نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۷۶۱-۷۵۳

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 753-761

برآورد فعالیت برخی آنزیم‌های خاک با استفاده از خصوصیات خاک وپستی و بلندی زمین در بخشی از اراضی تپه ماهوری سمیرم استان اصفهان

سمانه تاجیک[۱]- شمس اله ایوبی[۲*]- فرشید نوربخش[۳]

تاریخ دریافت:۹۰/۷/۱۳
تاریخ پذیرش:۹۰/۱۲/۷

چکیده

آنزیم‌ها اهمیت بسیار زیادی در فرایند معدنی شدن مواد آلی دارند. اطلاعات فعالیت آنزیمی خاک برای تعیین ویژگی‌های میکروبیولوژی خاک استفاده می‌شوند و در سلامت و کیفیت خاک مهم هستند. ویژگی‌های پستی و بلندی، ویژگی‌های خاکی و فعالیت آنزیمی خاک با یکدیگر مرتبط هستند. بنابراین اطلاع از چگونگی تاثیر این پارامترها بر فعالیت آنزیمی خاک ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق در اراضی تپه ماهوری منطقه جنوب سمیرم استان اصفهان، به منظور ایجاد مدل رگرسیونی بین فعالیت آنزیمی خاک، ویژگی‌های و شاخص‌های پستی و بلندی اجرا شده است. متوسط دما و بارندگی سالیانه منطقه به ترتیب۱۰/۶ درجه سانتی گراد و ۳۵۰ میلی متر است. نمونه‌برداری با ایجاد شبکه‌بندی منظم به طریق تصادفی از عمق ۰ – ۱۰ سانتی‌متری انجام شد. مدل رقومی ارتفاع منطقه در پیکسل‌هایی به ابعاد۱۰ در ۱۰ متر تهیه و از طریق آن شاخص‌ها پستی و بلندی محاسبه شد. ویژگی‌های خاکی نیز طی آنالیزهای آزمایشگاهی تعیین گردیدند. مدل‌های رگرسیونی چند متغیره بین این پارامترها و فعالیت آنزیمی خاک برقرار گردید و سپس به وسیله ۲۰درصد از داده‌ها، مدل‌های بدست آمده اعتبار سنجی شدند. نتایج مدل‌های حاصل شده نشان می‌دهد که این مدل‌ها در حضور پارامترهای خاکی ۳۳ تا ۶۳ درصد، در حضور پارامترهای پستی و بلندی ۱۴ – ۱۵ درصد و درصورت استفاده از پارامترهای خاکی و پستی و بلندی ۳۳ تا ۶۷ درصد از کل تغییرات فعالیت آنزیمی خاک را توجیه می‌کنند. بنابراین استفاده از تلفیق ویژگی‌های خاکی و پستی وبلندی، بهترین مدل‌ها را در پیش-بینی فعالیت آنزیمی ارائه می‌دهند. این نتایج موید این مطلب است که فعالیت آنزیمی خاک در منطقه تحت تاثیر همزمان ویژگی‌های خاکی و پستی و بلندی می‌باشند. نتایج اعتبار سنجی مدل‌ها نیز از ناریب بودن و درجه تخمین مناسب برازش مدل‌ها حکایت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اوره‌آز، ال-گلوتامیناز، ال-آسپاراژیناز، مدل‌سازی

مقدمه

آنزیم‌ها کاتالیزور واکنش‌های شیمیایی هستند و جزء لازم چرخه‌ی عناصر غذایی در خاک می‌باشند. آنزیم‌های خاک ممکن است منشاء میکروبی، گیاهی و یا جانوری داشته باشند. آنزیم‌ها حاصل از سلولهای مرده در محلول خاک می‌باشند و یا اینکه از سلولهای زنده ترشح می‌شوند. یک کمپلکس آزاد آنزیم با کلوئیدهای آلی ممکن است در سطوح رس و یا موادآلی پایدار شود (۲۳).

آنزیم‌ها بخاطر ارتباط با ویژگی‌های بیولوژیکی خاک، سهولت در اندازه‌گیری، پاسخ سریع به تغییرات مدیریتی خاک می‌توانند به عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت خاک باشند، چنین شاخص هایی ویژگی-های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی را ترکیب می کنند و ممکن است برای بررسی تاثیر مدیریت در تولید طولانی مدت استفاده شوند.

فعالیت آنزیمی در خاکهای مختلف متفاوت بوده که می‌توان آن را به نوع خاک (۸) منشاء آنزیم (۱۹) و شرایط توسعه خاک نسبت داد که این عوامل به نوبه خود بیانگر تفاوت در مقدار مواد آلی، ترکیب و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و نهایتاً در شدت فرآیندهای بیولوژیکی می-باشند. ویژگی‌های خاکی نقش مهمی در فعالیت آنزیمی خاک دارند، فعالیت آنزیمی خاک به مقدار زیادی مرتبط با رطوبت خاک، بافت خاک، pH و مواد آلی خاک می‌باشد، همچنین ویژگی‌های پستی و بلندی حرکت آب و مواد را در شیب تپه کنترل کرده و نقش مهمی در تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک دارد (۱۱) . تاثیر پستی و بلندی در توزیع ذرات خاک، مواد آلی و مواد غذایی بوده که در نتیجه آن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر می کند.

