

پراکنش پوسته‌های زیستی خاک در سطوح تحول سنی یک مخروط‌افکنه نیمه خشک

مهوان حسن‌زاده بشتیان^۱، عادل سپهر^{۲*}، محمد فرزنام^۳، معصومه بحرینی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۲/۱۹

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲

چکیده

پوسته‌های زیستی خاک، اجتماعی تنگاتنگ بین ذرات خاک و سیانوباکتری، جلبک، قارچ، گل‌سنگ‌ها و خزها هستند که بر روی سطح خاک یا در داخل چند میلی‌متر فوقانی خاک زندگی می‌کنند. در این پژوهش به بررسی اثر ژئومورفولوژی بر توزیع زیستگاهی پوسته‌های زیستی خاک در امتداد تحول سنی یک مخروط‌افکنه واقع در دامنه‌های نیمه‌خشک بینالود جنوبی در خراسان رضوی پرداخته شده است. نمونه‌برداری در فصل تابستان و به صورت سیستماتیک در طول تسلسل زمانی لندفرم‌ها با استفاده از پلات ۰/۲۵ متر مربعی و در ضخامت ۵ سانتیمتری سطح خاک صورت گرفت. سطح لندفرم به سه طبقه ساختاری قدیمی، میانه و جدید دسته‌بندی شد و هر طبقه به ۴ قسمت تقسیم و پلات‌ها به صورت تصادفی انتخاب گردید. در هر سطح ۱۶ نمونه‌برداری صورت گرفت که در مجموع ۴۸ نمونه برداشت گردید. نتایج حاکی از آن است که ژئومورفولوژی به طور غیرمستقیم بر توزیع پوسته‌های زیستی خاک که در نتیجه تفاوت در تخصیص پارامترهای خاک می‌باشد اثر می‌گذارد از جمله با کاهش pH و کلسیم کربنات و افزایش رطوبت خاک در طول گرادیان باعث افزایش پوشش پوسته‌های زیستی خاک می‌گردد. در نتیجه تفاوت قابل توجهی در توزیع انواع مختلف پوسته‌های بیولوژیک خاک در چشم‌انداز بیابان طبیعی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: بیوژئومورفولوژی، پوسته‌های زیستی خاک، تحول سنی، توزیع، مخروط‌افکنه.

مقدمه

هستند تحت شرایطی که رشد گیاهان آوندی محدود است به حیات خود ادامه دهند. اگرچه پوسته‌های زیستی خاک در مناطق خشک بسیار گسترده‌اند، اما فقط در حدود ۴۰ درصد سطح زمین را پوشش می‌دهند (بوکر و همکاران، ۲۰۰۵). بیابان‌های واقع در آسیای مرکزی و چین، اغلب کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر بارش سالانه دریافت می‌کنند، با این حال بارش‌های اوایل فصل تابستان باعث توسعه خوب پوسته‌های زیستی خاک در این مناطق می‌شود. پوسته زیستی خاک شامل موجودات کوچکی از قبیل سیانوباکتری‌ها، جلبک، گل‌سنگ، خز و دیگر هم‌پیوندهای نزدیک می‌باشد که با ذرات سطح خاک تشکیل یک لایه نازک افقی منسجم می‌دهد (لی و همکاران، ۲۰۰۵). ساختار پوسته‌های زیستی خاک باعث به هم متصل شدن ذرات خاک شده که در نتیجه افزایش قابل توجهی در پایداری و ثبات سطح خاک و مقاومت در برابر فرسایش می‌شود (گودی و میدلتون، ۲۰۰۶). آنها به‌طور کلی فرسایش را کاهش، رواناب و توزیع مجدد آب، ثبات و پایداری سطح خاک را افزایش می‌دهند. پوسته‌های زیستی خاک علاوه بر حفظ رطوبت خاک، مقدار قدرت هیدروژنی (pH) را کاهش و در دسترس بودن مواد مغذی را افزایش می‌دهند، هم‌چنین نیتروژن مورد نیاز را تامین می‌کنند (بلنپ و لانگ، ۲۰۰۳). این پوسته‌ها به توسعه پوشش گیاهی کمک می‌کنند، زیرا علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک، آنها به‌عنوان تله‌ای برای دانه‌ها، آب و مواد معدنی عمدتاً از طریق افزایش ناهمواری و درشتی سطح عمل می‌کنند (بلنپ و همکاران، ۲۰۰۱). ویلیامز و همکاران (۲۰۱۰) به تحقیق بر روی تاثیر ژئومورفیک بر توزیع پوسته‌های زیستی خاک در صحرای مجاوه آمریکا پرداختند. نتایج نشان دادند که پوسته‌های زیستی خاک از جمله سیانوباکتری و پوسته‌های خز و گل‌سنگ از طریق

توسعه زمینه‌های مطالعه لندفرم‌ها با در نظر گرفتن مفاهیم اکولوژیک و تاثیر حضور میکرو و ماکرو ارگانیسم‌ها، شاخه جدیدی از مطالعات فرآیندهای سطح زمین به نام بیوژئومورفولوژی را شکل می‌دهد (کورنبلایت و همکاران، ۲۰۱۱). یکپارچه‌سازی در زمینه‌های بیوژئومورفولوژی و چشم‌انداز محیط-زیست، نیاز به در نظر گرفتن فعل و انفعالات متقابل و بازخورد بین عناصر زیستی متعدد و پدیده‌های غیرزیستی است (نیلور و همکاران، ۲۰۰۲ و هاسمن، ۲۰۱۱). تغییرات مورفولوژیک سطوح، تغییرات مهمی در ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و زیستی خاک‌ها پدید می‌آورد. اکوسیستم‌های بیابان حدود یک سوم از سطح زمین را تشکیل داده و مجموعه‌ای از عناصر ژئومورفولوژیک، مانند ساختارهای گوناگون لندفرم، مخروط افکنه‌ها، تپه‌های ماسه‌ای و پلایاها را در خود جای داده‌اند (گودی، ۲۰۰۲). مورفولوژی لندفرم‌ها متشکل از اجزای فیزیکی سطح زمین از جمله: خاک‌لخت، گراول، سنگ و تخته سنگ؛ و اجزاء زیستی شامل: پوشش گیاهی و پوسته‌های زیستی خاک می‌باشد (ریتکرک و همکاران، ۲۰۰۴ و پتراسیاک و همکاران، ۲۰۱۱ الف و ب). مخروط افکنه‌ها به‌عنوان مخروطی ملایم از شن، ماسه و نهشته‌های ریزتر بدون چین‌خوردگی و تک شیب با شکل کلی شبیه پنجه می‌باشند (پاتن و همکاران، ۱۹۷۰). یکی از ویژگی‌های مشترک محیط‌های خشک و نیمه‌خشک، وجود پوشش گیاهی پراکنده است. در این مناطق، در زیر گیاهان آوندی پراکنده و فضای خالی بین آنها، محیط مناسبی برای ظهور گیاهان غیرآوندی که اصطلاحاً به آنها پوسته‌های زیستی خاک (BSC: Biological Soil Crusts) اطلاق می‌شود، ایجاد می‌گردد. آنها نیاز آبی کم و تحمل بالا در برابر دما و نور شدید را دارند و بنابراین قادر

