

## اثر نوع کاربری اراضی و موقعیت زمین نما بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیائی در خاک

الهام چاوشی<sup>۱</sup>، حسین خادمی<sup>۲</sup> و فرشید نوربخش<sup>۳</sup>  
۱، ۲، ۳، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان  
تاریخ پذیرش مقاله ۸۲/۱۱/۱۵

### خلاصه

امروزه فعالتهای آنزیمی خاک به عنوان شاخصهای مناسب برای ارزیابی اثرات مدیریت و کاربری اراضی بر کیفیت خاک شناخته شده‌اند. در این ارزیابی‌ها، تغییرات مکانی فعالتهای آنزیمی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. علیرغم اهمیت و جایگاه فعالتهای آنزیمی خاک از جمله فعالیت آنزیم فسفاتاز در مطالعات کیفیت خاک در سایر نقاط دنیا، در ایران تاکنون در این رابطه مطالعه‌ای صورت نگرفته است. لذا این مطالعه با هدف بررسی حساسیت فعالیت آنزیم فسفاتاز در ارزیابی اثرات کاربری در اراضی شیبدار اطراف شهرستان سمیرم که نمونه‌ای از اراضی شیبدار موج زاگرس می‌باشد، انجام گرفت. در این مطالعه سه زمین‌نما تحت کاربری‌های باغ سیب، مرتع و کشت دیم انتخاب شد. برای انجام نمونه برداری در هر منطقه مطالعاتی، دو محور موازی در امتداد زمین‌نما انتخاب و نمونه‌ها با فواصل ۱۵ متر و از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک از ناحیه قله شیب تا پایه شیب برداشت شد. در نهایت از هر ناحیه مطالعاتی ۳۰ نمونه و در مجموع ۹۰ نمونه برداشت گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز، مواد آلی و تنفس میکروبی نشان داد که اراضی تحت کاشت درختان سیب و اراضی زیرکشت دیم به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی، فعالیت میکروبی و آنزیمی بودند و اراضی مرتعی مقادیر حدواسط را به خود اختصاص دادند. از طرف دیگر خاک زمین‌نماهای مورد مطالعه در قسمت پایه شیب دارای بیشترین و در قسمتهای قله و شانه شیب دارای کمترین فعالیت آنزیمی بودند. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان دهنده اهمیت فعالیت آنزیم فسفاتاز در ارزیابی اثرات کاربری و موقعیت زمین‌نما بر کیفیت خاک می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی: کیفیت خاک، نوع کاربری اراضی، فعالیت آنزیم فسفاتاز، کربن آلی، رطوبت حجمی

#### مقدمه

فعالیت آنزیمها به عنوان شاخص مهم و حیاتی کیفیت خاک مطرح است. آنزیمها نقش مهم و کم نظیری در ارزیابی سلامت خاک دارند و رابطه آنها با بیولوژی خاک، همچنین سهولت اندازه‌گیری و عکس‌العمل سریع آنها به تغییرات در مدیریت خاک باعث شده است تا آنزیمهای خاک به عنوان شاخصهای بالقوه مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک پیشنهاد شوند (۱۲)، (۱۳). آنزیمها واسطه‌ها و تسهیل کننده‌های وظایف مهمی مانند

تجزیه مواد آلی، بازچرخ عناصر غذایی، تثبیت نیتروژن و مسمومیت زدایی می‌باشند (۱۱، ۱۲، ۲۰). از جمله آنزیمهای خاک می‌توان به آنزیم فسفاتاز اشاره نمود. آنزیم فسفاتاز کاتالیزور هیدرولیز کننده استرهای فسفات آلی به ارتوفسفاتها است و بنابراین بخش مهمی از زنجیره بین فسفر معدنی و بخش آلی را در خاک می‌سازد. فسفاتازها توسط میکروارگانیسم‌ها، ریشه‌های گیاه و کرمهای خاکی تولید می‌شوند و بنابراین در همه جای خاک وجود دارند (۴). فعالیت

این آنزیم‌ها در خاک سطحی بیشتر بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد (۲۰).

آنزیم فسفاتاز به تغییرات مکانی ایجاد شده در خاک به وسیله فاکتورهای مدیریتی و محیطی مانند خاک‌ورزی، اصلاح‌کننده‌های آلی، غرقاب شدن و تراکم حساس بوده و این امر باعث شده است تا فعالیت این آنزیم به عنوان یک شاخص بالقوه برای نشان دادن تغییرات در کیفیت خاک بکار رود (۲۰، ۴). گاپتا و جرمایدا (۱۹۸۸) خاکهایی را که ۶۹ سال سابقه کشت داشتند، با علفزارهای مجاور مقایسه کردند و مشاهده نمودند کشت و کار باعث کاهش فعالیت آنزیمهای فسفاتاز و آریل سولفاتاز به ترتیب به میزان ۴۹ و ۶۵ درصد شده است. در مطالعه دیگری در غرب ایالت اورگان آمریکا، دیک و همکاران (۱۹۸۸) اثر سیستم خاک‌ورزی را در خاکهای متراکم یک جنگل کف‌بر شده مطالعه کردند. نتایج نشان داد که چهار سال بعد از شروع خاک‌ورزی، فعالیت تمام آنزیمهای مورد مطالعه (فسفاتاز، آمیداز، دهیدروژناز و آریل سولفاتاز) به میزان ۴۱ تا ۷۵ درصد در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک کاهش یافت. در مطالعه دیگری بندیک و دیک (۱۹۹۹) گزارش کردند فعالیت فسفاتاز اسیدی، فسفاتاز قلیائی، آریل سولفاتاز، اوره‌آز، اینورتاز و آمیداز در ۷/۵ سانتیمتر بالائی خاک در تیمار بدون خاک‌ورزی بیشتر از مزارع تحت خاک‌ورزی به روش مرسوم بود. برای اینکه فعالیت آنزیمهای خاک مانند آنزیم فسفاتاز به عنوان یک شاخص مهم کیفیت خاک شناخته شود، باید تغییرات زمانی و مکانی و فاکتورهای کنترل‌کننده این نوع تغییرات بررسی شوند. در همین رابطه مطالعه‌ای توسط آمادور و همکاران (۱۹۹۷) در یک کاتنا با سه کلاس زهکشی طراحی شد. نتایج حاکی از آن بود که متوسط فعالیت فسفاتاز برای تمام کاتنا  $1/22 \mu\text{mol p-NPg}^{-1}\text{h}^{-1}$  و برای کلاسهای زهکشی ضعیف، نسبتاً ضعیف و نسبتاً خوب به ترتیب  $1/516$ ،  $1/427$  و  $0/8$   $\mu\text{mol p-NPg}^{-1}\text{h}^{-1}$  گزارش گردید. فعالیت فسفاتاز در هر سه کلاس زهکشی رابطه مثبت و معنی‌داری با مواد آلی و رطوبت داشت و ماکزیمم فعالیت آن در دامنه pH ۶/۵ تا ۶/۹ مشاهده شد. بطورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت فسفاتاز در این کاتنا ساختار مکانی داشته که عمدتاً توسط موقعیت زمین‌نما، مقدار مواد آلی، رطوبت و توزیع بایومس ریشه کنترل