۱،۲و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: (Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

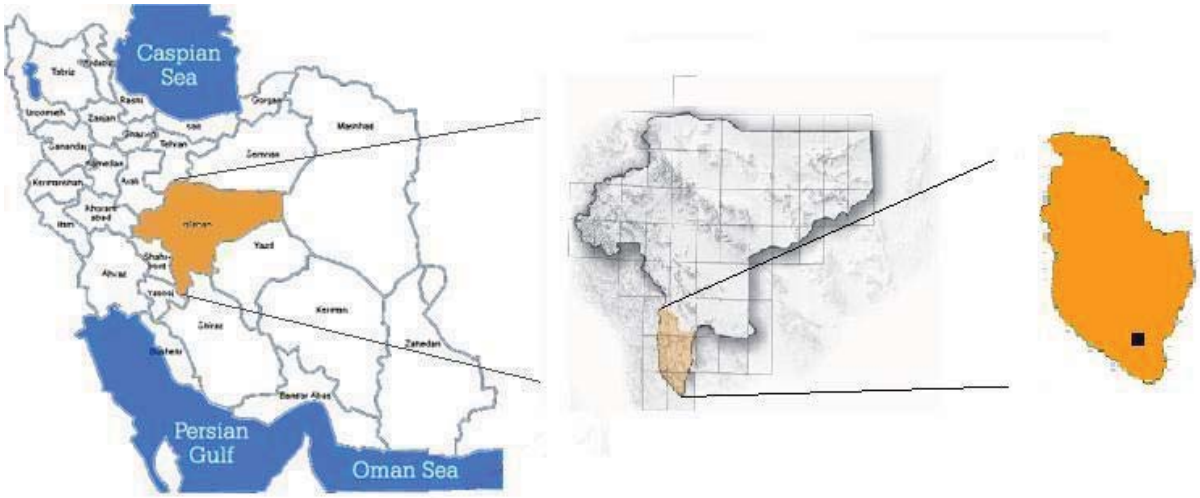
مـور و همکـاران (۲۰و ۲۲) ویژگـی‌هـای پـستی و بلنـدی را بـه شاخص‌های اولیه و ثانویه تقـسیم‌بنـدی کردنـد. شـاخص‌هـای اولیـه مستقیماً از مدل رقـومی ارتفـاع محاسـبه شـده و شـامل پارامترهـای ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای افقی و قائم می‌باشند. شاخص‌هـای ثانویه که شامل شـاخص رطـوبتی، شـاخص قـدرت جریـان و عامـل فرسایش پذیری می‌باشند حاصل ترکیب شـاخص‌هـای اولیـه بـوده و تغییرات فرآیندهای ویژه‌ای مانند مقدار آب خاک یا پتانسیل فرسـایش ورقه‌ای که در لنداسکیپ اتفاق می‌افتند را توصیف می‌کنند (جدول۱).

اطلاعات کمی ویژگی‌هـای پـستی و بلنـدی اغلـب در مطالعـات خاک شامل مـدل‌سـازی و پـیش‌بینـی ویژگـی‌هـای خـاک اسـتفاده می‌شوند. بیشتر پیش‌بینی ویژگی‌های خاک که بر اساس مدل رقـومی ارتفاع هستند، روابط بین ویژگی‌های خاک و پستی و بلندی را در هـر نقطه از چشم‌انداز توصـیف مـی‌کننـد (۱۰). باسـو (۴) بیـان کـرد کـه ویژگی‌های پستی وبلندی زمین مانند شیب، جهت شیب و سطح ویژه آبخیز می‌تواننـد بـرای پـیش‌بینـی الگـوی مکـانی مقـدار آب خـاک، فرسایش خاک، تخمین نور خورشید، توزیع مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، توزیع مکانی پوشـش گیـاهی و پـیش‌بینـی نـوع پوشـش گیاهی استفاده شوند.

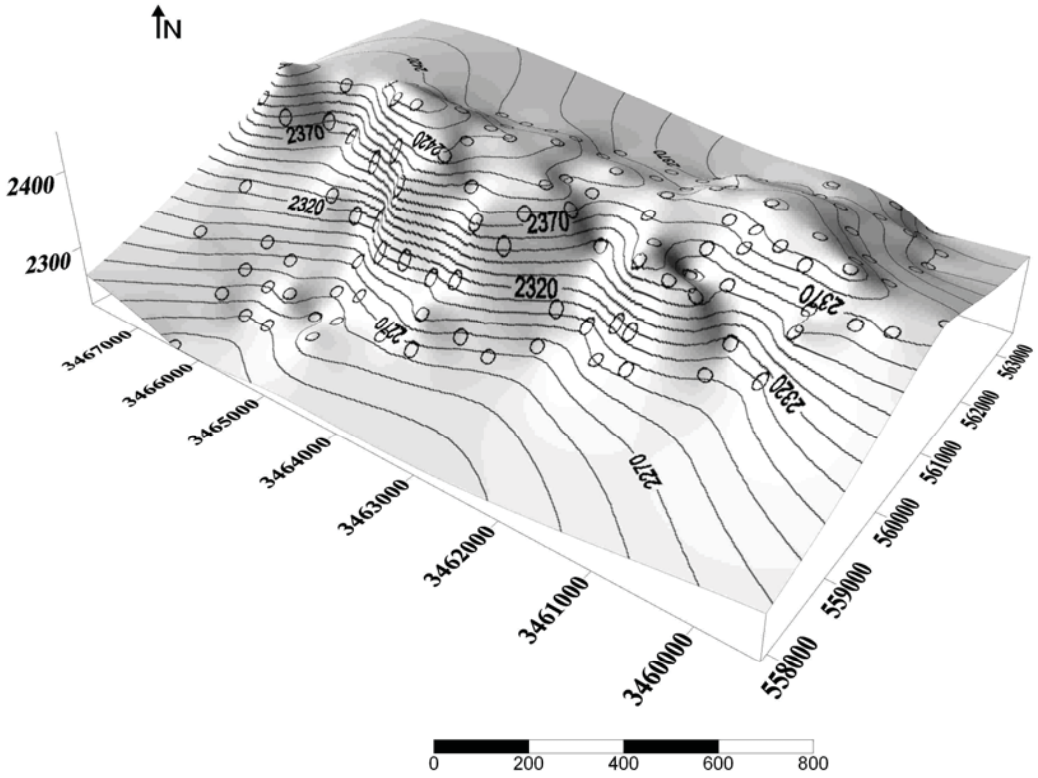
همبستگی بین ویژگی‌های خاک و فعالیت آنزیمـی خـاک توسـط محققـین مختلـف مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت (۱۲، ۱۸و ۲۳) ، فلورینـسکی و همکـاران (۱۱) همبـستگی بـین فعالیـت آنـزیم‌هـای دنیتریفیکاتور و ویژگی‌های پستی و بلندی را بررسی نمودند. از آنجایی که بررسی همبستگی بین فعالیت آنزیمی و ویژگی‌های پستی و بلندی و استفاده از داده‌های پستی و بلنـدی در پـیش‌بینـی فعالیـت آنزیمـی خاک کمتر مورد توجه قرار گرفته است، و باتوجـه بـه سـهل الوصـول بودن محاسبه ویژگی‌های پستی و بلندی خاک، صرف هزینه و زمـان کمتر در پیش‌بینی و مدل‌سازی، بنـابراین اسـتفاده از روشـهای غیـر مستقیم برآورد فعالیت آنزیم‌ها، نظیر اسـتفاده از شـاخص‌هـای پـستی وبلندی و مدل رقومی ارتفاع، روشی آسان، سریع، ارزان و قابل اعتماد است. به همین دلیل این پژوهش بـا هـدف بررسـی همبـستگی بـین ویژگی‌های پستی و بلندی و فعالیت آنزیمی خاک و ایجاد مدل آماری که بر اساس آن با استفاده از ویژگـی‌هـای خـاکی و پـستی و بلنـدی بتوان فعالیت آنزیمی خاک را برآورد نمود، انجام گردید.

