soil carbon? A meta-analysis of data from the Pampas. Archives of Agronomy and Soil Science, 62(11): 1592-1601.


www.SID.ir

Archive of SID

3. Belnap, J., and Lange, O.L. 2001. Structure and functioning of biological soil crusts: a synthesis. In Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 471-479.

4. Bertocchi, C., Navarini, L., Cesàro, A., and Anastasio, M. 1990. Polysaccharides from cyanobacteria. Carbohydrate Polymers, 12: 127-153.

5. Blair, G.J., Lefroy, R.D.B., and Lisle, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Australian Journal of Soil Research, 46:1459-1466.

6. Blair, N., Faulkner, R.D., Till, A.R., and Crocker, G.J. 2006. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: part III: Tamworth crop rotation experiment. Soil and Tillage Research, 91(1-2): 48–56.

7. Bu, X., Ding, J., Wang, L., Yu, X., Huang, W., and Ruan, H., 2011. Biodegradation and chemical characteristics of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types in the Wuyi Mountains, southeastern China. European Journal of Soil Biology, 47(2): 102-107.

8. Chamizo, S., Canton, Y., Miralles, I., and Domingo, F. 2012. Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems. Soil Biology and Biochemistry, 49: 96-105.

9. Chan, K.Y., and Heenan, D.P. 1999. Microbial-induced soil aggregate stability under different crop rotations. Biology and Fertility of Soils, 30:29-32.

10. Delgado-Baquerizo, M., Gallardo, A., Covelo, F., Prado-Comesaña, A., Ochoa, V., and Maestre, F.T. 2015. Differences in thallus chemistry are related to species-specific effects of biocrust-forming lichens on soil nutrients and microbial communities. Functional Ecology, 29(8):1087-1098.

11. Delgado-Baquerizo, M., Maestre, F.T., and Gallardo, A. 2013. Biological soil crusts increase the resistance of soil nitrogen dynamics to changes in temperatures in a semi-arid ecosystem. Plant and Soil, 366(1-2):35-47.

12. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., and Smith, F. 1956. Colorimetric method of determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28(3): 350–356.

13. Elbert, W., Weber, B., Budel, B., Andreael, M. O., and Poschll, U. 2009. Microbiotic crusts on soil, rock and plants: neglected major players in the global cycles of carbon and nitrogen? Biogeosciences Discussions, 6:6983–7015.

14. Elbert, W., Weber, B., Burrows, S., Steinkamp, J., Büdel, B., Andreae, M.O., and Poschl, U. 2012. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen. Nature Geoscience, 5(7): 459-462.

15. Eldridge, D.J., Bowker, M.A., Maestre, F.T., Alonso, P., Mau, R.L., Papadopoulos, J., and Escudero, A. 2010. Interactive effects of three ecosystem engineers on infiltration in a semi-arid Mediterranean grassland. Ecosystems, 13(4):499-510.

www.SID.ir

Archive of SID


16. Figueiredo, C.C.D., Resck, D.V.S., and Carneiro, M.A.C. 2010. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34(3):907-916.

17. Ghani, A., Dexter, M., and Perrott, K.W. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. Soil Biology and Biochemistry, 35: 1231-1243.

18. Ghani, A., Dexter, M., Sarathchandra, U., Perrott, K.W., and Singleton, P. 2000. Assessment of extractable hot water carbon as an indicator of soil quality on soils under long-term pastoral, cropping, market gardening and native vegetation. Proceedings of Australia and New Zealand Second Joint Soils Conference. Lincoln, New Zealand, 2:119-120.

19. Gregorich, E.G., Beare, M.H., Stoklas, U., and St-Georges, P. 2003. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. Geoderma, 113(3-4): 237-252.

20. 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.

21. Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils. Advances in Agronomy, 85: 221–268.

22. Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E. and Schulze, E.D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. Oecologia, 108: 389–411.

23. Jandl, R., and Sollins, P. 1997. Water-extractable soil carbon in relation to the belowground carbon cycle. Biology and Fertility of Soils, 25(2): 196-201.

24. Jobbagy, E.G., and Jackson, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications, 10: 423–436.

25. Lal, R. 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. Environmental Management, 33: 528-544.

26. Lal, R. 2009. Sequestering carbon in soils of arid ecosystems. Land Degradation and Development, 20(4): 441–454.

27. Lal, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. Environment International, 29: 437-450.

28. Landgraf, D., Leinweber, P., and Makeschin, F. 2006. Cold and hot water–extractable organic matter as indicators of litter decomposition in forest soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169(1): 76-82.

29. 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.

www.SID.ir

Archive of SID

30. 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.

31. Mager, DM., Thomas, AD. 2011. Extracellular polysaccharides from cyanobacterial soil crusts: a review of their role in dryland soil processes. Journal of Arid Environments, 75(2):91-97.