می‌شود. نتایج مطالعه در زمین‌نماهای مانیتوبا (۸، ۱۰، ۱۱) نیز با نتایج این مطالعه هماهنگی داشت. بدین ترتیب که مقادیر آب، مواد آلی و فعالیت آنزیمهای فسفاتاز و سولفاتاز در نواحی گود پائین شیب بیشتر بود. همبستگی فعالیت این دو آنزیم با میزان مواد آلی، قوی و با رطوبت خاک ضعیف بود. بطورکلی محققین بر این عقیده‌اند که تغییرات زمانی فعالیت‌های آنزیمی عمدتاً به تغییرات در رطوبت خاک و تغییرات جزئی در کربن و نیتروژن خاک مربوط می‌شود (۱۸).

در رابطه با توزیع مکانی، عقیده بر این است که فعالیت‌های آنزیمی وابسته به مقدار مواد آلی خاک بوده و بنابراین مقادیر آنها در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیرین می‌باشد و از توزیع کربن آلی در پروفیل خاک پیروی می‌نماید (۷، ۱۸). بنابراین با توجه به حساسیت آنزیم فسفاتاز به تغییرات زمانی و مکانی ایجاد شده در خاک، در حال حاضر در سایر کشورها از آن به عنوان یک شاخص مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌گردد (۱۳، ۱۴، ۱۵، ۲۲). اما در ایران تاکنون در رابطه با تعیین کارائی فعالیت این آنزیم در مطالعات کیفیت خاک، تحقیقی صورت نگرفته است. لذا در مطالعه‌ای که در اراضی شیبدار اطراف شهرستان سمیرم انجام شد، اثرات سه نوع کاربری اراضی و موقعیت زمین‌نما بر فعالیت آنزیم فسفاتاز و بطورکلی کارائی فعالیت این آنزیم در مطالعات کیفیت خاک مورد ارزیابی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه سه زمین نما تحت کاربریهای باغ سیب، مرتع و کشت دیم در اراضی شیبدار اطراف شهرستان سمیرم در جنوب غربی استان اصفهان بین طول جغرافیایی ۵۱، ۵۱ و ۴۵، ۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵، ۳۱ و ۵۱، ۳۱ شمالی انتخاب گردید. باغ سیب و کشتزار دیم به ترتیب حدود ۲۰ و ۱۲ سال است که از حالت مرتع خارج شده و به این کاربریها تبدیل شده‌اند. مناطق مطالعاتی به نحوی انتخاب شدند که از لحاظ فاکتورهای خاکسازي یکسان بوده و تفاوت بین آنها ناشی از اثرات کاربری باشد. یکسان بودن مواد مادری با استفاده از نقشه زمین شناسی طرح ارزیابی قسمتی از شهرستان سمیرم (۱) بررسی گردید. اراضی مناطق مطالعاتی متشکل از مواد

موقعیتهای قله شیب، شانه شیب<sup>۵</sup>، برگشتی شیب<sup>۶</sup> و پایه شیب در باغ سیب به ترتیب ۶، ۴، ۱۶ و ۴، ۶، ۱۴ و ۶ و در اراضی زیر کشت دیم به ترتیب ۸، ۴، ۱۲ و ۶ می‌باشد. بدین ترتیب از هر ناحیه مطالعاتی ۳۰ نمونه و در مجموع ۹۰ نمونه برداشت گردید. برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی و فعالیت آنزیمی خاک نمونه‌برداری در شرایط سترون صورت گرفته و کیسه‌های حاوی نمونه‌های ۱۰۰ گرمی در داخل یخچال صحرایی گذاشته شده و پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز از روش طباطبائی (۱۹۹۴) استفاده شد. این روش شامل رنگ سنجی (طول موج ۴۱۰ نانومتر) پارانیتروفنل آزاد شده به وسیله فسفاتاز، طی دوره انکوباسیون خاک به مدت یک ساعت با تولوئن و محلول بافر MUB (pH = ۱۱ برای فسفاتاز قلیائی) و سدیم پارانیتروفنیل فسفات به عنوان سوبسترا است. روش رنگ‌سنجی مورد استفاده برای تخمین پارانیتروفنل براساس ایجاد رنگ زرد محلولهای قلیائی پارانیتروفنل است (محلولهای اسیدی پارانیتروفنل بیرنگ هستند).

تنفس میکروبی به روش نیتراسیون برگشتی با سود باقیمانده (۵) اندازه‌گیری شد. در این روش CO<sub>2</sub> آزاد شده از خاک توسط سود ۰/۵ مولار جذب می‌شود. در مرحله بعد CO<sub>2</sub> جذب شده توسط سود به وسیله کلرور باریم رسوب می‌یابد و سود باقیمانده که با CO<sub>2</sub> واکنش نداده است، توسط تیتراسیون با اسید ۰/۵ مولار تعیین می‌شود.

مواد آلی و بافت خاک نیز به ترتیب به روشهای اکسیداسیون تر (۲۳) و پیپت (۱۷) اندازه‌گیری شدند. رطوبت حجمی خاک سطحی (عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر) در فروردین سال ۱۳۸۰ با استفاده از دستگاه TDR (۶) در صحرا و در کلیه نقاط نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. همچنین pH خاک توسط دستگاه پ-هاش متر مدل متراهم-۶۲۰<sup>۷</sup> قرائت شد (۲۱). نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH خاک نشان داد که دامنه pH خاک در سه کاربری بین ۷/۹-۷/۱ است.

آبرفتی با توپوگرافی خیلی شدید تا شدید (تپه ماهوری) با منشأ آهکی و متعلق به دوران چهارم زمین شناسی می‌باشند (۱). علاوه بر آن مطالعه بافت خاک نشان داد که خاک مناطق مطالعاتی دارای بافت متوسط تا سنگین (لومی سیلتی<sup>۱</sup>، لومی رسی سیلتی<sup>۲</sup>) می‌باشد و تشابه بافت خاک سه منطقه نشان دهنده تشابه مواد مادری و انتخاب مناسب مناطق مطالعاتی است. یکسان بودن عامل توپوگرافی مناطق مطالعاتی نیز با مطالعه طول، جهت، ارتفاع و شکل شیب در صحرا بررسی گردید.

