

بررسی الگوی توزیع خاکدانه‌های فسفر قابل استفاده و فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی در موقعیت‌های مختلف شیب

* صفورا ناهیدان^۱ و فرشید نوربخش^۲

^۱استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینای همدان،

^۲استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: ارتباط تنگاتنگی بین فعالیتهای میکروبی و محیط فیزیکی خاک وجود دارد. موقعیت هر آنزیم در خاک، به موقعیت سوپسترا، خصوصیات آنزیمی و یا جانداران تولیدکننده آنها نسبت داده شده است. توپوگرافی (موقعیت شیب) به عنوان یکی از عوامل مهم خاک‌سازی، نقش به‌سزایی در تحول، تکامل و تغییرپذیری خاک‌ها ایفا می‌کند. تغییرات مکانی فعالیت آنزیم‌ها در مقیاس زمین‌نما در حقیقت به وسیله فرآیندهای پدولوژیکی و هیدرولوژیکی کنترل می‌شوند. اثر توپوگرافی (موقعیت شیب) بر توزیع اندازه خاکدانه و فعالیت آنزیم‌ها در مقیاس کل خاک در مطالعات پیشین مورد بررسی قرار گرفته است. موقعیت شیب ممکن است بر الگوی توزیع فسفومونواسترازهای اسیدی و قلیایی در خاکدانه‌ها اثر متفاوتی بگذارد. هدف از پژوهش اخیر بررسی الگوی توزیع خاکدانه‌های فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی در موقعیت‌های مختلف شیب می‌باشد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری از سه موقعیت قله شیب، شیب پستی و انتهای شیب یک اکوسیستم مرتعی انجام گرفت. از عرض هر موقعیت شیب، سه نقطه به‌عنوان سه تکرار با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. در هر موقعیت شیب، در یک دایره به شعاع ۲ متری، ۱۰ نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و با یکدیگر مخلوط شدند. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های عمومی خاک‌ها، خاکدانه‌ها به روش الک تر جدا شده و توزین گردیدند. کربن آلی، فسفر قابل استفاده، فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی درون شش گروه اندازه خاکدانه (۴-۲، ۲-۱، ۱-۰/۵، ۰/۵-۰/۲۵، ۰/۲۵-۰/۰۵ و ۰/۰۵ < میلی‌متر) اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که توزیع اندازه خاکدانه تحت‌تأثیر موقعیت شیب قرار گرفت. کم‌ترین و بیش‌ترین درصد جرمی ریزخاکدانه‌ها (۰/۲۵-۰/۰۵ میلی‌متر و کوچک‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر) به ترتیب در قله شیب و شیب پستی مشاهده شد. تشکیل خاکدانه‌های درشت با مقدار کربن آلی خاک در طول شیب در ارتباط بود. خاکدانه‌های درشت ۴-۲ میلی‌متری در شیب پستی به میزان ۸۵ درصد نسبت به قله شیب کاهش یافتند. دیگر نتایج پژوهش نشان داد که کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده در درشت خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۳۸ و ۱۲ درصد بیش‌تر از ریزخاکدانه‌ها می‌باشند. هر دو آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی در درشت خاکدانه‌ها بیش‌تر از ریزخاکدانه‌ها بودند و فعالیتشان با کاهش اندازه

* مسئول مکاتبه: s.nahidan@basu.ac.ir

خاکدانه به میزان ۴۲ درصد کاهش یافتند. اثر موقعیت شیب بر الگوی توزیع فسفومونواسترها متفاوت بود. انتهای شیب و شیب پستی به ترتیب دارای کمترین فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی بودند. اگرچه نسبت فعالیت فسفاتاز اسیدی به کربن آلی و فسفر قابل استفاده در تمام خاکدانه‌های موقعیت شیب پستی دارای بیشترین مقدار بود، الگوی توزیع فعالیت نسبت فسفاتاز قلیایی به کربن آلی و فسفر قابل استفاده در موقعیت‌های مختلف شیب به اندازه خاکدانه‌ها بستگی داشت. تنها فسفاتاز قلیایی با فسفر قابل استفاده در طول شیب تپه مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری (r=۰/۷۲، P=۰/۰۱) نشان داد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج بیانگر آن است که هر دو آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی الگوی توزیع مشابهی را در خاکدانه‌ها داشتند ولی تحت تأثیر موقعیت شیب دارای الگوی توزیع متفاوتی بودند که ممکن است ناشی از منشا متفاوت آن‌ها باشد. همچنین از آنجایی که درشت خاکدانه‌ها دارای فعالیت آنزیمی، کربن آلی و فسفر بیش‌تری بودند، حفاظت از ساختمان خاک و درشت خاکدانه به‌ویژه در موقعیت‌های شیب حساس به فرسایش می‌تواند با حفظ ذخایر فسفومونواسترازی بر چرخه بیوشیمیایی فسفر تأثیر بگذارد.

واژه‌های کلیدی: موقعیت شیب، خاکدانه، فسفاتاز اسیدی، فسفاتاز قلیایی

مقدمه

فعالیت‌های آنزیمی خاک، معیار مفید و مناسبی از پتانسیل بیولوژیک خاک می‌باشند. فعالیت آنزیمی خاک متأثر از ترکیب جامعه میکروبی (۱۷)، توده زنده میکروبی (۲۹) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (۲۴) می‌باشد. دما و رطوبت به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر رشد میکروبی و در دسترس قرار دادن سوسترا بر فعالیت آنزیمی خاک مؤثر هستند (۲۴). از فعالیت‌های آنزیمی معمولاً به‌عنوان یک ابزار کاربردی برای ارزیابی وظایف اکولوژیک اکوسیستم‌های خاکی استفاده شده است (۲۱). در بررسی فعالیت آنزیم‌های خاک، توجه به تغییرپذیری ویژگی‌های خاک‌ها در مقیاس مورد نظر ضروری به‌نظر می‌رسد. مطالعاتی در رابطه با اکولوژی زمین‌نما نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم‌ها دارای تغییرپذیری مکانی هستند (۸ و ۲۵). در واقع تغییرات مکانی فعالیت آنزیم‌ها در مقیاس زمین‌نما ناشی از شدت و اثرات متقابل فرآیندهایی است که به نوبه خود به‌وسیله فرآیندهای پدولوژیکی و هیدرولوژیکی کنترل می‌شوند (۱). مطالعاتی در ارتباط با توزیع فعالیت‌های آنزیمی و موقعیت شیب