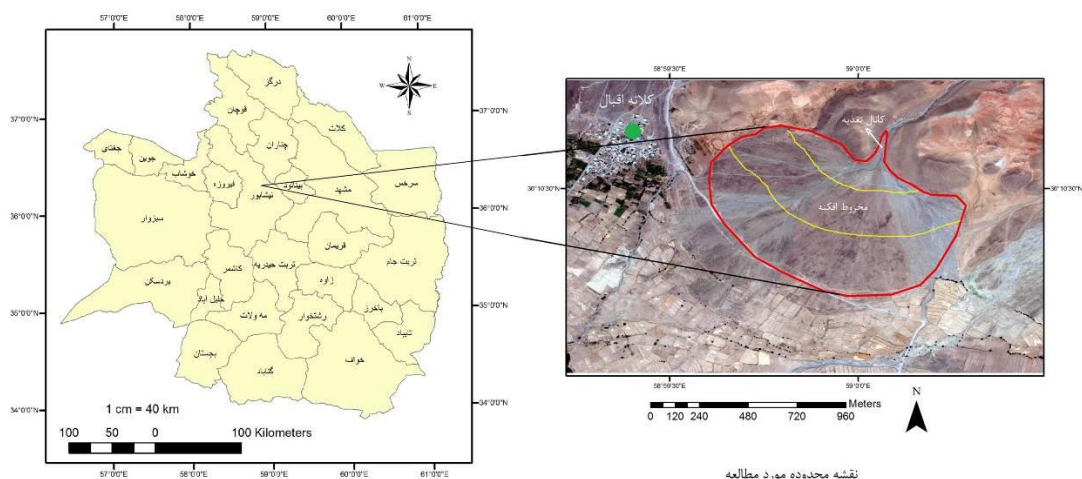
جغرافیایی ۵۹ درجه و ۵۸ ثانیه تا ۵۸ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۴ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۳۹ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت محدوده ۵۸/۵۴۷ هکتار و از لحاظ ژئومورفولوژی در تیپ دشت سر فرسایشی بر روی باجدای بینالود واقع گردیده است. براساس آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان نیشابور متوسط کل بارندگی سالانه (دوره‌ی سی ساله) ۲۴۷/۴ میلی‌متر، حداکثر متوسط بارندگی ماهانه در اسفندماه ۵۰/۸۷ میلی‌متر و حداقل متوسط بارندگی ماهانه در مردادماه ۰/۱۶ میلی‌متر بوده است. آب و هوای منطقه براساس اقلیم نمای دومارتن خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. مخروط-افکنه از لحاظ زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی مربوط به دوره کواترنری و دارای نهشته‌های تخریبی ناپیوسته با منشاء آبرفتی واریزه‌ای با درجه حساسیت متغیر بین ۸ تا ۱۰ و نفوذپذیری رخساره نیمه تراوا و حساس به فرسایش (با درجه ۸) می‌باشد؛ و دارای سازندهای سخت آهکی، ماسه‌سنگی و کوارتزیتی است.

ساختاری، باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و در نتیجه افزایش حاصلخیزی خاک، کاهش فرسایش و در نتیجه کاهش روند بیابان‌زایی می‌شوند.

با توجه به اهمیت موضوع و با توجه به تغییرات پراکنش جوامع پوسته‌های زیستی در لندفرم‌های مختلف، فرض اصلی پژوهش حاضر بر نقش حاکمیتی ژئومورفولوژی در پراکنش پوسته‌های زیستی خاک استوار است. هدف از این مطالعه بررسی ارتباط پراکنش پوسته‌های زیستی خاک با تغییر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در طول تحول سنی یک مخروط‌افکنه نیمه خشک در امتداد ساختارهای قدیم به طرف ساختارهای جدید می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

این پژوهش در یک مخروط افکنه با اقلیم خشک واقع در استان خراسان رضوی و در دامنه‌های جنوبی بینالود انجام شده است (شکل ۱). مختصات رخساره مخروط افکنه مطالعه شده در محدوده