مقدار بارندگی سالیانه در این مناطق ۳۴۵ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت ۳۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن ۱۹- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به میزان بارندگی و درجه حرارت، اقلیم منطقه نیمه خشک سرد می‌باشد و دارای تابستانهای ملایم و زمستانهای سرد است (۲).

در باغ سیب آبیاری هر ۱۲ روز یکبار در نیمه اردیبهشت تا پایان شهریور، خاکورزی هر ساله عمود بر جهت شیب و کوددهی به صورت استفاده سالانه (اواسط فروردین) از کود حیوانی و سکوسترین آهن در پای درختان و محلول پاشی سولفات روی بر روی درختان انجام می‌گیرد. در اراضی دیمکاری شده که به کشت غلات (گندم) و حبوبات (نخود) اختصاص یافته است، کوددهی هر دو سال یکبار انجام می‌شود. در سالی که نخود کشت می‌شود کوددهی صورت نمی‌گیرد ولی در سالی که گندم کشت می‌شود، به ازای هر هکتار ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته و ۷۵ کیلوگرم کود اوره به ترتیب در پائیز و بهار به زمین اضافه می‌شود.

قبل از انجام نمونه‌برداری در طول زمین‌نماهای مورد مطالعه، ارتفاع نسبی نقاط با استفاده از روش ترازیبی مستقیم تعیین و نیمرخ طولی مناطق مطالعاتی ترسیم شد. همچنین مسیر دو محور موازی در امتداد هر زمین‌نما تعیین شد. در مهرماه ۱۳۷۹ نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها با فواصل حدود ۱۵ متر و از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک از ناحیه قله شیب<sup>۳</sup> تا پایه شیب<sup>۴</sup> برداشته شد. تعداد نمونه‌ها در هر یک از

5. Shoulder  
6. Backslope  
7. Metrohm-620 pH meter

1. Silt Loam  
2. Silty Clay Loam  
3. Summit  
4. Footslope

از آن است که گونه‌های مرتعی دارای تنوع کم و عمدتاً گونه‌های خشبی می‌باشند. بطور کلی پوشش گیاهی از تراکم نسبتاً کمی برخوردار بوده و نقاط عاری از پوشش گیاهی و پوشیده از تکه‌های سنگ در سطح مرتع پدید آمده است. وجود پوشش گیاهی ضعیف‌تر دلیل خوبی برای وجود مواد آلی کمتر نسبت به کاربری باغ سیب می‌باشد. اما ناحیه مطالعاتی مرتع با وجود اینکه تخریب شده است، هنوز مواد آلی بیشتری نسبت به کشتزار دیم دارد. در اراضی تحت کشت دیم خاک‌ورزی عمیق باعث تسریع تجزیه مواد آلی، افزایش فرسایش خاک و در نتیجه هدررفت مواد آلی خاک شده است. علاوه بر آن بقایای گیاهی به همراه محصولات برداشت شده و باعث کاهش ورود مواد آلی به خاک و در نتیجه کاهش میزان مواد آلی خاک گردیده است.

- آنزیم فسفاتاز: نتایج مقایسات آماری غیرپارامتری نشان می‌دهد فعالیت آنزیم فسفاتاز بین سه کاربری دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد (شکل ۱، قسمت ب). میانگین فعالیت آنزیم فسفاتاز در باغ سیب، مرتع و کشت دیم به ترتیب ۵/۵، ۲/۲ و ۰/۸  $\mu \text{mol p-NP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  است.

افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در باغ سیب نسبت به دو کاربری دیگر را می‌توان ناشی از عوامل زیر دانست:

الف- بقایای گیاهی و مواد آلی: فعالیت بیشتر آنزیم فسفاتاز در باغ سیب احتمالاً در اثر وجود بقایای گیاهی و مواد آلی بیشتر در این کاربری نسبت به دو کاربری دیگر است. بقایای گیاهی حاوی آنزیمهایی هستند که در اثر تجزیه آنها به داخل خاک آزاد شده و یا در بافت‌های گیاهی نسبتاً تجزیه شده، فعال باقی می‌مانند. به علاوه بقایای گیاهی علاوه بر اینکه، خود حاوی آنزیم هستند، نقش آنها در افزایش آنزیمهای خاک عمدتاً در اثر تحریک و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک می‌باشد (۱۳). بطور کلی افزایش فعالیت آنزیم با افزایش مواد آلی بخاطر وابستگی فعالیت میکروبی (در نتیجه تولید آنزیم) به عرضه کربن آلی است. آنزیم فسفاتاز یک آنزیم برون سلولی است. محققین بر این عقیده‌اند که بیشتر آنزیمهای برون سلولی آزاد شده در خاک فقط برای مدت کوتاهی باقی می‌مانند و بلافاصله تجزیه می‌شوند مگر آنکه روی سطوح رسها جذب شده و یا بصورت کمپلکس با کلوئیدهای هومیک باشند. بنابراین افزایش

نتایج بدست آمده در مورد توزیع فراوانی متغیرهای مورد مطالعه در سه نوع کاربری که با استفاده از آماره‌های چولگی، کشیدگی، نمودارهای فراوانی و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> انجام شد، نشان داد که دو شرط نرمال بودن توزیع فراوانی و برابر بودن واریانس جوامع مورد مقایسه که از خصوصیات اصلی حاکم بر آزمون t و سایر مقایسات آمار پارامتریکی می‌باشد، صادق نیست. بنابراین مقایسه آماری پارامترهای مورد مطالعه در سه نوع کاربری با استفاده از آزمونهای کروسکال-والیس<sup>۲</sup> و من‌ویتنی<sup>۳</sup> که مربوط به آمار غیرپارامتریک هستند، انجام شد (۳). از طرف دیگر به دلیل کم بودن تعداد نقاط نمونه‌برداری در برخی از موقعیتهای زمین‌نماهای مطالعاتی، توزیع فراوانی متغیرها قابل تعریف و توصیف نبوده، بنابراین استفاده از روشهای آماری بدون وابستگی به توزیع فراوانی و یا به عبارتی روشهای توزیع آزاد ضروری است (۳). به همین دلیل به منظور مطالعه آماری خصوصیات مورد مطالعه بین قسمتهای مختلف زمین‌نما نیز، از آمار غیر پارامتری استفاده شد. برای انجام این مقایسات، از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### ۱- اثرات کاربری اراضی

نتایج بدست آمده در مورد اثرات نوع کاربری اراضی بر ویژگیهای مورد مطالعه بصورت نمودارهای باکس و ویسکر<sup>۴</sup> (شکل ۱) ارائه شده است و در ذیل تشریح می‌گردد.