بیانگر آن هستند که بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های خاک در موقعیت پایینی شیب وجود دارد (۱ و ۱۵). اگرچه واضح است که فعالیت آنزیم‌ها به‌وسیله توپوگرافی کنترل شده است ولی توپوگرافی خود به تنهایی عامل کنترل‌کننده نیست (۱۰). همبستگی معنی‌داری بین فعالیت‌های آنزیمی و رطوبت، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، نیتروژن معدنی و pH در خاک‌های واقع در موقعیت‌های مختلف شیب مشاهده شده است (۱۴). در حقیقت تأثیر موقعیت‌های مختلف شیب بر فعالیت‌های آنزیمی در نتیجه تأثیری است که موقعیت شیب بر تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رطوبت و توده زنده میکروبی دارد. در مطالعه تاجیک و همکاران (۲۰۱۲) به نقش سایه‌اندازی، جهت شیب و قدرت نسبی جریان به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های توپوگرافی بر فعالیت آمیدو هیدرولازها اشاره شده است. سایه‌اندازی و جهت شیب به‌دلیل تأثیر بر پوشش گیاهی و در نتیجه تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و جامعه میکروبی، فعالیت آنزیمی را متأثر می‌سازد (۲۵). خلیلی‌راد و همکاران (۲۰۱۱) نیز ارتباط معنی‌داری را

خاک وجود دارد، چنین انتظار می‌رود که هر گونه تغییری در وضعیت خاکدانه‌های خاک بر فعالیت‌های میکروبی نیز تأثیر بگذارد. فسفاتازها (اسیدی و قلیایی) آنزیم‌هایی هستند که در تجزیه ترکیبات فسفر آلی در خاک نقش مهمی ایفا می‌نماید. فسفاتاز قلیایی توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود، در حالی که فسفاتاز اسیدی نه تنها منشأ میکروبی دارد بلکه توسط ریشه گیاهان هم تولید می‌گردد (۲۴). میزان فعالیت فسفاتازها را می‌توان به‌عنوان شاخصی جهت بررسی تغییر شکل فسفر و بازچرخ آن در خاک دانست (۳). فرضیه این پژوهش آن است که با توجه به این که منشأ فسفاتاز اسیدی و قلیایی ممکن است متفاوت باشد این مسأله ممکن است بر روی الگوی توزیع این آنزیم‌ها چه در بین خاکدانه‌ها و چه در بین موقعیت‌های مختلف شیب تأثیر بگذارد. همچنین موقعیت شیب با تأثیر بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها در خاک ممکن است بر فعالیت فسفاتازها و بالتبع چرخه فسفر تأثیر بگذارد. بنابراین پژوهش اخیر با هدف بررسی اثر موقعیت شیب بر توزیع اندازه خاکدانه، توزیع مکانی کربن آلی، فسفر قابل‌استفاده و فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی در خاکدانه‌ها انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک و تعیین ویژگی‌های خاک: شیب تپه موردنظر در منطقه فریدن استان اصفهان (E ۱۱' ۵۰° و N ۴۵' ۳۲°) با میانگین بارندگی سالانه ۶۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۵ درجه سانتی‌گراد واقع گردیده است. این شیب تپه دارای طول ۱۱۰ متر و ارتفاع ۲۵۸۳ تا ۲۶۳۰ متر از سطح دریا بوده و خاک آن متعلق به زیرگروه Typic Calcixerept است. پوشش گیاهی آن بوته‌ای از تیره‌های کاسنی، گون و چتریان به نام‌های *Astragalus verus*, *Cousinia bachtiarica*

بین‌ال- گلوتامیناز و تنفس میکروبی ($r=0.7$) در طول یک ردیف پستی و بلندی فرسایش‌یافته مشاهده کردند (۱۵).

ساختمان خاک یکی از ویژگی‌های ضروری خاک‌ها محسوب می‌شود. خاکدانه‌ها جزء تشکیل‌دهنده ساختمان خاک هستند. طرز آرایش خاکدانه‌ها در کنار یکدیگر منجر به ایجاد منافذ با اندازه‌های مختلف در خاک می‌شود. تشکیل چنین منافذی باعث ایجاد شرایط فیزیکی‌شیمیایی متفاوت در خاک می‌گردد (۱۱). اغلب فرآیندهای مهم خاک توسط ریزجانداران انجام می‌گیرد. به‌دلیل پیچیدگی و پویایی ریزجانداران در خاک، پیش‌بینی دقیق این فرآیندها هنوز به‌صورت یک چالش بزرگ مطرح است. خاکدانه‌های خاک به‌عنوان یک زیستگاه، دامنه گسترده‌ای از ریزجانداران (باکتری‌ها، قارچ‌ها، پروتوزوا و غیره) را در خود جای می‌دهند. به‌عبارت دیگر ریزجانداران و محیط فیزیکی خاک بسیار به هم مرتبط می‌باشند (۱۱). آنزیم‌های خاک اغلب منشأ میکروبی دارند. آنزیم‌های برون‌سلولی در خاک بر روی سطح رس و ماده آلی خاک تثبیت می‌شوند (۳). توزیع متفاوت جمعیت و فعالیت جانداران و همچنین ماده آلی (کمیت و کیفیت) درون خاکدانه‌ها سبب شده تا فعالیت و رفتار آنزیم‌های خاک نیز متأثر از اندازه خاکدانه گردد (۷). مطالعات در مقیاس خاکدانه‌ای نشان داده‌اند که توزیع آنزیم‌ها در خاکدانه‌ها به نوع آنزیم بستگی دارد (۱۸). همچنین شدت تأثیرپذیری فعالیت آنزیم‌ها در خاکدانه‌ها از اعمال مدیریت‌هایی مانند کوددهی (۱۲)، کشت و کار و شخم (۲۰)، به اندازه خاکدانه بستگی داشته است.

اثر توپوگرافی (موقعیت شیب) بر توزیع اندازه خاکدانه و پایداری ساختمان خاک در مطالعات پیشین مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که ارتباط تنگاتنگی بین فعالیت‌های میکروبی و محیط فیزیکی

سپس خشک و توزین گردیدند. در نهایت مقدار خاکدانه‌های واقعی (ذرات عبوری از هر الک پس از خردشدن) محاسبه شدند. مقدار کربن آلی، فسفر قابل‌استفاده و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی در هر گروه اندازه خاکدانه (۲-۴، ۱-۲، ۰/۵-۰/۱، ۰/۲۵-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۵ و ۰/۰۵ < ۰/۰۵ میلی‌متر) اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری فعالیت فسفومونواسترازها (فسفاتاز اسیدی و قلیایی): به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی، ابتدا نمونه‌های ۱ گرمی از خاک هواخشک با ۰/۲ میلی‌لیتر تولوئن تیمار شدند. سپس ۴ میلی‌لیتر بافر MUB^۲ با pH برابر ۱۱ و ۱ میلی‌لیتر محلول سوبسترای پارا-نیتروفیل فسفات ۰/۰۵ مولار به سوسپانسون فوق افزوده و به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شدند. پس از انکوباسیون، ۱ میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۵ مولار و ۴ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار به آن‌ها اضافه و غلظت پارا-نیتروفیل در نمونه‌ها توسط اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. به موازات این اندازه‌گیری یک تیمار شاهد نیز در نظر گرفته شد. تیمار شاهد نمونه‌ای است که پس از پایان انکوباسیون، سوبسترا دریافت می‌کند. از کسر نمودن مقدار پارا-نیتروفیل (PNP) تیمار شاهد از تیمار اصلی، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی محاسبه شد و بر حسب $\text{mg PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ گزارش گردید. برای اندازه‌گیری فسفاتاز اسیدی نیز از روش مشابهی استفاده شد با این تفاوت که pH بافر MUB بر روی ۶/۵ تنظیم گردید (۲۴).

