

تأثیر موقعیت شیب بر توزیع خاکدانه‌های کربن آلی، فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز و پایداری ساختمان خاک

* صفورا ناهیدان^۱، فرشید نوربخش^۲ و محمدرضا مصدقی^۳

^۱دانش آموخته دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، آستاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان،

^۲دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۴

چکیده

موقعیت مکانی آنزیم‌های برون‌سلولی در خاکدانه‌ها، ممکن است تحت تأثیر عوامل خاک‌سازی مانند توپوگرافی قرار گیرد. هدف از پژوهش اخیر بررسی توزیع کربن آلی و فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز در خاکدانه‌ها و تأثیرپذیری آن از موقعیت شیب می‌باشد. نمونه‌برداری خاک از موقعیت‌های شانه شیب، شیب پستی، پایه شیب و انتهای شیب دو شیب‌تپه مرتعی (فریدون‌شهر و چلگرد) انجام شد. خاکدانه‌ها به روش الک تر جدا و سپس شاخص میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها محاسبه گردید. کربن آلی و فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز درون خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که موقعیت شیب از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک (ماده آلی، رس و سیلت)، توزیع اندازه و پایداری خاکدانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین کربن آلی و فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز تحت تأثیر موقعیت شیب قرار گرفت. الگوی تغییرات مشاهده شده در فعالیت ال-گلوتامیناز با الگوی تغییرات کربن آلی در طول شیب مشابهت داشت (فریدون‌شهر: $r=0.72$, $P<0.001$ و چلگرد: $r=0.80$, $P<0.001$). با کاهش اندازه خاکدانه‌ها، مقدار کربن آلی و فعالیت ال-گلوتامیناز به میزان ۳۴ و ۵۶ درصد در منطقه فریدون‌شهر و به میزان ۲۰ و ۶۸ درصد در منطقه چلگرد کاهش یافتند. با کاهش پایداری خاکدانه‌ها در طول شیب، از ذخیره کربن آلی و فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز در درشت خاکدانه‌ها کاسته و به سهم ریزخاکدانه‌ها افزوده شد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که توپوگرافی (موقعیت شیب) به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در خاک‌سازی و تکامل خاک‌ها، با تغییر وضعیت خاکدانه‌ها می‌تواند توزیع مکانی کربن آلی و آنزیم ال-گلوتامیناز را در خاک دست‌خوش تغییر کند.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی، فعالیت ال-گلوتامیناز، میانگین وزنی قطر خاکدانه

مقدمه

ساختمان خاک با تأثیر بر ذخیره کربن در خاک نقش کلیدی در عملکرد خاک، حمایت از زندگی گیاهی و جانوری و متعادل کردن کیفیت محیطی ایفا می‌کند (برونیک و لال، ۲۰۰۵). خاکدانه‌ها واحدهای

اولیه ساختمان خاک محسوب می‌شوند و به‌دلیل داشتن منافذی با اندازه‌های متفاوت، می‌توانند بر جایگاه موجودات زنده و فعالیت‌های میکروبی تأثیر بگذارند (هاتوری، ۱۹۹۸). همچنین جداسازی فضایی سوبسترای میکروبی با درجه تجزیه‌پذیری متفاوت در خاکدانه‌ها موجب توزیع متفاوت ریزجانداران در

* مسئول مکاتبه: safooranahidan@yahoo.com

پستی و بلندی به‌عنوان یکی از عوامل مهم خاک‌سازی، نقش به‌سزایی در تحول، تکامل و تغییرپذیری خاک‌ها ایفا می‌کند (ینی، ۱۹۴۱). همچنین ارتباط ویژه‌ای بین اجزای تپه (موقعیت‌های مختلف شیب) و ویژگی‌های خاک وجود دارد (برگستروم و همکاران، ۱۹۹۸). مواد آلی، توزیع اندازه ذرات و کربنات کلسیم به‌عنوان عوامل مؤثر بر خاکدانه‌سازی، تحت‌تأثیر پستی و بلندی قرار گرفته (تسو و همکاران، ۲۰۰۴) و بر تشکیل و پایداری ساختمان خاک تأثیر می‌گذارد (پیرسون و مولا، ۱۹۹۰). همچنین تغییرات اقلیمی ناشی از تغییر ارتفاع و جهت شیب با تأثیر بر رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک و همچنین فعالیت‌های میکروبی می‌تواند خاکدانه‌سازی را دست‌خوش تغییر کند (برونیک و لال، ۲۰۰۵). پیرسون و مولا (۱۹۹۰) بیان کردند که رابطه معنی‌داری بین پایداری خاکدانه‌ها و مواد آلی در طول شیب وجود دارد. انجی و آدانما (۲۰۰۷) نیز پایداری بیش‌تر خاکدانه‌ها در موقعیت پایین شیب را به فراوانی بیش‌تر درصد رس نسبت دادند.

توزیع متفاوت فعالیت‌های میکروبی در ارتباط با موقعیت خاک بر روی شیب‌تپه^۲ در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است. برگستروم و همکاران (۱۹۹۸) الگوهای متفاوتی در فعالیت‌های آنزیمی و سایر ویژگی‌های خاک در طول یک شیب‌تپه مشاهده کردند. در حقیقت تأثیر دورنمای زمین بر فعالیت‌های آنزیمی، نتیجه تأثیری است که موقعیت شیب بر پراکندگی مکانی مواد آلی، رطوبت و در نتیجه توده زنده میکروبی دارد. خلیلی‌راد و همکاران (۲۰۱۱) نیز ارتباط معنی‌داری بین ال-گلوتامیناز و تنفس میکروبی ($r=0.7$) در طول یک توپوسکونس (ردیف پستی و بلندی) فرسایش‌یافته مشاهده کردند.

خاک می‌گردد (تیسدال و اودز، ۱۹۸۲). خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک، نتیجه برهم‌کنش عوامل زیادتی چون عوامل محیطی، مدیریت، گیاه، ویژگی‌های ذاتی خاک، فرایندهای زیستی و غیرزیستی می‌باشد (برونیک و لال، ۲۰۰۵). از آن جایی که ارتباط تنگاتنگی بین فعالیت‌های میکروبی و محیط فیزیکی خاک وجود دارد، چنین انتظار می‌رود که هر گونه تغییری در وضعیت خاکدانه‌های خاک بر فعالیت‌های میکروبی نیز تأثیر بگذارد (سیکس و همکاران، ۲۰۰۴).

