# بررسی اثر پوسته های زیستی (Biological crusts) بر برخی خصوصیات خاک

**جلال امیدی (نویسنده مسئول)[1*] و سمانه عبدالمحمدی[2]**

۱*- کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، jalalomidi58@yahoo.com

۲- کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، abu_tilon@yahoo.com

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

# Investigating the Effect of Biological Crusts on Some Soil Properties

**Jalal Omidi (Corresponding author)[1*]and Samaneh Abdolmohammadi[2]**

1*- M.Sc, Department of Horticulture, University of Guilan, Rasht, Iran, jalalomidi58@yahoo.com

2- M.Sc, Department of Horticulture, University of Guilan, Rasht, Iran, abu_tilon@yahoo.com

Received: August 2022 Accepted: September 2022

**چکیده**

رشد بیابان در ایران معضلی بزرگ به شمار می‌رود. بخش وسیعی از اراضی کشور را محیط‌های آسیب‌پذیر به خطر بیابانی‌شدن احاطه کرده‌اند، به طوریکه حدود ۷۵ درصد از اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، با آثار و پیامدهای بیابانی شدن روبرو هستند. آثاری چون خشک شدن دریاچه‌های داخلی، طوفان‌های ماسه، گرد و غبار و تشدید فرسایش بادی، جلوه بارزی از نرخ رو به رشد بیابانی‌شدن در سال‌های اخیر در کشور است. در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود رطوبت و سایر شرایط نامناسب اقلیمی، پوشش گیاهی اندکی وجود دارد. در نتیجه خاک‌ها بیشتر در معرض تخریب هستند، ولی در برخی از این مناطق با وجود کمبود رطوبت خاک، دمای بالا و سایر شرایط نامناسب اکولوژیک، فواصل بین گیاهان اغلب توسط جامعه‌ای از موجودات گیاهی ذره‌بینی پوشانده شده است و این جوامع به نام پوسته‌های زیستی خاک شناخته می‌شود. پوسته‌های زیستی خاک، مشارکت ذرات معدنی خاک همراه با سیانوباکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها، گلسنگ‌ها یا بریوفیت‌ها بوده و پوشش رایج در فضاهای باز اطراف گیاهان آوندی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. پوسته‌های زیستی به طور قابل توجه فرآیندهای زیست‌بوم‌های اولیه را تحت تاثیر قرار می‌دهند و به عنوان مهندسین زیست‌بوم در مناطق خشک توصیف شده‌اند.

**کلمات کلیدی**: بیابان، پوسته، خاک، محیط زیست



**Abstract**

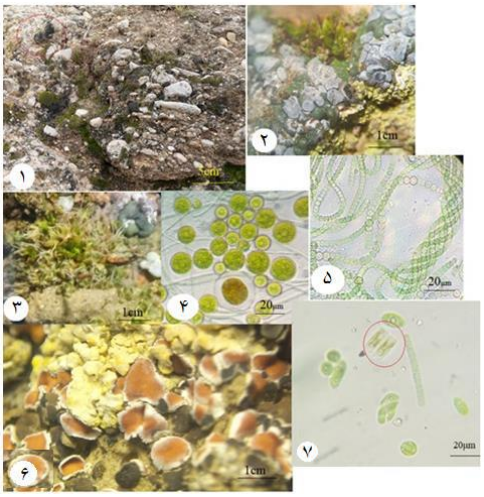
Desert growth in Iran is a major problem. A large part of the country is surrounded by vulnerable areas at risk of desertification, so that about 75% of the ecosystems of arid and semi-arid regions of the country, face the effects and consequences of desertification. Effects such as the drying up of inland lakes, sandstorms, dust and intensification of wind erosion are a clear manifestation of the growing rate of desertification in recent years in the country. In arid and semi-arid ecosystems, there is little vegetation due to lack of moisture and other adverse climatic conditions. As a result, soils are more prone to degradation, but in some of these areas, despite the lack of soil moisture, high temperatures and other unfavorable ecological conditions, the distances between plants are often covered by a community of microscopic plants, and this Communities are known as biological soil crusts. Biological soil crusts are the association of soil mineral particles with cyanobacteria, algae, fungi, lichens, or bryophytes and are common coverings in open spaces around vascular plants in arid and semi-arid regions. Biological crusts significantly affect early ecosystem processes and have been described as ecological engineers in arid regions.

**Keywords:**Crust, Desert, Environment, Soil

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

سال ۱۴۰۱، دوره ۱۷، شماره ۲، صص ۲۱-۱۱

**پوسته‌های زیستی خاک (Biological soil crusts)** در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که عاری از پوشش گیاهی یا دارای پوشش تنک هستند، فضای خالی بین گیاهان عالی عاری از زندگی اتوتروفی نبوده و عموما توسط جامعه‌ای از میکروارگانیسم های بسیار اختصاصی پوشیده شده است که به عنوان پوسته‌های زیستی خاک تعریف شده است. (Isichei, 1990). در شکل (۱) نمونه‌ای از پوسته‌های زیستی خاک را مشاهده می‌کنید.