تجزیه و تحلیل آماری: به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آنالیز واریانس دوطرفه استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD بین نقاط مختلف شیب در هر اندازه خاکدانه، توسط نرم‌افزار SPSS

Eryngium bilardierie و *Astragalus spp.* می‌باشد. نمونه‌برداری از سه موقعیت قله شیب، شیب پشتی و انتهای شیب انجام شد. بدین‌منظور از عرض هر موقعیت شیب، سه نقطه به‌عنوان سه تکرار با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. به‌منظور نمونه‌برداری هر تکرار در هر موقعیت شیب، در یک دایره به شعاع ۲ متری، ۱۰ نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و با یکدیگر مخلوط شدند. در مجموع ۹ نمونه خاک به‌صورت مرکب جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن به آزمایشگاه منتقل گردیدند. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها به روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند. رطوبت به روش وزنی، بافت خاک به روش پییت، آهک به روش تیتراسیون برگشتی، هدایت الکتریکی و pH در سوسپانسون ۲ به ۱ آب به خاک توسط دستگاه هدایت‌سنج و pH متر، کربن آلی به روش والکی-بلاک و فسفر قابل‌استفاده به روش السن تعیین شدند (۴).

جداسازی خاکدانه: جداسازی اندازه خاکدانه‌ها به روش الک تر^۱ انجام گرفت (۶). بر طبق این روش ابتدا نمونه‌های خاک پس از هوا-خشک شدن از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس ۵۰ گرم خاک بر روی سری الک‌ها به‌ترتیب از بالا به پایین با اندازه ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌متر ریخته شد و با سرعت ۵۰ نوسان در دقیقه به مدت ۲ دقیقه به‌صورت عمودی در آب تکان داده شد. سپس الک‌ها به آرامی از آب خارج گردیدند و خاکدانه‌های روی الک‌ها در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. به‌منظور تصحیح مقدار ذرات اولیه در اندازه خاکدانه (شن و سنگ‌ریزه)، خاکدانه‌های خشک‌شده دو مرتبه بر روی الک مانند ریخته و خرد شده تا شن و سنگ‌ریزه جدا شده و بر روی الک باقی بمانند و

2- Modified Universal Buffer

1- Wet sieving

انجام گرفت. روابط همبستگی بین متغیرها نیز توسط نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در طول شیب: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. کربن آلی خاک از موقعیت قله شیب به طرف شیب پستی به میزان ۳۳ درصد کاهش و سپس در انتهای شیب مجدداً افزایش یافت. رطوبت خاک در موقعیت انتهایی

شیب بیش‌ترین بود. فسفر قابل‌استفاده نیز به سمت شیب پستی به میزان ۲۹ درصد کاهش و سپس در انتهای شیب افزایش یافت. تغییرات pH و EC در طول شیب نشان‌دهنده خاک‌های آهکی و غیرشور می‌باشد. درصد آهک در خاک سطحی در طول شیب بین ۳/۳ تا ۴/۵ درصد متغیر می‌باشد و بیش‌ترین مقدار آن در انتهای شیب مشاهده گردید. با وجود تفاوت‌هایی در مقدار نسبی ذرات خاک در طول شیب، تغییراتی در کلاس بافت خاک مشاهده نشد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در طول شیب تپه مورد مطالعه.

Table 1. Selected physical and chemical properties along studied hill slope.

موقعیت شیب Slope position	کربن آلی Organic C (%)	رطوبت وزنی Gravimetric water (%)	فسفر قابل‌استفاده Available P (mg kg ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)	آهک Lime (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	بافت خاک Soil texturer
قله شیب Summit	1.78 ^a	25 ^b	25.4 ^a	8.1 ^a	0.4 ^a	4.5 ^a	13.2 ^a	16.1 ^a	70.7 ^b	لوم سیلتی Silt loam
شیب پستی Backslope	1.19 ^c	18 ^c	18.1 ^c	8.0 ^a	0.28 ^c	3.3 ^b	8.6 ^b	19.6 ^b	71.8 ^a	لوم سیلتی Silt loam
انتهای شیب Toeslope	1.41 ^b	28 ^a	21.5 ^b	8.0 ^a	0.41 ^a	3.4 ^a	10.7 ^a	14.6 ^a	74.7 ^b	لوم سیلتی Silt loam

تفاوت حروف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD ($P < 0.05$) می‌باشد.

توزیع اندازه خاکدانه‌ها: نتایج نشان داد که خاک‌های موجود در موقعیت‌های مختلف شیب دارای توزیع اندازه خاکدانه متفاوتی هستند (جدول ۲). با کاهش اندازه خاکدانه در هر موقعیت شیب، درصد جرمی خاکدانه‌ها افزایش یافت. مقایسه موقعیت‌های شیب نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد جرمی درشت خاکدانه‌ها (۰/۲۵-۴ میلی‌متر) مربوط به قله شیب (۴۱/۷ درصد) و شیب پستی (۲۳/۴ درصد) می‌باشد. کم‌ترین و بیش‌ترین درصد جرمی ریزخاکدانه‌ها

(۰/۲۵-۰/۰۵ میلی‌متر) نیز در قله و شیب پستی مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین تأثیر شیب بر درشت خاکدانه‌های ۴-۲ میلی‌متری بود بدین‌صورت که مقدار این خاکدانه‌ها از قله شیب به سمت شیب پستی به میزان ۸۵ درصد کاهش یافت. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و مقدار درشت خاکدانه‌های ۴-۲ و ۲-۱ میلی‌متری دیده شد. در حالی‌که رابطه معنی‌داری بین کربن آلی با مقدار خاکدانه‌های در اندازه کوچک‌تر از ۱ میلی‌متری دیده نشد (جدول

به یکدیگر عمل کرده و با کاهش پراکنش رس‌ها در طی دوره‌های تر و خشک‌شدن، پایداری خاکدانه‌ها را می‌تواند افزایش دهد (۲). برخی از مواد آلی نیز باعث افزایش آب‌گریزی^۱ در خاک شده و بدین ترتیب پایداری خاکدانه‌ها را در برابر فروپاشی توسط آب افزایش می‌دهند (۲۶).

(۳). این دستاورد نشان‌دهنده آن است که تغییرات کربن آلی در طول شیب نقش کنترل‌کننده‌ای در میزان درشت خاکدانه‌ها در طول شیب تپه داشته است. ماده آلی به‌عنوان هسته تشکیل‌دهنده خاکدانه‌ها شناخته شده‌اند و در حضور آن خاکدانه‌سازی بهبود می‌یابد (۲). در واقع، ماده آلی به‌عنوان عامل پیوندی ذرات

جدول ۲- درصد توزیع جرمی اندازه خاکدانه‌ها در طول شیب تپه مورد مطالعه.