آنزیم‌های برون‌سلولی^۱ خاک، در فرایند معدنی شدن مواد آلی و تأمین مواد غذایی قابل‌جذب ریزجانداران خاک، اهمیت به‌سزایی دارند (برنز، ۱۹۸۲). پژوهش‌هایی در زمینه تعیین موقعیت فضایی آنزیم‌های برون‌سلولی در خاک نشان‌دهنده توزیع ناهمگن آنزیم‌ها در محیط خاک است. موقعیت هر آنزیم در خاک، به موقعیت سوبسترا و یا جانداران تولیدکننده آن‌ها نسبت داده شده است (فنسلر و همکاران، ۲۰۰۵). فنسلر و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های بتا-گلوکوزیداز در خاکدانه‌های کوچک بیش‌تر از خاکدانه‌های بزرگ می‌باشد. با احیای اکوسیستم‌های مرتعی، فعالیت این آنزیم در خاکدانه‌های بزرگ افزایش یافت. حجتی و نوربخش (۲۰۰۹) نیز کربن آلی و فعالیت بتا-گلوکوزیداز بیش‌تری را در خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر مشاهده و بیان کردند که با افزودن کودهای آلی به خاک، فعالیت این آنزیم در خاکدانه‌های بزرگ افزایش می‌یابد. فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های ان-استیل-گلوکوزامینیداز، آریل آمیداز و ال-گلوتامیناز نیز در خاکدانه‌های با اندازه ۱-۰/۵ میلی‌متر توسط موروگاندرام و همکاران (۲۰۰۹) گزارش گردید. در این پژوهش، توزیع خاکدانه‌ای این آنزیم‌ها تحت‌تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی قرار نگرفت.

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها به روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش پیست، آهک به روش تیتراسیون برگشتی، هدایت الکتریکی و pH در سوسپانسیون ۲ به ۱، آب به خاک توسط دستگاه هدایت‌سنج و pH متر و کربن آلی به روش واکلی- بلاک تعیین شدند (برت، ۲۰۰۴).

جداسازی اندازه خاکدانه‌ها به روش الک تر^۵ انجام گرفت (الیوت، ۱۹۸۶). بر طبق این روش ابتدا نمونه‌های خاک پس از هوا- خشک‌شدن 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 دومرتبه بر روی الک نظیر ریخته و خرد شده تا شن و سنگ‌ریزه جدا شده و بر روی الک باقی بمانند، و سپس خشک و توزین گردیدند. در نهایت مقدار خاکدانه‌های واقعی (ذرات عبوری از هر الک پس از خردشدن) محاسبه شدند. مقدار کربن آلی و فعالیت آنزیم ال- گلوتامیناز در هر گروه اندازه خاکدانه (۲-۱، ۱-۰/۵، ۰/۲۵-۰/۰۵ و ۰/۰۵-۰/۲۵ میلی‌متر) اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم ال- گلوتامیناز: به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت ال- گلوتامیناز از روش فرانکنبرگر و طباطبایی (۱۹۹۱) استفاده گردید. بدین‌منظور ابتدا ۵ گرم خاک به‌وسیله ۰/۲ میلی‌لیتر تولوئن تیمار شد. سپس ۹ میلی‌لیتر محلول بافر تریس هیدروکسی متیل

با وجود دانسته‌هایی نه چندان زیاد در مورد تأثیر موقعیت شیب بر توزیع فعالیت آنزیم‌ها در مقیاس کل خاک (اجزای >۲ میلی‌متر)، گزارشی مبنی بر تأثیرپذیری توزیع خاکدانه‌ای فعالیت‌های آنزیمی در ارتباط با موقعیت شیب در دست نیست. آنزیم ال- گلوتامیناز (EC 3.5.1.2)، یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های مؤثر در فرایند معدنی‌شدن نیتروژن محسوب می‌شود. این آنزیم با هیدرولیز ال- گلوتامین به ال- گلوتامیک اسید و آمونیاک، نیتروژن موجود در قالب ملکول‌های آلی را به شکل معدنی تبدیل می‌نماید (فرانکنبرگر و طباطبایی، ۱۹۹۱). با توجه به اهمیت این آنزیم در فرایند معدنی‌شدن نیتروژن و همچنین کمبود دانسته‌ها در زمینه توزیع مکانی این آنزیم در مقیاس خاکدانه‌ای، پژوهش اخیر با هدف بررسی اثر موقعیت شیب بر توزیع اندازه خاکدانه، پایداری ساختمان خاک و ارتباط آن‌ها با خصوصیات خاک و ۲) توزیع مکانی کربن آلی و فعالیت آنزیم ال- گلوتامیناز در خاکدانه‌ها و تأثیرپذیری آن از موقعیت شیب انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

دو شیب‌تپه از مراتع واقع در ۱- منطقه قلعه سرخ فریدون‌شهر استان اصفهان و ۲- مکانی در ۳۵ کیلومتری چلگرد در استان چهارمحال و بختیاری انتخاب گردیدند. میانگین دما و بارندگی سالانه در منطقه فریدون‌شهر، ۵ درجه سانتی‌گراد و ۶۰۰ میلی‌متر و در منطقه چلگرد، ۹/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر موقعیت شیب، سه نمونه مرکب از لایه ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک از هر یک از چهار موقعیت شانه شیب^۱، شیب پستی^۲، پایه شیب^۳ و انتهای شیب^۴ با حداقل تخریب خاکدانه‌ها تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد.

- 1- Shoulder
- 2- Backslope
- 3- Footslope
- 4- Toeslope

5- Wet sieving

تجزیه و تحلیل آماری: به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آنالیز واریانس یک طرفه^۲ استفاده گردید. همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در طول شیب با شاخص پایداری ساختمان خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در هر منطقه، بین نقاط مختلف شیب و نیز بین بخش‌های گوناگون اندازه خاکدانه، توسط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در طول شیب: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در منطقه فریدون‌شهر، تغییرات pH و EC در طول شیب اندک بوده و نشان‌دهنده خاک‌های قلیایی و غیرشور می‌باشد. درصد آهک در خاک سطحی بسیار کم است (۵/۸-۲ درصد) و از شانه شیب به طرف پایه شیب افزایش می‌یابد. اگرچه درصد رس از شانه شیب به طرف پایه شیب افزایش یافته ولی تغییراتی در کلاس بافت خاک ایجاد نشده است. کربن آلی خاک از موقعیت شانه شیب (۱۴/۳ گرم بر کیلوگرم) به طرف پایه شیب (۱۰/۶ گرم بر کیلوگرم) به میزان ۲۶ درصد کاهش یافت و سپس در انتهای شیب دوباره افزایش یافت (۱۴/۱ گرم بر کیلوگرم). نیتروژن کل نیز به سمت پایه شیب به میزان ۱۸ درصد کاهش و سپس در انتهای شیب افزایش یافت. پیرسون و مولا (۱۹۹۰) توزیع ویژگی‌های خاک را در قسمت‌های مختلف شیب مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که در تپه‌های فرسایش یافته، موقعیت انتهایی شیب دارای افق A ضخیم‌تر و کربن آلی بیش‌تری نسبت به موقعیت‌های بالایی شیب

آمینو متان (THAM) ۰/۱ مولار با pH=۱۰ و ۱ میلی‌لیتر محلول سوبسترا (ال-گلوتامین ۰/۵ مولار) به سوسپانسیون فوق افزوده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون گردید. پس از انکوباسیون، ۳۵ میلی‌لیتر محلول $KCl-Ag_2SO_4$ (۲/۵ مولار نسبت به KCl و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به Ag_2SO_4) به آن اضافه و سپس مقدار آمونیوم آزاد شده در سوسپانسیون به روش تقطیر با بخار آب تعیین گردید. به موازات این اندازه‌گیری یک تیمار شاهد نیز در نظر گرفته شد. تیمار شاهد نمونه‌ای است که پس از انکوباسیون سوبسترا دریافت می‌کند. از کسر نمودن مقدار آمونیوم تیمار شاهد از تیمار اصلی، فعالیت آنزیم بر حسب $mg NH_4^+-N Kg^{-1} h^{-1}$ گزارش گردید.

