Archive of SID

تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۵ (ص ۲۱۶-۲۰۵)

تأثیر کاربری‌های زراعی و جنگلی بر فعالیت برخی آنزیم‌های خاک

فاطمه شیخلو[۱]، میرحسن رسولی صدقیانی[۲]*

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت : ۱۳۹۳/۷/۱۵ - تاریخ تصویب : ۱۳۹۴/۵/۲۶)

چکیده

در این تحقیق تأثیر کاربری‌های زراعی، باغی و جنگلی بر فعالیت برخی آنزیم‌های خاک مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۷۵ نمونه خاک سطحی از کاربری‌های مختلف برداشت و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، اوره‌آز و دهیدروژناز با استفاده از واکنش با سوبسترای ویژه اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی در کاربری جنگلی (به ترتیب ۵۸۲/۳ و ۳۴۴/۲ میکروگرم *p*NP بر گرم در یک ساعت) بیشتر از باغی و در کاربری زراعی کمترین مقدار بود. در مقابل آنزیم اوره‌آز در کاربری زراعی فعالیت بالایی (۸۴/۴ میکروگرم آمونیوم آزاد شده بر گرم در دو ساعت) را نشان داد که احتمالاً از کاربرد بالای کود اوره در زمین‌های زراعی ناشی می‌شود. فعالیت آنزیم دهیدروژناز در کاربری جنگلی (۷/۲ میکروگرم TPF بر گرم در ۲۴ ساعت) از نظر آماری بالاتر از زراعی بود. نتایج ارزیابی شاخص کیفیت خاک (SQI) نشان داد فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و دهیدروژناز، کربن آلی، pH و فسفر قابل استفاده به عنوان MDS بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک‌های مورد مطالعه نشان دادند. SQI در خاک‌های جنگلی (۱/۹۲) از نظر آماری بیشتر از کاربری باغی (۱/۷۱) و زراعی (۱/۴۱) بود. چنین استنباط می‌گردد که نوع کاربری بر فعالیت آنزیمی خاک تأثیر زیادی داشته و عموماً در زیست‌بوم‌های دست‌نخورده (جنگل) فعالیت آنزیمی بیشتر است که می‌تواند ناشی از پایداری این زیست بوم‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های خاک، فسفاتاز، اوره‌آز، دهیدروژناز، کاربری زمین

مقدمه

بهره‌برداری‌های نابخردانه از زیست بوم‌های طبیعی توسط بشر در قرن‌های اخیر و بروز فاجعه‌های عظیم زیست‌محیطی، انسان قرن حاضر را وادار به درک بهتر و عمیق‌تر روابط اجزای زیست بوم‌ها و شاخص‌های ظرفیت زیست بوم‌ها در مقابله با اختلالات زیست‌محیطی نموده است (Sheikhlou, 2013). آنزیم یا زیمایه یک ماده آلی که اغلب از جنس پروتئین است که واکنش‌های شیمیایی را در یک سازواره تقویت یا تضعیف می‌کند ولی خود دگرگون نمی‌شود. خاک حاوی آنزیم‌های متنوعی است که به صورت برون سلولی، درون سلولی، آزاد و یا ترکیبی از این حالت‌ها می‌باشد. فعالیت آنزیمی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم و حساس کیفیت خاک گزارش شده است؛ زیرا آزاد شدن مواد غذایی برای رشد گیاهان و میکروب‌ها را کنترل می‌کنند (Burns, 1978). لذا مهمترین دلایل استفاده از فعالیت‌های آنزیمی به عنوان شاخص کیفیت خاک، ارتباط تنگاتنگ این شاخص میکروبی با پارامترهای کیفیت خاک و سیر سریع تغییر و تحولات در مقایسه با دیگر خصوصیات خاک می‌باشد (Dick *et al.*, 1996).

دهیدروژناز آنزیمی است که به عنوان شاخص عمومی فعالیت میکروبی بکار می‌رود و نقش اکسایش ترکیبات آلی را دارد (Bastida *et al.*, 2008). آنزیم فسفاتاز هیدرولیز ترکیبات آلی فسفردار به یون‌های فسفات قابل جذب برای گیاه را به عهده دارد. بنابراین، یکی از آنزیم‌های مهم در چرخه فسفر خاک به شمار می‌آید و معمولاً در خاک‌ها با اسیدیته‌ی بالا، فراوان و فعال‌تر است (Tabatabai, 1994). آنزیم فسفاتاز از انواع آنزیم‌های برون سلولی بوده و بوسیله ریزجانداران، ریشه‌های گیاهی و کرم‌های خاکی تولید می‌شود و ارتباط این آنزیم با مقدار ماده آلی خاک، رطوبت خاک و حجم خاک در محیط ریشه، به اثبات رسیده است (Amador *et al.*, 1997). افزایش مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت میکروبی بلکه از طریق پایدارسازی آنزیم فسفاتاز در خاک باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود (Khademi *et al.*, 2006). به طور کلی از آن‌جا که آنزیم فسفاتاز قلیایی، یکی از آنزیم‌های ضروری در چرخه P بوده و فعالیت اغلب فسفاتازها وابسته به تغییر و تبدیلات

* نویسنده مسئول: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیبات حاوی P آلی و غیرآلی در خاک است، فعالیت آن می‌تواند به عنوان شاخصی از قابلیت دسترسی P برای گیاهان و جانوران ریز خاک قلمداد گردد. فعالیت فسفاتازها در خاک به وضعیت پوشش گیاهی (Herbien and Neal, 1990)، تغییرات انجام شده در اثر روش‌های مختلف مدیریتی (Clarholm, 1993)، و رطوبت و دمای خاک بستگی دارد.

اوره‌آز آنزیمی است که هیدرولیز اوره به دی‌اکسیدکربن و آمونیاک را انجام می‌دهد. این آنزیم به طور گسترده در طبیعت، در گیاهان، جانوران و ریزجانداران یافت می‌شود (Dick, 1984). آنزیم اوره‌آز نقش مهمی در معدنی کردن نیتروژن ترکیب‌های آلی و تأمین نیتروژن برای گیاهان و ریزجانداران از منابع طبیعی و کودها در خاک دارد. آگاهی از سطح فعالیت این آنزیم نقش مهمی در مصرف صحیح کود اوره، اطلاع از توان تصعید، آب‌شویی نیتروژن و مسائل زیست‌محیطی دارد (Cookson and Lepiece, 1996).

دهیدروژناز متعلق به اکسیدوردوکتازها و انتقال دهنده‌ی هیدروژن است. فعالیت دهیدروژناز به عنوان شاخصی برای ارزیابی سامانه زیستی اکسایش و کاهش بوده و چون فقط در سلول‌های زنده میکروبی وجود دارد، نشانگر و مقیاس مناسبی برای فعالیت میکروبی و اندازه‌گیری شدت متابولیسم میکروبی در خاک محسوب می‌شود (Nannipieri *et al*., 1990). فعالیت دهیدروژناز در خاک نتیجه‌ی فعالیت آنزیم‌های متفاوتی (آنزیم‌های متابولیسم تنفسی، چرخه‌ی سیترات، متابولیسم نیتروژن) می‌باشد.