نقشه استان خراسان رضوی

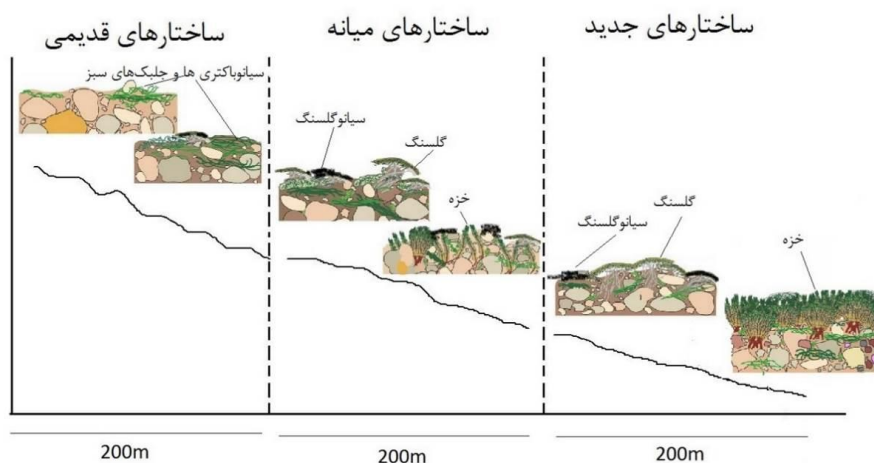
نقشه محدوده مورد مطالعه

شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

خاک به صورت میدانی و جهت اندازه‌گیری میزان زیست‌توده از مجموع کلروفیل a و b (برطبق روش لیچنهالر و ولبورن، ۱۹۸۳) استفاده گردید؛ نمونه‌های خاک از نظر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی از قبیل میزان هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱ با استفاده از دستگاه EC متر، قدرت هیدروژنی در عصاره ۱:۱ با استفاده از pH متر، درصد نسبی ذرات خاک شامل رس، سیلت و ماسه به روش هیدرومتری (بایوکاس، ۱۹۶۲)، درصد کلسیم کربنات به روش حجم‌سنجی (با دستگاه کلسیتر شیلر)، درصد ازت کل با استفاده از دستگاه کج‌دال (مولوانی و برنر، ۱۹۸۲)، فسفر به روش اولسن (اولسن و همکاران، ۱۹۵۴)، پتاسیم و سدیم با فلیم فتومتر (نادسن و همکاران، ۱۹۸۲)، کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری، درصد کربن آلی با استفاده از روش والکی بلاک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲) و درصد رطوبت خاک در عمق ۱۰ سانتیمتری به روش وزنی اندازه‌گیری شد.

در این مطالعه سعی شده که دینامیک مورفولوژی لندفرم‌ها همراه با دینامیک کروئولوژی (تکامل زمانی) آن‌ها که منطبق بر دیدگاه تکاملی دیویس می‌باشد صورت پذیرد. در ابتدا با استفاده از سنجش از دور همراه با مشاهدات میدانی، سه سن نسبی مختلف ژئومورفولوژی بر روی دامنه واریزه‌ای شناسایی شد. در ابتدا تعیین سن نسبی حاصل شده به وسیله موقعیت و ارتفاع هر سطح به زهکشی فعال گزارش شده است. نمونه‌برداری در فصل تابستان و به صورت سیستماتیک در طول تسلسل زمانی لندفرم‌ها با استفاده از پلات ۰/۲۵ متر مربعی و در ضخامت ۵ سانتیمتری سطح خاک صورت گرفت. سطح لندفرم به سه طبقه ساختاری قدیمی، میانه و جدید دسته‌بندی شد (شکل ۲) و هر طبقه به ۴ قسمت تقسیم و پلات‌ها به صورت تصادفی انتخاب گردید. در هر سطح ۱۶ نمونه‌برداری صورت گرفت که در مجموع ۴۸ نمونه برداشت گردید. برآورد درصد پوشش نمونه‌های پوسته‌های زیستی



شکل ۲: پروفیل طولی مخروط افکنه و توزیع زیستگاهی پوسته‌های زیستی خاک

اسمیرنوف بررسی گردید، سپس با استفاده از آزمون آنالیز واریانس و روش تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد تفاوت معنی‌داری گروه‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله با استفاده از نرم-افزار آماری SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت. ابتدا پارامترها از نظر نرمال بودن با آزمون کولموگروف-

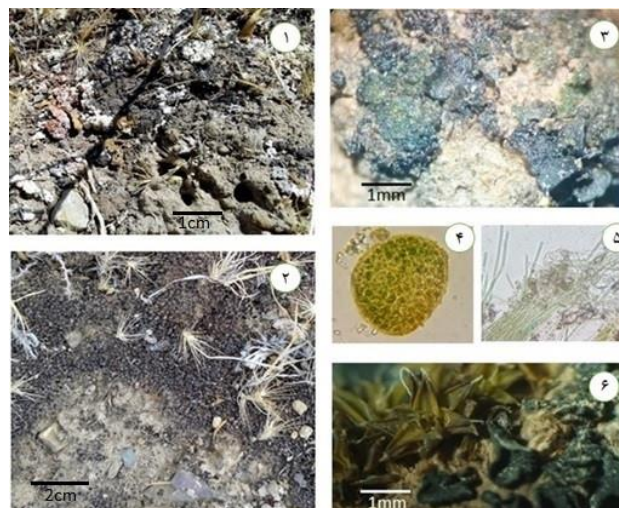
نتایج

اکثر انواع پوسته‌های زیستی مخلوطی با دو یا سه ترکیبی از سیانوباکتری‌ها، جلبک سبز، گل‌سنگ و خزه می‌باشد، از جمله گونه‌های غالب پوسته‌های زیستی خاک منطقه را می‌توان در جدول ۱ و نیز تصاویر تهیه شده از پوسته‌های زیستی خاک منطقه را می‌توان در شکل ۳ مشاهده نمود.

مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی همبستگی پارامترها در هر ساختار از آزمون چندگانه پیرسون استفاده شد. به جهت بررسی روابط متقابل بین داده‌های پوسته‌های زیستی خاک و متغیرهای خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از نرم‌افزار CANOCO 4.5 و با استفاده از آنالیز تطبیقی متعارفی (Canonical Correspondence Analysis) مورد آزمون قرار گرفت.

جدول ۱: گونه‌های غالب پوسته‌های زیستی خاک مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه

خزها	گل‌سنگ‌ها	سیانوگل‌سنگ‌ها	سیانوباکتری‌ها و جلبک‌های سبز
<i>Bryum argentum</i>	<i>Aspicilia</i> sp.	<i>Collema coccophorum</i>	<i>Anabaena azotica</i>
<i>Crossidium desertorum</i>	<i>Candelariella</i> sp.	<i>Collema cristatellum</i>	<i>Chlorocococum</i> sp.
<i>Didymodon</i> sp.	<i>Lecanora mastrucata</i>	<i>Collema dubium</i>	<i>Lyngbya crytoraginata</i>
<i>Tortula caninervis</i>	<i>Lecanora terrestialis</i>	<i>Collema tenax</i>	<i>Microcoleus vaginatus</i>
	<i>Lecidea decipiens</i>	<i>Leptogium</i> sp.	<i>Neochlorosarcina negevensis</i>
	<i>Psora</i> sp.		<i>Nostoc</i> sp.
			<i>Oscillatoria</i> sp.
			<i>Phormidium autumnale</i>
			<i>Zygnema</i> sp.