شاخص پایداری خاکدانه: به منظور بررسی پایداری ساختمان خاک، شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)^۱ مورد ارزیابی قرار گرفت (کمپر و روزنا، ۱۹۸۶). برای محاسبه MWD از رابطه زیر استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \quad (1)$$

که در آن، n : تعداد دامنه اندازه خاکدانه (۵ دامنه)، X_i : میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک i و W_i : نسبت وزن خشک خاکدانه‌های روی هر الک i به وزن خشک کل خاکدانه‌ها است. نسبت وزنی خاکدانه‌ها (W_i) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$W_i = \frac{W_i - W_{i(s)}}{W_t - \sum_{i=1}^n W_{i(s)}} \quad (2)$$

که در آن، W_i : وزن ذرات باقی مانده بر روی هر الک i ، $W_{i(s)}$: وزن اولیه ذرات شن و سنگ‌ریزه در دامنه نام‌برده و W_t : وزن آون-خشک کل خاک است.

است. مالو و همکاران (۱۹۷۴) نیز به‌طور مشابه دریافتند که کربن آلی خاک در موقعیت پایین شیب افزایش یافته است.

در منطقه چلگرد، تغییرات اندکی در مقدار pH و EC در طول شیب مشاهده گردید (جدول ۱). مقدار آهک در طول شیب در دامنه ۶۳-۲۳ درصد تغییر کرد و بیش‌ترین مقدار آهک به موقعیت شیب پستی اختصاص یافت. وجود شواهد فرسایش شدید در موقعیت شیب پستی منطقه چلگرد و ظاهر شدن ماده مادری آهکی می‌تواند دلیل افزایش شدید آهک در این موقعیت شیب باشد. تغییرات درصد اندازه ذرات خاک در طول شیب نشان داد که مقدار رس خاک از شانه شیب به طرف انتهای شیب از ۲۳/۸ درصد به

۴۲/۱ درصد افزایش یافت و بدین ترتیب، کلاس بافت خاک از لوم رسی سیلتی به رسی سیلتی تغییر یافت. بیش‌ترین مقدار کربن آلی در موقعیت شانه شیب (۲۸/۴ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد و سپس در انتهای شیب به میزان ۵۹/۵ درصد کاهش یافت. مقدار نیتروژن کل نیز در شانه شیب به میزان ۶۴/۵ درصد بیش‌تر از انتهای شیب مشاهده گردید. باستیدا و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که در موقعیت‌هایی از شیب با بیش‌ترین تراکم پوشش گیاهی، کربن آلی خاک نیز بیش‌تر است. مشاهدات صحرائی در طول شیب‌های مورد مطالعه در دو منطقه نیز بیانگر تراکم بیش‌تر پوشش گیاهی در موقعیت شانه شیب بود.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی.

موقعیت شیب	کربن آلی (گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن کل (گرم بر کیلوگرم)	pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	آهک (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	بافت خاک
فریدون‌شهر									
شانه شیب	۱۴/۳	۱/۱	۷/۹	۰/۳۱	۲/۰	۹/۷	۱۹/۷	۷۰/۶	لوم سیلت
شیب پستی	۱۱/۹	۰/۹	۸/۰	۰/۲۸	۳/۳	۱۰/۷	۱۴/۶	۷۴/۷	لوم سیلت
پایه شیب	۱۰/۶	۰/۹	۸/۲	۰/۲۶	۵/۸	۲۳/۳	۱۱/۰	۶۶/۷	لوم سیلت
انتهای شیب	۱۴/۱	۱/۲	۸/۰	۰/۴۱	۴/۳	۸/۶	۹/۶	۸۱/۸	لوم سیلت
چلگرد									
شانه شیب	۲۸/۴	۳/۱	۸/۳	۰/۲۳	۲۳/۰	۲۳/۸	۱۰/۶	۶۵/۶	لوم رسی سیلتی
شیب پستی	۱۵/۷	۱/۵	۸/۳	۰/۲۲	۶۳/۰	۲۹/۲	۲۲/۹	۴۷/۹	لوم رسی
پایه شیب	۱۷/۰	۱/۸	۸/۳	۰/۲۵	۳۹/۲	۲۶/۲	۱۵/۴	۵۸/۴	لوم سیلت
انتهای شیب	۱۱/۵	۱/۱	۸/۳	۰/۲۰	۲۷/۲	۴۲/۱	۹/۴	۴۸/۵	رسی سیلتی

توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری ساختمان خاک در طول شیب: به‌طور کلی نتایج نشان داد که در هر دو منطقه با کاهش اندازه خاکدانه، درصد جرمی خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (جدول ۲). این یافته

نشان‌دهنده آن است که خاک‌های مرتعی مورد مطالعه دارای پایداری خاکدانه‌ای ضعیفی هستند. شاخص پایداری خاکدانه (MWD) نیز گواه دیگر این مسأله است (جدول ۲).

جدول ۲- توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها (MWD) در طول شیب تپه در مناطق مورد مطالعه.