Table 2. Percentages of aggregate size distribution along studied hill slope.

اندازه خاکدانه‌ها (mm)					موقعیت شیب Slope position
Aggregate size					
0.25-0.05	0.5-0.25	1-0.5	2-1	4-2	
25.0 ^{bA}	13.1 ^{bB}	11.9 ^{aB}	11.9 ^{aB}	4.8 ^{aC}	قله شیب Summit
27.5 ^{aA}	11.0 ^{eB}	8.6 ^{bC}	3.1 ^{eD}	0.7 ^{eE}	شیب پستی Backslope
22.6 ^{eA}	14.0 ^{aB}	12.3 ^{aB}	6.7 ^{bC}	1.8 ^{bE}	انتهای شیب Toeslope

حروف کوچک: مقایسه میانگین بین موقعیت‌های مختلف شیب از لحاظ اندازه خاکدانه، حروف بزرگ: مقایسه میانگین بین اندازه خاکدانه‌ها در هر موقعیت شیب بر اساس آزمون LSD ($P < 0.05$).

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین کربن آلی خاک و درصد جرمی اندازه خاکدانه‌ها.

Table 3. Correlation coefficients (r) between soil organic C and water stable aggregates (%) in different size classes.

اندازه خاکدانه Aggregate size (mm)	ضریب همبستگی Correlation coefficient (r)
4-2	0.77***
2-1	0.80***
1-0.5	0.35 ^{ns}
0.5-0.25	0.45 ^{ns}
0.25-0.05	-0.26 ^{ns}
<0.05	-0.28 ^{ns}

** نشان‌دهنده معنی‌دار شدن در سطوح آماری ۰/۰۰۱ می‌باشد و ^{ns} از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

پایدارسازی خاکدانه‌ها نقش دارد، صادق است (۲۷). بنابراین درشت خاکدانه‌هایی که به این صورت تشکیل می‌شوند دارای کربن آلی و عناصر غذایی (مانند فسفر) بیش‌تری در مقایسه با ریزخاکدانه‌ها می‌باشند. مقدار کربن آلی خاکدانه‌ها از قله شیب به سمت شیب پستی کاهش و سپس در انتهای شیب مجدداً افزایش یافت (شکل ۱-الف). چنین روندی در مورد فسفر قابل‌استفاده نیز مشاهده شد (شکل ۱-ب). در واقع وجود فرسایش در موقعیت شیب پستی باعث انتقال کربن آلی و فسفر قابل‌دسترس به همراه رس به قسمت انتهایی شیب شده است. چنین روند کاهشی در مقدار کربن و فسفر در تمام خاکدانه‌ها دیده می‌شود. بنابراین تمام خاکدانه‌های موجود در موقعیت شیب پستی از نظر مقدار کربن و فسفر نسبت به دو موقعیت دیگر کاهش نسبی یافته‌اند. با این حال، از آن جایی که بیش‌ترین مقدار کربن و فسفر در درشت خاکدانه‌های ۴-۲ میلی‌متری دیده شد و همچنین خاکدانه‌های ۴-۲ میلی‌متری در شیب پستی نیز کاهش شدیدی یافتند، بنابراین کاهش و تخریب درشت خاکدانه‌ها می‌تواند نقش مؤثری در کاهش کربن و فسفر خاک موقعیت شیب پستی داشته باشد.

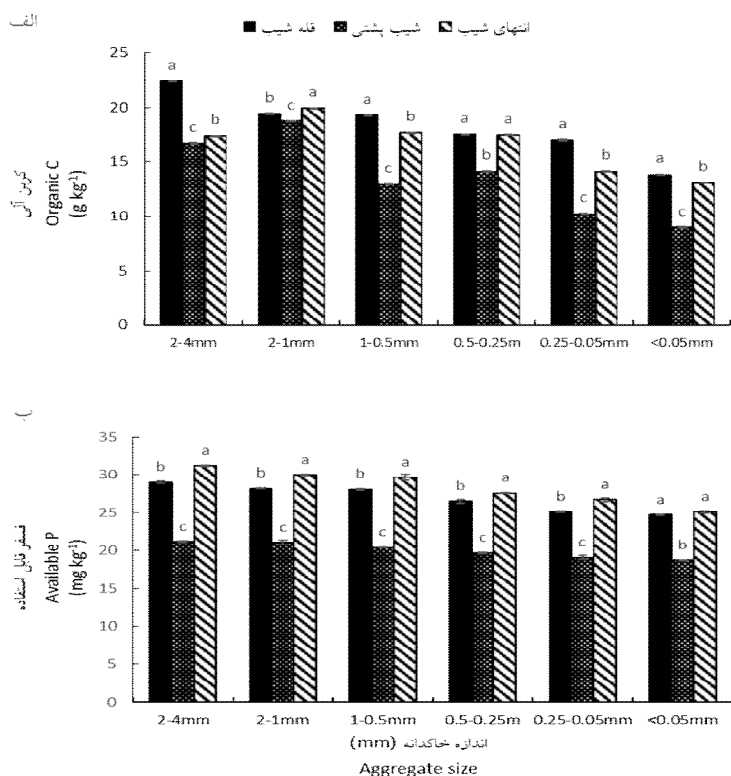
اثر موقعیت شیب بر کربن آلی و فسفر قابل‌دسترس در خاکدانه‌ها: اثر موقعیت شیب و اندازه خاکدانه و اثر متقابل بین آن‌ها بر کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده معنی‌دار شد (جدول ۴). کربن آلی خاکدانه‌ها در طول شیب در دامنه ۸/۹ تا $22/4 \text{ g kg}^{-1}$ تغییر کرد. با کاهش اندازه خاکدانه‌ها از مقدار کربن آلی کاهش یافت. به‌طورکلی مقدار کربن آلی درشت خاکدانه‌ها به‌میزان ۳۸ درصد بیش‌تر از ریزخاکدانه‌ها بود (شکل ۱-الف). فسفر قابل‌دسترس خاکدانه‌ها نیز در دامنه ۱۸/۷ تا $31/2 \text{ mg kg}^{-1}$ تغییر کرد. مقدار فسفر قابل‌دسترس نیز با کاهش اندازه خاکدانه کاهش یافت (شکل ۱-ب). الگوی توزیع کربن آلی و فسفر قابل‌دسترس در خاکدانه‌ها با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (۶ و ۱۲). چنین الگوهایی بیانگر آن است که تشکیل خاکدانه‌ها در همه موقعیت‌های شیب از نظریه سلسله مراتب خاکدانه‌سازی پیروی می‌کند. این نظریه بیان می‌کند که درشت خاکدانه‌ها ($>250 \mu\text{m}$) از ریزخاکدانه‌ها و ذرات اولیه تشکیل شده‌اند که توسط عوامل پیوندی موقت (ریسه قارچ‌ها، ریشه‌های ریز و مواد آلی ذره‌ای) و ناپایدار در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. به‌نظر می‌رسد که این نظریه در مورد خاک‌هایی که دارای رس‌های ۱:۲ هستند و ماده آلی به‌عنوان عامل پیوندی مهمی در

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر موقعیت شیب و اندازه خاکدانه بر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری.