- کربن آلی: حداکثر کربن آلی خاک (۲ درصد) در باغ سیب و حداقل آن (۰/۶ درصد) در کشتزار دیم ملاحظه گردید، مقدار کربن آلی در مرتع (۰/۸ درصد)، حدواسط دو وضعیت باغ سیب و دیمزار بود (شکل ۱، قسمت الف). در باغ سیب به علت بازگشت بقایای درختان به خاک، وجود پوشش علفی یکساله در سطح زمین و استفاده سالیانه از کودهای حیوانی، خاک حاوی مواد آلی بیشتری می‌باشد. در مقایسه، اراضی مرتعی به علت چرای بیش از حد دام تخریب شده‌اند. مشاهدات صحرائی حاکی

1. Kolmogrov - Smirnov
2. Kruskal - Wallis
3. Mann - Whitney
4. Box and Wisker

همبستگی مثبت و معنی‌دار (سطح ۱ درصد)  $0.71$ ،  $0.88$  و  $0.79$  بین تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم فسفاتاز نشان‌دهنده افزایش فعالیت آنزیمی همراه با افزایش فعالیت میکروبی در این اراضی می‌باشد. بنابراین می‌توان استنباط نمود با افزایش فعالیت میکروبی، آنزیم بیشتری به وسیله همین جمعیت میکروبی تولید شده است. به بیان دیگر دلیل افزایش فعالیت آنزیمی خاک در باغ سیب ناشی از افزایش محتوای آنزیمی خاک می‌باشد. در این زمینه لازم است در آینده مطالعات سینتیک آنزیم فسفاتاز صورت گیرد تا دلیل سینتیک افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز معلوم شود. این افزایش ممکن است به سرعت حداکثر فعالیت آنزیم فسفاتاز ( $V_{max}$ )، که یکی از پارامترهای سینتیک آنزیم است، مربوط گردد.

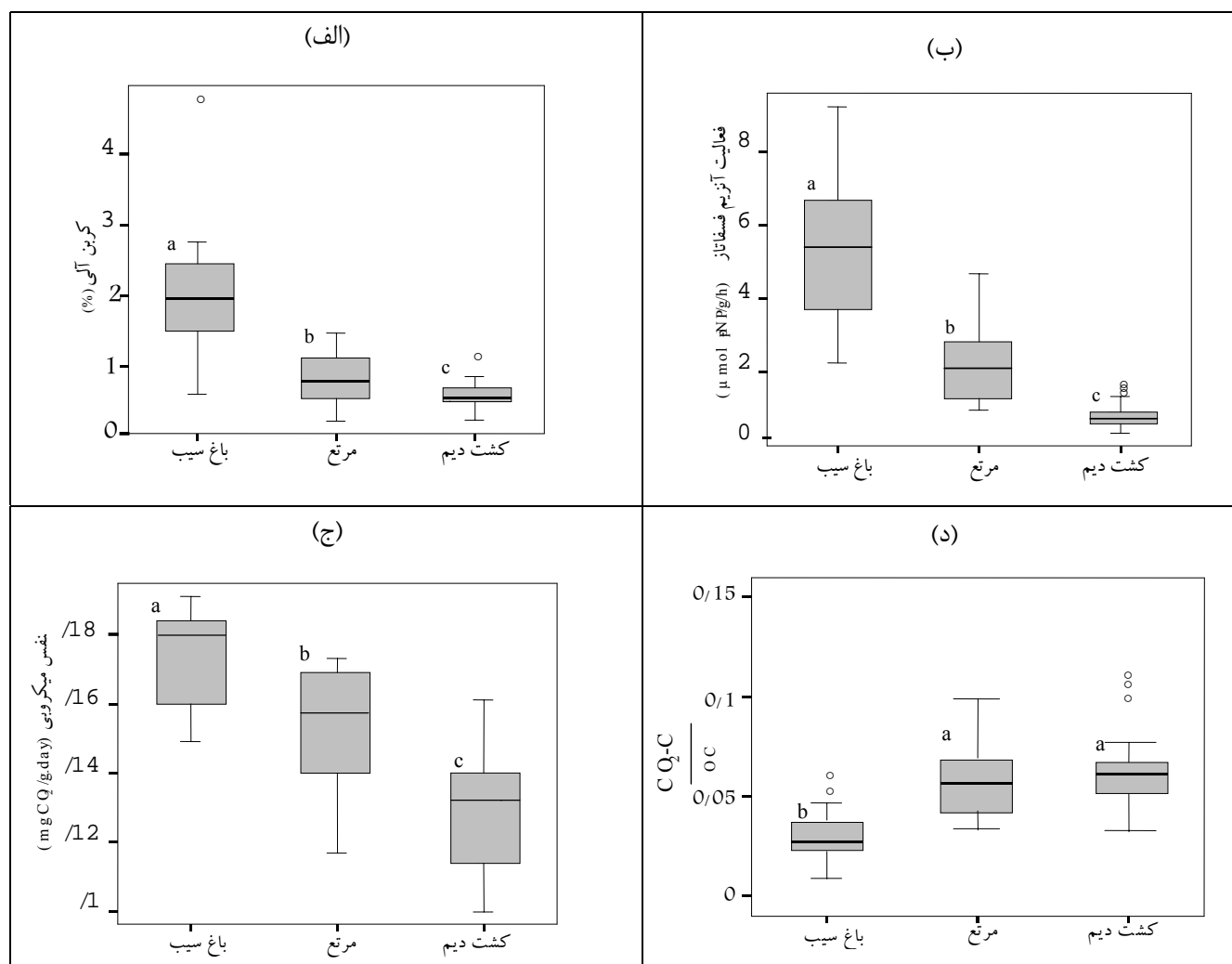
پارامتر دیگری که در این رابطه محاسبه شد، مقدار  $\frac{CO_2-C}{OC}$  است. اما مقدار این شاخص برخلاف تنفس میکروبی، با مقادیر رطوبت، کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز همبستگی نداشته و روند تغییرات آن خلاف تغییرات تنفس میکروبی است (شکل ۱، قسمت د). مقدار  $\frac{CO_2-C}{OC}$  در باغ سیب بطور معنی‌داری کمتر از مرتع و کشتزار دیم است اما در این دو نوع کاربری فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشد. کاهش مقدار  $\frac{CO_2-C}{OC}$  در باغ سیب به این دلیل است که هر ساله مقدار زیادی بقایای گیاهی تازه وارد خاک می‌شود که باعث افزایش میزان کربن آلی خاک می‌گردد. بنابراین زمانی که مقدار  $\frac{CO_2-C}{OC}$  را محاسبه می‌نمائیم اگرچه مخرج کسر به دلیل افزایش بقایای گیاهی در باغ سیب افزایش زیادی داشته، صورت کسر افزایش زیادی نشان نمی‌دهد، زیرا بقایای گیاهی همگی به سرعت قابل تنفس نیستند. بنابراین این کسر در باغ سیب کوچکتر از مرتع و اراضی زیر کشت دیم می‌باشد. تفاوت نسبت فوق بین سه نوع کاربری بدون شک به نوع ماده آلی و درجه هوموسی شدن آن در سه نوع کاربری مربوط می‌شود.