موقعیت شیب	درصد جرمی خاکدانه‌ها					MWD (میلی‌متر)
	۲-۴ (میلی‌متر)	۱-۲ (میلی‌متر)	۰/۵-۱ (میلی‌متر)	۰/۲۵-۰/۵ (میلی‌متر)	۰/۰۵-۰/۲۵ (میلی‌متر)	
فریدون شهر						
شانه شیب	۰/۹ ^{bE}	۴/۴ ^{bD}	۱۰/۹ ^{bC}	۱۴/۱ ^{aB}	۳۲/۵ ^{aA}	۰/۲۷ ^b
شیب پستی	۰/۷ ^{bE}	۳/۱ ^{bD}	۸/۶ ^{bC}	۱۱/۰ ^{aB}	۲۷/۵ ^{abA}	۰/۲۲ ^c
پایه شیب	۰/۷ ^{bE}	۳/۵ ^{bD}	۶/۹ ^{cC}	۱۲/۳ ^{aB}	۳۱/۷ ^{abA}	۰/۲۳ ^c
انتهای شیب	۱/۸ ^{aE}	۶/۷ ^{aC}	۱۲/۳ ^{aB}	۱۲/۰ ^{aB}	۲۲/۶ ^{bA}	۰/۳۵ ^a
چلگرد						
شانه شیب	۷/۳ ^{aC}	۱۹/۱ ^{aA}	۲۰/۳ ^{aA}	۱۹/۱ ^{bA}	۱۵/۵ ^{bB}	۰/۷۵ ^a
شیب پستی	۳/۱ ^{bE}	۶/۹ ^{cD}	۱۵/۶ ^{bC}	۱۷/۰ ^{bB}	۲۴/۳ ^{aA}	۰/۴۲ ^c
پایه شیب	۳/۷ ^{bE}	۸/۷ ^{bD}	۱۶/۸ ^{abC}	۲۲/۹ ^{abB}	۲۳/۳ ^{aA}	۰/۴۹ ^b
انتهای شیب	۰/۲ ^{cD}	۳/۷ ^{dC}	۱۲/۶ ^{cB}	۲۴/۶ ^{aA}	۲۴/۲ ^{aA}	۰/۲۹ ^d

حروف کوچک: مقایسه میانگین بین موقعیت‌های مختلف شیب از نظر اندازه خاکدانه و شاخص پایداری خاکدانه، حروف بزرگ: مقایسه میانگین بین اندازه خاکدانه‌ها در هر موقعیت شیب بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.

شیب قرار گرفت. روند تغییرات MWD، بیانگر آن است که خاک موجود در موقعیت شانه شیب، دارای بیش‌ترین پایداری خاکدانه می‌باشد در حالی که خاک‌های واقع در موقعیت شیب پستی و انتهای شیب، پایداری خاکدانه‌ای کم‌تری داشتند (جدول ۲).

پستی و بلندی یکی از عوامل مؤثر بر تشکیل و تکامل خاک‌ها می‌باشد. پستی و بلندی به‌طور غیرمستقیم می‌تواند از طریق تأثیر بر ویژگی‌های ذاتی خاک‌ها، پایداری خاکدانه‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد (پیرسون و مولا، ۱۹۹۰). نتایج همبستگی پیرسون بین شاخص پایداری خاکدانه و ویژگی‌های خاک در طول شیب نشان داد که در منطقه فریدون‌شهر، تنها کربن آلی، همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص MWD ($r=0/64$) نشان می‌دهد (جدول ۳).

نتایج دیگر این پژوهش نشان داد که خاک‌های موجود در موقعیت‌های مختلف شیب دارای توزیع اندازه خاکدانه و پایداری متفاوتی هستند (جدول ۲). در منطقه فریدون‌شهر، درصد جرمی درشت خاکدانه‌ها در انتهای شیب در مقایسه با سایر موقعیت‌های شیب بیش‌تر بوده است. همچنین موقعیت‌های شیب پستی و پایه شیب، کم‌ترین مقدار درشت خاکدانه را به خود اختصاص می‌دهند. درصد جرمی ریزخاکدانه‌ها نیز از بالا به طرف پایین شیب به‌میزان ۳۰/۵ درصد کاهش می‌یابد. شاخص MWD نیز در موقعیت انتهای شیب بیش‌تر از سایر نقاط شیب مشاهده شده است (جدول ۲).

در منطقه چلگرد، بیش‌ترین مقدار درشت خاکدانه‌ها در شانه شیب مشاهده شد (۶۵/۸ درصد) و سپس به‌ترتیب پایه شیب، شیب پستی و انتهای

جدول ۳- همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک و شاخص پایداری ساختمان (MWD).

شن	سیلت	رس	کربنات کلسیم	کربن آلی	
فریدون‌شهر					
ns	ns	ns	ns	۰/۶۴*	MWD
چلگرد					
ns	۰/۷۱*	-۰/۷۴***	ns	۰/۹۶***	MWD

* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، *** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ و ns غیرمعنی‌دار.

خاک موجود در موقعیت‌های مختلف شیب نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که در منطقه فریدون‌شهر میانگین کربن آلی در درشت خاکدانه‌ها ($>0/25$) میلی‌متر) به میزان ۳۴ درصد بیش‌تر از ریزخاکدانه‌ها ($0/05-0/25$ میلی‌متر) می‌باشد (شکل ۱- الف) در منطقه چلگرد نیز کاهش ۲۰ درصدی کربن آلی به همراه کاهش اندازه خاکدانه‌ها مشاهده گردید (شکل ۱- ب). چنین الگوهایی در توزیع خاکدانه‌ای کربن آلی بیانگر آن است که در این مناطق، تشکیل خاکدانه‌ها از نظریه سلسله مراتب خاکدانه‌سازی^۱ پیروی می‌کند. این نظریه بیان می‌کند که از به هم پیوستن ذرات رس توسط عوامل پیوندی پایدار^۲، خوشه‌ها و سپس خاکدانه‌های ریز (<20 میکرومتر) تشکیل می‌شوند. مواد آلی هوموسی شده، کاتیون‌های فلزی چندظرفیتی (Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Al^{3+} و Fe^{3+}) کمپلکس شده با اکسیدها و آلومینوسیلیکات‌ها به‌عنوان عوامل پیوندی پایدار شناخته شده‌اند (تیسدال و اودز، ۱۹۸۲). خاکدانه‌های ریز مجزا نیز به کمک عوامل پیوندی گذرا^۳ (پلی‌ساکاریدهای گیاهی و میکروبی) به هم پیوسته و خاکدانه‌های کوچک ($20-250$ میکرومتر) را تشکیل می‌دهند. خاکدانه‌های بزرگ (>250 میکرومتر) از خاکدانه‌های کوچک و ذرات اولیه تشکیل شده که توسط عوامل پیوندی موقتی^۴ (ریسه قارچ‌ها، ریسه‌های ریز و مواد آلی ذره‌ای^۵) و ناپایدار در

در منطقه چلگرد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص MWD و کربن آلی ($r=0/91$) و همچنین درصد سیلت ($r=0/64$) مشاهده گردید (جدول ۳). سیلت و ماده آلی به‌عنوان هسته تشکیل‌دهنده خاکدانه‌ها شناخته شده‌اند (برونیک و لال، ۲۰۰۵). در مطالعه پیرسون و مولا (۱۹۹۰) و نیکپور و همکاران (۲۰۱۱) نیز به نقش ماده آلی در تشکیل و پایداری ساختمان خاک اشاره شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. با این وجود، همبستگی منفی و معنی‌داری بین MWD و مقدار رس خاک ($r=-0/68$) در این منطقه مشاهده گردید (جدول ۳). اگرچه رابطه مثبت بین مقدار رس و پایداری خاکدانه‌ها در پژوهش‌های بوارکا و همکاران (۲۰۰۲) و نیکپور و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده شده است ولی با این وجود، نوع رس را نیز باید به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها مورد توجه قرار داد (برونیک و لال، ۲۰۰۵). رس‌های انبساط‌پذیر مانند اسمکتیت در خاک‌های رتی‌سول به وفور یافت می‌شوند. انبساط و انقباض آن‌ها طی دوره‌های تر و خشک‌شدن باعث ایجاد ترک در خاکدانه‌ها شده و سبب کاهش پایداری آن‌ها می‌شوند (برونیک و لال، ۲۰۰۵). چنین کانی‌هایی در منطقه مورد مطالعه یافت شده است (سرشوق، ۲۰۰۹) و بنابراین وجود رابطه منفی بین شاخص‌های پایداری خاکدانه و رس ممکن است به‌دلیل این مسأله باشد.