32. Miles, N., Meyer, J.H., and Van Antwerpen, R. 2008. Soil organic matter data: What do they mean. In Proceedings South African Sugar Technologists' Association, 81: 324-332.

33. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D. R. 1982. Methods of Soil Analysis. 2th ed. Part 2: Chemical and biological properties. Soil Science Society America, Madison, WI (USA).

34. Piccolo, A., Zena, A., and Conte, P. 1996. A comparison of acid hydrolyses for the determination of carbohydrate content in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 27(15-17): 2909-2915.

35. Poeplau, C., and Don, A. 2013. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe, Geoderma, 192: 189–201.

36. Redl, G., Hubner, C., and Wurst, F. 1990. Changes in hot water soil extracts brought about by nitrogen immobilization and mineralization processes during incubation of amended soils. Biology and Fertility of Soils.10:45-49.

37. Reynolds, R., Belnap, J., Reheis, M., Lamothe, P., and Luiszer, F., 2001. Aeolian dust in Colorado Plateau soils: nutrient inputs and recent change in source. Proceedings of the National Academy of Sciences, 98: 7123-7127.

38. Singh, A.K., Ngachan, S.V., Munda, G.C., Mohapatra, K.P., Choudhary, B.U., Das, A., Rao, C.S., Patel, D.P., Rajkhowa, D.J., Ramkrushna, G.I. and Panwar, A.S., 2012. Carbon Management in Agriculture for mitigating greenhouse effect. ICAR Research Complex for NEH Region Umiam, Meghalaya.

39. Smalley, I., Marković, S.B., and Svirčev, Z. 2011. Loess is [almost totally formed by] the accumulation of dust. Quaternary International, 240(1): 4-11.

40. Smolander, A., Kitunen, V., and Malkonen, E. 2001. Dissolved soil organic nitrogen and carbon in a Norway spruce stand and in an adjacent clear-cut. Biology and Fertility of Soil, 33: 190-196.

41. Sparling, G., Vojvodić-Vuković, M., and Schipper, L.A. 1998. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry, 30:1469-1472.

42. Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions (2nd cd.). Wiley Inter Science, New York.

www.SID.ir

Archive of SID


43. Su, Y.G., Li, X.R., Zheng, J.G., and Huang, G. 2009. The effect of biological soil crusts of different successional stages and conditions on the germination of seeds of three desert plants. Journal of Arid Environments, 73:931–936.

44. Svirčev, Z., Marković, S.B., Stevens, T., Codd, G.A., Smalley, I., Simeunović, J., Obreht, I., Dulić, T., Pantelić, D., and Hambach, U. 2013. Importance of biological loess crusts for loess formation in semi-arid environments. Quaternary International, 296:206-215.

45. Tisdall, J.M., and Oades, J. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science, 33(2): 141-163.

46. Van Antwerpen, R. 2005. A review of soil health indicators for laboratory use in the South African sugar industry. In Proceedings South African Sugar Technologists' Association, 79: 179-191.

47. Van-Leeuwen, J.P., Lehtinen, T., Lair, G.J., Bloem, J., Hemerik, L., Ragnarsdóttir, K.V., Gísladóttir, G., Newton, J.S., and De Ruiter, P.C. 2015. An ecosystem approach to assess soil quality inorganically and conventionally managed farms in Iceland and Austria. Soil, 1(1): 83–101.

48. Vance, E.D., and Chapin, F.S. 2001. Substrate environment interactions: multiple limitations to microbial activity in taiga forest floors. Soil Biology and Biochemistry, 33: 173–188.

49. Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry, 19(6): 703-707.

50. Vitousek, P.M., Naylor, R., Crews, T., David, M.B., Drinkwater, L.E., Holland, E., Johnes, P.J., Katzenberger, J., Martinelli, L.A., Matson, P.A., Nziguheba, G., Ojima, D., Palm, C.A., Robertson, G.P., Sanchez, P.A., Townsend, A.R. and Zhang, F.S. 2009. Nutrient imbalances in agricultural development. Science, 324(5934): 1519–1520.

51. 51-Wu, N., Zhang, Y.M., and Downing, A. 2009. Comparative study of nitrogenase activity in different types of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China. Journal of Arid Environments, 73:828–833.

52. 52- Xie, Z., Liu, Y., Hu, C., Chen, L., and Li, D. 2007. Relationships between the biomass of algal crusts infield and their compressive strength. Soil Biology and Biochemistry, 39: 567-572.

53. 53- Zhao, Y., Li, X.R., Zhang, Z.S., Hu, Y.G., and Chen, Y.L. 2014. Biological soil crusts influence carbon release responses following rainfall in a temperate desert, northern China. Ecological Research, 29(5): 889-896.

www.SID.ir