شکل ۳: تصاویر ۱ و ۲ پوسته‌های زیستی خاک که در حین بازدید میدانی از منطقه عکس‌برداری شده‌اند، در تصویر ۱ نمایی از گل‌سنگ‌ها و سیانوگل‌سنگ‌ها مشاهده می‌گردد. تصویر ۳ نمای نزدیک از سیانوگل‌سنگ *Collema tenax* به همراه مقدار جزئی جلبک را نشان می‌دهد که با استرئومیکروسکوپ تهیه گردیده است؛ تصویر ۴ جلبک *Chlorocococum* و در تصویر ۵ دسته سیانوباکتری *Microcoleus vaginatus* نشان داده شده است. هر دو تصویر ۴ و ۵ از همان سطح خاک تصویر ۳ در زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی $1000\times$ تهیه شده‌اند. تصویر ۶ نمای نزدیک از خز *Barbula ruralis* که توسط استرئومیکروسکوپ تهیه شده بخشی از تصویر ۲ می‌باشد.

پیرسون میان گل‌سنگ‌ها و نیتروژن همبستگی مثبت و متوسطی (ضریب همبستگی $0/614$ و $P=0/034$) وجود دارد. جدیدترین سطح ژئومورفولوژیک پایین‌ترین ارتفاع را در مقایسه با دیگر سطوح ژئومورفولوژی دارا است. پوشش غالب پوسته‌های زیستی خاک را در ساختارهای جدید خزه‌ها با اختلاف معنی‌داری ($P > 0/05$) تشکیل می‌دهد. ویژگی‌های خاک این ساختار؛ دارای میزان رطوبت، سیلت، کربن آلی ($P > 0/05$) و نیتروژن بالاست؛ و با اختلاف قابل توجهی pH خاک کمتر ($P > 0/05$)، و نیز سدیم و کلسیم کربنات کمتری نسبت به سایر ساختارها دارد. با بررسی همبستگی خزه با رطوبت، نیتروژن و فسفر خاک همبستگی مثبت و بالا (دارای ضریب همبستگی در حدود $0/713$ تا $0/724$ و $P > 0/05$) و همچنین همبستگی منفی و بالایی (ضریب همبستگی $0/84$ و $P=0/001$) با هدایت الکتریکی دارد. براساس نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان زیست‌توده و پوشش پوسته‌های زیستی خاک را در این سطوح شاهد هستیم. پوشش کل پوسته‌های زیستی خاک لندفرم در سطح ۵ درصد معنی‌داری با کربن آلی همبستگی مثبت و بالا، و نیز با نیتروژن و فسفر در سطح ۱ درصد همبستگی مثبت و متوسطی دارد. در حالی که با pH خاک همبستگی منفی و بالا (در سطح ۵ درصد معنی‌داری) و هم‌چنین با کلسیم کربنات در سطح ۱ درصد معنی‌داری همبستگی منفی و متوسطی وجود دارد.

نتایج حاصل از آنالیز تطبیقی متعارفی (CCA) گویای این است که الگوهای موجود معنی‌دار بوده-اند (براساس آزمون مونت کارلو $F_{ratio}=4/675$ و $P_value=0/001$ تعیین گردید). بر طبق نتایج حاصل از جدول ۴ دو محور ۱ و ۲ بیشترین مقادیر ویژه را دارا می‌باشند، در نتیجه به تجزیه و تحلیل این دو محور پرداخته شده است.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس و روش چند دامنه‌ای دانکن و نیز همبستگی چندگانه پیرسون به تفکیک در هر ساختار به شرح ذیل می‌باشد: قدیمی‌ترین سطح ژئومورفولوژیک بالاترین ارتفاع در مقایسه با دیگر سطوح ژئومورفولوژی دارا می‌باشد. بر طبق مقایسات میانگین دانکن (جدول ۲) پوشش غالب پوسته‌های زیستی خاک در ساختارهای قدیمی، سیانوگل‌سنگ‌ها، سیانوباکتری-ها و جلبک‌های سبز می‌باشد و از لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک (جدول ۳) در این ساختارها با اختلاف معنی‌داری ($P > 0/05$) pH خاک بالایی دارد و از میزان درصد کربن آلی، هدایت الکتریکی، فسفر و پتاسیم کمتری نسبت به ساختارهای دیگر برخوردار است. در این ساختار درصد شن و کلسیم-کربنات بیشتر می‌باشد. با بررسی همبستگی پیرسون در ساختارهای قدیمی مشخص شد که سیانوباکتری‌ها و جلبک‌های سبز همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی با درصد شن (ضریب همبستگی $0/681$ و $P=0/015$) و نیز همبستگی منفی و نسبتاً بالا با کلسیم و پتاسیم (به ترتیب ضریب همبستگی $0/691$ و $P=0/013$ ، $0/687$ و $P=0/014$) دارد. در نتیجه با اختلاف معنی‌داری ($P > 0/05$) کمترین میزان پوشش پوسته‌های زیستی خاک و زیست‌توده را در این ساختار مشاهده می‌شود. ساختار میانه سطح ژئومورفولوژیک در حدواسط بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع سطوح ژئومورفولوژی واقع هستند. سیانوگل‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌ها با اختلاف معنی‌داری ($P > 0/05$)، اصلی‌ترین پوشش پوسته-های زیستی خاک را در ساختارهای میانه تشکیل می‌دهند. این ساختارها با اختلاف معنی‌داری ($P > 0/05$) pH خاک کمتر، و هدایت الکتریکی و پتاسیم بالاتری نسبت به ساختار قدیم دارد، و نیز از میزان سدیم و کلسیم و منیزیم بالاتری نسبت به سایر ساختارها برخوردار است. بر طبق همبستگی