Table 4. Analysis of variance of slope position (S) and aggregate size (A) and their interaction on measured parameters.

میانگین مربعات Mean square							درجه	منابع	
فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی	فسفاتاز قلیایی به کربن آلی	فسفاتاز اسیدی Acid Phosphatase (AcP)	فسفاتاز قلیایی Alkaline Phosphatase (AIP)	فسفر قابل‌استفاده Available P (AP)	کربن آلی Organic C (OC)	آزادی DF	تغییرات S.O.V
به فسفر قابل‌استفاده AcP/AP	به کربن آلی AcP/OC	به فسفر قابل‌استفاده AIP/AP	به کربن آلی AIP/OC						
143***	481***	30***	123***	20381***	124598***	358***	101***	2	S
24***	13***	35***	5.01 ^{ns}	24***	41066***	26***	74***	5	A
3.6***	18***	15***	23***	1135***	8827***	1.4***	6.2***	10	S*A

*** نشان‌دهنده معنی‌دار شدن در سطوح آماری ۰/۰۰۱ می‌باشد و ^{ns} از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۱- توزیع خاکدانه‌های کربن (الف) و فسفر (ب) در موقعیت‌های مختلف شیب.

میانگین دارای حروف مشترک در هر اندازه خاکدانه در سطح آماری ۵ درصد اختلاف آماری ندارند.

Figure 1. Aggregate distribution of carbon and phosphorus in different slope positions. Means with the same letter in each aggregate size are not significantly different ($P < 0.05$).

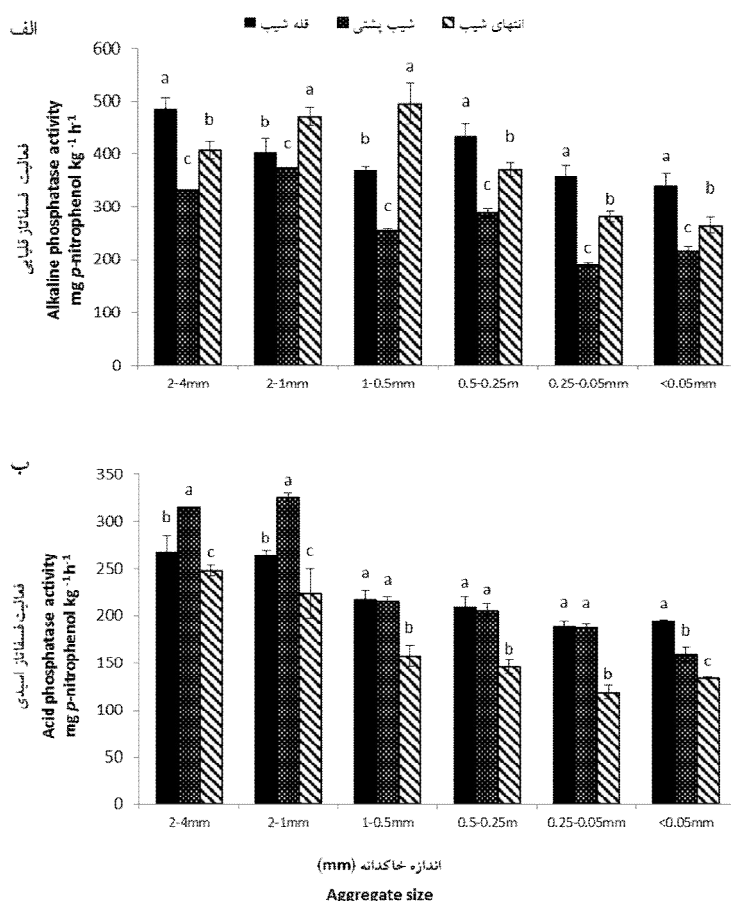
تولید بیش‌تر آنزیم توسط میکروارگانیسم‌ها می‌شوند بلکه زمینه بیش‌تری را برای تثبیت آنزیم بر سطح خود فراهم می‌سازند (۱۲ و ۲۱).

فسفومونواسترازها در خاکدانه‌ها تحت تأثیر موقعیت شیب قرار گرفتند ($P < 0.05$) (شکل ۲). از آنجایی که درشت خاکدانه‌های ۴-۲ میلی‌متر حاوی بیش‌ترین فعالیت فسفومونواسترازی به‌شدت تحت تأثیر موقعیت شیب قرار گرفتند، بنابراین چنین به‌نظر می‌رسد که موقعیت شیب با کنترل مقدار درشت خاکدانه‌های خاک می‌تواند بر چرخه بیوشیمیایی فسفر مؤثر باشد. نتایج دیگر این مطالعه نشان داد که بیش‌ترین فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی در قله شیب مشاهده شدند. انتهای شیب و شیب پستی به‌ترتیب دارای کم‌ترین فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی بودند (شکل ۲). الگوی تغییرات مشاهده شده در فعالیت فسفاتاز

اثر موقعیت شیب بر توزیع فسفومونواسترازها و نسبت فسفومونواسترازها به کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده در خاکدانه‌ها: اثر موقعیت شیب و اندازه خاکدانه و اثر متقابل بین آن‌ها بر فسفومونواسترازها و نسبت فسفومونواسترازها به کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده معنی‌دار شد (جدول ۴). آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی در خاکدانه‌ها در طول شیب به‌ترتیب در دامنه ۲۶۵/۳ تا ۴۸۵/۳ و ۱۱۹/۱ تا ۲۶۷/۳ $\text{mg PNP kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ تغییر کردند (شکل ۲). بیش‌ترین فعالیت فسفومونواسترازها در درشت خاکدانه‌ها در مقایسه با ریزخاکدانه‌ها دیده شدند. این دستاورد بیانگر آن است که درشت خاکدانه‌ها جایگاه مناسب‌تری برای فعالیت کاتالیتیک هر دو فسفومونواستراز (فسفاتاز اسیدی و قلیایی) می‌باشند. درشت خاکدانه‌ها به‌دلیل داشتن مقدار کربن آلی بیش‌تر در مقایسه با ریزخاکدانه نه تنها باعث القای

متصل به کربن آلی را که به صورت C-O-P می‌باشد، به صورت فسفر معدنی آزاد می‌کند. بنابراین ارتباط فعالیت آنزیم فسفاتاز و ماده آلی دور از تصور نخواهد بود. همچنین بخشی از آنزیم‌های فسفاتازی به صورت برون سلولی می‌باشد و به نظر می‌رسد بیش تر آنزیم‌هایی که به صورت برون سلولی در خاک آزاد می‌شوند، بلافاصله تجزیه می‌گردند مگر آن‌که بر روی سطوح رس‌ها و مواد آلی جذب شوند. بنابراین افزایش مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت میکروبی بلکه از طریق پایدار کردن آنزیم فسفاتاز در خاک باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود (۵).