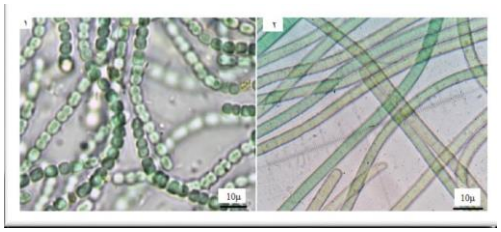

**شکل ۱- تصویر خزه و گلسنگ، ۲ و ٦ تصاویر گرفته شده از انواع گلسنگ، ۳ خزه، ٤ جلبک‌های سبز، ٥، رشته‌های سیانوباکتری، ۷، تصویری از دیاتومه که با دایره قرمز مشخص شده است**

**Fig 1- Image of moss and lichen, 2 and 6, images taken of different types of lichen, 3 moss, 4 green algae, 5, filaments of cyanobacteria, 7, image of diatom marked with red circle**

**اجزای پوسته‌های زیستی خاک**

- **جلبک‌ها:** جلبک‌ها در تمام دنیا و محیط‌های گوناگون مانند آب‌های شیرین، آب دریاها، روی برف، صخره‌ها و رو یا درون بدن گیاهان و جانوران یافت می‌شوند. در این بین اشکال آبزی بیشتر به چشم می‌خورند (Leys and Eldridge, 1998).

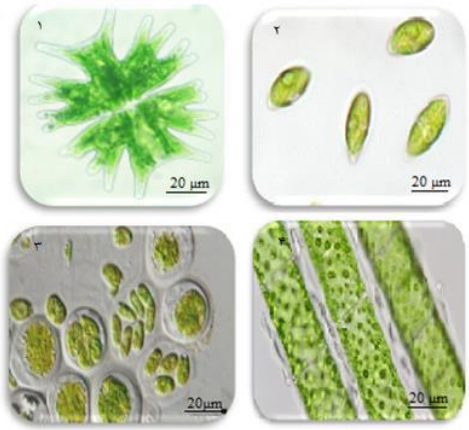
- **سیانوباکتری‌ها:** سیانوباکتری‌ها یا جلبک‌های سبز-آبی در طبقه بندی‌های جدید در سلسله جلبک‌ها قرار نمی گیرند بلکه آن‌ها در سلسله‌های جداگانه به نام مونرا قرار داده شده‌اند. سیانوباکترها بسیار کوچک و در حد چند میکرون می‌باشند. تقسیمات سلولی آن‌ها آمیتوزی است و چون قادر به تقسیم میوزی نیستند فاقد تولید مثل جنسی هستند. تاژک و یا وسیله حرکتی ندارند با این وجود برخی از گونه‌ها مانند *Oscillatoria*حرکت‌های خاصی از خود نشان می‌دهند. از ویژگی‌های مهم سیانوباکترها حضور رنگینه کلروفیل a می‌باشد. رنگدانه‌های مهم دیگر آن‌ها شامل فیکوسیانین و فیکواریترین است. تجهیزات رنگدانه‌ای به آن‌ها این اجازه را می‌دهد که سطوح بالای تابش‌های فرابنفش را تحمل کنند (Belnap, 2003). سیانوباکتری‌های غالب در بیابان در شکل (۲) نشان داده شده‌اند.



**شکل ۲- انواعی از گونه‌های سیانوباکتری**

**Fig 2- A variety of cyanobacterial species**

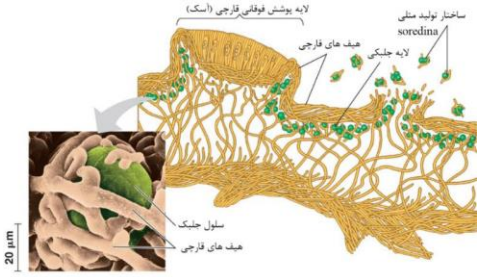
- **جلبک‌های سبز:** برخی از ویژگی‌های جلبک‌های سبز شامل از لحاظ ساختمان ریخت‌شناسی گستردگی وسیعی از خود نشان می‌دهند. از لحاظ ساختار سلولی یوکاریوتی‌اند. دیواره سلول اساسا دارای سلولز به عنوان ساختار اصلی پلی‌ساکارید می‌باشد. سلول‌های جلبک‌های سبز مانند تمام یوکاریوت‌ها، دارای میتوکندری، دستگاه گلژی، پلاستیدها و دیگر اندامک‌ها می‌باشند. شکل کلروپلاست بسیار متنوع بوده است مانند گیاهان عالی در کلروپلاست خود دارای رنگیزه‌هایی مانند کلروفیل a و b، گزانتوفیل و کاروتن هستند. همچنین در داخل کلروپلاست اغلب آن‌ها اجسام کروی شکل و از جنس پروتئین به نام پیرنوئید وجود دارد که محل حامل آنزیم سنتز نشاسته است (Singh *et al*., 2009). در شکل شماره (۳) برخی جلبک‌های سبز مناطق بیابانی را می‌توان مشاهده نمود.