جدول ۲: میزان درصد متغیرهای پوسته‌های زیستی خاک (میانگین \pm انحراف معیار) در طول ساختاری مخروط افکنه

P_value	آزمون F	ساختارهای قدیمی	ساختارهای میانه	ساختارهای جدید	متغیرهای BSC
۰/۰۰۱	۹/۱۵۷	c ۱/۳۶ \pm ۰/۶۷	b ۳/۷۴ \pm ۴/۳۴	a ۱۰/۴۱ \pm ۱۲/۰۸	درصد خزّه
۰/۰۴	۳/۸۱۹	b ۰/۷۳ \pm ۰/۸۴	a ۳/۹۴ \pm ۳/۵۱	ab ۱/۰۵ \pm ۱/۷۵	درصد گلسنگ
۰/۰۱۷	۴/۵۹۲	b ۱/۶ \pm ۲/۲۵	a ۴/۷۲ \pm ۵/۸۳	b ۱/۷۵ \pm ۳/۰۱	درصد سیانوگلسنگ
۰/۲۱۹	۱/۵۹	a ۱/۰۸ \pm ۱/۹۲	a ۱/۷۶ \pm ۲/۰۱	a ۰/۷۱ \pm ۱/۱۷	درصد سیانوباکتری و جلبک سبز
۰/۰۰۵	۶/۳۶۶	b ۲/۹۲ \pm ۵/۶۸	a ۸/۶ \pm ۱۵/۶۷	a ۱۳/۳۳ \pm ۱۸/۰۱	درصد پوشش کل
۰/۲۸۱	۱/۳۲۱	a ۱/۲۳ \pm ۱/۳۵	a ۱/۱۳ \pm ۱/۹۹	a ۱/۶۷ \pm ۲/۲۴	زیست توده (کلروفیل ((mg/cm ²))a+b

جدول ۳: مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن و آزمون F میان گروه‌های خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک (میانگین \pm انحراف معیار) در طول ساختاری مخروط افکنه

P_value	آزمون F	ساختار قدیم	ساختار میانه	ساختار جدید	پارامترهای خاک
۰/۰۰۷	۵/۸۷۸	b ۰/۷۱ \pm ۱/۸۳	ab ۰/۴۷ \pm ۲/۳۹	a ۰/۸۷ \pm ۲/۸۱	درصد رطوبت خاک
۰/۰۳۷	۳/۶۵۸	a ۳/۲۲ \pm ۴۴/۰۲	ab ۱/۲۸ \pm ۴۳/۱۹	b ۲/۴۲ \pm ۴۱/۳۷	درصد ماسه
۰/۰۲۳	۴/۲۴۵	b ۲/۸۴ \pm ۳۳/۳۷	ab ۲/۲۸ \pm ۳۴/۹۲	a ۴/۱۷ \pm ۳۷/۱۶	درصد سیلت
۰/۴۵۵	۰/۸۰۶	a ۲/۵۶ \pm ۲۲/۶۱	a ۱/۵۶ \pm ۲۱/۸۹	a ۲/۴ \pm ۲۱/۴۶	درصد رس
۰	۱۸/۶۸۴	c ۰/۱۲ \pm ۰/۳۳	b ۰/۱۵ \pm ۰/۵۱	a ۰/۰۸ \pm ۰/۶۳	درصد کربن آلی
۰/۶۰۶	۰/۵۰۹	a ۲/۳۹ \pm ۲۱/۳۷	a ۱/۰۱ \pm ۲۰/۹۲	a ۱/۳۲ \pm ۲۰/۶۸	درصد کلسیم کربنات
۰	۲۲/۵۶۶	a ۰/۱۳ \pm ۸/۳۶	b ۰/۰۴ \pm ۸/۱۷	b ۰/۰۴ \pm ۸/۱۴	pH
۰/۰۰۱	۸/۵۰۲	b ۰/۰۲ \pm ۰/۲۶	a ۰/۰۷ \pm ۰/۳۶	a ۰/۰۸ \pm ۰/۳۳	EC(ds/m)
۰/۰۰۵	۶/۱۴۲	b ۲۵۱/۸۴ \pm ۶۷۹/۶۸	ab ۱۰۳/۸۹ \pm ۸۰۹/۰۱	a ۱۷۵/۱۵ \pm ۹۴۷/۱۹	نیترژن (mg/kg)
۰/۰۱۱	۵/۲۳۸	b ۸/۴۷ \pm ۳۴/۱۹	a ۶/۲۱ \pm ۴۱/۱۷	a ۷/۴۵ \pm ۴۳/۶۷	فسفر (mg/kg)
۰/۰۰۷	۵/۷۴۱	b ۲۰/۹۵ \pm ۲۰۷/۴۵	a ۸۰/۱۸ \pm ۳۳۷/۱۱	a ۱۴۵/۶ \pm ۳۰۰/۸۹	پتاسیم (mg/kg)
۰/۰۲۸	۴/۰۰۲	ab ۹/۱۵ \pm ۶۱/۸۱	a ۶/۲۲ \pm ۶۵/۳۸	b ۵/۷۶ \pm ۵۷/۸۷	سدیم (mg/kg)
۰/۰۳۹	۳/۶۹۶	b ۳۴/۳۷ \pm ۴۰۳/۲۸	a ۳۳/۸ \pm ۴۳۹/۰۴	ab ۴۹/۳ \pm ۴۱۰/۷۱	کلسیم (mg/kg)
۰/۰۰۷	۵/۸۳۴	b ۱۵/۵۳ \pm ۲۴/۳۳	a ۲۱/۷۹ \pm ۴۴/۱۵	b ۶/۷۳ \pm ۲۵/۵۴	منیزیم (mg/kg)

وابستگی بیشتری به این عوامل دارد در حالی که محور دوم بیشترین مقادیر را بعد از نیترژن و سدیم در ارتباط با عوامل درصد شن، کلسیم کربنات، درصد سیلت و کلسیم خاک داشته است.