قلیایی خاکدانه‌ها در طول شیب با الگوی تغییرات کربن آلی و فسفر قابل استفاده مشابهت داشت (شکل ۲- الف و شکل ۱). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ($P < 0.001$, $r = 0.90$) نیز گواه این مسأله می‌باشد. همبستگی معنی‌دار ولی ضعیف‌تری بین فسفاتاز اسیدی و کربن آلی نیز مشاهده گردید ($P = 0.03$, $r = 0.50$). برنز (۱۹۷۲) بیان کرد که آنزیم‌ها دارای تمایل قوی برای برقراری پیوند با بخش آلی خاک می‌باشند (۳). بنابراین فعالیت‌های آنزیمی با افزایش ماده آلی به دلیل وابستگی فعالیت‌های میکروبی به کربن آلی و یا تثبیت و حفاظت بر روی آن‌ها افزایش می‌یابند (۲۱). آنزیم فسفاتاز، فسفر آلی



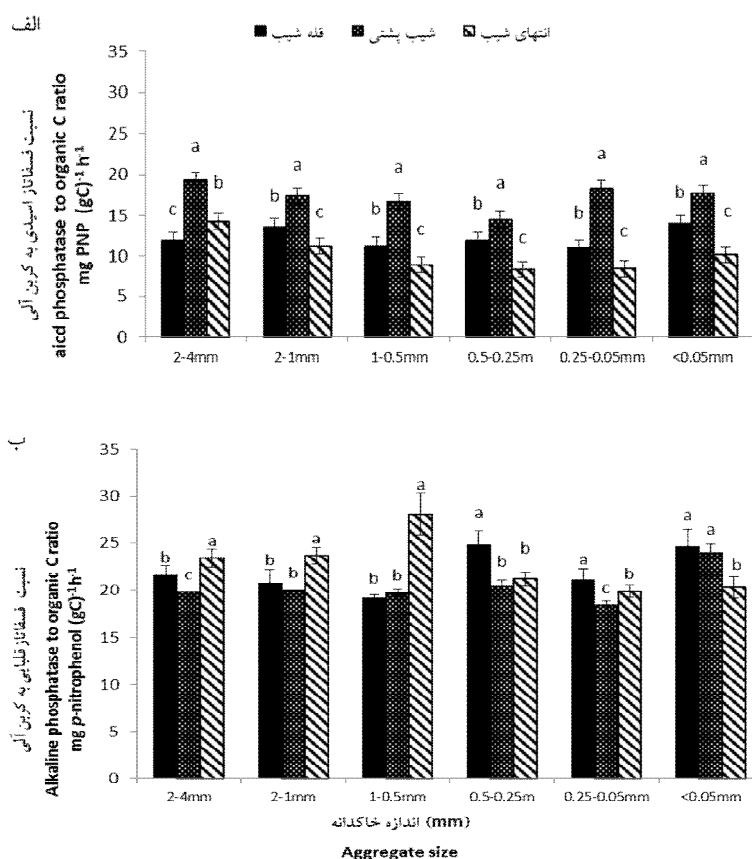
شکل ۲- توزیع خاکدانه‌ای فسفاتاز قلیایی (الف) و فسفاتاز اسیدی (ب) در موقعیت‌های مختلف شیب. میانگین دارای حروف مشترک در هر اندازه خاکدانه در سطح آماری ۵ درصد اختلاف آماری ندارند.

Figure 2. Aggregate distribution of alkaline and acid phosphatase in different slope positions. Means with the same letter in each aggregate size are not significantly different ($P < 0.05$).

فسفاتاز اسیدی و فسفر قابل استفاده دیده نشد ولی این آنزیم ممکن است با سایر بخش‌های معدنی و آلی فسفر در خاک مرتبط باشد. بنابراین بررسی سایر بخش‌های فسفر در طول شیب تپه و خاکدانه‌های خاک و ارتباط آن‌ها با فسفاتازها در چرخه بیوشیمیایی فسفر توصیه می‌گردد. شایان ذکر است که فسفاتاز اسیدی علاوه بر منشأ میکروبی منشأ گیاهی نیز دارد در حالی که فسفاتاز قلیایی تنها منشأ میکروبی دارد (۲۴). بنابراین وجود روابط متفاوت بین فسفر قابل دسترس و فعالیت فسفاتازها ممکن است به دلیل منشأ متفاوت آن‌ها باشد.

الگوی توزیع نسبت فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی به کربن آلی و فسفر قابل استفاده در خاکدانه‌های موقعیت‌های مختلف شیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. نسبت فعالیت فسفاتاز اسیدی به کربن آلی و فسفر قابل استفاده در خاکدانه‌های موقعیت شیب پستی دارای بیش‌ترین مقدار در مقایسه با سایر موقعیت‌ها بود (شکل‌های ۳ و ۴-الف). این شاخص‌ها نشان می‌دهد که اگرچه مقدار کربن آلی و فسفر قابل استفاده در موقعیت شیب پستی در اثر فرسایش کاهش یافته است ولی بر فعالیت فسفاتاز اسیدی اثر چندانی نداشته است و بنابراین احتمالاً تحت تأثیر عوامل دیگری در طول شیب کنترل می‌گردد.

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فسفر قابل استفاده و فسفاتاز قلیایی ($r=0/72$, $P=0/001$) مشاهده شد. بین فسفاتاز اسیدی و فسفر قابل استفاده رابطه معنی‌داری مشاهده نشد ($r=-0/056$, $P=0/826$). رابطه فسفاتازها و فسفر در خاک تا حدی پیچیده است و روابط مثبت، منفی و حتی بدون رابطه هم دیده شده است (۱۶ و ۲۲). کیزیلکایا و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که فعالیت فسفاتازها در خاک با فسفر کل، فسفر آلی و فسفر قابل دسترس همبستگی معنی‌داری داشته است (۱۶). گارگ و بال (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند آنزیم فسفاتاز قلیایی در قابل دسترس کردن فسفر معدنی از کودها و بقایای آلی نقش مهمی ایفا می‌کند (۹). مرگالف و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که فسفر السن با فسفاتاز قلیایی همبستگی مثبت داشته ولی با فسفاتاز اسیدی رابطه‌ای ندارد (۱۹). وجود رابطه مثبت بین فسفاتاز قلیایی و فسفر قابل استفاده در طول این شیب تپه نشان‌دهنده آن است که فعالیت فسفاتاز قلیایی نقش تعیین‌کننده‌ای بر قابلیت دسترسی فسفر دارد. همچنین فسفاتاز قلیایی بر خلاف فسفاتاز اسیدی به‌عنوان یک پارامتر مناسب جهت تعیین مقدار قابل استفاده فسفر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. فقدان رابطه بین فسفاتاز اسیدی و فسفر قابل استفاده نشان‌دهنده این مسأله است که فسفر عامل محدودکننده‌ای بر فعالیت فسفاتاز اسیدی در این شیب تپه نیست. اگرچه رابطه معنی‌داری بین



شکل ۳- نسبت فسفاتاز اسیدی (الف) و قلیایی (ب) به کربن آلی در موقعیت‌های مختلف شیب.