توزیع کربن آلی در خاکدانه‌های خاک در طول شیب:

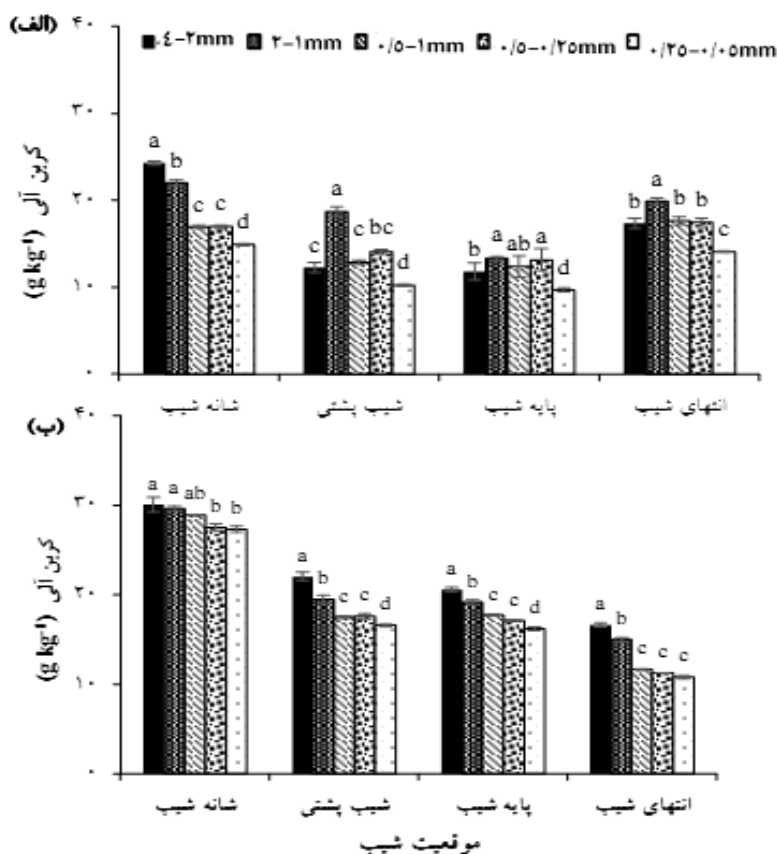
شکل ۱ روند توزیع کربن آلی را در خاکدانه‌های

- 1- Aggregate hierarchy model
- 2- Persistent
- 3- Transient
- 4- Temporary
- 5- Particulate organic matter

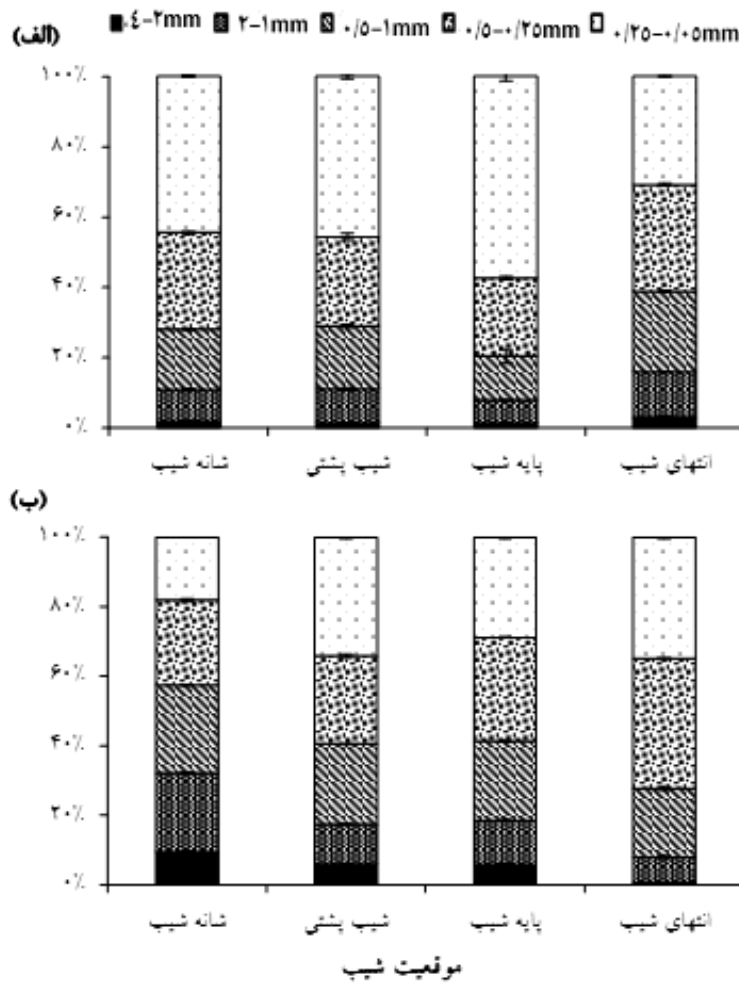
می‌تواند بر توزیع مکانی کربن آلی خاک از طریق تغییر در توزیع اندازه خاکدانه‌ها تأثیر بگذارد. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو منطقه سهم خاکدانه‌های ۲-۴ و ۱-۲ میلی‌متری غنی از کربن آلی در مقایسه با سایر خاکدانه‌ها کم‌تر می‌باشد. این یافته بیانگر آن است که در خاک‌های مرتعی ناپایدار این مناطق، کربن آلی خاک بیش‌تر در خاکدانه‌های کوچک‌تر تجمع یافته‌اند.

کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. به‌نظر می‌رسد که این نظریه در مورد خاک‌هایی که دارای رس‌های ۲:۱ هستند و ماده آلی به‌عنوان عامل پیوندی مهمی در پایدارسازی خاکدانه‌ها نقش دارد، صادق است (تیسدال و اودز، ۱۹۸۲).