براین اساس مطابق با جدول ۵ عامل‌های رطوبت و نیترژن خاک در طول محور اول بالاتر از سایر عوامل بوده و عواملی مانند سدیم، درصد شن، pH و منیزیم خاک دارای مقادیر بعدی در طول این محور می‌باشند که نشان می‌دهد محور اول

جدول ۴: نتایج حاصل از آنالیز تطبیقی متعارفی (CCA)

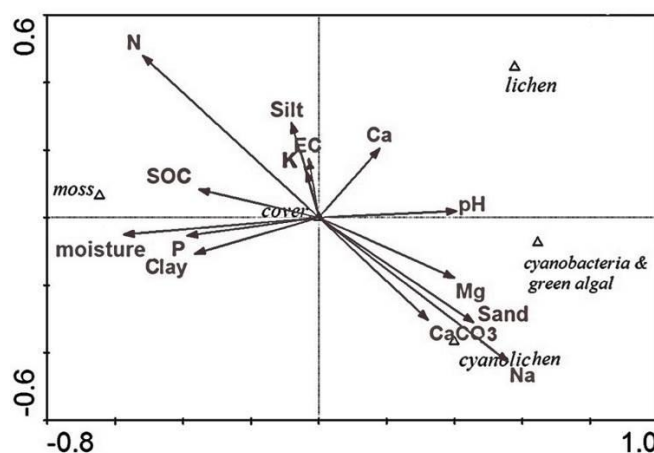
محوورها	۱	۲	۳	۴
مقادیر ویژه	۰/۱۹۲	۰/۰۴۲	۰/۰۳	۰/۰۰۵
همبستگی بین محورهاى رج‌بندی پوسته‌هاى زیستی و ویژگی‌هاى خاک	۰/۹۴۴	۰/۶۸۶	۰/۷۴	۰/۰۱
درصد تجمعی واریانس رابطه پوسته‌هاى زیستی با ویژگی‌هاى خاک	۷۲/۷	۸۸/۷	۰	۰

جدول ۵: میزان همبستگی بین پارامترهاى خاک و محورهاى CCA

متغیرهاى خاک	محور ۱	محور ۲
moisture	-۰/۵۷۵۳	-۰/۰۵۰۶
Sand	۰/۴۵۶۹	-۰/۳۱۰۸
Silt	-۰/۰۸۰۵	۰/۲۸۰۷
Clay	-۰/۳۶۵۶	-۰/۱۰۷
SOC	-۰/۳۵۳۳	۰/۰۸۲۹
pH	۰/۴۰۷۴	۰/۰۱۹۶
EC	-۰/۰۳۰۲	۰/۱۷۵۱
N	-۰/۵۱۹۴	۰/۴۷۹۸
P	-۰/۳۸۸۶	-۰/۰۵۳۶
K	-۰/۰۳۶۱	۰/۱۳۷۵
Na	۰/۵۵۹۱	-۰/۴۲۶۷
CaCO ₃	۰/۳۲۳	-۰/۳۰۳۲
Ca	۰/۱۷۹۶	۰/۲۰۵
Mg	۰/۴۰۰۱	-۰/۱۷۸۹

کلسیم، pH و پتاسیم خاک رابطه مستقیم نشان داده‌اند ولی در جهت عکس بردارهاى درصد رس، فسفر و رطوبت خاک قرار گرفته است. سیانوگلسنگ‌ها، سیانوباکتری‌ها و جلبک‌هاى سبز با قرار گرفتن در قسمت منفی محور دوم نشان می‌دهد که از عوامل pH، سدیم، کلسیم کربنات، درصد شن و منیزیم خاک تاثیرپذیری بیشتری دارند.

نمودار پراکنش پوسته‌هاى زیستی خاک تحت تاثیر ویژگی‌هاى فیزیکوشیمیایی خاک در آنالیز CCA ترسیم شده است (شکل ۴). برطبق این نمودار خزها با قرار گیری در راستای بردار رطوبت، کربن-آلی و نیتروژن تاثیر بیشتری از این عوامل پذیرفته و در ارتباط مستقیم با این سه عامل می‌باشد، ولی ارتباط معکوس با درصد شن، pH و کلسیم کربنات خاک برقرار کرده است. گلسنگ‌ها با بردارهاى



شکل ۴: نمودار پراکنش پوسته‌های زیستی در ارتباط با متغیرهای خاک (CCA)

بحث

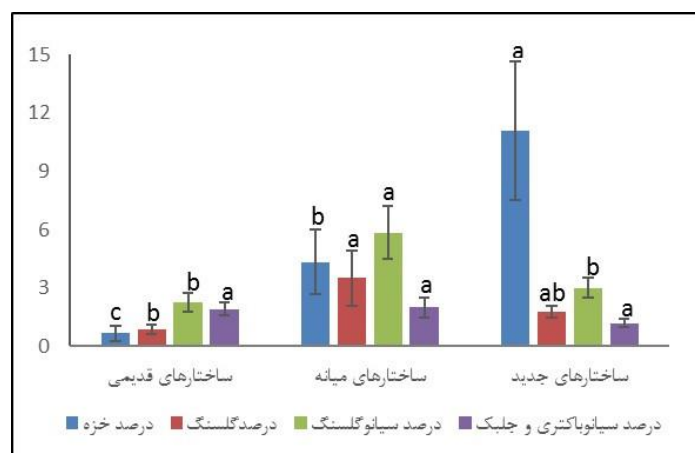
مراحل متوالی از BSC ها، و سپس گل‌سنگ‌ها رخ داده است، و سرانجام خزها در مراحل بعدی به تدریج ظاهر شده‌اند. آب به‌عنوان عامل غالب بر عملکرد ساختار صحرا در تنوع زیستی می‌باشد (وایتفورد، ۲۰۰۲)، هر چه رطوبت خاک بالاتر، توسعه خز به جای سیانوباکتری‌ها و گل‌سنگ‌ها تسهیل می‌گردد (لی و همکاران، ۲۰۰۲).