میانگین دارای حروف مشترک در هر اندازه خاکدانه در سطح آماری ۵ درصد اختلاف آماری ندارند

Figure 3. Acid and alkaline phosphatase to organic C ratio in different slope positions. Means with the same letter in each aggregate size are not significantly different (P<0.05).

فسفاتاز اسیدی به کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده متفاوت بود. این تغییرات بیانگر آن احتمال است که منشأ آنزیم فسفاتاز اسیدی با فسفاتاز قلیایی ممکن است متفاوت بوده که باعث شده است بر الگوی تغییرات آن‌ها تأثیر بگذارد.

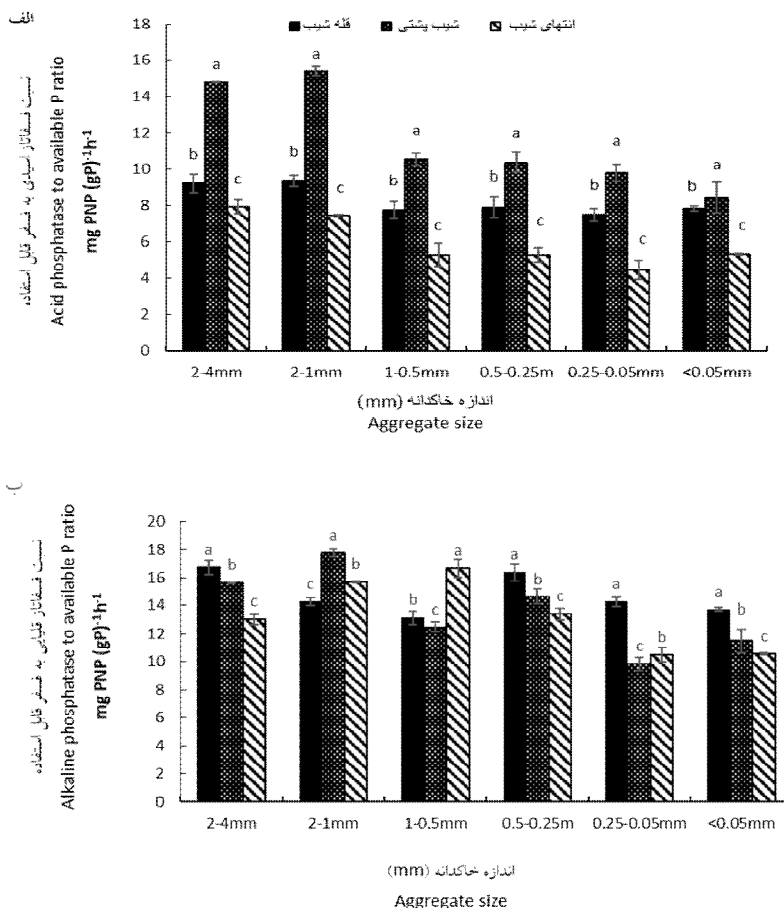
نتیجه‌گیری کلی

توزیع اندازه خاکدانه تحت تأثیر موقعیت شیب قرار گرفت. بیش‌ترین تأثیر موقعیت شیب بر درشت‌خاکدانه‌های ۲-۴ میلی‌متری بود بدین‌صورت که به‌میزان ۸۵ درصد از قله شیب به‌سمت شیب پستی

الگوی تغییرات فعالیت فسفاتاز قلیایی به کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده در موقعیت‌های مختلف شیب وابسته به اندازه خاکدانه بود (شکل‌های ۳ و ۴-ب). در خاکدانه‌های ۰/۵-۴ میلی‌متری بیش‌ترین فعالیت فسفاتاز قلیایی به کربن آلی در موقعیت انتهای شیب دیده شد. در خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۲۵ میلی‌متری نیز بیش‌ترین فعالیت فسفاتاز قلیایی به کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده در موقعیت قله شیب مشاهده گردید. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که اندازه خاکدانه نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد تفاوت بین موقعیت‌های شیب داشته است. این الگوی بیان شده با الگوی تغییرات

طرز متفاوتی تحت تأثیر موقعیت‌های مختلف شیب قرار می‌گیرند. همچنین تنها همبستگی معنی‌داری بین فسفاتاز قلیایی و فسفر قابل استفاده دیده شد که احتمالاً به منشأ متفاوت آن‌ها نسبت داده می‌شود و نشان‌دهنده آن است که عوامل کنترل‌کننده فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی در طول شیب متفاوت می‌باشد. بررسی دقیق علت آن نیازمند مطالعات دیگری است. همچنین فسفاتاز قلیایی می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب جهت تعیین قابلیت استفاده فسفر در طول شیب تپه مورد استفاده قرار گیرد.

کاهش یافت. کربن آلی و فسفر قابل استفاده و فسفاتازهای اسیدی و قلیایی در درشت‌خاکدانه‌ها بیش‌تر از ریزخاکدانه‌ها بودند. از آنجایی‌که درشت‌خاکدانه‌ها در موقعیت شیب پستی به دلیل فرسایش و کاهش ماده آلی خاک به شدت کاهش یافته‌اند بنابراین حفاظت از ساختمان خاک و به‌ویژه خاکدانه‌های درشت حاوی کربن، فسفر و فعالیت آنزیمی در موقعیت‌های حساس شیب توصیه می‌گردد. نتایج دیگر پژوهش بیانگر آن است که فسفومونواسترازهای اسیدی و قلیایی در خاکدانه‌ها به



شکل ۴- نسبت فسفاتاز اسیدی (الف) و قلیایی (ب) به فسفر قابل استفاده در موقعیت‌های مختلف شیب. میانگین دارای حروف مشترک در هر اندازه خاکدانه در سطح آماری ۵ درصد اختلاف آماری ندارند.

Figure 4. Acid and alkaline phosphatase to available ratio in different slope positions. Means with the same letter in each aggregate size are not significantly different (P<0.05).