افزایش فعالیت آنزیمی با افزایش مواد آلی به خاطر وابستگی فعالیت میکروبی و آنزیم تولید شده به عرضه سوبسترای کربن می‌باشد. بعلاوه بیشتر آنزیم‌های برون سلولی آزاد شده در خاک تنها در صورتی که سریعاً تجزیه نشوند قادرند در خاک پایدار بمانند. همچنین کاهش مواد آلی متناسب با کاهش فعالیت آنزیمی در نتیجه کاهش در زیست‌توده میکروبی و تغییر در ترکیب رشد و توسعه ریشه و میکروفلور خاک می‌باشد (Salam *et al*., 1998). فرسایش و خاک‌ورزی بی‌رویه که منجر به کاهش تجمع مواد آلی در لایه شخم می‌شود، فعالیت آنزیمی را به شدت کاهش می‌دهد؛ زیرا فعالیت آنزیمی با مقدار ماده آلی خاک رابطه مستقیمی دارد (Gianfreda and Bollag, 1996). فعالیت آنزیم‌های مختلف در خاک بر بسیاری از شاخص‌های خاک تأثیر دارند. نوع کاربری و زیست‌بوم حاکم بر خاک می‌تواند شدت فعالیت‌های آنزیمی خاک را کنترل نماید. دست‌خوردگی‌های[1] ناشی از جنگل‌زدایی، چرای بی‌رویه، و تبدیل مراتع و جنگل‌ها به اراضی کشاورزی در ایران (Hajabbasi *et al*., 1997) و دیگر نقاط جهان (Doran and Parkin, 1994) تنزل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را به همراه داشته است. فعالیت‌های کشاورزی به ویژه خاک‌ورزی شدید و بی‌رویه در اراضی تغییر کاربری‌یافته شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را تغییر و موجب تحریک و افزایش فعالیت‌های میکروبی، افزایش تجزیه بقایای گیاهی و تغییر در فعالیت آنزیم‌های خاک می‌گردد (Raiesi, 2007; Six *et al*., 2000). در تحقیقی Ebrahimzad *et al*., (2013) با بررسی تاثیر تغییر کاربری مراتع در فعالیت آنزیمی خاک نشان دادند شاخص‌های کیفیت خاک و فعالیت آنزیمی در کاربری‌های زراعت و باغ سیب نسبت به مرتع دست‌نخورده کاهش معنی‌داری داشت و فعالیت آنزیم اوره‌آز در کاربری‌های باغ سیب و زراعت نسبت به مرتع (شاهد) به‌ترتیب ۶۵/۵ و ۷۲/۷ درصد کاهش نشان داد. نتایج Li *et al*., (2014) بیانگر این نکته بود که فعالیت آنزیمی در کاربری‌های جنگلی و مرتعی نسبت به زمین‌های کشاورزی بیشتر بود. این محققان نشان دادند شاخص آنزیمی خاک[2] در کاربری‌های مختلف بصورت جنگلی > مرتعی > کشاورزی بود. گزارش‌های مشابهی مبنی بر افت فعالیت آنزیمی خاک به دنبال تغییر کاربری زیست بوم‌های پایدار جنگلی و مرتعی به کشاورزی ارائه گردیده است (Trasar-Cepeda *et al*., 2008; Olander and Vitousek, 2000; Kizilkaya and Dengiz, 2010). لذا این تحقیق به منظور مطالعه فعالیت برخی آنزیم‌های مرتبط با پویایی کربن، نیتروژن و فسفر در زیست بوم‌های زراعی، باغی و جنگلی و مطالعه ارتباط بین فعالیت آنزیمی و خصوصیات خاک در زیست بوم‌های مورد مطالعه در منطقه آذربایجان‌غربی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

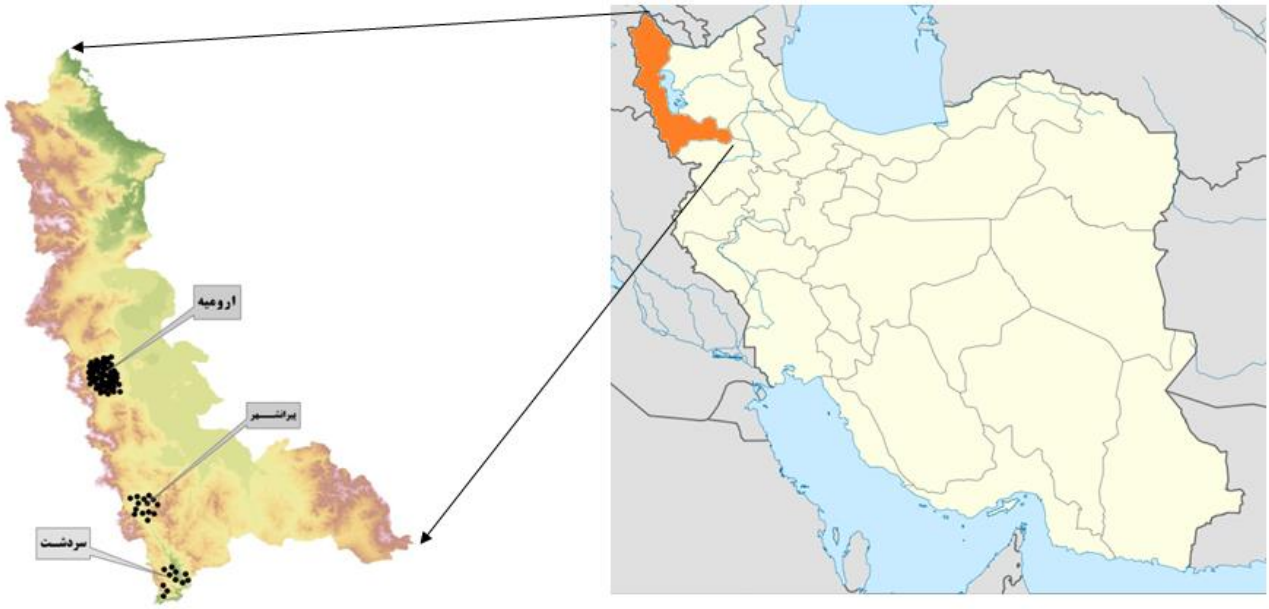
برای انجام این تحقیق تعداد ۷۵ نمونه خاک شامل ۲۵ نمونه سطحی (۲۰-۰ cm) از هر یک از کاربری‌های باغی (باغ‌های سیب *Malus domestica*)، کاربری زراعی (مزارع گندم *Triticum aestivum*) و کاربری جنگلی (جنگل‌های بلوط *Quercus brantii*) در استان آذربایجان غربی برداشت گردید (شکل ۱) و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. از نظر زمین شناسی، مواد مادری مناطق نمونه‌برداری شده در این مطالعه از رسوبات و آبرفت‌های قدیمی و جوان کوارترنر تشکیل شده‌اند

1. Distrubances
2. Soil enzyme index(SEI)

www.SID.ir

Archive of SID

(Soltani-Sisi, 2005). در ابتدا بخشی از نمونه‌ها به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی بطور جداگانه تفکیک و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. باقیمانده نمونه‌ها پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها مانند pH خاک در عصاره گل اشباع توسط pH متر(Mclean, 1982)، کربن آلی با روش والکلی و بلک (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون (Nelson and Sommers, 1982)، P قابل جذب به روش Olsen (Olsen and Sommers, 1982)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (Bergstrom *et al*., 1998) ۱۹۹۸) و هدایت الکتریکی خاک (EC) در عصاره گل‌اشباع با دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شدند (Sparks et al., 1996).



شکل ۱- موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه

برخی ویژگی‌های زیستی شامل فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی به روش Eivazi and Tabatabai (1977) با سوبسترای پارانیتروفنیل فسفات و فعالیت آنزیم اوره‌آز طبق روش Tabatabai and Bremner (1972) با محلول اوره و فعالیت آنزیم دهیدروژناز طبق روش Thalmann (1968) با سوبسترای تری فنیل تترازولیوم کلراید و در شرایط استاندارد با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ویژه برای هر آنزیم اندازه‌گیری شدند.