بافت خاک فراوانی نسبی ذرات شن، رس و سیلت را در نمونه خاک نشان می‌دهد. بافت خاک به ویژه با تأثیر خود روی وضعیت رطوبت خاک می‌تواند بر ترکیب و توزیع گونه‌هایی از اجتماع پوسته‌های زیستی تأثیر گذارد. بافت خاک‌ها در این مطالعه به طور عموم سبک تا متوسط بوده و به کلاس بافتی لوم تعلق دارد. در خاک‌هایی که دارای سیلت بیشتری می‌باشند میزان پوشش پوسته‌های زیستی افزایش می‌یابد؛ که این نتایج تحقیقات کلینر و هارپر (۱۹۷۷) تایید می‌کند، آنها متوجه شدند که خاک‌هایی با بافت لوم سیلتی به میزان بیشتری جمعیت‌های مختلفی از سیانوباکتری‌ها، گل‌سنگ‌ها و خزها را در مقایسه با خاک‌های با بافت شنی نرم و رسی ریز نگه می‌دارند. میزان pH خاک و کلسیم کربنات از ساختارهای قدیم به سمت ساختارهای جدید کاهش می‌یابد در نتیجه گونه‌های غالب

ژئومورفولوژی به شدت بر میزان تخصیص منابع خاک تأثیرگذار است، عوامل اداپتیکی و ژئومورفیک مخروط‌افکنه به گونه‌ای است که رسوبات واقع در رأس مخروط عموماً درشت بافت‌تر و از جورشدگی و گردشدگی ضعیف‌تری برخوردارند از رأس به طرف قاعده رسوبات ریزبافت‌تر و بر میزان جورشدگی و گردشدگی آنها افزوده می‌شود، هم‌چنین باعث شده است تا آب از ارتفاعات به سمت مناطق پست‌تر زهکش گردد و نیز ساختارهای جدید که در این مناطق واقع هستند رطوبت بیشتری داشته باشند و در نتیجه نسبت خز و گل‌سنگ در پوسته‌های زیستی افزایش می‌یابد. به عبارتی از ارتفاعات ساختارهای قدیم به سمت سطوح ساختارهای جدید پراکنش الگوی پوسته‌های زیستی خاک از توالی‌های اولیه سیانوباکتری و جلبک‌سبز و سیانوگل‌سنگ کاسته و به توالی‌های انتهایی گل‌سنگ و خز افزوده می‌شود. این نتایج مطالعات لی و همکاران (۲۰۰۲) و بوکر (۲۰۰۷) که بر روی اثر غیر مستقیم ژئومورفولوژی بر الگوی توزیع تنوع زیستی است را تایید می‌کند آنها دریافتند که در میان گونه‌های پوسته‌های زیستی خاک، سیانوباکتری‌ها و جلبک‌های سبز اغلب در اولین

مطالعات متعدد است که وجود پوسته‌های زیستی، نیتروژن خاک راحتی تا ۲۰۰٪ هم افزایش می‌دهد (دفالکو، ۱۹۹۵) و آنها نیتروژن موجود در جو را که برای گیاهان قابل استفاده نیست به شکل قابل استفاده تبدیل می‌کنند از جمله گلسنگ‌هایی که تأکید بسیاری بر تثبیت نیتروژن به وسیله آن شده است، Collema tenax می‌باشد. این گلسنگ هم در شرایط روشنایی و هم در تاریکی از توانایی تثبیت نیتروژن برخوردار است (بلنپ، ۲۰۰۳). در ساختارهای میانی مقدار منیزیم، کلسیم، سدیم و پتاسیم با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر ساختارها افزایش داشته است که این نتایج مطالعات بیمر و کلئوپاتک (۱۹۹۱) را تایید می‌کند، آنها دلیل افزایش برخی عناصر خاک به خاطر حضور BSC ها را به شرح ذیل بیان می‌کنند. آنها معتقدند عناصری چون مس، منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم و روی به سطح خارجی دیواره سلولی گلسنگ‌ها می‌چسبند. هنگامی که گلسنگ خشک، خیس می‌شود عناصر مذکور از دیواره گلسنگ شسته شده و به خاک وارد می‌شوند و به دلیل بار مثبتی که دارند توسط کلئوئیدهای رس که دارای بار منفی هستند جذب می‌شوند، در نتیجه مقدار آنها در چنین خاک‌هایی افزایش می‌یابد.

ساختارهای قدیمی سیانوباکتری‌ها و جلبک‌های سبز و سیانوگلسنگ‌ها می‌باشند (شکل ۵). چامیزو و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که با توسعه پوسته (از توالی‌های اولیه مانند سیانوباکتری‌های ابتدائی به سمت توالی‌های انتهائی مانند خزه و گلسنگ) مقدار کربنات کلسیم و pH خاک کاهش می‌یابد، و هم‌چنین میرالس و همکاران (۲۰۱۲) در مقایسه خاک بایر با خاک زیرپوسته‌های سیانوباکتری و گلسنگی دریافتند که pH برای خاک بدون پوسته <سیانوباکتری> گلسنگ که بیانگر کاهش pH خاک در حضور و توسعه پوسته‌های زیستی است. ساختارهای جدید با اختلاف معنی‌داری دارای کربن آلی بیشتری نسبت به سایر ساختارها هستند و رابطه معکوس زیادی میان pH خاک و کربن آلی وجود دارد. پوسته‌های زیستی خاک نقش به‌سزایی در تولید کربن آلی از طریق تثبیت کربن (بیمر و کلئوپاتک، ۱۹۹۱) و تجزیه مواد آلی (دنین و گانور، ۱۹۹۱) در خاک‌های خشک دارند. فیلیپ و بلنپ (۱۹۹۸) عنوان می‌کنند که تثبیت کربن در حضور گلسنگ و خزه افزایش می‌یابد. مقدار نیتروژن خاک در ساختارهای جدید دارای خزه و گلسنگ تقریباً ۱/۵ برابر مقدار آن در خاک ساختارهای قدیم بود که منطبق بر نتایج حاصل از



شکل ۵: نمودار مقایسه اثر ساختارهای متفاوت مخروط‌افکنه بر توزیع پوسته‌های زیستی خاک

نتیجه‌گیری

جلبک‌ها کمتر از خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها می‌باشد که در نهایت باعث حاصلخیزی خاک می‌گردد. در تیپ‌های مختلف یا در سطوح ژئومورفیک متفاوت پراکنش و توزیع گونه‌ای پوسته‌های زیستی خاک دستخوش تغییر خواهد شد. سنگ‌شناسی و رسوبات سطوح نقش پررنگی در تعیین ساختارهای پوسته‌های زیستی خاک دارد.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پژوهش‌های پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد (طرح پژوهشی ۵-۴۱۵۰۳) و تحت حمایت معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است.