شکل ۲ سهم هر گروه خاکدانه را در کل کربن آلی خاک هر موقعیت از شیب نشان می‌دهد. الگوی تغییرات مشاهده‌شده شبیه به الگوی تغییرات توزیع اندازه خاکدانه‌ها در خاک است. از آن‌جا که توزیع اندازه خاکدانه‌ها تحت تأثیر موقعیت شیب قرار گرفته است، می‌توان انتظار داشت که موقعیت شیب



شکل ۱- تأثیر موقعیت شیب بر توزیع خاکدانه‌ای کربن آلی خاک در مناطق: الف) فریدون‌شهر و ب) چلگرد (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).



شکل ۲- تأثیر موقعیت شیب بر سهم نسبی هر گروه خاکدانه از کربن آلی خاک در مناطق: الف) فریدون‌شهر و ب) چلگرد (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

چلگرد نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در شانه شیب، ۸۱/۸ درصد کربن آلی خاک، در درشت خاکدانه‌ها ذخیره شده است و با حرکت به سمت انتهای شیب کاهش می‌یابد (۶۴/۹ درصد). به‌طورکلی چنین استنباط می‌شود که با کاهش پایداری خاکدانه در طول شیب، سهم خاکدانه‌های درشت در ذخیره کربن آلی خاک در مقایسه با خاکدانه‌های کوچک‌تر، کاهش یافته است. خاکدانه‌های درشت از جمله اجزای حساس ساختمان خاک به تغییرات محیطی، اقلیمی و مدیریتی می‌باشند (برونیک و لال، ۲۰۰۵). ایوبی و

نتایج دیگر این پژوهش نشان داد که سهم هر گروه خاکدانه در ذخیره کربن آلی خاک به موقعیت شیب بستگی دارد (شکل ۲). در موقعیت انتهایی شیب منطقه فریدون‌شهر به همراه افزایش پایداری خاکدانه‌ها، از کربن ذخیره شده در ریزخاکدانه‌ها (۰/۲۵-۰/۰۵ میلی‌متر) در مقایسه با سایر موقعیت‌های شیب کاسته و به کربن ذخیره شده در درشت خاکدانه‌ها (>۰/۲۵ میلی‌متر) افزوده شده است (شکل ۲- الف).

شکل ۲- ب، تأثیر موقعیت شیب بر سهم هر گروه خاکدانه را در ذخیره کربن آلی خاک در منطقه

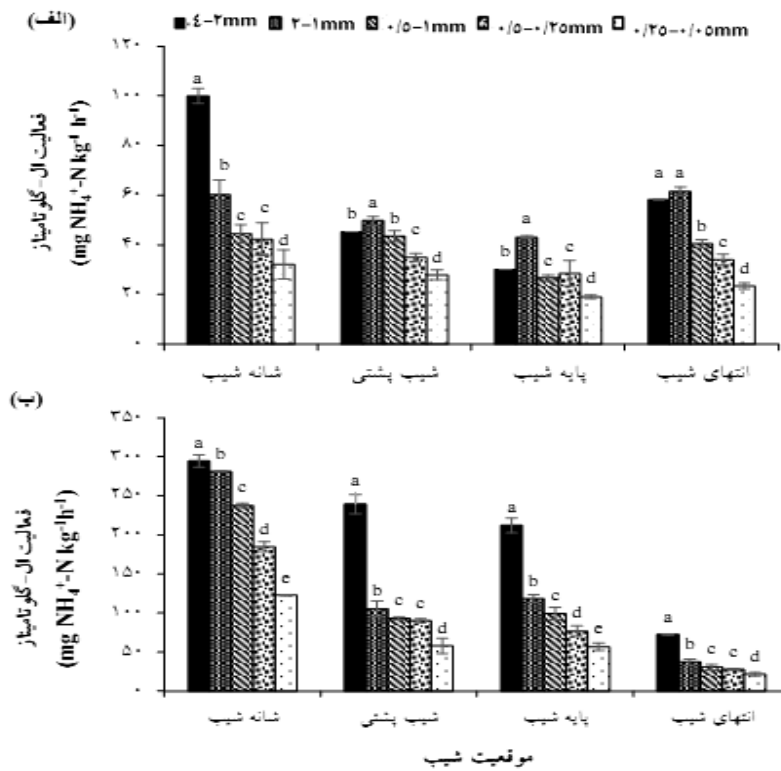
میکروبی به کربن آلی، افزایش می‌یابند. همچنین مواد آلی می‌توانند بخشی از آنزیم‌های برون سلولی را بر روی سطوح خود تثبیت کرده و آن‌ها را در مقابل تنش‌های محیطی و پروتئازها حفظ کنند (ننی‌پیری، ۲۰۰۲). در رابطه با توزیع فعالیت آنزیمی در طول شیب، خلیلی‌راد و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که رابطه قوی و معنی‌داری بین تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز ($P < 0/001$ و $r = 0/70$) در طول شیب وجود دارد. تاجیک و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان کردند که توپوگرافی می‌تواند فعالیت آنزیم‌های اوره آز، ال-گلوتامیناز و ال-آسپاراژیناز را از طریق تأثیر بر دما و رطوبت خاک، ماده آلی، مقدار رس و پوشش گیاهی کنترل نماید.

با اندازه‌گیری فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز در خاکدانه‌های موقعیت‌های مختلف شیب دو منطقه فریدون‌شهر و چلگرد چنین استنباط می‌شود که فعالیت این آنزیم به‌طور متوسط در درشت خاکدانه‌ها ($0/25 >$ میلی‌متر) به‌میزان ۵۶ و ۶۸ درصد بیش‌تر از ریزخاکدانه‌ها ($0/05-0/25$ میلی‌متر) می‌باشد (شکل ۳-الف و ب). نتایج این پژوهش هم‌چون نتایج حجتی و نوربخش (۲۰۰۹) بیانگر آن است که درشت خاکدانه‌ها می‌توانند به‌عنوان مکان مناسبی برای فعالیت‌های آنزیم‌های خاک محسوب شوند. وجود مقادیر بیش‌تر کربن آلی در درشت خاکدانه‌ها، به‌دلیل فراهم کردن کربن و انرژی برای جامعه میکروبی، باعث افزایش فعالیت‌های بیولوژیک خاک و تولید آنزیم بیش‌تر می‌شود. همچنین وجود مواد آلی لیپال^۱ بیش‌تر در درشت خاکدانه‌ها نسبت به ریز خاکدانه‌ها موجب تثبیت بیش‌تر آنزیم‌ها در خاک می‌گردند (ننی‌پیری، ۲۰۰۲).

همکاران (۲۰۱۲) نیز مشاهده کردند که با تغییر کاربری جنگل به زمین کشاورزی علاوه‌بر کاهش مقادیر کل کربن آلی خاک، از سهم خاکدانه‌های درشت غنی از کربن آلی خاک کاسته شده و به سهم خاکدانه‌های ریز افزوده می‌شود.