جدول ۱- تعریف و تفسیر برخی نسبت‌های پستی و بلندی (٤، ۱۰ و ۲۲)

خصوصیت پستی و بلندی		تعریف
ارتفاع	Elevation	ارتفاع نسبت به سطح دریا
شیب	Slope	زاویه بین یک صفحه‌ی مماسی برنقطه مورد نظر در زمین‌نما و صفحه‌ی افق است. همچنین بیشترین سرعت تغییر در ارتفاع در هر سلول از DEM و بیانگر سرعت جریان مواد می‌باشد.
جهت شیب	Aspect	جهت بیشترین سرعت تغییر در ارتفاع در هر سلول از DEM بوده و نشان دهنده مسیر وجهت شیب است.
انحنای افقی	PlanC	انحنا در نقطه‌ای در زمین‌نما که قائم به انحنای عمود در نقطه مورد نظر است. نشان دهنده‌ی انحراف جریان مواد و بیانگر اندازه همگرایی و واگرایی پستی و بلندی می‌باشد.
انحنای قائم	ProfC	انحنا سطح در مسیر سراشیبی شیب (مقدار سرعت تغییر شیب) است. نشان دهنده کاهش سرعت نسبی جریان مواد می‌باشد. همچنین بیانگر اندازه افزایش و کاهش سرعت جریان است و بنابراین در جریان آب و انتقال رسوب مهم می‌باشد.
انحنای متوسط	MeanC	متوسط انحنا افقی و عمودی است و نشان دهنده انحراف جریان و کاهش سرعت جریان با معادله وزنی است.
انحنای سطح زمین	Curvature	انحنای یک سطح عمودی در مسیر سراشیبی شیب است و بیانگر مقدار واگرایی یا همگرایی می‌باشد همچنین در ارتباط با غلظت آب در زمین‌نما می‌باشد.
شاخص رطوبتی	WI	پارامتری که توزیع مکانی منطقه اشباع و مقدار آب خاک درزمین‌نما را بیان می کند.
شاخص قدرت جریان	SPI	نشان دهنده مقدار قدرت فرسایندگی جریان‌های سطحی و حاصلضرب مساحت ویژه آبخیز و شیب است.
شاخص حمل رسوب	STI	پارامتری که نمایانگرفرآیندهای فرسایش و رسوب در زمین‌نما بوده و اثر پستی و بلندی را بر فرسایش نشان می‌دهد.
سایه اندازی	Shaded	بیانگر سایه اندازی پستی و بلندی است و نشان دهنده دریافت نور در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما است.
انحنای مماسی	Tangential curvature (tang)	سطح خم شده عمودی منحنی میزان در دو جهت از جریان وسطح است. همچنین بیانگر اندازه همگرایی و واگرایی جریان می‌باشد.
مساحت ویژه آبخیز	Specific catchment area (SCA)	منطقه بالادست یک طول تعریف شده از منحنی میزان که منجر به ایجاد جریان می‌گردد (مساحت بالا دست ایجاد کننده جریان که توسط طول نحنی میزان تقسیم شده است) . بیانگر نسبت مساحت بالادست منحنی میزان شرکت کننده در تولید جریان بر طول منحنی میزان.



شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در جنوب سمیرم، استان اصفهان



شکل۲- توزیع نقاط مطالعاتی در منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۴۰۰ هکتار در منطقه ضرغام آباد سمیرم با طول جغرافیایی ´۳۹ °۵۱ شرقی وعرض جغرافیایی ´۱۸ °۳۱ شمالی واقع شده است (شکل۱). متوسط ارتفاع منطقه ۲۳۵۳ متر بوده است و متوسط درجه حرارت و بارندگی سالیانه منطقه به ترتیب۱۰/۶ درجه سانتی گراد و ۳۵۰ میلی متر است.

برای انجام نمونه‌برداری ابتدا با انجام شبکه بندی منظم، شبکه-هایی به ابعاد ۳۵۰×۳۵۰ متر طراحی و با توجه به ابعاد منطقه ۱۲۵ سلول طراحی (شکل۲)، سپس نقاط مورد نظر توسط GPS شناسایی شده و نهایتاً نمونه برداری از عمق ۱۰-۰ سانتی متری سطح خاک از پنج موقعیت شیب شامل، قسمت مسطح شیب، شانه شیب، شیب پشتی، پایه شیب و انتهای شیب انجام گرفت.

در مرحله آزمایشگاهی نمونه‌های خاک برداشت شده ابتدا هوا

خشک شده و سپس از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. بافت خاک به روش پیپت (۹)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون معکوس (۱۵)، کربن آلی به روش والکی-بلک (۲۴)، نیتروژن کل خاک به روش کلدال (۵) اندازه‌گیری شد. pH و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع تعیین گردید (۱۵).