در این پژوهش به بررسی ارتباط پراکنش پوسته‌های زیستی خاک با خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی خاک و ویژگی‌های ژئومورفولوژی منطقه در راستای دینامیک مورفولوژی مخروط‌افکنه در منطقه خشک صورت گرفت. در ارتفاعات و ساختارهای قدیمی با بافت خاکی سبک‌تر و pH بالاتر سطوح خاک تحت تسلط توالی‌های اولیه سیانوباکتری‌ها و جلبک‌های سبز قرار می‌گیرد. در حالی که با افزایش میزان سیلت و بافت لومی خاک باعث نگهداشت رطوبت بیشتر در ساختارهای جدید و در نتیجه توسعه خزه و گل‌سنگ را در توالی‌های بعدی به همراه دارد. توابع زیست‌محیطی پوسته‌های زیستی خاک مانند تثبیت نیتروژن و کربن توسط سیانوباکتری‌ها و

منابع

- Belnap, J., 2003. Microbes and microfauna associated with biological soil crusts Biological soil crusts: structure, function, and management, Springer, p. 167-175.
- 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.
- 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.
- Beymer, R. and Klopatek, J., 1991. Potential contribution of carbon by microphytic crusts in pinyon-juniper woodlands, Arid Land Research and Management, v. 5(3), p. 187-198.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils, Agron, J, v. 54, p. 464-465.
- Bowker, M.A., Belnap, J., Davidson, D.W. and Phillips, S.L., 2005. Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts, Importance to arid-lands restoration, Ecological Applications, v. 15(6), p. 1941-1951.
- Bowker, M.A., 2007. Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: an underexploited opportunity, Restoration Ecology, v.15(1), p. 13-23.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. Methods of soil analysis, part 2 chemical and microbiological properties, p. 595-624.
- Chamizo, S., Cantón, Y., Lázaro, R., Solé-Benet, A. and Domingo, F., 2012. Crust composition and disturbance drive infiltration through biological soil crusts in semiarid ecosystems, Ecosystems, v.15(1), p.148-161.
- Corenblit, D., Baas, A.C., Bornette, G., Darrozes, J., Delmotte, S., Francis, R.A.

- and Steiger, J., 2011. Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: a review of foundation concepts and current understandings, *Earth-Science Reviews*, v. 106(3), p. 307-331.
- Danin, A. and Ganor, E., 1991. Trapping of airborne dust by mosses in the Negev Desert, Israel, *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 16(2), p. 153-162.
- Defalco, L.A., 1995. Influence of cryptobiotic soil crusts on winter annuals and foraging movements of the desert tortoise, Department of Biology, Colorado State University, Fort Collins, Co. USA.
- Goudie, A., 2002. Great warm deserts of the world: landscapes and evolution (Vol. 1): Oxford University Press on Demand, 444 p.
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J., 2006. Desert dust in the global system: Springer Science & Business Media, 288 p.
- Haussmann, N., 2011. Biogeomorphology: understanding different research approaches, *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 36(1), p. 136-138.
- Kleiner, E.F. and Harper, K., 1977. Soil properties in relation to cryptogamic groundcover in Canyonlands National Park, *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, v. 30(3), p. 202-205
- Knudsen, D., Peterson, G.A. and Pratt, P.F., 1982. Lithium, sodium and potassium, In *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, second edition, Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds), American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Madison, WI; p. 225-246.
- Li, X.R., Jia, X.H., Long, L.Q. and Zerbe, S., 2005. Effects of biological soil crusts on seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China), *Plant and Soil*, v. 277(1), p. 375-385.
- Li, X.R., Wang, X.P., Li, T. and Zhang, J.G., 2002. Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China, *Biology and Fertility of Soils*, v. 35(3), p. 147-154.
- Lichtenhaler, H.K. and Wellburn, A.R., 1983. Determination of total carotenoid and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvent, *Biochemistry Society Transaction*, v. 603, p. 591-592.
- Miralles, I., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M.C. and Gil-Sotres, F., 2012. Labile carbon in biological soil crusts in the Tabernas desert, SE Spain, *Soil Biology and Biochemistry*, v. 5, p. 1-8.
- Naylor, L., Viles, H. and Carter, N., 2002. Biogeomorphology revisited looking towards the future, *Geomorphology*, v. 47(1), p. 3-14.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, In *Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, second edition, Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds), American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Madison, WI; 539-577.-
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, United States Department of Agricultural Climate Impacts Research Centre, 939 p.
- Patton, P.C., Alexander, S. and Kramer, F.L., 1970. *Physical Geomorphology*, Wand-sworth Publishing Compny, Belmont, California.
- Phillips, S.L. and Belnap, J., 1998. Shifting carbon dynamics due to the effects of *Bromus tectorum* invasion on

biological soil crusts, Ecological Bulletin, v. 79, p. 205.

-Pietrasiak, N., Johansen, J.R. and Drenovsky, R.E., 2011a. Geologic composition influences distribution of microbiotic crusts in the Mojave and Colorado Deserts at the regional scale, Soil Biol, Biochem, v. 43, p. 967-974.

-Pietrasiak, N., Johansen, J.R., LaDoux, T. and Graham, R.C., 2011b. Spatial distribution and comparison of disturbance impacts to microbiotic soil crust in the Little San Bernardino Mountains of Joshua Tree National Park, California, Western North American Naturalist, v. 71, p. 539-552.

-Rietkerk, M., Dekker, S.C., de Ruiter, P.C. and van de Koppel, J., 2004. Self-organized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems, Science, v. 305(5692), p. 1926-1929.

-Whitford, W., 2002. Ecology of Desert Systems, Academic Press: San Diego, CA, p. 343.

-Williams, A., Buck, B., Soukup, D. and Merkler, D., 2010. Geomorphic controls of biological soil crust distribution, Mojave Desert (USA), Paper presented at the 19th World Congress of Soil Science.