توزیع آنزیم ال-گلوتامیناز در خاکدانه‌های خاک در طول شیب: شکل ۳ روند توزیع آنزیم ال-گلوتامیناز را در خاکدانه‌های موجود در موقعیت‌های مختلف شیب نشان می‌دهد. در منطقه فریدون‌شهر، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار فعالیت این آنزیم در خاکدانه‌ها، در موقعیت‌های پایه شیب و شانه شیب مشاهده گردید (شکل ۳-الف). الگوی تغییرات مشاهده شده در فعالیت ال-گلوتامیناز با الگوی تغییرات کربن آلی در طول شیب (شکل ۱-الف) مشابهت داشت. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فعالیت این آنزیم و کربن آلی در طول شیب ($P < 0/001$ و $r = 0/72$) مشاهده گردید.

شکل ۳-ب روند تغییرات فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز را در خاکدانه‌های موجود در موقعیت‌های مختلف شیب منطقه چلگرد نشان می‌دهد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار فعالیت این آنزیم، در موقعیت‌های انتهایی شیب و شانه شیب مشاهده گردید (شکل ۳-ب). همچنین الگوی تغییرات مشاهده شده در فعالیت ال-گلوتامیناز با الگوی تغییرات کربن آلی در طول شیب (شکل ۱-ب) مشابهت داشت. وجود همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فعالیت این آنزیم و کربن آلی در طول شیب ($P < 0/001$ و $r = 0/80$) بیانگر آن است که این آنزیم دارای تمایل قوی برای برقراری پیوند با بخش آلی خاک می‌باشد (ننی‌پیری، ۲۰۰۲). برگستروم و همکاران (۱۹۹۸) بیان کرد که فعالیت‌های آنزیمی با افزایش ماده آلی، به‌دلیل وابستگی فعالیت‌های

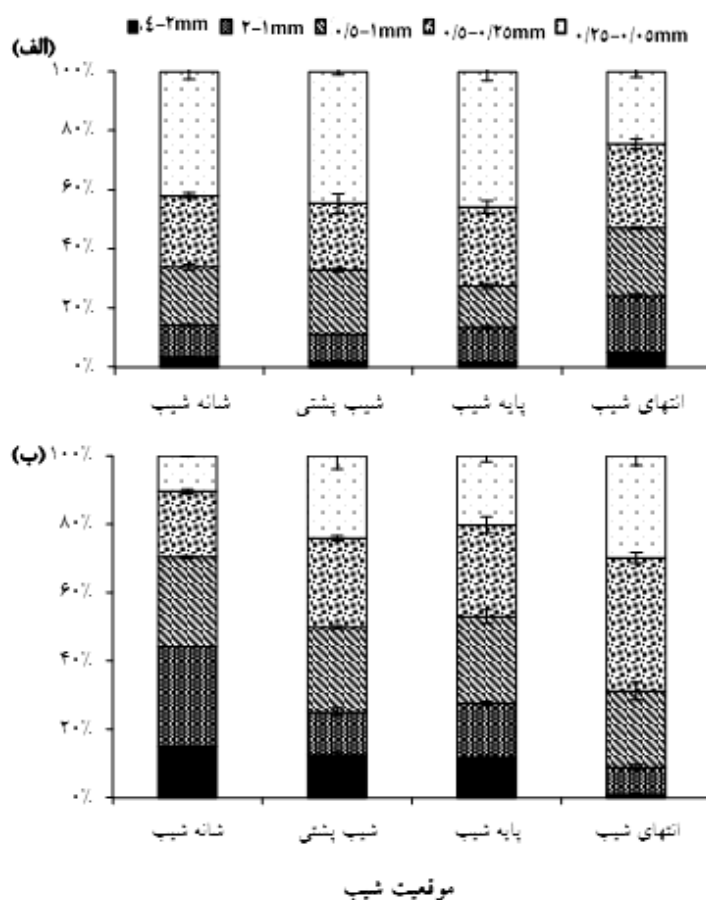


شکل ۳- تأثیر موقعیت شیب بر توزیع خاکدانه‌های آنزیم ال- گلوتامیناز خاک در مناطق الف) فریدون‌شهر و ب) چلگرد (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

خاکدانه‌ها به میزان ۲۲ درصد کاسته می‌شود. روند عکس این حالت در مورد فعالیت این آنزیم در ریزخاکدانه‌ها مشاهده گردید (شکل ۴- ب). این نتایج نشان می‌دهد که ساختمان خاک (خاکدانه‌ها) که نقش مهمی در حفاظت فیزیکی ماده آلی ایفا می‌کند، اگر به هر دلیلی تخریب و یا تقویت شود، بر وضعیت فیزیکی آنزیم‌ها در خاک تأثیر می‌گذارد. حجتی و نوربخش (۲۰۰۹) بیان کردند که با افزودن کودهای آلی به خاک، فعالیت آنزیم بتا- گلوکوزیداز در درشت خاکدانه‌ها به دلیل افزایش نسبت درشت خاکدانه‌ها به ریزخاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. فنسلر و همکاران (۲۰۰۵) نیز بان نمودند که در اثر ۷۵ و ۹۳ سال احیای مراتع و بهبود وضعیت ساختمان خاک، فعالیت آنزیم بتا- گلوکوزیداز در درشت خاکدانه‌ها بیش‌تر شده است.

نتایج دیگر این پژوهش نشان داد که سهم هر گروه خاکدانه در فعالیت آنزیم ال- گلوتامیناز خاک به موقعیت شیب بستگی دارد. بدین ترتیب که در منطقه فریدون‌شهر، در موقعیت انتهای شیب به همراه افزایش پایداری خاکدانه‌ها، فعالیت آنزیم ال- گلوتامیناز در درشت خاکدانه‌ها ($>0/25$ میلی‌متر) در مقایسه با سایر موقعیت‌های شیب افزایش می‌یابد. روند عکس این حالت در مورد فعالیت این آنزیم در ریزخاکدانه‌ها ($0/25-0/05$ میلی‌متر) مشاهده گردید (شکل ۴- الف).