برای اندازه‌گیری فعالیت ال-آسپاراژیناز از روش فرانکنبرگر و طباطبایی (۱۲)، برای اندازه‌گیری فعالیت اوره‌آز از روش طباطبایی (۲۶) و برمنر (۶) و برای اندازه‌گیری فعالیت ال-گلوتامیناز از روش فرانکنبرگر و طباطبایی (۱۲) استفاده گردید. به این صورت که ابتدا نمونه‌های خاک وزن گردید و سپس بعد از اضافه نمودن تولوئن، بافر تریس هیدروکسی متیل آمینو متان[1] و محلول سوبسترا، سوسپانسیون حاصل به مدت دو ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد انکوباسیون گردید. پس از انکوباسیون محلول KCL Ag_2SO_4 به سوسپانسیون اضافه شد تا فعالیت آنزیم متوقف گردد (۲۶). مقدار آمونیوم آزاد شده در سوسپانسیون به روش تقطیر با بخار آب تعیین و پس از کسر نمودن مقدار آمونیوم در تیمار شاهد بر حسب میکروگرم آمونیوم آزاد شده از هر گرم خاک در مدت دو ساعت انکوباسیون گزارش گردید (۱۷).

محاسبه شاخص‌های پستی و بلندی

مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه که در واقع منبع اولیه اطلاعات پستی و بلندی است از طریق میان‌یابی[2] خطوط میزان نقشه توپوگرافی رقومی در محیط GIS (نرم افزارILWIS)و در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر تهیه شد. ویژگی‌های اولیه و ثانویه پستی و بلندی با استفاده از محاسبات روی مدل رقومی ارتفاع (DEM) تعیین گردیدند.

ایجاد مدل آماری و اعتبار سنجی

بعد از محاسبه شاخص‌های اولیه و ثانویه پستی وبلندی و جمع آوری اطلاعات آزمایشگاهی در نقاط مورد مطالعه بین پارامترهای ویژگی‌های خاک، پارامترهای پستی وبلند و فعالیت آنزیم‌های خاک ماتریس همبستگی برقرارشد. سپس آنالیز رگرسیون چند متغیره خطی بین ویژگیهای خاک، پارامترهای پستی وبلندی و فعالیت آنزیم‌های خاک به روش رگرسیون گام به گام[3] صورت گرفت. در این روش ورود متغیرها به مدل رگرسیونی به صورت مرحله‌ای، از مهمترین متغیر تا کم اهمیت‌ترین آنها صورت می‌گیرد. کلیه تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار SPSS(version 16.01) انجام شد. از بین ۱۲۵ نقطه نمونه برداری شده ۸۰درصد آنها جهت مدل سازی و ۲۰درصد آنها به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شده است. سپس به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد مدل‌ها، از معیارهای میانگین انحرافات (ME) ، جذر میانگین مربع انحرافات (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) به شکل زیر استفاده شد. در معادلات زیر Z* مقدار برآورد شده و Z مقدار واقعی فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، ال-آسپاراژیناز و ال-گلوتامیناز و $\bar{Z}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Z - Z^*)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Z - \bar{Z})^2}$$

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[Z^*(x_i) - Z(x_i)] \cong 0 \qquad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z - Z^*)^2} \cong 1 \qquad (۲)$$

شاخص ME نشانگر درجه اریب بودن تخمین است که باید حتی المقدور نزدیک صفر باشد و RMSE نمایانگر درجه دقت تخمین است که برای یک تخمین نااریب باید تا حد امکان حداقل باشد. R^2 نمایانگر میزان دقت مدل است.

نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی ویژگی‌های خاکی و بیولوژیکی مشتمل بر میانگین، مقدار حداقل و حداکثر، انحراف استاندارد و ضریب تغییرات در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

در بین ویژگی‌های خاک، شن، کربنات کلسیم، نیتروژن کل خاک و کربن آلی تغییرپذیری نسبتاً زیادی را نشان می‌دهند. همچنین فعالیت آنزیمی در منطقه مورد مطالعه تغییرپذیری زیادی داشته و در بین آنزیم‌های اندازه‌گیری شده، فعالیت آنزیم ال-آسپاراژیناز دارای بیشترین ضریب تغییرات (۲۰۸) می‌باشد. علت ضریب تغییرات زیاد ویژگی‌های مورد بررسی را می‌توان به توپوگرافی شدید منطقه و فرآیند فرسایش و رسوب نسبت داد که در موقعیت‌های مختلف شیب متفاوت عمل نموده است (۱)، همچنین اثرات شیب، شاخص رطوبتی و انحنای افقی و قائم بر مقدار آب موجود در خاک تاثیر داشته، نهایتاً به دلیل تفاوت در مقدار آب خاک و مواد آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب مقدار فعالیت آنزیمی دارای تغییرات زیادی شده‌اند. به عبارت دیگر به دلیل تأثیر زیاد پستی و بلندی بر جابه‌جایی و انتقال آب در موقعیت‌های مختلف زمین نما، حساسیت به فرسایش، ویژگی‌های خاک و فعالیت آنزیمی در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما متفاوت می‌شود (۱۴). خادمی و خیر (۱۶) نشان دادند که ضخامت افق سطحی، مقدار کربن آلی و تنفس میکروبی و متعاقباً فعالیت آنزیمی در موقعیت‌های مختلف شیب متفاوت بوده که این امر در نتیجه تغییر ویژگی‌هایی مانند رطوبت مؤثر دریافتی، مقدار آب قابل دسترس خاک و سرعت فرسایش و رسوب در طول زمین‌نما است.