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک، شاخص کیفیت خاک[1] تعیین گردید. برای انتخاب دسته حداقل داده‌ها[2] (به عنوان نماینده‌ای از کل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده) از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[3] استفاده گردید (Doran and Parkin, 1994). روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به عنوان ابزار کاهش‌دهنده برای انتخاب تعداد مناسبی شاخص از بین ویژگی‌ها یا شاخص‌های مورد مطالعه در منطقه استفاده می‌شود. در این روش می‌توان تعداد متغیرهای مستقل را کاهش داده و مشکلات چند خطی را حل نمود (Sena et al., 2002). به منظور جلوگیری از تأثیر زیاد یک یا دو متغیر بر مولفه‌های اصلی، معمولاً در شروع تجزیه متغیرها را استاندارد می‌کنند تا دارای میانگین صفر و واریانس یک باشند. انتخاب دسته حداقل داده‌ها بر اساس Andrews *et al*. (2002) به ترتیبی انجام گردید که فقط PCs با ارزش ویژه بزرگتر از ۱، انتخاب شدند. سپس در درون هر PC خاص تنها متغیرهای با وزن بالا برای دسته حداقل داده‌ها باقی ماندند. بعد از تعیین دسته حداقل داده‌ها، وزن‌دهی هر یک از مؤلفه‌های اصلی انتخاب شده انجام شد. برای وزن‌دهی، سهم PC حاوی آن ویژگی در تبیین واریانس بر سهم تجمعی PCهای با ارزش ویژه بزرگتر از ۱ تقسیم گردید. توابع نمره‌دهی به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند (Karlen *et al*., 1999). نمره‌دهی به صورت فازی و بین صفر تا ۱ انجام گردید به گونه‌ای که برای ویژگی‌هایی که در آن عملکرد بالا از نظر تولید وجود داشت نمره ۱ در نظر گرفته شد و برای عملکردهای پایین‌تر مقدار نمره کاهش یافت. سپس با ایجاد توابع رگرسیونی

1. Soil quality index(SQI)
2. Minimum data set(MDS)
3. Principal component analysis(PCA)

www.SID.ir

Archive of SID

برای شاخص‌هایی که در دسته حداقل داده‌ها قرار داشتند نمره‌دهی صورت گرفت. برآورد شاخص کیفیت خاک در هر کاربری از رابطه‌ی زیر محاسبه گردید (Doran and Parkin, 1994):

$$SQI = \sum_{i=1}^{n} W_i.N_i \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

W_i بیانگر وزن هر PC_s با ارزش ویژه بزرگتر از یک و N_i نمره شاخص‌های برگزیده بود.

برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج بدست آمده در هر کاربری از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. مقایسه‌ی میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام گرفت.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی در کاربری‌های زراعی، باغی و جنگلی

در جدول ۱، دامنه تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی نشان داده شده است. با توجه به این جدول، دامنه تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی در کاربری‌های زراعی، باغی و جنگلی، به ترتیب از ۱۶۵/۶ تا ۴۸۰/۸، ۳۶۱/۲ تا ۷۰۴/۱ و۴۰۶/۷ تا ۸۶۳/۵ و فعالیت فسفاتاز اسیدی به ترتیب از ۱۱۵/۹ تا ۲۷۹/۶، ۱۴۳/۷ تا ۳۷۲/۹ و ۲۰۷/۳ تا ۵۳۰/۲ میکروگرم پارانیتروفنل فسفات به ازای یک گرم خاک در یک ساعت انکوباسیون متغیر بودند. میانگین فسفاتاز قلیایی و اسیدی در مناطق جنگلی بالاتر از مناطق باغی و زراعی بود که می‌تواند به دلیل زیاد بودن درصد کربن آلی خاک جنگلی و ارتباط نزدیک آن با فعالیت فسفاتازها باشد (جدول ۴). آنزیم فسفاتاز به عنوان آنزیمی برون سلولی که توسط ریزجانداران، ریشه‌های گیاهی و کرم‌های خاکزی تولید می‌شود، در ارتباط مستقیم با مواد آلی و رطوبت خاک می‌باشد (Amador *et al.*, 1997). عموماً کاهش کربن آلی خاک موجب کاهش فعالیت آنزیمی می‌شود که نتیجه‌ی کاهش زیست‌توده میکروبی و تغییر در ترکیب رشد و توسعه‌ی ریشه و میکروفلور خاک می‌باشد. بنابراین افزایش مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت میکروبی، بلکه از طریق پایدارسازی آنزیم فسفاتاز در خاک باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود. افزایش فعالیت آنزیمی با افزایش مواد آلی به خاطر وابستگی فعالیت میکروبی و آنزیم تولید شده به عرضه‌ی سوبسترای کربن می‌باشد (Khademi *et al.*, 2006). مواد آلی همچنین نقش مهمی در حفظ آنزیم‌ها از غیرمتحرک شدن توسط کانی‌های رسی یا ترکیبات هوموسی ایفا می‌کنند (Hu and Cao, 2007).

جدول ۱- دامنه تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی.

	نوع کاربری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
فسفاتاز قلیایی µg pNP/g h	زراعی	۱۶۵/۶	۴۸۰/۸	^{b}۲۹۷/۹	۳۹/۱
	باغی	۳۶۱/۲	۷۰۴/۱	^{a}۵۳۶/۴	۴۳/۵
	جنگلی	۴۰۶/۷	۸۶۳/۵	^{a}۵۸۲/۲	۳۳/۳
فسفاتاز اسیدی µg pNP/g h	زراعی	۱۱۵/۹	۲۷۹/۶	^{c}۱۱۷/۷	۲۳/۴
	باغی	۱۴۳/۷	۳۷۲/۹	^{b}۲۲۱/۰	۲۰/۳
	جنگلی	۲۰۷/۳	۵۳۰/۲	^{a}۳۴۴/۳	۴۱/۹

فعالیت آنزیم اوره‌آز در کاربری‌های زراعی، باغی و جنگلی

در جدول ۲، دامنه تغییرات فعالیت آنزیم اوره‌آز در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی نشان داده شده است. با توجه به این جدول، دامنه تغییرات فعالیت آنزیم اوره‌آز از ۵۴/۵ تا ۱۴۶/۳در کاربری زراعی، ۳۵/۷ تا ۱۰۸/۷ در کاربری باغی و ۲۱/۵ تا ۱۸۲/۲ میکروگرم آمونیوم آزاد شده به ازای یک گرم خاک در ۲ ساعت انکوباسیون در کاربری جنگلی قرار داشتند. با توجه به این جدول می‌توان مشاهده کرد که میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز در کاربری زراعی بالاتر از دو کاربری دیگر بود که می‌تواند به دلیل کاربرد کود اوره در زمین‌های زراعی باشد. Wang *et al.* (2008) افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز را در حضور مقادیر مختلف کود اوره در مقایسه با تیمار شاهد گزارش کردند. آن‌ها بیان نمودند که فعالیت این آنزیم با افزایش کود اوره افزایش می‌یابد، زیرا اوره سوبسترای لازم و اصلی برای فعالیت کاتالیزوری این آنزیم به شمار می‌آید. بنابراین افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز در حضور کود اوره ممکن است ناشی از اثر محرک آن بر فعالیت این آنزیم باشد. در مطالعه‌ای کود اوره بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی بی‌تأثیر بود، در حالی که فعالیت آنزیم اوره‌آز را افزایش داد (Hosseini *et al.*, 2012). آنزیم اوره‌آز نسبت به آنزیم فسفاتاز قلیایی حساسیت بیشتری نسبت به عملیات مختلف در خاک نشان داد. اوره‌آز ممکن است توسط پروتئازها هیدرولیز

www.SID.ir

Archive of SID

گردد که سبب کاهش فعالیت و مقدار آن در خاک می‌شود (Lal *et al.*, 1999).

جدول ۲- دامنه تغییرات فعالیت آنزیم اوره‌آز در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی.

نوع کاربری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
	($\mu g\ NH_4^+\text{-}N/g\ 2h$)			
زراعی	۵۴/۵	۱۴۶/۳	[a]۸۶/۴	۱۳/۳
باغی	۳۵/۷	۱۰۸/۷	[a]۶۷/۶	۷/۵
جنگلی	۲۱/۵	۱۸۲/۲	[b]۳۴/۳	۹/۲

فعالیت آنزیم دهیدروژناز در کاربری‌های زراعی، باغی و جنگلی

جدول ۳، دامنه تغییرات فعالیت آنزیم دهیدروژناز در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، دامنه تغییرات فعالیت آنزیم دهیدروژناز از ۰/۹ تا ۵/۷ در کاربری زراعی، ۰/۵ تا ۱۲/۷ در کاربری باغی، و ۰/۷ تا ۱۹/۱ میکروگرم تری‌فنیل فورمازان برگرم خاک در ۲۴ ساعت در کاربری جنگلی قرار داشتند. با توجه به این جدول، میانگین فعالیت آنزیم دهیدروژناز در کاربری جنگلی بیشتر از کاربری‌های دیگر بود که به دلیل رابطه‌ی قوی فعالیت آنزیم دهیدروژناز با میزان کربن آلی می‌باشد زیرا درنتیجه افزایش کربن آلی خاک فعالیت ریزجانداران تولیدکننده‌ی این آنزیم نیز افزایش می‌یابد. مواد آلی همچنین نقش مهمی در حفظ آنزیم دهیدروژناز از غیرمتحرک شدن توسط کانی‌های رسی یا ترکیبات هوموسی ایفا می‌کنند (Hu and Cao, 2007). فعالیت آنزیم دهیدروژناز با محتوای مواد آلی بسیار تنگاتنگ بوده و با هم ارتباط قوی دارند (Ross *et al.*, 2003).

جدول ۳- دامنه تغییرات فعالیت آنزیم دهیدروژناز در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی.

نوع کاربری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
	(µg TPF/g 24h)			
زراعی	۰/۹	۵/۷	[b]۲/۷	۱/۶
باغی	۰/۵	۱۲/۷	[a]۶/۱	۳/۴
جنگلی	۰/۷	۱۹/۱	[a]۷/۲	۷/۱

جدول ۴، مقایسات میانگین ویژگی‌های شیمیایی و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، اوره‌آز، دهیدروژناز، درصد کربن آلی، نیتروژن کل خاک، فسفر قابل استفاده خاک، شوری، و واکنش شیمیایی خاک را در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، حداقل فعالیت فسفاتاز قلیایی (۲۹۷/۹ میکروگرم پارانیتروفنل فسفات به ازای یک گرم خاک در ساعت) در کاربری زراعی و حداکثر ۵۸۲/۲ میکروگرم در کاربری جنگلی بود. همچنین حداکثر فعالیت فسفاتاز اسیدی (۳۴۴/۳ میکروگرم پارانیتروفنل فسفات به ازای یک گرم خاک در ساعت در کاربری جنگلی و حداقل آن (۱۱۷/۷ میکروگرم در کاربری زراعی مشاهده گردید. در مطالعه‌ی حاضر با وجود افزایش کربن آلی از کاربری زراعی به جنگلی مشاهده گردید که میانگین فعالیت آنزیم اوره‌آز در کاربری زراعی (۸۴/۴ میکروگرم آمونیوم آزاد شده در یک گرم خاک در ۲ ساعت) نسبت به کاربری جنگلی (۳۴/۳ میکروگرم آمونیوم آزاد شده در یک گرم خاک در ۲ ساعت) بیشتر بود که با مطالعات پیشین همخوانی نداشت اما می‌توان علت این امر را به کاربرد کود اوره در زمین‌های زراعی نسبت داد که به عنوان سوبسترا برای آنزیم اوره‌آز عمل می‌نماید. همچنین، میانگین فعالیت آنزیم دهیدروژناز در کاربری جنگلی (۷/۲ میکروگرم تری‌فنیل فورمازان برگرم خاک در ۲۴ ساعت) همگام با مقدار موادآلی بالاتر از دو کاربری باغی (۶/۱ میکروگرم تری‌فنیل فورمازان برگرم خاک در ۲۴ ساعت) و زراعی (۲/۷ میکروگرم تری‌فنیل فورمازان برگرم خاک در ۲۴ ساعت) بود لیکن این کاهش در کاربری زراعی از نظر آماری با کاربری‌های باغی و جنگلی اختلاف معنی‌داری نشان داد. با توجه به جدول ۴، می‌توان مشاهده کرد که از نظر مقدار کربن آلی بین کاربری جنگل با سایر کاربری‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشته و کاربری جنگل بیشترین (۲/۸درصد) و کاربری زراعی کمترین (۱/۵درصد) مقدار کربن آلی را دارا بودند. میانگین مقدار کربن آلی در هر سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی با هم تفاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) داشتند. همچنین میزان نیتروژن کل نیز در کاربری جنگلی (۰/۲درصد) به طور معنی‌داری بیشتر از دو کاربری باغی و زراعی بود، اما این افزایش در مورد کاربری باغی و زراعی غیرمعنی‌دار بود. در تحقیق حاضر میزان فسفر قابل استفاده در کاربری باغی (۱۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، بیشتر از کاربری زراعی (۱۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کاربری جنگلی (۱۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود.

از مهم‌ترین عواملی که باعث تفاوت ویژگی‌های شیمیایی خاک در کاربری‌های مورد مطالعه شده است می‌توان علاوه بر ویژگی‌های مواد مادری رسوبی آن‌ها، به تفاوت در عمق نفوذ ریشه‌های گیاهان در کاربری‌ها اشاره کرد. همچنین بقایای گیاهی افزوده شده به خاک نیز در کاربری‌های زراعی، باغی و جنگلی متفاوت بود که می‌تواند تفاوت‌هایی اساسی در برخی خصوصیات خاک ایجاد نماید.

در کاربری جنگل به دلیل عدم انجام عملیات شخم، و

www.SID.ir

Archive of SID

تردد محدود ماشین‌آلات و افراد، دست‌خوردگی خاک کمتر بوده در نتیجه معدنی‌شدن کربن آلی کاهش یافته و مقدار آن در خاک بالا می‌رود. ضمناً ریزش و ورود لاشبرگ درختان به خاک می‌تواند دلیلی بر افزایش کربن آلی در این کاربری باشد. عملیات شخم سرعت و میزان معدنی شدن کربن آلی را افزایش می‌دهد و به همین دلیل مقدار کربن آلی در اراضی تحت کشت کمتر است. Aguilar *et al.* (1988) کاهش مواد آلی در اثر کشت و کار را ناشی از بهم خوردن خاک سطحی و در نتیجه تسریع تجزیه زیستی مواد آلی، شدت یافتن فرسایش خاک و به دنبال آن هدر رفت مواد آلی همراه با رواناب دانسته‌اند. همچنین Cartner and Gregorich (1997) افزایش دمای خاک به دلیل کاهش پوشش گیاهی سایه‌انداز را در تجزیه مواد آلی در خاک اراضی زراعی موثر می‌دانند. همین عامل سایه‌انداز و عملیات کمتر خاک‌ورزی می‌تواند دلیلی بر زیاد بودن موادآلی در باغات نسبت به کاربری زراعی در مطالعه‌ی حاضر باشد. نتایج این پژوهش مؤید این مطلب است که هرگونه کاربری و سامانه مدیریتی که باعث افزایش به هم‌خوردگی سطح خاک شود، منجر به کاهش مقدار مواد آلی خاک می‌گردد.

جدول ۴- مقایسه میانگین بین ویژگی‌های شیمیایی و فعالیت آنزیم‌های اندازه‌گیری شده خاک در سه کاربری زراعی، باغی و جنگلی

نوع کاربری	ALP	ACP	Ure.	Dehyd.	OC	pH	TN	P_{olsen}
زراعی	^{b}۲۹۷/۹	^{c}۱۱۷/۷	^{a}۸۴/۴	^{b}۲/۷	^{c}۱/۵	^{a}۸/۱	^{b}۰/۰۹	^{b}۱۲/۶
باغی	^{a}۵۳۶/۴	^{b}۲۲۱/۰	^{b}۶۷/۶	^{a}۶/۱	^{b}۱/۹	^{b}۷/۹	^{b}۰/۱۲	^{a}۱۶/۲
جنگلی	^{a}۵۸۲/۲	^{a}۳۴۴/۳	^{b}۳۴/۳	^{a}۷/۲	^{a}۲/۸	^{c}۷/۱	^{a}۰/۲۰	^{b}۱۰/۹

ALP فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (µg pNP/g.h)، ACP فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی، .Ure فعالیت آنزیم اوره‌آز برحسب (µg NH_4^+-N/g.2h)، Dehyd فعالیت آنزیم دهیدروژناز (µg TPF/g.24h)، TN درصد نیتروژن کل، OC درصد کربن آلی،pH واکنش خاک، P فسفر بر حسب $mg.kg^{-1}$ می‌باشد.

برای هر ویژگی، حروف غیر مشترک در هر ردیف در هر منطقه، نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

زیاد بودن مقدار نیتروژن در خاک‌های جنگلی و باغی دور از انتظار نبود؛ چرا که مقدار مواد آلی در این کاربری‌ها بیشتر از کاربری زراعی بود و همبستگی بسیار زیادی بین مقدار نیتروژن و کربن آلی خاک‌ها گزارش شده است (Xue *et al.*, 2013). حساسیت بیشتر اراضی کشاورزی در برابر فرسایش، عاملی برای کاهش ماده آلی و نیتروژن کل خاک به شمار می‌آید. به طوری که بخش عمده‌ای از کربن آلی و نیتروژن خاک از طریق فرسایش و به صورت محلول همراه با رواناب از دسترس خارج خواهد شد. در خاک‌های زراعی و باغی قسمت عمده ماده خشک بخش هوایی به صورت محصول برداشت و از زمین خارج می‌شود و به علاوه در اراضی زراعی، خاک مکرراً با شخم زیر و رو می‌شود که موجب شکستگی خاکدانه‌های درشت می‌گردد و نیتروژن آلی محبوس شده در آنها در معرض حمله میکروبی قرار می‌گیرد. بنابراین کربن ورودی کمتر و کربن خروجی بیشتر در اراضی زراعی یکی از دلایل عمده کاهش میزان نیتروژن آلی در این خاک‌ها می‌باشد (Zach *et al.*, 2006). در خاک جنگلی، به دلیل عدم کشت و زرع و نیز وجود لاشبرگ فراوان، بین تجزیه و تجمع توازن وجود دارد اما در اراضی زراعی و باغی این توازن به چشم نمی‌خورد. Salardini (1995) در پژوهشی اعلام کرد کاهش مقدار نیتروژن خاک، به دلیل کاهش بقایای گیاهی و افزایش تهویه خاک در اثر شخم و بنابراین زیاد شدن ریزجانداران و بهم خوردن تعادل ازت خاک می‌باشد.

زیاد بودن میزان فسفر قابل استفاده در کاربری زراعی نسبت به جنگلی می‌تواند به دلیل استفاده از کودهای دامی و شیمیایی باشد. در منطقه مورد بررسی این تحقیق مصرف کودهای دامی و شیمیایی به ویژه انواع نیتروژنه و فسفاته در کاربری‌های کشاورزی رواج داشته است. از دلایل افزایش مقدار فسفر در کاربری باغ، کاربرد کود و بازگشت بقایای گیاهی به خاک می‌باشد که باعث افزایش مقدار مواد آلی خاک شده و فسفر خاک حفظ می‌شود. Xiongwen and Bia-Lian (2003) عقیده دارند فرآیندهای شیمیایی و زیستی بر روی پراکنش فسفر خاک تأثیر دارند. سامانه گسترش ریشه، مقدار و کیفیت مواد اضافه شده به خاک، فعالیت‌های آنزیمی برون سلولی، کلات‌های آلی تولید شده در خاک و فعالیت موجودات زنده خاک از جمله عواملی هستند که بر پراکنش فسفر مؤثرند. کشت و زرع خاک‌ها سبب کاهش مواد آلی و فسفر کل خاک می‌گردد (Brookes *et al.*, 1984). در مطالعه‌ای، Zhou *et al.* (1997) بیان کردند که افزودن کود دامی می‌تواند باعث افزایش ۱۰۰ تا ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به خاک شود. در پژوهشی، Rasmussen and Douglas (1992) بیان داشتند کاربرد مستمر کودهای فسفردار در زمین‌های زراعی را باعث افزایش غلظت فسفر قابل استفاده در لایه سطحی خاک می‌دانند.

www.SID.ir

Archive of SID

به نظر می‌رسد عملیات کشت و کار و کوددهی در اراضی زراعی و باغی سبب افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک شده است. Frankenberger and Bingham (1982) تحت شرایط آزمایشگاه مشاهده کردند شوری اثرات منفی بر فعالیت آنزیمی و تنفس خاک دارد. مطالعات گذشته نشان داده است که رابطه‌ای منفی بین EC خاک و فعالیت آنزیم‌ها (Pathak and Rao, 1998) وجود دارد. یکی از دلایل کم بودن فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی و دهیدروژناز در این مطالعه می‌تواند اثر سوء شوری بر فعالیت آنها باشد.

ریزجانداران و گیاهان به طور قابل توجهی به ترکیب شیمیایی موجود در محیط اطراف خود پاسخ می‌دهند. به نظر می‌رسد زیر و رو شدن پروفیل خاک در اثر عملیات کشت و کار موجب بالا آمدن مواد آهکی به سطح در کاربری زراعی شده و لذا pH خاک را نسبت به جنگل افزایش داده است همچنین در خاک‌های جنگلی یون‌های بازی شسته شده و بنابراین pH خاک کمتر از سایر مناطق است. بالا بودن pH در کاربری زراعی و باغی نیز می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به ورود املاح قلیایی ناشی از آب آبیاری، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی اشاره کرد (Rezapour and Samadi, 2012). این رویکرد افزایش pH در خاک‌های زراعی و باغی می‌تواند به عنوان عامل منفی برای کیفیت خاک محسوب شود به علت اینکه در خاک‌های قلیایی هرگونه افزایش در pH خاک به عنوان کاهش‌دهنده کیفیت معرفی شده است. استفاده از کودهای شیمیایی نیز می‌تواند مقدار pH را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج Lal *et al.* (1999) نشان داد که با افزایش عملیات شخم و به هم‌خوردگی سطح خاک در اثر عملیات شخم مقدار pH افزایش یافت.

فرسایش و خاک‌ورزی که منجر به کاهش ضخامت افق سطحی و کاهش تمرکز مواد آلی در لایه شخم می‌شود (کاربری زراعی و باغی)، فعالیت آنزیمی را به شدت کاهش می‌دهد. تغییرپذیری فعالیت فسفاتاز تحت تأثیر مدیریت اراضی و با افزایش روند تخریب زیادتر می‌شود. مطالعه Kourtev *et al.* (2002) نیز نشان داد که فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک‌های حاوی لاشبرگ چند گونه جنگلی افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد. در پژوهشی، Caravaca *et al.* (2002) اثرات کاربری اراضی را بر خصوصیات بیوشیمیایی مربوط به فعالیت میکروبی خاک که در برگیرنده چرخه عناصر می‌باشد بررسی و مشاهده نمودند فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی پس از انجام عملیات مختلف کشاورزی به طور اساسی کاهش یافت و مقدار این آنزیم در خاک‌های کشت شده کمتر از خاک‌های کشت نشده بود. آنزیم‌های فسفاتاز توسط ریزجانداران خاک برای دستیابی به فسفات‌های باند شده در مواد غذایی استفاده می‌شوند. سنجش سرعت فعالیت این آنزیم‌ها ممکن است برای اثبات نیاز فیزیولوژیکی به فسفات‌ها در خاک استفاده شود. بعضی ریشه‌های گیاهی به ویژه ریشه‌های خوشه‌ای،کربوکسیلات تراوش می‌کنند که فعالیت اسید فسفاتازی داشته و به حرکت فسفر در خاک‌های فقیر کمک می‌کند. با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌گردد که در کاربری جنگلی با میانگین فسفر کم فعالیت آنزیم فسفاتاز افزایش یافته است. در واقع آنزیم فسفاتاز باعث افزایش فسفر معدنی خاک می‌شود اما زمانی که فسفر خاک زیاد باشد موجب کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز خاک می‌گردد. فسفاتازها آنزیم‌هایی اجباری هستند که به صورت عمده در شرایط کمبود فسفرمعدنی قابل دسترس تولید می‌شوند. همچنین Thomson *et al.* (1986) کاهش ترشحات ریشه‌ای در اثر مصرف زیاد کود فسفره را دلیلی بر کاهش فعالیت فسفاتازها عنوان نموده‌اند. کاهش ترشحات ریشه‌ای موجب کاهش فعالیت ریزجانداران در ریزوسفر گیاه و در نتیجه باعث کاهش فعالیت فسفاتاز در ریزوسفر گیاه می‌شود. این امر می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت پوشش سطحی، پوشش گیاهی و فقدان شخم بر خصوصیات خاک به ویژه فعالیت و جمعیت میکروبی باشد. یافته‌های Chu *et al.* (2007) نشان دادند فسفر نقش مهمی در نگهداری تعادل مواد آلی خاک دارد به نحوی که کاهش فسفر منجر به کاهش جامعه میکروبی خاک و فعالیت دهیدروژناز می‌گردد.

آنزیم فسفاتاز معمولاً در خاک‌هایی با اسیدیته بالا فراوان و فعال‌تر هستند لذا با کاهش واکنش خاک فعالیت آن به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. لذا یکی دیگر از دلایل بالا بودن فعالیت فسفاتاز در کاربری جنگلی می‌تواند به دلیل پایین بودن واکنش خاک در این کاربری در مقایسه با دیگر کاربری‌ها باشد. در تحقیقی Juma and Tabatabai (1977) نیز بیان کردند فعالیت فسفاتاز اسیدی همبستگی معنی‌دار و منفی با واکنش خاک دارد. با این وجود Wyszkowska *et al.* (2001)، گزارش کردند که با کاهش pH خاک، فعالیت هر دو نوع فسفاتاز اسیدی و قلیایی کاهش یافته است. متوسط pH در کاربری‌های زراعی، باغی و جنگلی به ترتیب ۸/۱، ۷/۹ و ۷/۱ می‌باشد که از نظر آماری با هم متفاوتند.

با توجه به جدول ۴، در کاربری زراعی به دلیل بالا بودن عملیات شخم و پایین بودن درصد کربن آلی همچنین بالا بودن شوری فعالیت آنزیم دهیدروژناز پایین‌تر از کاربری‌های دیگر بود. غلظت دهیدروژناز خاک، به وضعیت و شدت تغییر و تبدیلات

www.SID.ir

Archive of SID

زیستی ترکیبات آلی وابسته است. Ross *et al.* (2003) نیز اثر متفاوت مواد آلی مختلف را بر روند تغییرات آنزیم دهیدروژناز در یک خاک در منطقه‌ی نیمه‌خشک گزارش کردند. عملیات خاک‌ورزی نیز می‌تواند با تغییر وضعیت پراکنش، اندازه و چیدمان فیزیکی شبکه‌ی حفره‌ها و ذرات خاک همچنین میزان مواد آلی موجب تغییر زیستگاه جانداران خاک، فراهمی آب، اکسیژن و پیش ماده آنزیم‌ها شده و از این راه بر فعالیت‌های آنزیمی خاک تأثیر بگذارد. در گزارشی نشان داده شده است که در روش بدون خاک‌ورزی فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند فسفومنواستراز اسیدی و قلیایی، آریل‌سولفاتاز، اوره‌آز، دهیدروژناز و بتاگلوکوسیداز در لایه‌ی سطحی ۵-۰ سانتی‌متری خاک افزایش یافته است (Dick, 1984). به دلیل اینکه درصد بیشتری از نیتروژن کل خاک (۹۵٪) را نیتروژن آلی تشکیل می‌دهد، احتمالاً فعالیت آنزیم دهیدروژناز با نیتروژن کل ارتباط قوی دارد. جدول ۴ نشان می‌دهد که از کاربری زراعی به کاربری جنگلی میزان کربن آلی و نیترون کل نیز افزایش یافته که می‌تواند دلیلی بر افزایش فعالیت آنزیم دهیدروژناز در کاربری جنگلی نسبت به سایر کاربری‌ها باشد.

استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی برای تعیین دسته حداقل داده‌ها و برآورد شاخص کیفیت خاک

از بین مولفه‌های اصلی (PC) شاخص‌هایی انتخاب شدند که ارزش آن‌ها در تبیینِ واریانسِ بیش از یک متغیر اولیه باشند (یعنی با ارزش ویژه بزرگتر از یک). در هر PC، ویژگی که قدر مطلق وزن آن‌ها از همه بیشتر بوده و سایر ویژگی‌هایی که وزن آن‌ها، (۱۰-) درصد وزن ویژگی با بیشترین وزن بودند انتخاب شدند (Andrews *et al.*, 2002). بدین ترتیب در PC1 ویژگی‌هایی با بیشترین وزن شامل فسفاتاز اسیدی، نیتروژن کل خاک، واکنش شیمیایی، و کربن آلی بودند (جدول ۵).

جدول ۵-نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و انتخاب دسته حداقل داده‌ها در سه کاربری مدیریتی برای شاخص کیفیت خاک.

مولفه‌های اصلی / متغیرها	PC3	PC2	PC1
فسفاتاز قلیایی	۰/۱۶۱	-۰/۳۴۴	۰/۳۶۹
فسفاتاز اسیدی	۰/۰۴۵	-۰/۱۵۰	**۰/۴۴۰**
هیدروژناز	**-۰/۷۸۰**	۰/۰۲۰	۰/۱۸۷
اوره‌آز	-۰/۳۵۳	-۰/۱۲۸	-۰/۲۶۷
نیتروژن کل	۰/۰۰۸	-۰/۰۸۰	**۰/۴۳۸**
کربن آلی	-۰/۲۱۹	۰/۱۵۰	**۰/۴۰۳**
فسفر قابل جذب	-۰/۲۴۵	**-۰/۶۶۸**	۰/۰۵۹
قابلیت هدایت الکتریکی	۰/۲۶۲	-۰/۵۷۰	-۰/۱۴۰
واکنش شیمیایی	۰/۲۵۰	-۰/۲۰۸	**-۰/۴۳۲**

ALP فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی، ACP فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی، Dehyd فعالیت آنزیم دهیدروژناز، .Ure فعالیت آنزیم اوره‌آز، TN نیتروژن کل، OC کربن آلی، P_{olsen} فسفرقابل دسترس، EC هدایت الکتریکی و pH اسیدیته عصاره اشباع خاک

ارزیابی ضرایب همبستگی بین ویژگی‌ها نشان داد که مقدار این ضریب بین ACP با نیتروژن کل خاک بالاتر از ۰/۶ بود (جدول ۶) لذا N حذف گردید و همبستگی ACP با کربن آلی و pH کمتر از ۰/۶ بود. لذا ACP، pH و کربن آلی به دلیل بالا بودن وزنشان به عنوان نماینده گروه باقی ماندند. در PC_2 نیز P_{olsen} و در PC_3 فعالیت آنزیم دهیدروژناز بیشترین وزن را داشتند (جدول ۵) لذا به عنوان نماینده‌ی گروه دوم و سوم انتخاب شدند. در مرحله بعدی همبستگی بین ویژگی‌های برگزیده شده درون مؤلفه‌های اصلی (۱، ۲ و ۳)، (ACP، pH، کربن آلی، P_{olsen} و فعالیت آنزیم دهیدروژناز) بررسی شد (جدول ۶). بین ویژگی‌های همبستگی بالای ۰/۶ مشاهده نشد، بنابراین ویژگی‌هایی که نهایتا در دسته حداقل داده‌ها باقی ماندند شامل ACP، pH، کربن آلی، P_{olsen} و فعالیت آنزیم دهیدروژناز بودند.

ارزیابی شاخص کیفیت خاک نشان داد که این شاخص در کاربری جنگلی (۱/۹۲) بیشتر از کاربری باغی (۱/۷۱) و زراعی (۱/۴۱) بود و مقدار آن به طور معنی‌داری بالاتر از هر دو کاربری بود (جدول ۷). میانگین‌ها نشان‌دهنده آن است که در خاک سطحی باغ و زراعت، اعمال مدیریت‌های مختلف نظیر خاک‌ورزی، استفاده از کودهای شیمیایی، دامی و آفات‌کش‌ها) می‌تواند از دلایل کاهش کیفیت خاک در این کاربری‌ها باشد. از

www.SID.ir

Archive of SID

طرف دیگر ویژگی‌های انتخاب‌شده به عنوان MDS در خاک سطحی کاربری زراعی بطور معنی‌داری رو به تنزل بودند و در بین ویژگی‌ها، کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک‌های مورد مطالعه می‌تواند ارتباط تنگاتنگی با افت کیفیت این خاک-ها داشته باشد. Khademi *et al*. (2006) از بین شاخص‌های مختلف شامل فعالیت آنزیم فسفاتاز، پتانسیل تنفس میکروبی، نیتروژن کل خاک، درصد آهک، ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری، بافت خاک و هدایت هیدرولیکی نتیجه گرفتند که شدت فعالیت آنزیم فسفاتاز، درصد ماده آلی و هدایت هیدرولیکی در مقایسه با سایر شاخص‌ها، تغییرات کیفیت خاک را در منطقه مطالعه شده بهتر نشان می‌دهند.

جدول ۶-ماتریس همبستگی بین ویژگی‌های داخل MDS که از جدول ۵ به دست آمده است.

	ACP	TN	pH	OC	P_{olsen}	Dehyd.
ACP	۱					
TN	**۰/۶۰**	۱				
pH	-۰/۵۸	**-۰/۷۱**	۱			
OC	۰/۴۹	**۰/۶۲**	-۰/۵۸	۱		
P_{olsen}	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۱۶	-۰/۰۱	۱	
Dehyd.	۰/۲۴	۰/۲۱	-۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۱۰	۱

ACP فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی، Dehyd فعالیت آنزیم دهیدروژناز، TN نیتروژن کل، OC کربن آلی، P_{olsen} فسفرقابل دسترس و pH اسیدیته عصاره اشباع خاک می‌باشند.

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص کیفیت خاک در کاربری‌های جنگل، باغ و زراعت

	کاربری		
	جنگل	باغ	زراعت
SQI_{MDS}	۱/۹۲[a]	۱/۷۱[b]	۱/۴۱[c]

حروف بالانویس بر روی هر عدد نشان‌دهنده‌ی اختلاف آماری ($P<۰/۰۵$) در هر ردیف می‌باشند.
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که هرگونه مدیریت و نوع کاربری که باعث افزایش دست‌خوردگی خاک گردد، می‌تواند کاهش کیفیت خاک و افزایش حساسیت اراضی به تخریب و فرسایش را در پی داشته باشد. از مهمترین عواملی که باعث تفاوت در ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها در کاربری‌های مورد مطالعه گردید، می‌توان علاوه بر ویژگی‌های ذاتی آن‌ها، به تفاوت در عمق نفوذ ریشه‌های این کاربری‌ها اشاره کرد. در بین ویژگی‌های شیمیایی و زیستی نیز شاخص‌های آنزیمی (زیستی) حساسیت بیشتری به تغییرات خاک دارند. فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی در کاربری جنگلی بیشتر از کاربری باغی و آن هم بیشتر از کاربری زراعی بود. فعالیت آنزیم اوره‌از در کاربری زراعی بیشتر از دو کاربری دیگر بود که احتمالاً از کاربرد بالای کود اوره در زمین‌های زراعی ناشی می‌شود. همچنین فعالیت آنزیم دهیدروژناز در کاربری جنگلی از نظر آماری بالاتر از کاربری زراعی بود. با توجه به یافته‌های حاصل از این تحقیق، چنین استنباط می‌گردد که نوع کاربری زمین بر فعالیت آنزیمی خاک تأثیر داشته و عموماً در زیست بوم‌های دست‌نخورده (جنگل) فعالیت آنزیمی بیشتر است که می‌تواند از پایداری این زیست بوم‌ها منشأ گرفته باشد. همچنین در کاربری باغ و زراعت نسبت به کاربری جنگل، به دلیل کاهش پوشش گیاهی پایا و مواد آلی، تخریب ساختمان خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها، کیفیت خاک کاهش یافته است.

REFERENCES

Aguilar, R., Kelly, E. F. and Heil, R. D. (1988) Effect of cultivation on soil in northern Great Plains rangeland. *Soil Science Society of America Journal*. 52, 1081-1085.

Amador, J. A., Gluch sman, A. M., Lyons, J. B. and Gorres, J. H. (1997) Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest. *Soil Science*. 162(11), 808-824.

Andrews, S. S., Mitchell, J. P., Mancinelli, R., Karlen, K. L., Hartz, T. K., Horwath, W. R., Pettygrove, G. S., Scow, K. M. and Munk, D. S. (2002) On-farm assessment of soil quality in California's

www.SID.ir

Archive of SID

central valley. *Agronomy Journal*. 94, 12–23.

Bastida, F., Zsolnay, A., Hern'andez T. and Garc'ia, C. (2008) Past present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*. 160-167.

Bergstrom, D. W., Monreal, C. M. and King, D. J. (1998) Sensivity of soil enzyme activities to conservation practices. *Soil Science Society of America Journal*. 62, 1286-1295.

Brookes, P. C., Powlson, D. S. and Jenkinson, D. S. (1984) Phosphorus in soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. 16, 169-175.

Burns, R. G. (1978) Soil enzymes. Academic Press, New York Caldwell B. A., Griffiths, R. P. and Sollins, P. (1999) Soil enzyme response to vegetation disturbance in two lowland Costa Rican soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 31, 1603–1608.

Caravaca, F., Masciandaro, F. and Ceccanti, B. (2002) Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*. 68, 23–30.

Cartner, M. R. and Gregorich, E. G. (1997) Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E. G. and Cartner, M. R. (Eds.), Methods or Assessing Soil Quality. *Science Society of America Journal*. Special Pub., No. 49, Madison, WI.

Chu, H., Lin, X., Fujii, T., Morimoto, S., Yagi, K., Hu, J. and Zhang, J. (2007) Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology and Biochemistry*. 39, 2971-2976.

Clarholm, M. (1993) Microbial biomass P, labile P and acid phosphatase activity in the humus layer of spruce forest, after repeated additions of fertilizers. *Biology and Fertility of Soils*. 16, 287-292.

Cookson, P. and Lepiece, G. L. (1996) Urease enzyme activities in soils of the Batinah region of the sultanate of Oman. *Journal of Arid Environments*. 32, 225-238.

Dick R. P., Breakwill D. and Turco R. (1996) Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrating biological indicators. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Handbook of Methods for Assessment of Soil Quality. pp: 247-272. *Soil Science Society of America*, Madison.

Dick, R. P. (1994) Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F. and Stewart, B. A. (Eds.), Defining soil quality for a sustainable environment. pp: 107-124. *Soil Science Society of America*, Madison.

Dick, W. A. (1984) Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil Science Society of America Journal*. 48, 569–574.

Doran, J. W. and Parkin, T. B. (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran J.W. et al. (Eds.), Defining soil quality for a sustainable environment, SSSA Special Publication. 35. SSSA and ASA, Madison, WI, pp. 3-21.

Ebrahimzad, S. A., Aliasgharzad, N. and Najafi, N. (2013) Effect of land use changes on soil enzyme activity in Sulduz plain (Naqadeh-West Azarbaijan). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 3(2): 133-149. (In Farsi)

Eivazi, F. and Tabatabai, M. A. (1977) Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 9 (3), 167-172.

Frankenberger, J. R. and Bingham, F. T. (1982) Influence of salinity on soil enzyme activities. *Soil Science Society of America Journal*. 46: 1173-1177.

Gianfreda, L. and Bollag, J. M. (1996) Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. *Soil Biochemistry*. 9:123-193.

Hajabbasi, M.A., Jalalian, A. and Karimzadeh H. R. (1997) Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant and Soil*. 190: 301-308.

Herbien, S. A. and Neal, J. L., (1990) Soil pH and phosphatase activity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21: 439-456.

Hosseini, M. S., Haghnia, A., Lakzian, A. and Emami, H. (2010) Short-term effects of Barley residue management on Urease and Alkaline Phosphatase activities. *Journal of Water and Soil*, 26(3), 545-553. (In Farsi)

Hu, C. and Cao, Z. (2007) Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World Journal of Agricultural Sciences*, 1:63-70.

Juma, N. G. and Tabatabai, M. A. (1977) Distribution of phosphomonoesterases in soil. *Soil Science Society of America Journal*. (126): 101-108.

Karlen, D. L., Andrews, S. S. and Mitchell, J. P. (1999) A soil quality index for vegetable production. p. 219. *In* 1999 Agron. abstr. ASA, 23:437–451.Madison, WI.

Khademi, H., mohammadi, J. and Nael, M. (2006) Comparison of selected soil quality indicators in different land use management systems in Boroojen, Chaharmahal Bakhtiari province, *The Scientific Journal of Agriculture*. 29: 111-124, (In Farsi)

Kizilkaya, R. and Dengiz O. (2010) Variation of land use and land cover effects on some soil physico-chemical characteristics and soil enzyme activity. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(2): 15-24.

Kourtev, P. S., Ehrenfeld, J. G. and Huang, W. Z. (2002) Enzyme activities during litter decomposition of two exotic and two native plant species in hardwood forests of New Jersey. *Soil Biology and Biochemistry*. 34:1207-1218.

Lal, K. M., Ye, D. Y. and Wong, J. W. C. (1999) Enzyme activities in a sandy soil amended with sewage sludge and coal fly ash. *Water, Air and Soil Pollution*, 113, 261-272.

Li, Q., Liang, J. H., He, Y. Y., Hu, Q. J. and Yu, S. (2014) Effect of land use on soil enzyme

www.SID.ir

Archive of SID

activities at karst area in Nanchuan, Chongqing, Southwest China. *Plant, Soil and Environment*. 60(1), 15–20.

McLean, E. O. (1982) Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L. (ed): Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, USA. P: 199-224.

Nannipieri, P., Grego S. and Caccanti, B. (1990) Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag, S. J. M. & G. Stotzky. (eds). *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, New York. pp. 293-355.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982) Total carbon, organic carbon and organic matter, pp: 539-580. In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. *Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin, USA.

Olander, L. P. and Vitousek, P. M., (2000) Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry*. 49: 175–190.

Olsen, S. R. and Sommers, L. E. (1982) Phosphorus. In: Page AL, Miller R.H., Keeney D.R. (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. AM Soc Agron, *Soil Science Society of America Journal*, Madison, Wisconsin, pp 403-430.

Pathak, H. and Rao, D. L. N. (1998) Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 30, 695-702.

Raiesi, F. (2007) The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 121, 309-318.

Rasmussen, P. E. and Douglas, C. L. (1992) The influence of tillage and cropping intensity on cereal response to N, sulfur and P. *Fertilizer Research*. 31, 15-19

Rezapour, S. and Samadi, A. (2012) Assessment of inceptisols soil quality following long-term cropping in a calcareous environment. *Environmental Monitoring Assessment*. 184(3), 1311-1323.

Ross, M., Hernandez, M. T. and Garcia, C. (2003) Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*. 35, 463-469.

Salam, A. K., Katayama, A. and Kimura, M. (1998) Activities of some soil enzymes in different land use systems after deforestation in hilly areas of West Lampung, South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition.* 44(1), 93–103.

Salardini, A. A. (1995) Soil Fertility, The University of Tehran press. 428p. (In Farsi)

Sena, M. M., Frighetto, R. T. S., Valarini, O. J., Tokeshi, H. and Poppi, R. J. (2002) Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. *Soil and Tillage Research*. 67, 171–181.

Sheikhlou, F. (2013) Evaluation of soil enzyme activity in agronomic orchard and forest ecosystems. MSc Thesis in Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. 82p. (In Farsi)

Six, J., Elliot, E. T. and Paustian, K. (2000) Soil macroaggregate turn over and micro-aggregate formation for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry.* 32, 2099-2103.

Soltani-Sisi, Gh. (2005) Geological map of Iran. 1:100000 series. Sheet No. 5065. Publication of Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran.

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., and Sumner, M. E. (1996) Methods of Soil Analysis Part 3- Chemical methods. Soil Science Society of America Book Ser. 5, Madison, Wisconsin, USA. 1390 p.

Tabatabai, M. A. (1982) Soil enzyms. In: Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties. Page, A. L., Miller, E. N. and Keeney, D. R. (eds.), *American Society of Agronomy*. (pp. 903-947). Madison.

Tabatabai, M. A. (1994) Soil enzymes. In: Weaver, R.W., Angle, J.S. and Bottomley, P.S. (Eds.), Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties. Part 2. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, pp. 775–833.

Tabatabai, M. A. and Bremner, J. M. (1972) Assay of urease activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 4 (4), 479-487.

Thalmann, A. (1968) Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivitat im Boden mittels Triphenyl-tetrazolium chloride (TTC). *Landwirtsch Forsch.* 21, 249-258.

Thomson, B., Robson, A. D. and Abbort, L. K. (1986) Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizaes by *Gigaspora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. *New Phytologist*. 103, 751-763.

Trasar-Cepeda, C., Leiros, M. C. and Gil-Sotres, F. (2008) Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*. 40(9), 2146-2155.

Wang, Q. K., Wang S. L. and Liu, Y. X. (2008) Responses to N and P fertilization in a young *Eucalyptus dunnii* plantations: microbial properties, enzyme activities and dissolved organic matter. *Applied Soil Ecology*. 40, 484-490.

Wyszkowska, J., Kucharski, J. and Benedycka, Z. (2001) Physicochemical properties and enzymatic activity of sulfur-acidified horticultural soil. *Polish Journal of Environmental Studies.* 10, 293-296.

Xiongwen, C. H. and Bai-Lian, L. I. (2003) Change in soil carbon and nutrient storage after human disturbance of primary Korean pine forest in Northern China. *Forest Ecology and Management*. 186, 197-206.

Xue, Z., Cheng, M. and An, S. (2013) Soil nitrogen

www.SID.ir

Archive of SID

distributions for different land uses and landscape positions in a small watershed on Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*. 60, 204-213.

Zach, A., Tiessen, H. and Noellemeyer, E. (2006) Carbon turnover and 13C natural abundance under land use change in the semiarid La Pampa, Argentina. *Soil Science Society American Journal*. 70, 1541-1546.

Zhou, J. Z., Davey, M. E. and Figueras, J. B. Ravkina. (1997) Phylogenetic diversity of a bacterial community determined from Siberian tundra soil DNA. *Microbiology*. 143, 3913-3919.

www.SID.ir