**شکل ۳- انواعی از جلبک‌های سبز رشته‌ای و گرد**

**Fig 3- Types of stringy and round green algae**

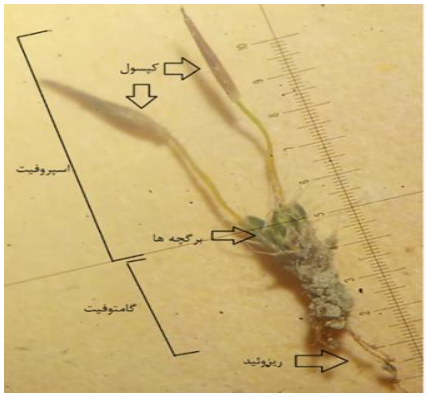
- **گلسنگ‌ها:** گلسنگ‌ها گروهی از گیاهانی هستند که از ترکیب جلبک و قارچ ساخته شده و به صورت همزیست زندگی می‌کنند. پیکره گلسنگ نه به جلبک و نه به قارچ شبیه است. گلسنگ‌ها از اجزاء فلور گیاهی بسیاری از نقاط جهان به شمار می‌آیند و اولین موجودات پرسلولی بودند که به خشکی وارد شدند (Clauzade and Ozenda, 1970).




**شکل ٤- نمایی شماتیک از ساختار گلسنگ**

**Fig 4- Schematic view of lichen structure**

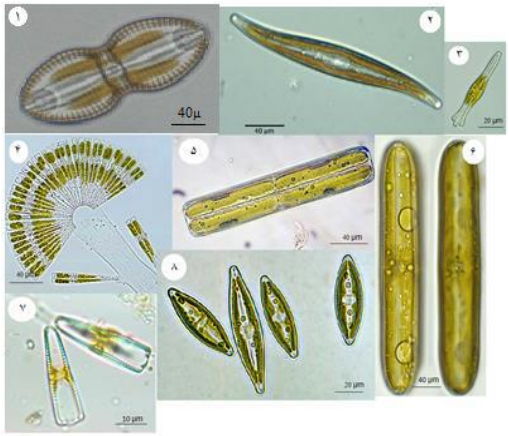
– **خزه‌ها:** این گیاه کند رشد از نخستین گیاهان زمینی به شمار می‌آید و اندام (ساقه و ریشه و برگ) ندارند بلکه ساختارهایی شبیه به آن دارند. فاقد ریشه هستند و عمل تثبیت گیاه در بستر و جذب توسط ساختمان‌های رشته‌ای به نام ریزوئید که عمل جذب مواد، تثبیت گیاه در بستر، و همچنین نگهداشت خاکدانه‌ها توسط این ساختمان‌های رشته‌ای انجام می‌شود (شکل ۵). بر این اساس خزه‌ها با داشتن تارهای ریزوئید از مهمترین عوامل پایداری خاک محسوب می‌شوند؛ بطوریکه ذرات خاک به این تارها می‌چسبند و در مقابل آب و باد در محل خود حفظ می‌شوند (Van Rompaey *et al*., 2003).




**شکل ۵ – مورفولوژی خزه شامل دو بخش اسپروفیت و گامتوفیت است. همانطور که در شکل مشخص شده است اسپروفیت شامل کپسول و میله است، گامتوفیت شامل برگچه‌ها و ریزوئید است.**

**Fig 5- Moss morphology includes sporophyte and gametophyte. As shown in the figure, sporophyte includes capsule and rod, gametophyte includes leaflets and rhizoid.**

– **دیاتومه‌ها:** دیاتومه‌ها گروهی از آغازیان هستند که اتوتروف هستند و دارای کلروپلاست می‌باشند. حدود ۲۰۰ جنس و ٦۰۰ گونه دارند. برخی از انواع آن در شکل (٦) قابل مشاهده است. در این نوع از آغازیان دیواره سلولی دارای دو نیمه کوچک و بزرگ به نام والو است (Morris, 1968). پوسته دیاتوم‌ها از جنس سیلیس است و اغلب تزئینات خاصی دارند، این نقوش و تزئیات ممکن است به صورت فرورفتگی یا برجستگی و خار وجود داشته باشند (Pringsheim, 1967).