ج- آبیاری: عامل مهم دیگری که ممکن است فعالیت آنزیم فسفاتاز را در باغ سیب (و نه در دیمزار و مرتع) تحت تأثیر قرار دهد، آبیاری مرتب باغ در ماههای خشک سال می‌باشد. باغ سیب هر دوازده روز یکبار (از اواسط اردیبهشت تا اواخر شهریور) آبیاری می‌شود در صورتیکه در نواحی مطالعاتی مرتع و کشتزار دیم میزان رطوبت خاک به بارندگی منطقه بستگی دارد.

مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت میکروبی بلکه از طریق پایدارسازی مولکول آنزیم فسفاتاز در خاک باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود (۴). بطور کلی عقیده بر این است که تأثیر مواد آلی خاک بر فعالیت آنزیم فسفاتاز در طی تشکیل کمپلکس پایدار هوموس-آنزیم و همچنین بوسیله تحریک میکروارگانیسم‌ها برای ترشح آنزیم فسفاتاز است (۴).

عامل دیگری که می‌تواند در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در باغ سیب مؤثر باشد، استفاده از کود حیوانی است. تحقیقات نشان داده است که افزودن کودهای حیوانی به خاک باعث افزایش فعالیت آنزیمهای خاک می‌شود. در صورتیکه افزودن کودهای معدنی باعث کاهش فعالیت آنها می‌گردد (۱۳). به عنوان مثال افزودن کودهای معدنی فسفردار باعث کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز می‌شود زیرا افزودن فراورده نهائی واکنش آنزیمی یعنی ارتوفسفات از سنتز آنزیم فسفاتاز جلوگیری می‌کند. نتایج تحقیقات زوبتس (به نقل از منبع ۱۳) نشان داد که در خاکهای با سابقه کشت ۶ سال، استفاده از کود معدنی فسفر باعث افزایش غلظت فسفر محلول و کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز گردیده است.

ب- فعالیت میکروبی: تنفس میکروبی یکی از شاخصهای مهم برای ارزیابی فعالیت میکروبی است (۱۳). بنابراین به منظور بررسی فعالیت میکروبی در مناطق مطالعاتی، میزان تنفس میکروبی در خاک این مناطق اندازه‌گیری شد (شکل ۱، قسمت ج). نتایج حاصل از اندازه‌گیری این شاخص نشان می‌دهد که تغییرات آن همانند کربن آلی خاک است. بیشترین مقدار تنفس میکروبی مربوط به باغ سیب (میانگین  $0.17 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) و کمترین آن مربوط به اراضی تحت کشت دیم (میانگین  $0.13 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) است و اراضی مرتعی مقادیر حدواسط (میانگین  $0.15 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) را به خود اختصاص داده است. تفاوت در تنفس میکروبی بین سه کاربری ناشی از تفاوت در فعالیت میکروبی می‌باشد و به نظر می‌رسد این تفاوت با تغییر در مقادیر رطوبت و کربن آلی مرتبط است. وجود ضرائب همبستگی مثبت و معنی‌دار (سطح ۱ درصد)  $0.8$  و  $0.87$  بین تنفس میکروبی بترتیب با رطوبت و کربن آلی خاک در باغ سیب،  $0.72$  و  $0.88$  در مرتع و  $0.62$  و  $0.77$  در اراضی زیر کشت دیم تأیید کننده این فرضیه است. همچنین وجود ضرائب



شکل ۱- مقایسه میزان کربن آلی (الف)، فعالیت آنزیم فسفاتاز (ب)، تنفس میکروبی (ج) و نسبت  $\text{CO}_2\text{-C}$  آزاد شده طی تنفس میکروبی به مقدار کربن آلی (د) بین کاربریهای مختلف

همانگی دارد. این محققین نشان دادند که سطوح فعالیت آنزیمهای سولفاتاز و فسفاتاز در اراضی تحت سیستم حداقل خاکورزی بیشتر از اراضی تحت خاکورزی شدید می‌باشد و این تفاوت با حفظ بقایای گیاهی در لایه سطحی خاک و یا حفظ آنزیمهای برون سلولی داخل خاکدانه‌های پایدارتر در اراضی تحت سیستم حداقل خاکورزی مرتبط است. بندیک و دیک (۷) بیان داشتند که علفزارهای دائمی و مراتع بکر بخاطر فقدان خاکورزی و تأثیر ریزوسفر، فعالیت آنزیمی بیشتری نسبت به مناطق کشت شده دارند.

در کشتزار دیم، خاکورزی شدید و در نتیجه کاهش مواد آلی، عوامل مهمی در کاهش تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم

مقدار رطوبت ممکن است فعالیت آنزیم را بصورت غیرمستقیم به واسطه اثر بر رشد گیاه و فعالیت میکروبی تحت تأثیر قرار دهد.

ناحیه مطالعاتی مرتع با وجود اینکه تخریب شده است ولی تنفس میکروبی و فعالیت آنزیمی بیشتری نسبت به کشتزار دیم دارد که می‌توان آن را به عدم انجام خاکورزی، دوره طولانی‌تر رشد فعال ریشه و اثر ریزوسفر نسبت داد. دیک (۱۹۹۴) معتقد است که ریشه‌های گیاه نه تنها می‌توانند آنزیمهای برون سلولی ترشح کنند بلکه فعالیت میکروبی را نیز تحریک نموده و این عامل اصلی برای بیان اثر ریزوسفر بر فعالیت آنزیمهای خاک می‌باشد. این نتایج با مطالعات مونریل و برگ‌استرام (۲۰۰۰)

نسبت به نواحی با زهکشی خوب مانند قسمتهای بالائی شیب است. این محققین با توجه به رابطه ضعیف فعالیت آنزیم فسفاتاز با مواد آلی هوموسی شده و پایدار و رابطه قویتر آن با مواد آلی تازه نتیجه گرفتند که تفاوت در درجه هوموسی شدن در طول لنداسکیپ و شدت کمتر هوموسی شدن در نواحی با زهکشی ضعیف، در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در این نواحی مؤثر می‌باشد.

در مطالعه حاضر اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در طول زمین‌نماهای مورد مطالعه نشان داد که بیشترین میزان رطوبت در قسمت پایه شیب و کمترین میزان در قسمت قله شیب وجود دارد (شکل ۳). بنابراین وجود زهکشی ضعیف در قسمت پایه شیب نسبت به سایر موقعیتهای شیب می‌تواند تا حدودی در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در این قسمت مؤثر باشد. حضور رطوبت بیشتر در قسمت پائین شیب که ناشی از زهکشی ضعیف خاک در مقایسه با بخشهای بالاتر شیب است، در فصلهای خشک آب قابل استفاده بیشتری فراهم می‌نماید. ممکن است این رطوبت بیشتر، منجر به ایجاد پوشش گیاهی قوی‌تر و در نتیجه ورود کربن آلی بیشتر به خاک گردد.

#### ب- مرتع

بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز مربوط به پایه شیب و کمترین فعالیت مربوط به قله شیب می‌باشد (شکل ۲، قسمت ب). در مرتع نیز همانند باغ سبب توزیع آنزیم فسفاتاز تابع میزان کربن آلی و رطوبت خاک است. بیشترین میزان کربن آلی در موقعیت پایه شیب و کمترین میزان مربوط به موقعیت قله شیب می‌باشد (شکل ۲، قسمت ب). به نظر می‌رسد عامل اصلی در تفاوت میزان کربن آلی در طول شیب، فرسایش و انتقال خاک سطحی حاوی مواد آلی در اثر چرای مفرط دام از قسمتهای محدب بالای شیب به نواحی مقعر پائین شیب می‌باشد. این نتایج با نتایج مطالعات بوهوم و همکاران (۱۹۹۷) و برتون و همکاران (۱۹۹۹) هماهنگی دارد.

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک نیز نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در توزیع رطوبت خاک بین قسمتهای مختلف زمین‌نما می‌باشد. در مرتع نیز همانند باغ سبب بیشترین میزان رطوبت مربوط به پایه شیب و کمترین میزان مربوط به قله شیب می‌باشد (شکل ۳).

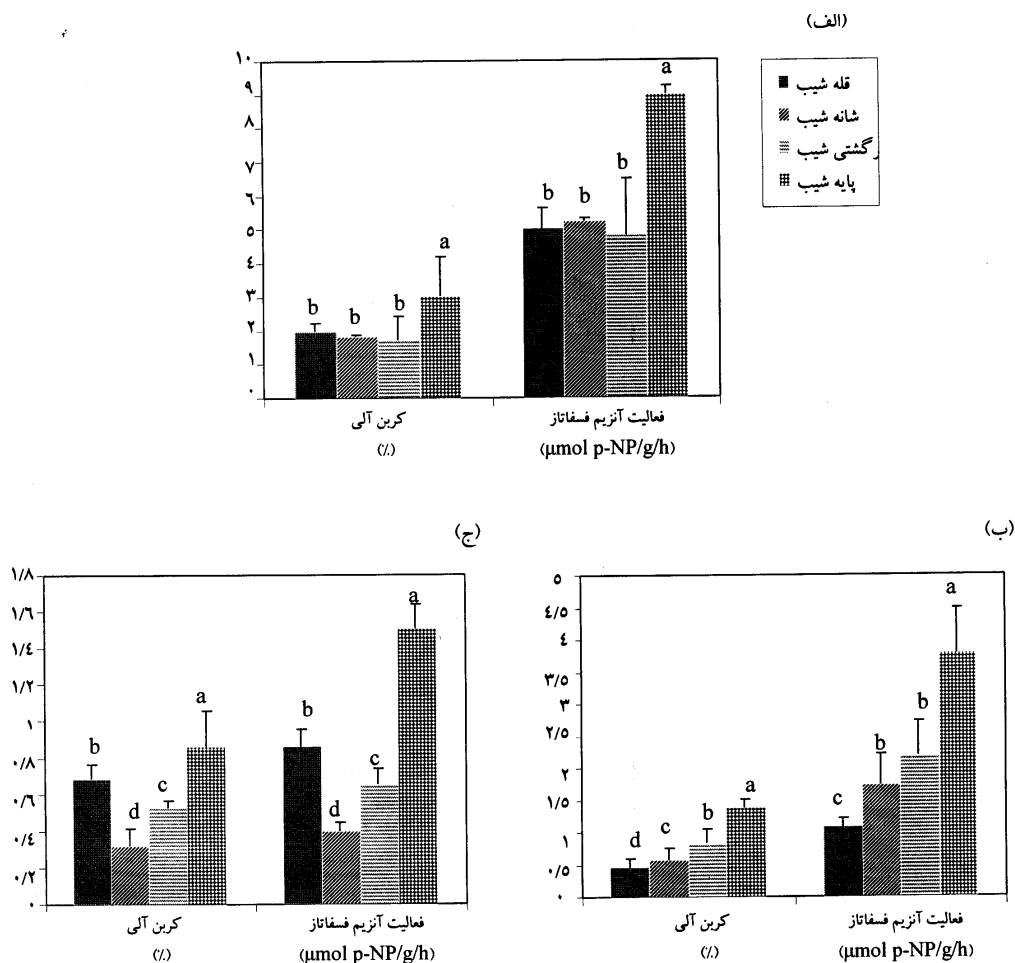
فسفاتاز می‌باشد. از طرف دیگر دوره کوتاه رشد فعال ریشه در طول سال، بارندگی کم و استفاده از کودهای معدنی فسفر از جمله عوامل دیگری هستند که همگی در فعالیت کمتر آنزیم فسفاتاز و مقدار تنفس میکروبی در اراضی دیمکاری شده نسبت به اراضی مرتعی و باغ سبب مؤثر می‌باشد.