1- THAM
2- Interpolation
3- Stepwise regression

جدول ۲- آمار توصیفی از ویژگی‌های خاک و فعالیت آنزیم‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات %	چولگی
شن	٪	۸	۶۹	۳۲	۴۱	۰/۵۰
سیلت	٪	۱۳	۵۶	۳۹	۲۲	-۰/۵۳
رس	٪	۱۶	۴۰	۲۸	۱۹	-۰/۱۹
pH	-	۷/۰۱	۸/۲	۷/۹	۲	-۰/۱۷
EC	dSm^{-1}	۰/۲۸	۱/۴۹	۰/۶۶	۲۰	۰/۵
کربنات کلسیم معادل	٪	۲	۵۱/۷۵	۲۵/۵۳	۴۷	۰/۰۵۴
نیتروژن کل	٪	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۱۱	۷۶	۰/۸۴
کربن آلی	٪	۰/۳۳	۲/۲۰	۰/۸۱	۳۴	۰/۲۸
فعالیت اوره‌آز	$mg\ N\ kg^{-1}\ soil\ h^{-1}$	۳/۱۰	۱۷۴/۶۱	۴۸/۴۶	۴۵	۰/۴۰۱
فعالیت ال-آسپاراژیناز	$mg\ N\ kg^{-1}\ soil\ h^{-1}$	۰/۰۰	۶۴/۵۸	۳/۴۲	۲۰۸	-۰/۲۴۳
فعالیت ال-گلوتامیناز	$mg\ N\ kg^{-1}\ soil\ h^{-1}$	۲۸/۱۹	۷۳۶/۷۶	۱۴۵/۵۵	۶۷	۰/۰۶۷

مقادیر ویژگی‌های پستی و بلندی اولیه و ثانویه در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ محاسبه شد. نتایج بدست آمده نشان دادند که ارتفاع بین ۲۲۲۲ تا ۲۴۴۷ متر است. مقادیر شیب در منطقه مورد مطالعه دارای گستردگی زیاد از صفر تا ۶۰ درصد می‌باشد، که در واقع بیانگر توپوگرافی شدید و متغیر منطقه می‌باشد. مقدار شاخص رطوبتی در منطقه بین ۴/۱۳ تا ۱۲/۹۴ ، مقدار شاخص قدرت جریان بین ۹۲/۳۰- تا ۱۱۶۳/۶۱ و مقدار شاخص حمل رسوب بین صفر تا ۲۴/۹۷ متغیر است.

همبستگی بین پارامترهای پستی و بلندی با ویژگی‌های خاک و فعالیت آنزیم‌ها

جدول ۳ ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های پستی و بلندی با ویژگی‌های خاک و فعالیت آنزیم‌ها را نشان می‌دهد. از مهمترین پارامترهای پستی و بلندی که با ویژگی‌های خاک در درجات مختلف همبستگی معنی‌دار نشان می‌دهند، می‌توان به شاخص رطوبتی، شیب، انحنای افقی، شاخص حمل رسوب، جهت شیب و ارتفاع اشاره نمود.

در منطقه مورد مطالعه، شاخص رطوبتی همبستگی منفی و معنی‌داری با شن و کربنات کلسیم و ارتباط مثبت و معنی‌داری با سایر ویژگی‌های خاکی مورد بررسی نشان داده است. شیب، جهت شیب و انحنای افقی همبستگی منفی و معنی‌داری با کربن آلی و نیتروژن کل خاک نشان دادند، در حالیکه انحنای متوسط، شاخص قدرت جریان، ارتفاع و شاخص رطوبتی ارتباط مثبت و معنی‌داری با آنها دارند. فلورینسکی و همکاران (۱۰) به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها نشان دادند که مقدار کربن آلی با شیب، جهت شیب، انحنای افقی و ارتفاع ارتباط معنی‌داری دارد. مور و همکاران (۲۲)، ایوبی و علیزاده (۳) در این رابطه به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

توپوگرافی فعالیت آنزیمی خاک را نیز تحت تأثیر قرار داده است. به طوریکه شاخص رطوبتی، انحنای عمودی، انحنای مماسی و قدرت جریان همبستگی مثبت و معنی‌داری با اشکال مختلف نیتروژن و فعالیت آنزیمی خاک دارند. شیب، جهت شیب، سایه‌اندازی و قدرت نسبی جریان، ارتباط منفی و معنی‌داری با فعالیت آنزیمی خاک دارند. فلورینسکی و همکاران (۱۱) نیز عنوان نمودند که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین شاخص پستی و بلندی، شاخص قدرت جریان و فعالیت آنزیمی وجود دارد.

بطورکلی وجود همبستگی بین پارامترهای پستی و بلندی با ویژگی‌های خاک و فعالیت آنزیمی گویای این موضوع است که پستی و بلندی بر جابه جایی و انتقال آب، همچنین بر فرآیند فرسایش و رسوب در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما تأثیر گذاشته و ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه فعالیت آنزیمی در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما راکنترل می‌کند (۱ و ۷). این نتایج تائید می‌کنند که پارامترهای پستی و بلندی به صورت مستقیم (تأثیر بر فرآیند انتقال و رسوب وتوزیع آب و دمای خاک) و غیر مستقیم (تأثیر بر ویژگی‌های خاک) کیفیت خاک و فعالیت آنزیمی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

ارتباط ویژگی‌های پستی و بلندی و فعالیت آنزیمی

توپوگرافی، موجودات زنده، مواد مادری، اقلیم از جمله مهمترین عوامل موثر در تشکیل خاک محسوب می‌شوند. با توجه به این که ویژگی‌های اقلیمی در مقیاس بزرگ تغییر می‌کند و به شرط یکنواخت بودن مواد مادری و پوشش گیاهی بر اساس ویژگی‌های پستی و بلندی می‌توان تغییرات خاک را پیگیری نمود (۲۲). می‌توان اینگونه توضیح داد که فرآیندهای هیدرولوژیکی، حرکت آب سطحی و زیر سطحی و حرکت ذرات خاک و عناصر شیمیایی و در نهایت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در چنین شرایطی به وسیله ویژگی‌های پستی و بلندی کنترل می‌شود بنابراین چنین عواملی فعالیت آنزیم‌های خاک را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد.

مدل‌های رگرسیونی برای برآورد فعالیت آنزیمی خاک براساس ویژگی‌های پستی و بلندی و ویژگی‌های خاکی و نتایج اعتبارسنجی در جداول ۴، ۵ و ۶ آمده است. نکته قابل توجه این که در پارامترهای مختلف خاکی و پستی و بلندی استفاده شده در برآورد فعالیت آنزیمی خاک بسته به درجه همبستگی پارامترها، تعداد متفاوتی از پارامترها برای برآورد فعالیت آنزیمی خاک وارد مدل شده‌اند. ضرائب تشخیص نشان می‌دهند که این مدل‌ها در حضور پارامترهای خاکی ۶۳ – ۳۳ درصد، در حضور پارامترهای پستی و بلندی ۱۵ – ۱۴ درصد و درصورت استفاده از پارامترهای خاکی و پستی و بلندی ۶۷ – ۳۳ درصد از کل تغییرات فعالیت آنزیمی خاک را توجیه می‌کنند. به نظر می‌رسد این مقدار توجیه واریانس در صورت استفاده از پارامترهای خاکی و پستی و بلندی نسبت به حضور جداگانه ویژگی‌های خاکی و شاخص‌های پستی و بلندی قابل قبول‌تر باشد.

همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، از بین فاکتورهای پستی و بلندی بررسی شده در این مطالعه، تنها پارامترهای سایه-اندازی و قدرت نسبی جریان وارد مدل‌ها پیش‌بینی فعالیت آنزیمی خاک گردیده‌اند. از بین ویژگی‌های خاکی، مواد آلی، کربنات کلسیم، هدایت الکتریکی و بافت خاک در مدل‌های پیش بینی فعالیت آنزیمی خاک وارد شده‌اند.

براساس نتایج بدست آمده، می‌توان گفت که این پارامترها نسبت به سایر فاکتورهای پستی و بلندی و خاکی به خوبی توانسته‌اند تغییر پذیری فعالیت آنزیم‌ها در منطقه مورد مطالعه را کنترل نمایند. فلورینسکی و همکاران (۱۰) با استفاده از معادلات رگرسیونی، ارتباط بین توپوگرافی و رطوبت خاک و مواد آلی را نشان دادند.

سایه‌اندازی و قدرت نسبی جریان از جمله پارامترهایی هستند که میزان رطوبت در منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند همچنین سایه اندازی به دلیل تاثیر بر پوشش گیاهی و در نتیجه تاثیر بر میزان مواد آلی و جامعه میکروبی، فعالیت آنزیمی خاک را تحت تاثیر قرار داده، از سوی دیگر از دست رفتن خاک سطحی و مواد آلی و نمایان شدن خاک زیر سطحی در وضعیت بالای شیب به دلیل فرسایش خاک و بالا بودن فاکتور فرسایش‌پذیری در این وضعیت‌ها (۲۱) شاید بتوان گفت که فاکتورهای خاکی و پستی و بلندی با تاثیر متقابل بر یکدیگر بر فعالیت آنزیمی خاک موثر هستند. هرچند می‌توان برای ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرات بیشتری از ویژگی‌های خاک در سطح حوزه را پیش‌بینی کند، از فواصل کمتر نمونه‌برداری و ابعاد کوچکتر پیکسل DEM استفاده کرد.

نتایج اعتبارسنجی مدل‌های بدست آمده در جداول ۴، ۵ و ۶ آمده است. با توجه به اینکه مقادیر ME، مدل‌های ایجاد شده در پیش‌بینی فعالیت ال-آسپاراژیناز و ال-گلوتامیناز نزدیک به صفر می‌باشد و می-توان گفت که برازش، توسط مدل‌های ایجاد شده ناریب می‌باشد.

جدول۳ - ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های پستی و بلندی با ویژگی‌های خاک و فعالیت آنزیم‌های مورد مطالعه

ویژگی‌های خاکی و فعالیت آنزیمی	شاخص‌های پستی و بلندی											
	WI	SPI	ProfC	Slope	PlanC	STI	MeanC	SCA	Aspect	Elevation	RSP	Shaded	Tang	CA
رس	-۰/۴۶**	-۰/۱۷	۰/۰۰	-۰/۵۲**	-۰/۲۹**	-۰/۳۸**	-۰/۱۱	۰/۰۸	-۰/۱۶	۰/۰۷	-۰/۲۰*	-۰/۰۷	۰/۱۸*	۰/۰۵
شن	-۰/۵۱**	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۵۳**	۰/۲۷**	۰/۴۰**	۰/۱۲	-۰/۰۸	۰/۲۹**	-۰/۱۸*	۰/۲۰*	۰/۱۶	-۰/۱۵	-۰/۰۹
سیلت	۰/۴۸**	-۰/۰۸	-۰/۰۱	-۰/۴۷**	-۰/۲۲*	-۰/۳۵**	-۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۳۲**	۰/۲۰*	-۰/۱۷	-۰/۲۰*	۰/۱۳	۰/۱۲
نیتروژن کل	۰/۳۷**	۰/۰۹	-۰/۰۶	-۰/۲۶**	-۰/۱۶	-۰/۱۰	-۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۲۴**	۰/۲۱*	-۰/۰۸	-۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۲۰*
کربن آلی	۰/۶۵**	۰/۴۶**	۰/۰۷	-۰/۳۳**	-۰/۲۴**	-۰/۰۱	-۰/۱۸*	۰/۰۵	-۰/۱۸*	۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۵۳**
کربنات‌کلسیم معادل	-۰/۳۸**	-۰/۱۳	-۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۲۰*	۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۲۴**	۰/۱۲	۰/۲۲*	-۰/۱۲	-۰/۰۷	-۰/۱۳	-۰/۲۹**
EC	۰/۱۹*	۰/۲۴**	-۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۱۲	۰/۱۹*	-۰/۱۵	۰/۲۵**	-۰/۰۸	-۰/۱۳	۰/۲۰*	۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۲۴**
pH	-۰/۱۲	-۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۱۵	-۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۲	-۰/۰۷	۰/۱۰	-۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۴	-۰/۰۹	-۰/۱۳
اوره‌آز	۰/۱۸*	۰/۱۱	۰/۰۳	-۰/۱۷	-۰/۱۳	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۲*	۰/۵۲*	-۰/۰۷	-۰/۲۰*	۰/۰۳	۰/۱۱
ال-گلوتامیناز	۰/۲۷**	۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۲۵*	-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۱۰	-۰/۰۵	-۰/۱۴	۰/۱۵	-۰/۲۰*	-۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۵
ال-آسپاراژیناز	۰/۳۸**	۰/۲۰*	-۰/۰۳	-۰/۱۱	-۰/۰۷	۰/۰۷	-۰/۱۴	۰/۲۹**	-۰/۰۱	-۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۳۰*