**شکل ٦- انواعی از دیاتومه‌ها**

**Fig 6- Types of diatoms**

**عملکرد پوسته‌های زیستی**

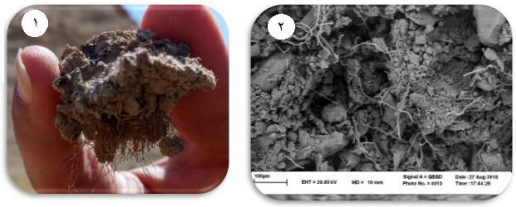
- **تثبیت کربن:** این پوسته‌ها کربن هوا را از طریق فتوسنتز و و تجزیه مواد آلی (Danin and Ganor, 1991) تثبیت کرده و میزان تولید بیوماس را در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک بالا می‌برند (Beymer and Klopatek, 1991). Evans و Lange (۲۰۰۱) دریافتند که گونه گلسنگ *Collema Cristatu* در طی یک دوره ۱۱٦ روزه ۲۲/٤۸ گرم کربن بر مترمربع تثبیت نموده است.

- **تثبیت نیتروژن:** با گذشت زمان و تکامل پوسته‌های زیستی بر ضخامت لایه‌های زیستی افزون می‌گردد. Wang و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که در عمق ۵ سانتی‌متری خاک تپه‌های شنی تثبیت شده با پوسته‌های زیستی حاوی مقدار بیشتری مواد آلی در مقایسه با خاک بدون پوسته زیستی است.

- **حفظ رطوبت خاک:** رطوبت خاک بر سرعت تجزیه‌ی بقایا و معدنی شدن فسفر آلی نقش بسزایی دارد (نجفی، ۱۳۹٦). پوسته‌های زیستی در نگهداری آب و حفظ رطوبت خاک بسیار موثرند. در طی بارندگی، صفحات پلی‌ساکاریدی موجود در سیانوباکترها و جلبک‌ها می‌توانند به سرعت چندین برابر وزن خود آب جذب کنند (Belnap and Gardner, 1993).

- **بهبود نفوذپذیری:** هنگامی که پوسته‌های زیستی مرطوب می‌شوند حجم آن‌ها تا ۱۰ برابر افزایش پیدا می‌کند که در نتیجه موجب جذب و نگهداری آب مورد نیاز رشد سیانوباکتری‌ها می‌شود. در شرایطی که پوسته‌های زیستی مرطوب افزایش حجم پیدا می‌کنند، سطح خاک ناهموار شده و نفوذ آب به خاک افزایش پیدا می‌کند (Lange *et al* ., 1994)

- **تثبیت و پایداری خاکدانه‌ها:** یکی از مهمترین وظایف پوسته‌های زیستی تثبیت خاک است که منجر به کاهش فرسایش آبی و بادی می‌شود (Williams *et al*., 1995). رشته‌های سیانوباکتری‌ها و قارچ‌های ذره‌بینی با نفوذ در شکاف‌های چند میلی‌متری سطح خاک، از طریق رشته‌های پلی‌ساکارید خود، ذرات ریز خاک را به یکدیگر چسبانده و ترکیبی تشکیل می‌دهند که باعث تثبیت سطح خاک و حفاظت از آن در برابر نیروهایفرساینده خاک خواهند شد (Belnap and Gardner, 1993).



**شکل ۷- تصویر ۱- بخشی از خاک که توسط پوسته‌ها حفظ شده‌اند. و ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی که نشان می‌دهد، پلی‌ساکاریدها ذرات خاک را دربرگرفته‌اند.**

**Fig 7- A part of the soil that is preserved by the shells. and 2- the image of the electron microscope which shows that the polysaccharides have covered the soil particles.**

- **کاهش فرسایش آبی و بادی:** سهرابی و کاکه (۱۳۹۲) به بررسی اثر تخریب پوسته‌های زیستی خاک در مراتع زاگرس، بر فرسایش خاک و افزایش ریزگردها در غرب ایران پرداختند. نتایج حاصل حاکی از آن است، که پایداری و پویایی مراتع زاگرس موجب کاهش حجم بزرگی از ریزگردهای کشور می‌شود. توسعه یا انهدام پوسته‌های زیستی در زاگرس ممکن است محرک تحول بزرگی در شرایط این اکوسیستم شکننده باشد. احیای پوسته‌های زیستی خاک‌های زاگرس می‌تواند به طور بالقوه جهت احیای اکوسیستم‌های آسیب دیده در آن منطقه به کار گرفته شود و بخش زیادی از جوامع گیاهی یکساله را که به شرایط محیطی سازگارند پایدار سازد.
- **استقرار پوشش گیاهی و حاصلخیزی خاک:** Evans و Ehleringer (۱۹۹۳) مشاهده نمودند که خاک‌های فاقد این نوع پوسته‌ها، مواد آلی و فسفر قابل استفاده کمتری دارند. شواهد موجود نشان می‌دهد که پوسته‌های زیستی جذب تعدادی از عناصر ضروری بخصوص ازت را بوسیله گیاهان آوندی افزایش می‌دهند.

## عوامل موثر بر توزیع پوسته‌های زیستی خاک

**ارتفاع از سطح دریا:** توسعه پوسته‌های زیستی خاک، با پوشش گیاهان آوندی رابطه عکس دارد به طوری که پوشش کم گیاهان، سطوح بیشتری را برای کلونیزه کردن و رشد موجودات پوسته فراهم می‌کنند. در صورتی که تمام انواع پوسته (سیانوباکتری، خزه و گلسنگ) حضور داشته باشند، این موجودات در مناطق کم ارتفاع (کمتر از ۱۰۰۰ متر) نسبت به مناطق با ارتفاع متوسط (۱۰۰۰– ۲۵۰۰ متر) دارای پوشش بیشتری خواهند بود. با این حال پوشش نسبی گلسنگ و خزه همراه با ارتفاع و بارش موثر افزایش یافته تا زمانی که پوشش گیاهان آوندی رشد آن‌ها را متوقف کند (Anderson *et al*., 1982).

**خاک و پستی و بلندی:** سنگ‌های ثابت یا قرار گرفته در سطح خاک، می‌توانند درصد پوشش پوسته را توسط گرفتن آب و محافظت سطح خاک از تخریب‌های فیزیکی افزایش دهند. خاک‌های کم عمق، اغلب تنوع بیشتری از سیانوباکتری‌ها، گلسنگ‌ها و خزه‌ها را صرف‌نظر از بافت خاک حمایت می‌کنند. بافت خاک به شدت ترکیب گونه‌ای جوامع پوسته زیستی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

خاک‌های ریز بافت بسیار پایدار (مانند خاک‌های گچی و لوم سیلتی) در مقایسه با خاک‌های درشت بافت و پایداری کم، دارای پوشش بیشتر و جمعیت بسیار متنوعی از سیانوباکتری‌ها، گلسنگ‌ها و خزه‌ها هستند (Kleiner and Harper, 1977).

**تخریب پوسته زیستی:** شدت و نوع تخریب سطح خاک و نیز مدت سپری شده از زمان اختلال، بر ترکیب پوسته زیستی موثر هستند. حضور، فقدان و فراوانی گونه‌های توالی اولیه یا آخر می‌تواند اطلاعاتی را با توجه به تاریخچه تخریب منطقه فراهم کند. این اطلاعات به همراه داده‌های حاصل از ترکیب جوامع گیاهان آوندی، می‌توانند به درک تاریخچه منطقه، قابلیت تولید بالقوه و یکپارچگی بوم‌شناختی در مدیریت اراضی کمک کنند (Belnap *et al*., 2001).

تخریب شدید، منجر به بایر شدن سطح خاک می‌گردد. در تخریب‌های شدید و مکرر، معمولاً خاک توسط سیانوباکتری‌های رشته‌ای بزرگ احاطه می‌شوند. در تخریب‌های دارای شدت و تکرارپذیری کمتر، پوسته-های زیستی می‌توانند در توالی‌های میانه قرار گیرند. بسیاری از این گونه‌ها تکثیر غیرجنسی دارند که احتمال استقرار آن‌ها را افزایش می‌دهد. در صورت ادامه اختلالات، پوسته‌ها در مراحل اولیه سیانوباکتری باقی خواهند ماند (Belnap *et al*., 2001).

**زمان بارش:** غالبیت پوسته‌های زیستی به مقدار زیاد توسط الگوهای بارش فصلی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مناطق دارای باران‌های موسمی تابستانه (بیابان سونوران) دارای تنوع بیشتری از سیانوباکتری‌های هتروتروف مانند لینگبیا، کالوتریکس، اسِچیزوتریکس و نوستوک و فراوانی کمتر گلسنگ هستند. به طور کلی گلسنگ‌ها در این مناطق شامل گونه‌های ژلاتینی کولما و فلسی پلکیدیوم و پلتولا هستند. جگرواش‌های تالوئیدی بزرگ، در بیابان‌های گرم نسبت به بیابان‌های سرد شمال آمریکا، بسیار شایع هستند. در بیابان‌های سرد، پوسته‌ها توسط سیانوباکتری‌های فاقد هتروسیست مانند میکروکولوس و اگیناتوس و فلور گلسنگ متنوع احاطه می‌شوند. گلسنگ‌های این مناطق رطوبت فصل سرد را ترجیح داده و به شدت‌های نور کم رایج در ماه‌های زمستان سازگار هستند (Belnap *et al*., 2001).

**ساختار جوامع گیاهان آوندی:** ساختارهای عمودی و افقی گیاهان آوندی در بسیاری از جوامع گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک، رشد پوسته‌های زیستی را بهبود می‌بخشد. در مناطق سردتر، تنوع ساختاری بیشتر گیاهان آوندی منجر به تنوع ترکیبی بیشتر پوسته‌های زیستی می‌گردد. گیاهان آوندی، سایه و مقاومت در برابر باد را برای موجودات پوسته فراهم کرده و بر مقدار رطوبت و نور رسیده به سطح خاک موثر هستند. گیاهان غیربومی مهاجم، تنوع ساختاری جوامع گیاهان آوندی بومی را کاهش داده و در نتیجه منجر به کاهش پوشش و غنای گونه‌ای پوسته‌های زیستی خاک در بیشتر زیست‌بوم‌ها می‌گردند (Belnap *et al*., 2001).

**راهکارهای مقابله پوسته‌های زیستی خاک با تنش‌های زیست‌محیطی**

**نور**: راهکارهای سازگاری سیانوباکتری‌ها به نور شامل بهینه‌سازی فتوسنتز، حفاظت در برابر آسیب ناشی از تابش مرئی و فرابنفش و نیز جابه‌جایی رشته‌ها به دور از نور می‌باشند. لایه‌های مختلف درون پوسته‌های زیستی خاک، از نظر سازگاری به شدت و کیفیت نور

متفاوت بوده و از سطح به عمق دارای لایه‌بندی عمودی هستند (Hu *et al*., 2003).

**خشکی:** مهمترین نیاز سیانوباکتری‌ها برای بقاء، توانایی مقاومت آن‌ها در برابر خشکی می‌باشد. مقدار آب نسبت به نور، شوری و سایر عوامل موثر در توزیع سیانوباکتری‌ها، دارای اهمیت بیشتری می‌باشد به طوری که در خاک‌های شور، مقدار آب در مقایسه با شوری، اهمیت بیشتری در توزیع سیانوباکتری نوستوک داشت (Tsujimura *et al*., 1998).

**شوری:** دیاتومه‌ها و سیانوباکتری‌ها، بیشترین زی‌توده را در مناطق دارای نوسانات شوری زیاد در دشت‌های اکلاهاما به خود اختصاص دادند (Kirkwood and Henley, 2006). Obana و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که ریخت‌شناسی سلول نیز جهت مقابله با تنش آب و شوری موثر است به طوری که نوستوک‌های دارای سلول‌های گرد نسبت به سایر اشکال مقاومت بیشتری دارند و در اصلاح خاک موفق‌تر عمل می‌کنند.

**بازسازی پوسته‌های زیستی خاک**

پوسته‌های زیستی خاک، به دخالت‌های بشر بسیار حساس هستند ولی با توجه به اهمیتی که در کارکرد زیست‌بوم‌های خشک و نیمه‌خشک دارند، ترمیم آن‌ها ممکن است به احیای کارکرد زیست‌بوم در مناطق تخریب شده کمک کند. (Moore *et al*., 1999).

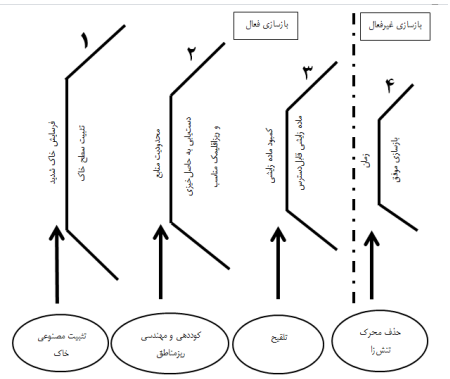
**تثبیت مصنوعی سطح خاک:** در این روش همراه با ثبات سطح خاک، استقرار پوسته زیستی امکان‌پذیر می‌گردد. در منطقه خشک کشور چین، به‌منظور تثبیت تپه‌های شنی و پس از آن استقرار پوسته زیستی، روش شطرنجی نی استفاده شد. نی‌ها تا نیمه به صورت عمودی و در یک الگوی شبکه‌ای (معمولاً به فاصله یک متر) در خاک فرو برده شدند و در برخی موارد گیاهان آوندی نیز کاشته شدند. به تدریج سلسله‌ای از پوسته‌های فیزیکی، سیانوباکتری‌ها، کلروفیت‌ها و در نهایت خزه‌ها (تشکیل یک پوسته زیستی منسجم) ساکن شدند. تنها عیب این روش، این است که باید انگیزه اقتصادی قابل توجهی (مانند جلوگیری از دفن راه‌آهن) به منظور سرمایه‌گذاری منابع نیروی کار جهت اجرا و حفظ پوسته زیستی در مقیاس بزرگ وجود داشته باشد (Li *et al*., 2004).