#### ۲- اثرات موقعیت شیب

##### الف- باغ سبب

فعالیت آنزیم فسفاتاز در موقعیتهای قله، شانه و برگشتی شیب فاقد تفاوت معنی‌دار است، اما در موقعیت پایه شیب تفاوت معنی‌داری در مقایسه با موقعیتهای ذکر شده، مشاهده می‌گردد (شکل ۲، قسمت الف). این نتایج با نتایج بدست آمده در مورد شاخص کربن آلی (شکل ۲، قسمت الف) هماهنگی دارد. میزان کربن آلی نیز در موقعیتهای قله، شانه و برگشتی شیب فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. اما میزان آن در پایه شیب بطور معنی‌داری بزرگتر از سایر قسمتهای شیب است. این تفاوت عمدتاً توسط فرایند فرسایش که باعث انتقال خاک سطحی غنی از مواد آلی از قسمتهای بالائی و محدب شیب به نواحی مقعر پائین شیب می‌شود، قابل توضیح است. این نتایج با مطالعات پیرسون و مولا (۱۹۹۰) هماهنگی کامل دارد. این محققین توزیع خصوصیات خاک در قسمتهای مختلف زمین‌نما را مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که در موقعیتهای پایه شیب و قسمت مسطح پائین شیب، افق A ضخیم‌تر و کربن آلی خاک بیشتر از موقعیتهای شانه و قله شیب است.

در این مطالعه وجود ضریب همبستگی  $0/88$  بین میزان کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم فسفاتاز تابع میزان و توزیع کربن آلی خاک می‌باشد. بنابراین در موقعیت پایه شیب که میزان کربن آلی زیاد است، فعالیت آنزیم فسفاتاز نسبت به سایر موقعیتهای شیب افزایش یافته است. علاوه بر میزان مواد آلی، سن و ترکیب مواد آلی خاک نیز تعیین کننده مهم فعالیت آنزیم فسفاتاز هستند (۴). آمادور و همکاران (۱۹۹۷) در مطالعه تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز در یک کاتنا با سه کلاس زهکشی مختلف دریافتند که مقدار نسبتاً زیاد رطوبت و اشباع فصلی خاک با سیستم زهکشی ضعیف، باعث می‌شود تا تجزیه میکروبی بقایای گیاهی به تعویق بیفتد که نتیجه آن تجمع بیشتر مواد آلی و شدت کمتر هوموسی شدن

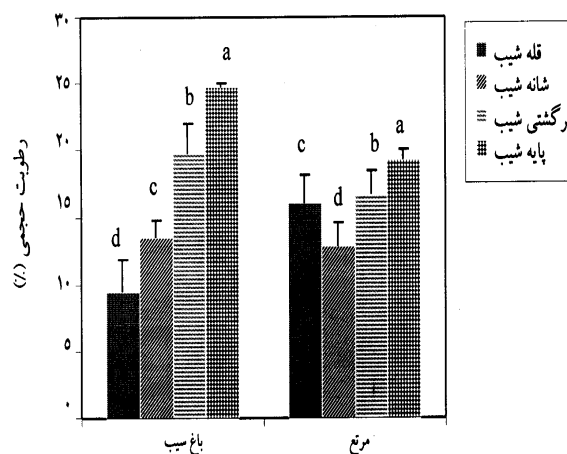


شکل ۲- مقایسه میزان کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز بین قسمتهای مختلف زمین‌نما در باغ سیب (الف)، مرتع (ب) و کشت دیم (ج) (حروف غیر مشابه در تمامی اشکال نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.)

افزایش کربن آلی و رطوبت حجمی خاک در قسمت پایه شیب و کاهش آنها در قله شیب دلیل خوبی برای تفاوت فعالیت آنزیمی در این موقعیتهای زمین‌نما می‌باشد. نتایج مربوط به ضرائب همبستگی اسپیرمن نیز این مطلب را بخوبی تأیید می‌نماید. ضریب همبستگی فعالیت آنزیم فسفاتاز با میزان کربن آلی و رطوبت حجمی خاک به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۷۱ می‌باشد و معنی‌دار بودن این ضرائب همبستگی در سطح یک درصد صحت نتایج بدست آمده را تأیید می‌نماید.

**ج- کشت دیم**

نتایج بدست آمده نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در فعالیت آنزیم فسفاتاز بین چهار موقعیت زمین‌نما می‌باشد (شکل ۲، قسمت ج). بیشترین فعالیت آنزیمی مربوط به موقعیت پایه شیب و کمترین میزان مربوط به موقعیت شانه شیب می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه میزان رطوبت حجمی خاک سطحی بین قسمتهای مختلف زمین‌نما در باغ سیب و مرتع (حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).



شاخص از توزیع میزان کربن آلی و رطوبت خاک در طول زمین‌نما می‌باشد. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد کیفیت خاک مناطق مطالعاتی در طول زمین‌نماهای مورد مطالعه تغییرات چشمگیری دارد. خاک این زمین‌نماها در قسمت پایه شیب به دلیل رسوبگذاری خاک فرسایش یافته، دارای بهترین کیفیت و در قسمت بالای شیب، به دلیل فرسایش حاصل از خاک‌ورزی شدید در اراضی دیمکاری شده و باغات سب و فرسایش حاصل از چرای بی‌رویه دام در عرصه مراتع منطقه دارای کیفیت بسیار پائینی می‌باشد.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان دهنده حساسیت فعالیت آنزیم فسفاتاز در ارزیابی اثرات مدیریت و موقعیت زمین‌نما بر کیفیت خاک می‌باشد. بنابراین با توجه به حساسیت زیاد و عکس‌العمل آنزیم فسفاتاز به تغییرات مدیریتی حتی در دوره‌های زمانی ۱۲ ساله و همچنین تغییرات مکانی، استفاده از آن به عنوان شاخص بالقوه در مطالعات کیفیت خاک پیشنهاد می‌گردد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه صنعتی اصفهان که امکانات صحرایی و آزمایشگاهی جهت انجام این پروژه را در اختیار قرار داده و هزینه‌های این تحقیق را متقبل گردیده است، همچنین از کارکنان آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی این دانشگاه که در کلیه مراحل انجام این تحقیق همکاری‌های لازم را به عمل آورده اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### REFERENCES

- بی‌نام، ۱۳۶۷. طرح شناسائی پوشش گیاهی و ارزیابی مراتع قسمتی از شهرستان سمیرم، ارزیابی مراتع و قابلیت اراضی، جهاد سازندگی استان اصفهان.
- صفا، ن. ا. رضایی و ر. کرونندی. ۱۳۷۷. طرح ۵۰۰۰ هکتاری ایجاد باغ گردو با مشارکت مردم در شهرستان سمیرم، اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان.
- کریمی، ی. (مترجم). ۱۳۷۲. آمار غیر پارامتری برای علوم رفتاری، انتشارات دانشگاه علامه طباطبائی، تهران.
- Amador, J. A., A. M. Glucksman, J. B. Lyons, & J. H. Gorres. 1997. Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest. *Soil Sci.* 162 (11):808-823.
- Anderson, J. P. E. 1982. Soil respiration. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties.* Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. PP. 831-872.
- Baker, J. M. & R. P. Almaras. 1990. System for automating and multiplexing soil moisture measurement by Time Domain Reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 146-157.