منابع

1. Bergstrom, D., Monreal, C., and King, D. 1998. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1286-1295.
2. Bronick, C.J., and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 124: 3-22.
3. Burns, R. 1982. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.* 14: 423-427.
4. Burt, R. 2004. *Soil Survey Laboratory Methods Manual: Soil Survey Investigations*. Version 4.0. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, 6. Nebraska: United States.
5. Doran, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical change associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 765-771.
6. Elliott, E. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
7. Fansler, S.J., Smith, J.L., Bolton, H., and Bailey, V.L. 2005. Distribution of two C cycle enzymes in soil aggregates of a prairie chronosequence. *Biol. Fert. Soils*. 42: 17-23.
8. Florinsky, I.V., McMahon, S., and Burton, D.L. 2004. Topographic control of soil microbial activity: a case study of denitrifiers. *Geoderma*. 119: 33-53.
9. Garg, S.H., and Bahl, G.S. 2008. Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer P associated phosphatase activity in soils. *Biores. Technol.* 99: 573-577.
10. Gianfreda, L., and Bollag, J.M. 1996. Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. *Soil Biol. Biochem.* 9: 123-193.
11. Hassink, J., Bouwman, L., Zwart, K., and Brussaard, L. 1993. Relationships between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 47-55.
12. Hojati, S., and Nourbakhsh, F. 2009. Distribution of β -glucosidase activity within aggregates of a soil amended with organic fertilizers. *Am. J. Agr. Biol. Sci.* 4: 179-186.
13. Johnson, C.E., Ruiz-Méndez, J.J., and Lawrence, G.B. 2000. Forest soil chemistry and terrain attributes in a Catskills watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1804-1814.
14. Kawaguchi, S., Peyara, S., and Yamada, Y. 1995. Soil properties and enzyme activity along narrow topographic environments of salna series soil in Bangladesh. *Bull. Inst. Trop. Agr. Kyushu Univ.* 18: 71-79.
15. Khalili-Rad, M., Nourbakhsh, F., Jalalian, A., and Eghbal, M.K. 2011. The effects of slope position on soil biological properties in an eroded toposequence. *Arid Land Res. Manag.* 25: 308-312.
16. Kizilkaya, R., Bayrakli, F., and Surucu, A. 2007. Relationship between phosphatase activity and phosphorus fractions in agricultural soils. *Int. J. Soil Sci.* 2: 107-118.
17. Kourtev, P.S., Ehrenfeld, J.G., and Haggblom, M. 2002. Exotic plant species alter the microbial community structure and function in the soil. *Ecology*. 83: 3152-3166.
18. Marx, M.C., Kandeler, E., Wood, M., Wermbter, N., and Jarvis, S. 2005. Exploring the enzymatic landscape: distribution and kinetics of hydrolytic enzymes in soil particle-size fractions. *Soil Biol. Biochem.* 37: 35-48.
19. Margalef, O., Sardans, J., Fernández-Martínez, M., Molowny-Horas, R., Janssens, I.A., Ciais, P., Goll, D., Richter, A., Obersteiner, M., Asensio, D., and Peñuelas, J. 2017. Global patterns of phosphatase activity in natural soils. *Scientific Reports*, 7p.
20. Muruganandam, S., Israel, D.W., and Robarge, W.P. 2009. Activities of nitrogen-mineralization enzymes associated with soil aggregate size fractions of three tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 751-759.
21. Nannipieri, P., Kandeler, E., and Ruggiero, P. 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. Marcel Dekker, New York, Pp: 1-33.

22. Piotrowska-Długosz, A., and Wilczewski, E. 2014. Soil Phosphatase Activity and Phosphorus Content as Influenced by Catch Crops Cultivated as Green Manure. *Pol. J. Environ. Stud.* 23: 157-165.
23. Raiesi, F., and Beheshti, A. 2015. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. *Ecol. Indic.* 50: 173-185.
24. Tabatabai, M. 1994. Soil enzymes. *SSSA; Madison, WI.* Pp: 775-833.
25. Tajik, S., Ayoubi, S., and Nourbakhsh, F. 2012. Prediction of soil enzymes activity by digital terrain analysis: comparing artificial neural network and multiple linear regression models. *Environ. Eng. Sci.* 29: 798-806.
26. Ternan, J., Elmes, A., Williams, A., and Hartley, R. 1996. Aggregate stability of soils in central Spain and the role of land management. *Earth Surf. Proc. Land.* 21: 181-193.
27. Tisdall, J., and Oades, J.M. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
28. Wang, B., Xue, S., Liu, G.B., Zhang, G.H., Li, G., and Ren, Z.P. 2012. Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, Northwest China. *Catena.* 92: 186-195.
29. Wellington, E.M.H., Berry, A., and Krsek, M. 2003. Resolving functional diversity in relation to microbial community structure in soil: exploiting genomics and stable isotope probing. *Curr. Opin. Microbiol.* 6: 295-301.



Aggregate distribution pattern of available phosphorus, acid and alkaline phosphatase activity in different slope positions

***S. Nahidan¹ and F. Nourbakhsh²**

¹Assistant Prof., Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University,

²Professor, Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Received: 06/20/2016; Accepted: 12/10/2017

Abstract

Background and Objectives: There is a close relationship between microbial activities and soil physical environment. The specific location of each enzyme within the soil matrix has been attributed to the location of their substrates, enzyme characteristics or the organisms responsible for their production. Topography (slope position), one of the important soil forming factors, plays a significant role in development, evolution and variability of soils. Landscape-scale variations in soil enzyme activities are controlled by pedological and hydrological processes. The effect of topography (slope position) on aggregate size distribution and the enzyme activities has been evaluated in previous studies. Slope position may influence the aggregate distribution of acid and alkaline phosphomonoesterase differently. Therefore, the objective of this research is to evaluate the aggregate distribution of acid phosphatase and alkaline phosphatase activities in different slope positions.

Materials and Methods: Soil samples were collected from three slope positions of a grassland ecosystem. At each landscape position, three equally spaced points were selected, at a distance of 10 m. In each point, ten soil cores of 0-10 cm depth were taken within a 2 m radius and then composited. After measuring general properties in soil, aggregates were separated by wet sieving method. The aggregates remained on each sieve were collected and weighted. Organic C, available phosphorous, acid phosphatase and alkaline phosphatase were measured in the six size ranges (4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25 and 0.25-0.05, <0.05 mm).

Results: Results showed that aggregate size distribution was influenced by slope position. Microaggregates were lowest and greatest in summit and backslope positions, respectively. Macroaggregate contents were related by organic C along slope position. Macroaggregates decreased in backslope position by 85%. The results also showed that organic C and available P were greater in macroaggregates than microaggregates by 38 and 12% respectively. Both acid phosphatase and alkaline phosphatase activities were greater in macroaggregates than microaggregates and their activities decreased with decreasing aggregate size by 42%. The effect of slope position on the distribution pattern of phosphomonoesterase was different. Acid phosphatase and alkaline phosphatase activities were lowest in toeslope and backslope, respectively. Although, acid phosphatase to organic C and available P was higher in all aggregates of backslope position, the distribution pattern of alkaline phosphatase to organic C and available P in different slope positions was dependent to aggregate size. Alkaline phosphatase was only related to available P ($r=0.72$ $P=0.001$).

Conclusion: In overall, acid and alkaline phosphatase activities had similar distribution in soil aggregates but both enzymes were distributed differently in different slope positions. Since macroaggregates contain higher organic C, available P and phosphomonoesterase activities, soil structure protection of sensitive slope positions to erosion can influence on P cycling in soil.

Keywords: Slope position, Aggregate, Acid phosphatase, Alkaline phosphatase

* Corresponding Author; Email: s.nahidan@basu.ac.ir