در منطقه چلگرد، درشت خاکدانه‌های واقع در شانه شیب دارای بیش‌ترین فعالیت ال- گلوتامیناز هستند و سپس به سمت انتهای شیب به همراه کاهش پایداری خاکدانه‌ها، از فعالیت آنزیمی موجود در درشت



شکل ۴- تأثیر موقعیت شیب بر سهم نسبی هر گروه خاکدانه از ال- گلوتامیناز خاک در مناطق: الف) فریدون شهر و ب) چلگرد (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

کاهش پایداری خاکدانه‌ها در طول شیب، سهم درشت خاکدانه در ذخیره کربن آلی خاک در مقایسه با خاکدانه‌های کوچک‌تر، کاهش یافت. موقعیت شیب و اندازه خاکدانه تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم ال- گلوتامیناز گذاشت. الگوی تغییرات این آنزیم در طول شیب با الگوی تغییرات کربن آلی مطابقت داشت. بیش‌ترین فعالیت آنزیم ال- گلوتامیناز در درشت خاکدانه‌های ۲-۴ و ۱-۲ میلی‌متری دیده شد و با کاهش اندازه خاکدانه، کاهش یافت. سهم هر گروه خاکدانه در کل فعالیت این آنزیم در خاک، به موقعیت شیب بستگی داشت. بدین صورت که با کاهش پایداری خاکدانه‌ها در طول

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که موقعیت شیب از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها را تحت‌تأثیر قرار داده است. همچنین با بررسی توزیع خاکدانه‌ای کربن آلی معلوم شد که تشکیل خاکدانه‌ها از نظریه سلسله مراتب خاکدانه‌سازی پیروی می‌کند؛ بدین ترتیب که با کاهش اندازه خاکدانه، مقدار کربن آلی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، سهم هر گروه خاکدانه در کل کربن آلی خاک، در موقعیت‌های مختلف شیب متفاوت بود و از الگوی تغییرات مشاهده‌شده در توزیع اندازه خاکدانه‌ها در طول شیب پیروی کرد. همچنین با

شیب، از فعالیت آنزیم ال-گلوتامیناز در درشت خاکدانه‌ها کاسته و به سهم ریزخاکدانه‌ها افزوده شد. نتیجه آن‌که، توپوگرافی (موقعیت شیب) به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر خاکسازي و تکامل خاک‌ها، با تغییر وضعیت خاکدانه‌ها می‌تواند توزیع مکانی کربن آلی و آنزیم ال-گلوتامیناز را دست‌خوش تغییر کند.

منابع

1. Ayoubi, S., Mokhtari Karchegani, P., Mosaddeghi, M.R., and Honarjoo, N. 2012. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. *Soil Till. Res.* 121: 18-26.
2. Bastida, F., Luis Moreno, J., Hernandez, T., and García, C. 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 38: 3463-3473.
3. Bergstrom, D.W., Monreal, C.M., Millette, J.A., and King, D.J. 1998. Spatial dependence of soil enzyme activities along a slope. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1302-1308.
4. Boravka, L., Donatova, M., and Nemecek, H. 2002. Vulnerability of soil aggregates in relation to soil properties. *Plant Soil Environ.* 48: 329-334.
5. Bronick, C.J., and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma.* 124: 3-22.
6. Burns, R.G. 1982. Enzyme activity in soil: Location and possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.* 14: 423-427.
7. Burt, R. 2004. Soil survey laboratory methods manual: Soil survey investigations (Report No. 42, version 4.0). Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 700p.
8. Elliott, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
9. Eneje, R.C., and Adanna, N. 2007. Percent clay, aggregate size distribution and stability with depth along a toposequence formed on coastal plain sands. *Online J. Earth Sci.* 1: 108-112.
10. Fansler, S.J., Smith, J.L., and Bolton, H. 2005. Distribution of two C cycle in soil aggregates of a prairie chronosequence. *Biol. Fertil. Soils.* 42: 17-23.
11. Frankenberger, J.R., and Tabatabai, M.A. 1991. Factors affecting L-glutaminase activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* 23: 875-879.
12. Hattori, T. 1988. Soil aggregates as microhabitats of microorganisms. Report of the Institute of Agricultural Research Tohoku University. 37: 23-36.
13. Hojati, S., and Nourbakhsh, F. 2009. Distribution of β -glucosidase activity within aggregates of a soil amended with organic fertilizers. *Am. J. Agri. Biol. Sci.* 4: 3. 179-186.
14. Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 281p.
15. Khalili-Rad, M., Nourbakhsh, F., Jalalian, A., and Eghbal, M.K. 2011. The effect of slope position on soil biological properties in an eroded toposequence. *Arid Land Res. Manag.* 25: 308-312.
16. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution, P 425-442. In: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1.* 2nd ed. Physical and Mineralogical Methods, Agron. Monog. 9. ASA/SSSA, Madison, WI.
17. Malo, D.D., Worcester, B.K., Cassel, D.K., and Matyldorf, K.D. 1974. Soil landscape relationships in a closed drainage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 38: 813-818.
18. 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.
19. Nannipieri, P., Kandeler, E., and Ruggiero, P. 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil, P 1-33. In: R.G. Burns and R.P. Dick (eds.), *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology, and Application.* Dekker Marcel, New York.

20. Nikpour, M., Mahboubi, M.R., Mosaddeghi, M.R., and Safadoost, A. 2011. The effect of soil properties on aggregate stability of some soils of Hamedan province. *J. Agri. Sci. Natur. Resour.* 58: 85-96.
21. Pierson, F.B., and Mulla, D.J. 1990. Aggregate stability in the polous region of Washington: effect of landscape position. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1407-1412.
22. Sarshogh, M. 2009. The effect of aspect and position on some of morphological, physical, chemical and mineralogical properties of soils in Chelgerd region, Chaharmahal-va-Bakhtiari province. M.Sc. Thesis, Shahrekord University, Iran. Press, 92p. (In Persian)
23. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., and Deneq, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79: 7-31.
24. 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. Enginer. Sci.* 29: 798-806.
25. Tisdall, J.M., and Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
26. Tsui, C., Chen, Z., and Hsieh, C. 2004. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. *Geoderma.* 123: 131-142.



Aggregate distribution of organic C, L-glutaminase activity and aggregate stability as affected by slope position

***S. Nahidan¹, F. Nourbakhsh² and M.R. Mosaddeghi³**

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

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

³Associate Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 02/16/2014; Accepted: 05/25/2014

Abstract

The location of extracellular enzyme activities in soil aggregates can be influenced by slope position. This study aims to determine the effect of slope position on aggregate distribution of organic C and L-glutaminase activity. The soils were collected from different slope positions (shoulder, backslope, footslope and toeslope) at two pasture ecosystems (Fereydoonshahr and Chelgerd, central Iran). A wet sieving procedure was used to separate soil aggregates and then mean weight diameter (MWD) was calculated. Soil organic C (SOC) and L-glutaminase activity (LGL) were measured in the separated aggregates. Results indicated that slope position influenced aggregates distribution and stability through its effect on soil physico-chemical properties. The LGL activity was significantly influenced by slope position which was consistent with the pattern of SOC content (Fereydoonshahr: $r=0.7$, $P<0.001$; Chelgerd: $r=0.8$, $P<0.001$). The SOC and LGL decreased by 34 and 56% with decreasing the size of aggregates in Fereydoonshahre area and by 20 and 68% in Chelgerd area. Furthermore, SOC storage and LGL activity derived from macroaggregates decreased as the stability of aggregate decreased along the hill slope. Overall, topography (slope position) as a soil-forming factor can change the distribution of SOC and LGL activity in soil through its influence on aggregate distribution.

Keywords: Slope position, Soil organic C, L-glutaminase activity, Mean weight diameter

* Corresponding Authors; Email: safooranahidan@yahoo.com