اندازه‌گیری میزان کربن آلی (شکل ۲، قسمت ج) و رطوبت حجمی خاک نیز نشان می‌دهد که تغییرات این دو متغیر در طول شیب همانند فعالیت آنزیم فسفاتاز می‌باشد. وجود ضرائب همبستگی مثبت و معنی‌دار (سطح ۱ درصد و ۵ درصد) ۰/۹۳ و ۰/۴۵ بین فعالیت آنزیم فسفاتاز بترتیب با میزان کربن آلی و رطوبت حجمی خاک نشان دهنده افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز همراه با افزایش کربن آلی و رطوبت خاک در پایه شیب و کاهش آن همراه با کاهش این شاخصها در قسمت شانه شیب می‌باشد.

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاشت درختان سبب در اراضی شبیدار منطقه و نحوه مدیریت این اراضی باعث افزایش بقایای گیاهی در سطح خاک (مشاهدات صحرایی) و افزایش سطح کربن آلی خاک گردیده و مساعد شدن شرایط خاک برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش فعالیت آنزیمی را در پی داشته است. اما اتخاذ مدیریتهای نادرست در اراضی زیر کشت دیم و مراتع باعث کاهش سطوح کربن آلی، تنفس میکروبی و فعالیت آنزیمی در اثر تخریب کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک گردیده است.

از طرف دیگر مطالعه تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز در طول اراضی شبیدار مورد مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات این شاخص از روند مشابهی در طول سه زمین‌نما پیروی می‌نماید. فعالیت آنزیمی بیشتر در قسمت پایه شیب و مقادیر کمتر این پارامتر در قسمت محدب بالای شیب، حاکی از تبعیت این

### مراجع مورد استفاده

7. Bandick, A. K. & R. P. Dick. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1471-1479.
8. Banerjee, M. R. & D. L. Burton. 1998. Landscape induced variation in soil biological quality in Manitoba. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1152-1158.
9. Boehm, M. M. & D. W. Anderson. 1997. A landscape-scale study of soil quality in three prairie farming systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1147-1159.
10. Burton, D. L. 1999. The evaluation and monitoring of soil biological quality in Manitoba. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1411-1417.
11. Burton, D. L., S. Depoe, & M. R. Banerjee. 1999. The functional diversity of soil microbial communities in selected Manitoba soils. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1390-1396.
12. Campbell, C. A., V. O. Biederbeck, B. G. McConkey, B. G. Curtin, & R. P. Zentner. 1999. Soil quality, effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced by tillage and fallow frequency in a silt loam in southwestern Saskatchewan. *Soil Biol. Biochem.* 31:1-7.
13. Dick, R. P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J. W., D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart (eds.). *Soil Sci. Soc. Am. Special Publication, No. 35, Madison, WI.* PP. 107-124.
14. Dick, R. P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil health. In: Pankhurst, C. E., B. M. Doube and V. V. S. R. Gupta (eds.). *Biological indicators of soil health, CAB International, USA.* PP. 121-126.
15. Dick, R. P., D. Breakwell, & R. Turco. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrating biological indicators. In: Doran, J. W. and A. J. Jones (eds.) *Handbook of Methods for Assessment of Soil Quality.* Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. PP. 247-272.
16. Dick, R. P., D. D. Myrold, & E. A. Kerle. 1988. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated Skil trail soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 512-516.
17. Gee, G. W. & J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. In: Klute, A.(ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods.* Am. Soc. Agron. PP. 383-411.
18. Gregorich, E. G., M. R. Carter, D. A. Angers, C. M. Monreal, & B. H. Ellert. 1994. Toward a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74: 367-385.
19. Gupta, V. V. S. R. & J. J. Germida. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 20: 777-786.
20. Juma, N. G. & M. A. Tabatabai. 1977. Distribution of phosphomonoesterase in soil. *Soil Science.* 126(2): 101-108.
21. Klute, A. 1982. Soil pH and lime requirement. PP. 199-223. In: McLean, E. O.(ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties.* Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. PP. 199-223.
22. Monreal, C. M. & D. W. Bergstrom. 2000. Soil enzymatic factors expressing the influence of land use, tillage system and texture on soil biochemical quality. *Can. J. Soil Sci.* 80: 419-428.
23. Nelson, D. W. & L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L., R. H. Miller and P. R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties.* Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. PP. 539-580.
24. Pierson, F. B. & D. J. Mulla. 1990. Aggregate stability in the Palouse region of Washington: Effect of landscape position. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1407-1412.
25. Tabatabai, M. A. 1994. Soil enzymes. In: Weaver, R. W. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical properties.* Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. PP. 775-833.

## The Effect of Land Use Type and Landscape Position on Soil Alkaline Phosphatase Activity

E. CHAVOSHI<sup>1</sup>, H. KHADEMI<sup>2</sup> AND F. NOORBAKHS<sup>3</sup>

1, 2, 3, Former Graduate Student, Associate Professor and Assistant Professor,  
Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology

Accepted. Feb. 4, 2004

### SUMMARY

Soil enzyme activities have been recognized as suitable indicators in assessing the effect of management systems and land use type on soil quality. In such investigations, the spatial variability of enzyme activities should be considered. Despite the importance of soil enzyme activities, particularly phosphatase, in soil quality assessment studies worldwide; such studies have not been carried out in Iran. Therefore, this study was conducted in a hummocky landscape around the city of Semirrom, which is a representative area for dissected alluvial plains in the Zagros region. The objective of the study was to evaluate soil phosphatase activity associated with land use type and landscape position. Three similar landscapes under three different land uses namely an apple garden, a rangeland site and a dryland farming area were selected. In each land use, two parallel transects, about 20 m away from each other, covering different landscape positions were laid out. Surface soil samples (0-15 cm) were taken at an interval of 15 m along each transect resulting in 30 samples per each land use (a total of 90 soil samples). Phosphatase activity, organic carbon content and the respiration rate were measured in all soil samples. Results showed that the landscape under apple orchard had more C content and phosphatase activity than under rangeland and dry farming areas. In contrast, the soil in dryland and rangeland sites had been greatly to moderately degraded. The highest phosphatase activity was found in soils occurring on footslope positions, whereas the soils on shoulder and summit had the least amount of phosphatase activity. This study further confirms the fact that the activity of phosphatase in soil well differentiates the effects of land use and landscape position on soil quality.

**Key words:** Soil quality, Land use, Phosphatase activity, Organic carbon, Volumetric moisture, Landscape