**تقویت منابع:** اصلاح مواد غذایی و رطوبت برای افزایش استقرار پوسته‌های زیستی در مناطق تخریب شده، به طور گسترده مطالعه نشده است. Singh (۱۹۵۰)، حوضچه‌های آب باران‌های موسمی هند را به منظور ترغیب رشد سیانوباکتری و تبدیل خاک‌های نابارور شدیدا قلیایی، به خاک مناسب برای کشاورزی، مورد استفاده قرار دادند به طوری که منجر به افزایش ماده آلی و نیتروژن به خاک به ترتیب ۳٦/۵- ۵۹/۷ و ۳۰- ۳۸/٤ درصد گردید.

**تلقیح:** روش تلقیح از طریق حذف محدودیت‌های پراکنش ماده زایشی، به توسعه پوسته کمک می‌کند و می‌تواند شامل موجودات پوسته زیستی مناطق دیگر یا حاصل کشت انبوه باشد. در مناطق خشک، آزمایشاتی با این ماهیت شامل انتقال پوسته زیستی خرد شده خشک یا دوغ آب به مناطق تخریب شده، اجرا شده‌اند. هر دو تیمار به وضوح بهبود وضعیت پوسته‌های زیستی را نشان دادند، اما توسعه آن‌ها نسبت به تیمار شاهد (پوسته طبیعی دست نخورده) به مراتب کمتر بود. این امر بیان می‌کند که زمان بهبود

کامل، بسیار طولانی‌تر از مطالعات کوتاه مدت است (Belnap, 2003; St Clair *et al*., 1986 ).

**ادغام روش‌های چندگانه بازسازی پوسته‌های زیستی خاک:** انتخاب روش موثر در بازسازی پوسته‌های زیستی، به شرایط منطقه مورد نظر بستگی دارد. در شکل (۸)، مدل مفهومی جهت هدایت طرح بازسازی ارائه شده که موانع موجود در مسیر بازسازی موفق را نشان می‌دهد. در صورت وجود موانع سطح پایین در بازسازی، پرداختن به موانع سطح بالا، دور از انتظار می‌باشد. در واقع توجه به موانع کوچک موجود در بازسازی پوسته‌ها، ممکن است منجر به کلونیزه کردن سریع‌تر گردد اما برای سرعت بخشیدن به بازسازی احتمالاً نیاز به رفع موانع بیشتری باشد. در این شرایط حذف موانع اضافی، سبب تسریع در بهبود پوسته زیستی می‌گردد. در این مدل سخت‌ترین مانع، فرسایش خاک فعال می‌باشد (Bowker, 2007).




**شکل ۸- روش مرحله به مرحله بازسازی پوسته‌های زیستی خاک (Bowker, 2007).**

**Fig 8- A step-by-step method of rebuilding biological soil crusts**

## نتیجه‌گیری کلی

پوسته‌های زیستی خاک به علت اینکه ذرات خاک را بهم متصل نموده باعث افزایش پایداری و ثبات سطحی خاک شده و منجر به کاهش فرسایش و حفظ رطوبت قابل دسترس خاک و افزایش نفوذپذیری می‌گردند که در نتیجه افزایش حاصلخیزی خاک را بدنبال داشته و باعث افزایش مواد مغذی گیاهان مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌شود. همچنین با توسعه پوسته‌های زیستی از توالی‌های اولیه مانند سیانوباکتری به سمت توالی‌های انتهایی مانند خزه و گلسنگ، مقدار کلسیم کربنات و اسیدیته خاک کاهش می‌یابد. در کل می‌توان نتیجه گرفت که پوسته‌های زیستی موجب بهبود وضعیت خاک و فراهم نمودن زیستگاهی مناسب برای ریزجانداران هتروتروف خاک و افزایش فعالیت آن‌ها می‌شوند.

## منابع


۱) سهرابی. م و. ج، کاکه.۱۳۹۲. تخریب پوسته‌های زیستی خاک در مراتع زاگرس و اثرات آن در فرسایش خاک و افزایش ریزگردها در غرب ایران، کنفرانس ملی مخاطرات محیط زیست زاگرس.

۲) نجفی، ز. ۱۳۹٦. تأثیر میزان رطوبت خاک بر معدنی شدن و ثابت سرعت تجزیه فسفر آلی بقایای گیاهی. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۷ (۱): ٥٤-۳۹.

3) Anderson, D.C., Harper, K.T. and R.C, Holmgren. 1982. Factors influencing development of cryptogamic crusts in Utah deserts. Journal of Range Management, 35: 180- 185.

4) Belnap J, 2003. Biological soil crusts in deserts: a short review of their role in soil

fertility, stabilization, and water relations. Algological Studies, 109:113-126.
5) Belnap, J., Kaltenecker, J.H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, S. and D, Eldridge. 2001. Biological Soil Crusts: Ecology and Management, 110 P.
6) Belnap, J. and J, Gardner. 1993. Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium Microcoleus vaginatus. Western North American Naturalist, 53(1), pp. 40–47.
7) Beymer, R., and J, Klopatek. 1991. Potential contribution of carbon by microphytic crusts in pinyon-juniper woodlands. Arid Land Research and Management, 5 (3): 187- 198.
8) Bowker, M.A. 2007. Biological Soil Crust Rehabilitation in Theory and Practice: An Underexploited Opportunity. Restoration Ecology, 15: 13- 23.
9) Clauzade, G., and P, Ozenda. 1970. Les Lichens. Masson, Paris. pp: 801.
10) Danin, A., & Ganor, E. 1991. Trapping of airborne dust by mosses in the Negev Desert, Israel. Earth Surface Processes and Landforms, 16 (2): 153-162.
11) Evans, R.D. and O.L, Lange. 2001. Biological Soil Crusts and Ecosystem Nitrogen and Carbon Dynamics. 150: 263–279.
12) Evans, R. D. and J. R, Ehleringer. 1993 .A break in the nitrogen cycle in aridlands? Evidence from δp15N of soils. Oecologia, 94: 314– 317.
13) Hu, Ch., Liu, Y., Paulsen, B.S., Petersen, D. and D, Klaveness. 2003. Extracellular carbohydrate polymers from five desert soil algae with different cohesion in the stabilization of fine sand grain. Carbohydr Polym, 54: 33– 42.
14) Isichei A.O. 1990. The role of algae and cyanobacteria in arid lands. A review. Arid Land Research and Management, 4:1- 17.
15) Kleiner, E.F. and K.T, Harper. 1977. Soil properties in relation to cryptogamic ground cover in Canyonlands National Park. Journal of Range Management, 30: 202-205.
16) Lange, O.L. Meyer, A. Zellner, H. and U, Heber. 1994. Photosynthesis and Water Relations of LicMeasurements in the Coastal Fog Zone of the Namib Desert. Functional Ecology, 8 (2): 253-264.
17) Leys, J.F. and D.J, Eldridge. 1998. Influence of cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soils. Earth Surface Processes and Landforms, 23(11): 963–974.
18) Li, X.R., Xiao, H.L., Zhang, J.G. and X.P, Wang. 2004. Long-term ecosystem effects of sand-binding vegetation in the Tengger Desert, northern China. Restoration Ecology, 12: 376–390.
19) Moore, M.M., Covington, W.W. and P.Z, Fulé. 1999. Reference conditions and ecological restoration: a southwestern ponderosa pine perspective. Ecological Applications, 9: 1266– 1277.
20) Morris, I. 1968. Introduction to the Algea. Hutchinson Univ. Library London.
21) Obana, S., Miyamoto, K., Morita, S., Ohmori, M. and K, Inubushi. 2007. Effect of Nostoc sp. on soil characteristics, plant growth and nutrient uptake. J Appl Phycol, 19: 641– 646.
22) Pringsheim, E.G. 1967. Zur physiology der farblosen Diatomee nitzsechia putrida. Archiv. Microbial 55: 60- 67.
23) Singh, R. N. 1950. Reclamation of 'Usar' lands in India through bluegreen algae. Nature 165: 325-326.
24) Singh, P. and A, Jain. 2009. A text book of Botany2 (Bryophyta, Pteridophyta and Gymnosperms). Translated by: Jafari, A. and M, Khorasani. 1ed Edition, Jdm press.
25) St Clair, L.L., Johansen, J.R. and B.L, Webb. 1986. Rapid stabilization of fire-disturbed sites using a soil crust

slurry: inoculation studies. Reclamation and Revegetation Research, 4: 261– 269.
26) Tsujimura, Sh., Nakahara, H., Kosaki, T., Ishida, N. and A.R, Iskakov. 1998. Distribution of soil algae in salinized irrigation land in the arid region of Central Asia – II a case study of 25-year old Bakbakty farm in the fl ood plain of the River Ili, Kazakstan. Soil Sci Plant Nutr. 44 (1): 67– 76.
27) Van Rompaey, A. J., Vieillefont, V., Jones, R. J., Montanarella, L., Verstraeten, G., Bazzoffi, P. and J, Poesen. 2003. Validation of soil erosion estimates at European scale. European Soil Bureau, Brussels, 25.
28) Wang, W., Liu, Y., Li, D., Hu, C. and B, Rao. 2009. Feasibility of cyanobacterial inoculation for biological soil crusts formation in desert area. Soil Biology and Biochemistry, 41 (50): 926– 929.
29) Williams, J., Dobrowolski, J., and West, N. 1995. Microphytic crust influence on interrill erosion and infiltration capacity. Transactions of the ASAE, 38 (1): 139- 146.