**: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ *: معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

Aspect: جهت شیب، CA: مساحت حوضه آبخیز، EC: هدایت الکتریکی، Elevation: ارتفاع، MeanC: انحنای متوسط، PlanC: انحنای افقی، ProfC: انحنای عمودی، RSP: قدرت جریان نسبی، SCA: مساحت ویژه حوضه، Shaded: سایه-اندازی، Slope: شیب SPI: شاخص قدرت جریان، STI: شاخص حمل رسوب، Tang: انحنای مماسی، WI: شاخص رطوبت

جدول ٤- مدل‌های رگرسیونی چند متغییره خطی (معنی دار در سطح ۵ درصد)، برای برآورد فعالیت آنزیمی خاک بر اساس ویژگی‌های خاک

متغیر	مدل رگرسیون پیش‌بینی فعالیت آنزیمی	R^2	ME	RMSE
ال-آسپاراژیناز	-۴/۳۲۶ + ۰/۶۳۵ (OC) + ۱/۵۱۴ (EC) – ۰/۰۰۶ ($CaCO_3$)	۰/۳۳۱	−۰/۰۰۷۹۴	۰/۵۲۱۲
اوره‌آز	-۱۱۶/۵۲۸ + ۴۵/۴۱ (OC) + ۰/۴۲۶ ($CaCO_3$) + ۴۱/۲۵۱ (EC)	۰/۴۶۹	۳/۳۶۸	۱۴/۳۹۷
ال-گلوتامیناز	۱/۲۹۵ + ۰/۷۵۴ (OC) – ۰/۰۰۹ (Silt) + ۰/۰۱۷ (Clay) + ۰/۰۰۳ ($CaCO_3$)	۰/۶۳۳	−۰/۰۲۵۶	۰/۲۴۶۸

جدول۵- مدل‌های رگرسیونی چند متغییره خطی (معنی دار در سطح ۵ درصد)، برای برآورد فعالیت آنزیمی خاک بر اساس ویژگی‌های پستی و بلندی

متغیر	مدل رگرسیون پیش‌بینی فعالیت آنزیمی	R^2	ME	RMSE
ال-آسپاراژیناز	-۰/۴۶۹ + ۰/۱۱۲ (wet)	۰/۱۴۹	−۰/۰۱۵۷	۰/۵۳
اوره‌آز	۷۳/۳۵ – ۹۶/۲۷۱ (shaded) + ۳/۱۹۵ (wet)	۰/۱۴۳	۵/۳۰۷۸	۱۹/۴۲۹
ال-گلوتامیناز	۱/۶۵۵ + ۰/۰۶۵ (wet) – ۰,۰۰۰۰۷۱۶۸ (SCA)	۰/۱۵۹	−۰,۰۰۳۹۵	۰/۲۵۴

جدول٦- مدل‌های رگرسیونی چند متغییره خطی (معنی دار در سطح ۵ درصد)، برای برآورد فعالیت آنزیمی خاک بر اساس ویژگی‌های پستی و بلندی و ویژگی‌های خاک

متغیر	مدل رگرسیون پیش‌بینی فعالیت آنزیمی	R^2	ME	RMSE
ال-آسپاراژیناز	-۴/۳۲۶ + ۰/۶۳۵ (OC) + ۱/۵۱۴ (EC) - ۰/۰۰۶ ($CaCO_3$)	۰/۳۳۱	−۰/۰۰۸	۰/۵۲۱
اوره‌آز	-۸۴/۴۶۹ + ۴۳/۲۷۹ (OC) + ۰/۴۰۷ ($CaCO_3$) - ۷۱/۷۲۶ (Shaded) + ۴۳/۳۸۴ (EC)	۰/۵۱۳	۴/۷۵	۱۵/۰۲
ال-گلوتامیناز	۱/۳۳۳ + ۰/۷۵۸ (OC) - ۰/۰۰۱ (RSP) - ۰/۰۱۱ (Silt) + ۰/۰۱۸ (Clay) + ۰/۰۰۳ ($CaCO_3$)	۰/۶۷۴	−۰/۰۰۴	۰/۲۴۰

مقادیر RMSE بیانگر دقت مناسب و قابل قبول برآوردها می‌باشد. به نظر می‌رسد پارامترهای پستی و بلندی و خاکی به خوبی قادر به پیش‌بینی فعالیت آنزیمی خاک هستند که این امر نشان دهنده‌ی تاثیر مستقیم فاکتورهای توپوگرافی وتاثیر غیر مستقیم این فاکتورها از طریق اثر بر توزیع رطوبت، پوشش گیاهی و جامعه میکروبی و در نهایت تاثیر بر ویژگی‌های خاکی می‌باشد. مدل‌های بدست آمده در چنین پژوهش‌هایی را در شرایط مشابه منطقه از نظر پستی و بلندی، با دقت مناسب می‌توان به کار گرفت. همچنین می‌توان جهت ایجاد مدلی معتبرتر که فعالیت آنزیمی خاک را با دقت بالاتری پیش‌بینی نماید، ویژگی‌های موثر بر فعالیت آنزیمی خاک مانند زیست توده میکروبی و عوامل مدیریتی استفاده نمود که این امر مستلزم انجام پژوهش‌های آتی در منطقه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به مشکلات موجود در تخمین ویژگی‌های مهم خاک در راستای انجام مدیریت دقیق مخصوصاً در مورد پارامترهای پر هزینه، ما را ناگزیر به استفاده از متغیرهای کمکی می‌نماید. همانطور که نتایج این تحقیق نشان داد، استفاده از پارامترهای پستی و بلندی و ویژگی‌های خاک برای پیش-بینی فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، ال-گلوتامیناز و ال-آسپاراژیناز، منجر به تخمین‌های بهتری نسبت به استفاده تنها از پارامترهای پستی و بلندی و یا ویژگی‌های خاک گردید. از بین پارامترهای استفاده شده در مدل، قدرت نسبی جریان، سایه‌اندازی، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، هدایت الکتریکی، رس و سیلت تأثیر بیشتری در تخمین متغیرهای مورد مطالعه داشتند.

منابع

۱-عباس زاده افشار ف. ۱۳۸۷. تخمین نرخ فرسایش و رسوب با تکنیک سزیم ۱۳۷ با استفاده از روش زمین آمار روی یک شیب تپه مرکب در منطقه اردل استان چهارمحال و بختیاری، پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،۱۰۶ صفحه.

2- Aon M.A., and Colaneri A.C. 2001. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. Applied soil Ecology 18:255-270.

3- Ayoubi S., and Alizadeh M.H. 2006. Soil Surface Attributes Prediction Using Digital Topographic Model in Mehr Catchment, Sabzevar, Khorasan Province. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources,Water and Soil Science, 8(2):759-770.

4- Basso B. 2005. Digital terrain analysis: data source, resolution and application for modeling physical processes in agroecosystems. RivistaItaliana di Agrometeorologia 2: 5-14.
5- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen- Total, p. 595-624, In A. L. page (ed.) Methods of soil analysis, part 2, American society of agronomy Medisonwisconsin, USA.
6- Burns R.G. 1978. Enzyme in soils: some theoretical and practical considerations, in: Burns, R.G. (Ed.). Soil enzymes, Academic Press, London, UK. Pp. 295-339.
7- Chen J.S., and Chiu C.Y. 2000. Effect of topography on the composition of soil organic substances in a perhumid sub-tropical montane forest ecosystem in Taiwan. Geoderma. 96: 19-30
8- Chhonkar P.K., and Tarafdar J.C. 1984. Accumulation of phosphatase in soils. Journal of the Indian Society of soil science, 32: 266-272.
9- Day P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. Methods of soil analysis. Part 1. ASA, Madison, WI. C. A. Black.
10- Florinsky I.V., Eilers R.G., Manning G.R., and Fuller L.G. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modeling. EnviromentalModelling and Software, 17: 295-311.
11- Florinsky I.V., McMahon S., and Burton D.L. 2004. Topographic control of soil microbial activity: a case study of denitrifiers. Geoderma 119: 33-53.
12- Frankenberger W.T.Jr., and Tabatabai M.A. 1991. Factors affecting L-glutaminase activity in soils. Soil Biology & Biochemistry. Vol. 23, No.9, pp. 875-879.
13- Gessler P.E., Chadwick O.A., Chamran F., Althouse L., and Holmes K. 2000. Modeling soil landscape and ecosystem properties using terrain attributes. Soil Science Society of American. 64: 2046-2056.
14- Hanna A.Y., Harlan P.W., and Lewis D.T. 1982. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. Agron. J. 74: 999-1004.
15- Hess P.R. 1971. A text book of soil chemical analysis. John Murray, London. 405 pp.
16- Khademi H., and khayyer H. 2004. Landscape-scale Variability of Selected Surface Soil Quality Attributes in a Rangeland in Semirom Area. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 10(2):85-97.
17- Keeney D.R., and Nelson D.W. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. P. 643-709, In: A. L. page (ed.) Methods of Soil analysis, Part 2, American society of agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
18- Klose S., and Tabatabai M.A. 1999. Urease activity of microbial biomass in soils. Soil Biology and Biochemistry 31: 205-211.
19- Ladd J.N. Soil enzymes, in: Vaughan, D., Malcom, R.E. (Eds.). Soil organic matter and biological activity, MartinusNijhoff Dr. W. Junk publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 175-221.
20- Moore I.D., Grayson R.B., and Landson A.R. 1991. Digital terrain modeling. A review of hydrological, geomorphological and application. Hydrol. Proc. 5: 3-30.
21- Moore I.D., and Wilson J.P. 1992. Length- slope factors in the revised universal soil loss equation. Soil Water Conserve.J. 47: 423-429.
22- Moore I.D., Gessler P.E., and Nielson G.A. 1993. Soil attributes prediction using terrain analysis. Soil Science Society of American. J. 57:443-452.
23- Nourbakhsh F., Monreal C., Emtiazy G., and Dinel H. 2002. L-asparaginase activity in some soils of central Iran. Arid Land Research and Management 16: 377-384.
24- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. W. Madison, American Society of Agronomy: 539-579.
25- SPSS for windows. 2007. Release. 16.01. Copyright, Inc.
26- Tabatabai M.A. 1994. Soil Enzymes, P. 775-833, In R. W. weaver et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part 2: Soil Society of America, Madison Wisconsin, USA.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 753-761

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۷۶۱-۷۵۳

Prediction Soil Enzyme Activity by the Use of Soil and Topographic Characteristics in Hilly Region of Semiroum District, Isfahan Province

S. Tajik[1]- Sh. Ayoubi[2*]- F. Nourbakhash[3]

Received: 5-10-2011
Accepted: 26-2-2012

Abstract

Enzymes are so crucial in the mineralization process of organic material. Information of the soil enzymes activity is used in determining of the soil microbial properties and they are also important in soil health and quality. Topographic attributes, soil properties and soil enzymes are associated together. Hence, it is essential to know how these parameters affect on the soil enzymes activity. This study has been implemented in hilly region of Semiroum district located at southern Isfahan province, to develop a regression model between soil enzymes activity and soil and topographic characteristics. Mean annual temperature and precipitation in the studied area is 10.6°C and 350 mm, respectively. Soil sampling was done in a systematic randomly manner from the 0-10 cm surface layer. Topographic attributes were calculated by the digital elevation model with 10×10 m spatial resolution. Soil properties were determined by laboratory analysis. Multiple regression models between these parameters and soil enzymes activity were established and then the predictive models were validated using 20% of data. Results indicated soil parameters explained 33-63% of total variability of soil enzymes activity in the studied site. Topographic attributes explained 14- 15 %, and a combination of soil and topographic characteristics could explain 33-67% of total variability of soil enzymes activity. Therefore, the use of a combined data set of soil properties and topographic attributes could provide the powerful models for predicting of soil enzymes activity. These results confirmed that soil enzyme activity in the studied area is influenced by soil and topographic attributes synchronously. The results of validation ascertained that the predictors were unbiased and sufficiently accurate.

Keywords: Urease, L-glutaminase, L-asparaginase, Modeling

.

1,2,3- MSc Student, Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Respectively
(*-Corresponding Author Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir)