

Prediction of Soil Enzyme Activity Along the Transect Using Some Soil Characteristics (Case Study: Miami County in Semnan Province)

AHMAD AKHYANI¹, HAMID REZA MATINFAR^{1*}, HADI ASADI RAHMANI²

1. Soil Science Department, College of Agriculture, University of Lorestan, Khoramabad, Iran,

2. Soil and Water Research Institute of Iran, Karaj, Iran

(Received: Dec. 30, 2018- Revised: Feb. 2, 2019- Accepted: Feb. 13, 2019)

ABSTRACT

Soil quality indicates soil ability to provide biological, ecological and production services. Determination of soil quality indices requires a large number of soil characteristics measurements. Soil enzyme activities have been recognized as suitable indicators in assessing the effect of management and environmental factors on soil quality. This study has been implemented to develop a regression model between soil enzyme activities and soil characteristics along the north-south transect in Miami County. For this purpose, 120 soil samples were selected from the top layer (30 cm) at three different sites using the standardized classification method. Soil properties and activity of enzymes were determined according to standard methods and also, applying linear regression method of ordinary least square, the relationship between soil properties and three soil enzymes included in b-glucosidase, urease and alkaline phosphatase was modeled. The results showed, overall all soil enzyme activity decreased from north to south and b-glucosidase enzyme had the highest coefficient of variation (%68). The models provided with accuracy (R^2_{adj}) about %50.4 to %70.4 are able to predict the soil enzymes activity. The most important soil properties effective on enzyme activity in the northern region included respectively, total organic carbon, soil texture, cation exchange capacity, Phosphorus and potassium available but in the southern region, total organic carbon, salinity, PH. The results of validation (RMSE, R^2_{adj}) ascertained that the predictors were sufficiently accurate. The results of this study used in the improvement of regional planning for sustainable management of soil.

Keywords: Enzyme, Soil properties, Transects, Prediction models

* Corresponding Author's Email: Matinfar.h@lu.ac.ir

پیش‌بینی فعالیت آنزیمی خاک در طول یک ترانسکت با استفاده از برخی ویژگی‌های خاک (مطالعه موردی: شهرستان میامی، استان سمنان)

احمد اخیانی^۱، حمید رضا متین‌فر^{۱*} و هادی اسدی رحمانی^۲

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲. موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴)

چکیده

کیفیت خاک بیانگر توانایی خاک در ارائه خدمات زیستی، اکولوژیکی و قابلیت تولید است. تعیین شاخص‌های کیفیت خاک و بیان کیفیت خاک نیازمند اندازه‌گیری تعداد زیادی از خصوصیات خاک است. امروزه فعالیت‌های آنزیمی خاک به عنوان یک شاخص مناسب جهت ارزیابی اثرات عوامل محیطی و مدیریتی بر کیفیت خاک شناخته شده‌اند. هدف از این تحقیق توسعه مدل‌های رگرسیونی بین فعالیت‌های آنزیمی و ویژگی‌های خاک در طول یک ترانسکت از جهت شمال به جنوب می‌باشد. برای این منظور از سه منطقه شهرستان میامی استان سمنان، ۱۲۰ نمونه خاک با روش تصادفی طبقه‌بندی شده انتخاب شد. خصوصیات خاک و مقادیر آنزیم‌ها طبق روش‌های استاندارد تعیین شد. روابط موجود بین ویژگی‌های خاک و فعالیت سه آنزیم بتاگلوکوزیداز، فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز با استفاده از روش رگرسیون خطی (OLS) مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد، به‌طور کلی فعالیت‌های آنزیمی از جنوب به شمال شهرستان افزایش یافته و آنزیم بتاگلوکوزیداز دارای بیشترین ضریب‌تغییرات (۶۸٪) بوده است. مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده با دقتی (R^2_{adj}) در دامنه ۵۰/۷٪ تا ۷۰/۴٪ توانستند فعالیت آنزیمی خاک را پیش‌بینی کنند. مهمترین ویژگی‌های خاک مؤثر بر فعالیت آنزیمی در مناطق شمالی به ترتیب اولویت کربن آلی، بافت، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر و پتاسیم و در مناطق جنوبی کربن آلی، هدایت الکتریکی و pH بودند. بررسی‌های اعتبارسنجی مدل‌ها هم در مرحله صحت‌سنجی ($RMSE$, R^2_{adj}) نشان داد درجه تخمین مدل‌ها از اعتبار کافی برخوردار است. نتایج این تحقیق در بهبود برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جهت مدیریت پایدار خاک کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، ویژگی‌های خاک، ترانسکت، مدل پیش‌بینی

مقدمه

است که آنزیم‌های برون سلولی خاک نقش مهمی در آن به عهده دارند. امروزه فعالیت‌های آنزیمی خاک به عنوان یکی از شاخص‌های مناسب برای ارزیابی اثرات مدیریت و کاربری اراضی بر کیفیت خاک شناخته شده است. در این ارزیابی‌ها، تغییرات مکانی فعالیت آنزیمی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد (Reed & Martiny, 2007).

آنزیم‌ها نقش مهمی در ارزیابی سلامت خاک داشته و رابطه آنها با بیولوژی خاک همچنین عکس‌العمل سریع آنها به تغییرات مدیریت خاک باعث شده است تا به عنوان شاخص‌های بالقوه مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک پیشنهاد شوند (Tajik et al., 2012). تحقیقات مختلف نشان داده فعالیت آنزیمی خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی شامل خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک (Sinsabaugh et al., 2011)، پوشش گیاهی (Paz-Ferreiro et al., 2004)، مدیریت مزرعه (Paz-Ferreiro et al., 2012)، توالی اکولوژیکی (Vasconcellos et al., 2013)، اقلیم و کاربری

یکی از مسائل مهم روز در بحث مربوط به برنامه‌های توسعه کشور، فشار نامتعارف کاربران بخش کشاورزی بر منابع آب و خاک و نتایجاً تخریب آنهاست. بنابراین شناخت همه جنبه‌های زیست‌بوم‌های کشاورزی کشور می‌تواند ما را در رسیدن به پایداری تولید و همچنین حفظ محیط‌زیست یاری کند. یکی از جنبه‌های بسیار مهم در این بحث فعالیت‌های زیستی خاک است که با روش‌های متفاوتی مثل بررسی فعالیت کاتابولیکی خاک (Rutgers et al., 2016)، میزان تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم‌های برون سلولی (Creamer et al., 2016) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بسیاری از وظائف اکولوژیک و اقتصادی یک زیست‌بوم کشاورزی تحت تأثیر تنوع و فراوانی جمعیت میکروبی خاک قرار دارد (Philippot et al., 2013; Bardgett & Vanderputten, 2014). از وظائف اصلی زیستی خاک در اکوسیستم‌های طبیعی تجزیه مواد آلی خاک و نتیجتاً چرخه بیوشیمیایی عناصر غذایی

کنترل‌کننده فعالیت آنزیم‌ها تحت تأثیر منطقه قرار گرفته و به‌عنوان مثال میزان نیتروژن کل خاک بر فعالیت آنزیم اوره‌آز در منطقه شهرکرد مؤثر بوده اما در منطقه کرمان این عامل مؤثر نیست (Abasian *et al.*, 2014).

شهرستان میامی با توجه وضعیت منابع آب موجود در ۷۰ سال گذشته مهمترین منطقه تولید محصولات زراعی دیم و آبی استان سمنان بوده است. منابع خاک اراضی این شهرستان دارای مخاطرات متنوعی از نظر کاهش کیفیت خاک مانند خطر شدید فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار شمال تا خطر شور و سدیمی شدن خاک در اراضی جنوبی شهرستان است. از طرفی کشت متراکم محصولات مختلف در سال‌های اخیر فشار زیادی به این منبع مهم تولید وارد نموده است. بنابراین بررسی جنبه‌های مختلف کیفی خاک خصوصاً از جنبه‌های زیستی با توجه به اطلاعات اندک موجود در این منطقه جهت ارائه مدیریت مناسب منابع خاک از اولویت زیادی برخوردار است. لذا این تحقیق با هدف: ۱- بررسی وضعیت پراکنش فعالیت آنزیمی خاک در طول یک ترانسکت از شمال به جنوب شهرستان با سه منطقه مطالعاتی ۲- تعیین مدل‌های پیش‌بینی فعالیت هر آنزیم با استفاده از ویژگی‌های خاک در هر منطقه اجرا شد.

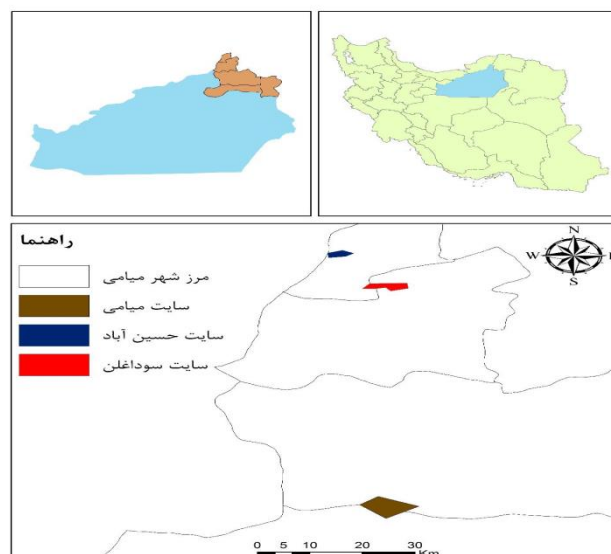
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل مطالعه

در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان میامی در کشور و مناطق نمونه‌برداری در شهرستان میامی ارائه شده است.

اراضی (Paz-Ferreiro *et al.*, 2010)، تنوع جامعه میکروبی (Henrikson *et al.*, 2015) و عمق خاک (Kandeler *et al.*, 1994) قرار دارد.

با توجه به اهمیت رو به افزون نقش فعالیت آنزیمی خاک، تحقیقات متعددی در ایران و دنیا اخیراً به بررسی عوامل محیطی بر فعالیت آنزیمی پرداخته‌اند. از جمله در یک پروژه تحقیقاتی وسیع در قاره اروپا اثرات پنج نوع اقلیم، سه نوع کاربری اراضی و ویژگی‌های خاک بر فعالیت آنزیمی خاک مطالعه شد. نتایج این تحقیقات نشان داد فعالیت آنزیمی خاک بیشتر تحت تأثیر دو ویژگی pH و مواد آلی قرار داشته و تنوع اقلیمی و تغییر کاربری بر فعالیت آنزیمی خاک مؤثر نبوده است (Henrikson *et al.*, 2015). در مطالعات Xu *et al.* (2016) خاک‌های یک ترانسکت در کشور چین از نظر فعالیت آنزیمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات آنزیمی خاک تحت تأثیر هفت عامل میانگین دما و بارندگی سالیانه، واکنش خاک، نیتروژن و فسفر کل خاک، نسبت ازت به فسفر و کربن به ازت خاک قرار گرفته است. در تحقیقات دیگری در منطقه سمیرم اصفهان اثرات پارامترهای خاکی و توپوگرافی بر فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، آل‌گلوتامیناز، آل‌اسپارزیناز با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و مدل‌سازی بررسی شد. نتایج نشان داد فعالیت این آنزیم‌ها ۳۳-۶۶٪ تحت تأثیر ویژگی‌های خاک و ۱۴-۱۵٪ تحت تأثیر توپوگرافی است (Tajik *et al.*, 2012). همچنین جهت بررسی تفاوت عوامل مؤثر خاکی بر فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، اینورتاز، آل‌کالین فسفاتاز و آریل سولفاتاز در دو نوع خاک هیستوسول در استان‌های کرمان و شهرکرد از روش مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد پارامترهای



شکل ۱. موقعیت مناطق مورد مطالعه در کشور، استان سمنان و شهرستان میامی

جدول (۱) نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع در شهرستان میزان بارندگی افزایش و دما کاهش یافته و به همین دلیل دشت میامی دارای رژیم حرارتی ترمیک و رطوبتی آریدیک، دشت سوداغلن و حسین‌آباد دارای رژیم حرارتی مزیک و رطوبتی زیریک، اما میزان بارندگی در منطقه حسین‌آباد بیشتر است. به‌علاوه اینکه فقط در منطقه حسین‌آباد شیب بیشتر از ۱۰٪ در اراضی وجود داشته و دو منطقه دیگر تقریباً فاقد مناطق با شیب شدید است.

شهرستان میامی شرقی‌ترین شهرستان استان سمنان در مسیر راه شاهرود به سبزوار است. این شهرستان اهمیت ویژه‌ای در تولیدات کشاورزی استان داشته و حدود ۴۰٪ تولید محصولات کشاورزی و ۲۵٪ سطح زیر کشت (۳۰ هزار هکتار) استان، مربوط به این شهرستان است. اراضی کشاورزی در جنوب شهرستان بیشتر زیر کشت زراعت غلات، چغندر قند و باغات آبی و در شمال تحت کشت غلات، آفتابگردان و حبوبات دیم است.

جدول ۱. خصوصیات اقلیمی، مختصات جغرافیایی و خاک محل‌های نمونه‌برداری در شهرستان میامی

نام منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	متوسط بارش (میلی‌متر)	متوسط دما (سانتی‌گراد)	کاربری و تناوب غالب	فیزیوگرافی	نوع خاک
میامی	۵۵° ۴۲ ۲۷	۳۶° ۲۶ ۰۵	۱۰۸۵	۱۱۸	۱۶/۸	زراعت آبی (غلات-چغندر)	Gravelly Alluvio-Colluvial Fans	Typic Torriorthent
سوداغلن	۵۵° ۵۰ ۰۵	۳۶° ۰۷ ۰۹	۱۳۱۵	۲۹۵	۱۳/۶	زراعت آبی و دیم (غلات-چغندر قند و حبوبات)	Piedmont Plateaux	Typic Calcixerol
حسین‌آباد	۴۴ ۴۳ ۵۵°	۳۶° ۱۲ ۳۱	۱۴۱۰	۵۴۰	۱۰/۹	زراعت دیم (آفتابگردان-غلات و حبوبات)	Plateaux	FluventicHaploxerepts

نحوه نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

در این تحقیق در مردادماه سال ۱۳۹۴، ۴۰ نمونه خاک با روش مرکب با فواصل منظم ۵۰×۵۰×۵۰ متر از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و در مجموع ۱۲۰ نمونه برداشت شد. این کار با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث جهت شبکه‌بندی منظم انجام شد. سپس قسمتی از نمونه‌ها تفکیک و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی و باقیمانده نمونه‌ها برای اندازه‌گیری سایر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی پس از هواخشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و به آزمایشگاه منتقل شد. جرم مخصوص ظاهری با روش پارافین (Blake & Hart Age, 1986)، ظرفیت تبادل کاتیونی با روش استات سدیم (page et al., 1982)، توزیع اندازه ذرات با روش هیدرومتری (page et al., 1982)، میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) با روش الک مرطوب (Kemper & Rosenau, 1986)، مواد آلی با روش اکسیداسیون تر (page et al., 1982)، هدایت الکتریکی با هدایت سنج WTW مدل 7110 در عصاره اشباع، اسیدیته با استفاده از دستگاه pH متر مدل Metrohm-827 در گل اشباع (page et al., 1982)، پتاسیم قابل جذب با روش استات آمونیم (page et al., 1982)، فسفر قابل جذب با روش اولسن (Olsen & Sumner, 1982)، درصد مواد خنثی‌شونده با روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (page et al., 1982)، کربن زیست‌توده میکروبی با استفاده از روش تدخین با کلروفرم (Jenkinson et al., 2004)، آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز قلیایی و بتاگلوکوزیداز با روش‌های

مندرج در دستورالعمل تهیه‌شده توسط (Tabatabai 1994) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به اینکه بعضی از ویژگی‌های موردبررسی دارای توزیع نرمال نبودند جهت بررسی اثرات منطقه بر پارامترهای موردبررسی از روش تحلیل واریانس یک‌طرفه (One Way Anova) ناپارامتریک با آزمون کروسکال-والیس استفاده شد. همچنین از مدل OLS برای بررسی‌های رگرسیونی تعیین مدل مناسب پیش‌بینی فعالیت آنزیم‌ها استفاده گردید. اما با توجه به وجود پیش‌فرض مهم نداشتن وجود عامل هم خطی بین عوامل در روش OLS از شاخص تورم واریانس یا VIF استفاده شد. برای اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی ارائه شده از آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطاها (RMSE) و ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2_{adj}) استفاده شد. کلیه عملیات آماری در محیط نرم‌افزارهای Matlab (ver, 5) و SPSS (ver, 21.0) صورت گرفت.

نتایج و بحث

بررسی آماری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نتایج آزمون کروسکال-والیس نشان داد، عامل منطقه بر همه ویژگی‌های بررسی‌شده اثر معنی‌داری ($P < 0.01$) داشته است. به‌طوری‌که نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) هم نشان می‌دهد این عوامل حداقل در یک منطقه با منطقه دیگر اختلاف معنی‌دار داشته است.

جدول ۲. مقایسه میانگین و ضریب تغییرات خصوصیات خاک به تفکیک مناطق

منطقه		میامی	سوداغلن	حسین آباد
خصوصیات				
هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)		۴/۴۸a (۵۴٪)	۱/۸۵b (۲۶٪)	۱/۱۰b (۲۹٪)
pH		۷/۷a (۳٪)	۷/۳bc (۵٪)	۷/۱c (۳٪)
کربن آلی (٪)		۰/۷۱c (۲۷/۱۵)	۱/۵b (۳۰/۱۶)	۲/۱a (۳۸٪)
درصد مواد خنثی شونده (٪)		۱۹/۶a (۲۶/۱۳)	۱۷/۱a (۳۸٪)	۶/۲b (۴۸٪)
فسفر قابل جذب (mgkg ⁻¹)		۷/۹b (۳۲/۱۷)	۶/۵c (۵۱٪)	۹/۱a (۴۱٪)
پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)		۲۶۵b (۳۵/۱۴)	۳۱۸a (۲۱/۱۶)	۳۱۰a (۳۴٪)
جرم مخصوص ظاهری (g cm ⁻³)		۱/۶ (۷٪)	۱/۵a (۵٪)	۱/۳b (۶٪)
میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)		۱/۱۷b (۴۳٪)	۱/۲۴a (۲۲٪)	۱/۲۹a (۳۵٪)
ظرفیت تبادل کاتیونی (meq100g ⁻¹ soil)		۷/۵c (۲۸٪)	۱۰/۰b (۱۸٪)	۱۴/۹a (۲۷٪)
رس (٪)		۱۰c (۳۱٪)	۱۴b (۲۴٪)	۲۱a (۲۵٪)
سیلت (٪)		۲۴c (۱۶٪)	۶۰a (۱۹٪)	۳۶b (۱۷٪)
شن (٪)		۶۳a (۲۱٪)	۱۴b (۱۶٪)	۱۳b (۱۵٪)
کربن زیست توده میکروبی (μg.g ⁻¹ soil)		۲۴۷c (۳۷٪)	۴۸۵b (۵۸٪)	۵۶۵a (۷۶٪)
نسبت کربن زیست توده میکروبی به کربن آلی (۶۰/۱۲)		۲/۸c (۶۰/۱۲)	۳/۳a (۴۳٪)	۳/۱ab (۲۱٪)
فسفاتاز قلیایی (μg PNP g ⁻¹ h ⁻¹)		۴۲۸c (۲۹٪)	۲۰۷۴a (۳۶٪)	۱۹۵۰a (۳۷٪)
اوره آز (g ml ⁻¹ NH ₄ N g ⁻¹ 2h ⁻¹)		۴۷b (۴۶٪)	۵۹b (۱۹٪)	۱۰۲a (۲۳٪)
بتاگلوکوزیداز (μg PNG g ⁻¹ h ⁻¹)		۷۳۹c (۴۸٪)	۱۶۵۰a (۳۹٪)	۱۳۲۰a (۶۸٪)

حروف غیرمشترک در هر سطر بیان کننده وجود اختلاف معنی دار (p<0.05) است.

در جدول (۲) نتایج مقایسه میانگین و ضریب تغییرات تغییرپذیری نسبی است. بر اساس طبقه بندی Wilding ویژگی های خاک ارائه شده است. ضریب تغییرات معیاری از (1985) ویژگی های خاک با تغییرات بیشتر از ۳۵٪ دارای

تغییرپذیری زیادی می‌باشند. بر این اساس pH خاک در هر سه منطقه دارای کمترین و به ترتیب کربن زیست‌توده میکروبی، آنزیم بتا گلوکوزیداز، فسفر و هدایت الکتریکی بیشترین تغییرات را در مناطق فوق داشته‌اند. در تحقیقی که در خاک‌های منطقه میانکنگی سیستان انجام شد، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، pH کمترین و هدایت الکتریکی دارای بیشترین ضریب تغییرات بوده است. (Hashemi et al. 2016). معمولاً ضریب تغییرات کم ناشی از عوامل ذاتی است ولی ضریب تغییرات زیاد می‌تواند ناشی از ترکیبی از عوامل مدیریتی (نظیر کاربری) و عوامل ذاتی (نظیر توپوگرافی) باشد. این نتایج نشان می‌دهد احتمالاً با تغییر منطقه ویژگی‌هایی مثل شوری، کربن زیست‌توده میکروبی و آنزیم بتاگلوکوزیداز بیشتر تحت تاثیر قرار گرفته‌اند.

مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد بررسی نشان می‌دهد (جدول ۲) خاک‌های مناطق فوق دارای بافت‌های متفاوت از شنی در میامی تا لوم رسی در منطقه حسین‌آباد بوده است. با تغییر منطقه (افزایش بارندگی، کاهش دما و افزایش ارتفاع) میزان شوری و pH خاک کاهش یافته، به نحوی که تنها خاک‌های منطقه میامی با میانگین هدایت الکتریکی ۴/۴۵ دسی زیمنس بر متر دارای محدودیت شوری بوده و خاک سایر مناطق فاقد این محدودیت است. احتمالاً کاهش شوری و pH به دلیل افزایش بارندگی و آبشویی بیشتر املاح خصوصاً کربنات کلسیم خاک است. ویژگی‌های زیستی خاک مثل کربن آلی و زیست‌توده کربن میکروبی هم تابع تغییرات اقلیم در مناطق بود و در منطقه حسین‌آباد نسبت به دو منطقه دیگر روند افزایشی داشت که مربوط به بیلان بیشتر ورودی کربن بقایای آلی تحت تأثیر پوشش گیاهی منطقه است. عناصر غذایی فسفر و پتاسیم هم مقادیر متفاوتی در سه منطقه داشتند که این تغییرات تابع دو عامل مدیریتی (مثل مصرف کود، تناوب و خاک‌ورزی) و اقلیمی - می‌تواند باشد. فعالیت سه آنزیم بررسی شده هم نشان داد همه آنزیم‌ها در منطقه میامی از نظر مقدار کمتر از مناطق دیگر بود و آنزیم اوره‌آز در حسین‌آباد و آنزیم‌های بتاگلوکوزیداز و فسفاتاز قلیایی در منطقه سوداغلن بیشترین مقدار را داشتند.

مدل‌های آماری و اعتبار سنجی

جهت بررسی دقیق‌تر عوامل مؤثر بر فعالیت‌های آنزیمی خاک به تفکیک منطقه در ادامه از روش‌های همبستگی (جدول ۳) و رگرسیون چند متغیره (جدول‌های ۴ تا ۷) استفاده شد. ضرایب همبستگی ویژگی‌های خاک با فعالیت آنزیمی نشان می‌دهد در

مناطق مختلف فعالیت آنزیمی به‌طور یکسان تحت تأثیر عوامل خاکی نیست. به‌عنوان مثال عامل شوری فقط در منطقه میامی بر آنزیم اوره‌آز مؤثر بوده و در سایر مناطق این عامل تأثیر معنی-داری بر آنزیم اوره‌آز و سایر آنزیم‌ها نداشته که با برخی تحقیقات مشابه در گذشته مطابقت دارد (Liu et al., 2008). در بین عوامل بررسی شده کربن آلی تنها عاملی است که در همه مناطق ارتباط مؤثری با فعالیت‌های آنزیمی داشته و البته میزان این تأثیر در مناطق مختلف متفاوت بوده است. به‌نحوی که با تغییر اقلیم از مناطق نیمه‌خشک به مرطوب ضریب همبستگی افزایش یافته است. این یافته در اکثر تحقیقاتی که در کشور و سایر نقاط جهان انجام شده، مطابقت دارد (Hendriksen et al., 2015; Tajik et al., 2012). رفتار کربن زیست‌توده میکروبی که جزئی از کربن آلی کل است، مانند کربن آلی نبوده و به‌عنوان نمونه این عامل با آنزیم فسفاتاز قلیایی در مناطق میامی و سوداغلن برخلاف کربن آلی کل همبستگی کمی داشت که احتمالاً به دلیل غالب بودن نقش کربن آلی کل نسبت به کربن زیست‌توده میکروبی در پایداری آنزیم در خاک بر اثر جذب و نگهداری این آنزیم برون سلولی در خاک است. در بین عناصر غذایی تنها پتاسیم در منطقه حسین‌آباد با فسفاتاز قلیایی و بتاگلوکوزیداز همبستگی مثبت داشت. در بین فاکتورهای فیزیکی خاک هم میانگین وزنی قطر خاکدانه بر فعالیت آنزیم اوره‌آز در منطقه میامی و بتاگلوکوزیداز در منطقه سوداغلن مؤثر بوده که منطبق با تحقیقات مشابه گذشته در کشور چین است. این تحقیقات نشان داد بهبود وضعیت خصوصیات فیزیکی خاک به دلیل تأثیر بر فرآیند تهویه و فرآیندهای زیستی بر فعالیت آنزیمی خاک تأثیر مثبت دارد (Li et al., 2014).

در بررسی روابط رگرسیونی با توجه به تعداد زیاد متغیرهای مستقل، از تکنیک رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. جهت بررسی پیش‌فرض‌های لازم استفاده از مدل رگرسیونی OLS از آماره VIF و دوربین واتسون استفاده شد. جداول (۴) تا (۶) نشان می‌دهد این مدل‌ها فاقد مشکل هم‌خطی متغیرهای مستقل بوده است، زیرا میزان آماره VIF کمتر از ۱۰ است. همچنین بررسی آماره دوربین واتسون نشان داد مقادیر عددی این آماره برای مدل‌های برازش داده‌شده در محدوده ۱/۸۲ تا ۲/۱۵ بوده، لذا فرض مستقل بودن خطای مدل صادق بوده و مدل‌های رگرسیونی دارای اعتبار کافی هستند. در جدول (۴) مشخصات مدل‌های رگرسیونی ارتباط آنزیم اوره‌آز با ویژگی‌های خاک در مناطق مختلف نمایش داده شده است.

جدول ۳. ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی های خاک و فعالیت آنزیمی به تفکیک مناطق

	سوداغلن			حسین آباد		
	اوره آز	فسفاتاز	بتاگلوکوزیداز	اوره آز	فسفاتاز	بتاگلوکوزیداز
هدایت الکتریکی	-۰/۱۹	-۰/۲۹	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۰/۱۷	-۰/۱۵
pH	-۰/۱۲	۰/۲۰	-۰/۲۳	-۰/۳۴	۰/۳۳	-۰/۰۶
درصد مواد خنثی شونده	-۰/۰۷	-۰/۲۳	-۰/۱۷	-۰/۲۳	۰/۰۶	-۰/۲۸
کربن آلی	۰/۶۰**	۰/۶۷**	۰/۷۱**	۰/۷۱**	۰/۶۸**	۰/۵۷**
فسفر	۰/۰۸	-۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۸	-۰/۱۷	۰/۲۲
پتاسیم	۰/۱	-۰/۰۶	۰/۹	۰/۷۱	۰/۵۷**	۰/۷۳**
رس	۰/۰۷	۰/۲۹	۰/۴۵*	۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۳۷
سیلت	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۶۰**	-۰/۳۲	-۰/۱۸	-۰/۲۱
شن	-۰/۲۸	-۰/۲۸	-۰/۶۵**	-۰/۱	-۰/۱۳	-۰/۱۵
MBC	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۷۴**	۰/۷۵**	۰/۵۸**	۰/۶۳**
MBC/OC	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۴۰*	-۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۲۳
جرم مخصوص ظاهری	-۰/۲۷	-۰/۰۹	-۰/۲۷	-۰/۲۶	-۰/۲۴	-۰/۲۰
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۵۷**	۰/۵۰**	۰/۵۱*
میانگین وزنی قطر خاکدانه	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۵۹**	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۲۷

MBC: کربن زیست توده میکروبی، MBC/OC: نسبت زیست توده میکروبی به کربن آلی، * و ** به ترتیب اختلاف معنی دار در سطوح (p<0.05) و (p<0.01)

جدول ۴. مشخصات مدل های رگرسیونی آنزیم اوره آز در مناطق مختلف

منطقه	مشخصات رگرسیون	متغیرهای معادله رگرسیونی			
		ضریب ثابت	کربن آلی	هدایت	پتاسیم
میامی	ضریب	۲۸/۴۵۶	۶۶/۵۹۸	-۵/۱۳	۲/۰۹
	Sig	--	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴
	VIF	--	۱/۲۱۷	۱/۲۷۹	۱/۲۰۰
سوداغلن	ضریب	۳۹/۹۰۴	۱۹/۱۶۷	-۱۰/۷۵۷	--
	Sig	--	۰/۰۰۰	۰/۰۲	--
	VIF	--	۱/۲۶۳	۱/۲۶۳	--
حسین آباد	ضریب	-۲۰/۴۵۲	۱۱/۷۵۱	--	۴۶/۸۸
	Sig	--	۰/۰۰۰	--	۰/۰۰۰
	VIF	--	۳/۳	--	۱/۹

MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه، VIF: عامل تورم واریانس

استان های شهر کرد و کرمان توسط Abasian *et al.* (2014) انجام شده، مطابقت دارد. هدایت الکتریکی خاک فقط در دو منطقه میامی و سوداغلن کنترل کننده فعالیت آنزیم اوره آز بود. شوری از طریق کاهش فعالیت عوامل زیستی تولیدکننده آنزیم بر میزان آن در خاک اثر می گذارد. بررسی های Tajik *et al.* (2012) در منطقه سمیرم اصفهان هم نشان داد شوری باعث کاهش فعالیت این آنزیم شده است. همچنین این نتایج نشان می دهد شوری در منطقه سوداغلن کمتر از حدی است که بر فعالیت این آنزیم تأثیرگذار باشد. میانگین وزنی قطر خاکدانه در منطقه سوداغلن

نتایج بررسی های رگرسیونی ویژگی های مؤثر بر آنزیم اوره- آز در مناطق مختلف در جدول (۵) نشان داده شده است. در این مدل ها ویژگی های کربن آلی، رس، هدایت الکتریکی و میانگین وزنی قطر خاکدانه وارد شده اند که کربن آلی و هدایت الکتریکی در مناطق میامی و سوداغلن عامل مشترک بوده و نشان می دهد این مناطق تأثیر مشترک بر رفتار آنزیم مورد نظر داشته اند. به طور کلی کربن آلی به دلیل دو نقش مهم افزایش فعالیت میکروبی و افزایش پایداری آنزیم در خاک باعث افزایش فعالیت اوره آز در همه مناطق شده که این نتایج با تحقیقات مشابه که در

افزایش میزان تهویه موجب بهبود وضعیت پایداری آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز در خاک می‌گردد.

بر فعالیت این آنزیم مؤثر بوده است. مطالعات Li *et al.* (2017) در کشور چین نشان داد افزایش پایداری ساختمان خاک با

جدول ۵. مشخصات مدل‌های رگرسیونی آنزیم فسفاتاز قلیایی در مناطق مختلف

منطقه	مشخصات رگرسیون	متغیرهای معادله رگرسیونی				
		ضریب ثابت	کربن آلی	pH	سیلت	فسفر
میامی	ضریب	۴۰۴/۲۰۱	۲۸۹/۱۰۰	۷/۸۹۰	-۳/۵۹۲	--
	Sig	--	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۲۹	--
	VIF	--	۱/۷۴۰	۱/۱۳۳	۱/۰۸۶	--
سوداغلن	ضریب	-۵۲۱/۵۴۰	۱۹۰۲/۶۲۴	--	--	۴۷/۱۵۳
	Sig	--	۰/۰۰۰	--	--	۰/۰۰۵
	VIF	--	۱/۲۶۳	--	--	۱/۲۶۳
حسین‌آباد	ضریب	۲۲۸۱/۳۰۰	۶۶۹/۳۵۲	--	-۸/۸۳۶	--
	Sig	--	۰/۰۰۰	--	۰/۰۲۳	--
	VIF	--	۱/۸۶	--	۱/۱۰	--

VIF: عامل تورم واریانس

بهدلیل داشتن نقش در چرخه سلولز در خاک دارد. تحقیقات مشابه در کشور ایران و چین نشان داده فعالیت این آنزیم به شدت تحت تأثیر کربن زیست‌توده میکروبی به‌عنوان بخش فعال کربن آلی خاک و نسبت این عامل به کل کربن آلی خاک قرار داشته است (Hoseini *et al.*, 2012; Xiao_chang & Qin, 2006). بنابراین با توجه به خصوصیات اقلیمی متفاوت منطقه حسین‌آباد و سوداغلن نسبت به میامی از نظر بارش و پوشش گیاهی بیشتر، ورودی بقایای تازه گیاهی افزایش یافته و فعالیت این آنزیم تحت تأثیر قرار گرفته است.

در جدول (۷) معیارهای ارزیابی مدل‌های ارائه شده در سطرهای قبل ارائه شده است. در این تحقیق از ۷۰٪ داده‌ها در مرحله توسعه و از ۳۰٪ باقیمانده جهت صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده شد. بر اساس جدول (۷) دامنه تغییرات ضرایب تعیین تعدیل‌شده در مرحله توسعه از ۵۰/۷ تا ۷۰/۴ درصد متغیر بود. به‌عبارت دیگر این مدل‌ها قادرند حداقل ۵۰٪ تغییرات آنزیمی را در خاکپیش‌بینی کنند. مقادیر RMSE و ضرایب تعیین تعدیل‌شده در مدل‌های رگرسیونی در مرحله توسعه و صحت‌سنجی بیانگر دقت نسبتاً مناسب این مدل‌هاست. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان به کمک متغیرهای اشاره‌شده در منطقه فوق فعالیت آنزیمی خاک را رصد کرد.

نتایج ارائه‌شده در جدول (۵) نشان می‌دهد ویژگی‌های pH، کربن آلی، سیلت و فسفر قابل‌جذب خاک در مناطق مختلف، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را کنترل کرده‌اند. به‌طوری‌که به‌استثنا کربن آلی که در همه مناطق مشترک بوده در منطقه میامی pH و سیلت، سوداغلن فسفر قابل‌جذب و حسین‌آباد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در مدل وارد شده‌اند. تحقیقات مختلف در ایران و سایر نقاط جهان نشان داده عوامل خاکی متعددی از جمله محتوای کربن آلی، کربن زیست‌توده میکروبی، بافت، pH و فسفر می‌تواند بر میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز خاک مؤثر باشد. در منطقه سوداغلن میزان فسفر خاک به‌عنوان یک عامل متفاوت نسبت به مناطق دیگر در افزایش این آنزیم مؤثر بود. تحقیقات نشان داده معمولاً افزایش فسفر معدنی خاک باعث کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز خاک می‌گردد (Moscatelli *et al.*, 2005; Sarikhani *et al.*, 2016; Waring *et al.*, 2014). میزان سیلت در منطقه میامی به دلیل تأثیر آن در افزایش پایداری این آنزیم در خاک موجب افزایش آن شده است.

در جدول (۶) مدل‌های رگرسیونی ارتباط فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز با ویژگی‌های خاک ارائه شده است. در این مدل‌ها ویژگی‌های کربن آلی، pH، سیلت، کربن زیست‌توده میکروبی و نسبت آن به کربن آلی خاک و همچنین پتاسیم قابل‌جذب وارد شده است. این آنزیم وابستگی زیادی به کربن آلی خاک

جدول ۶. مشخصات مدل های رگرسیونی آنزیم بتاگلوکوزیداز در مناطق مختلف

منطقه	مشخصات رگرسیون	متغیرهای معادله رگرسیونی				
		ضریب ثابت	کربن آلی	pH	سیلت	MBC
میامی	ضریب	۱۳۰۸/۵۱۶	۱۳۹۰/۲۵۸	-۱۸۴/۶۰۸	-۷/۰۲۸	--
	Sig	--	۰/۰۰۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	--
	VIF	--	۱/۱۵۳	۱/۲۵۹	۱/۱۰۴	--
سوداغلن	ضریب	۱۸۸۱/۸۴	--	--	۶/۴۴۱	۴۳۷/۰۲۲
	Sig	--	--	--	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
	VIF	--	--	--	۲/۳	۲/۳
حسین آباد	ضریب	۱۰۵۵/۷۳۹	--	--	--	۳۴۵/۸۷۰
	Sig	--	--	--	--	۰/۰۱۲
	VIF	--	--	--	--	۱/۰۲

MBC: کربن زیست توده میکروبی، MBC/OC: نسبت زیست توده میکروبی به کربن آلی

جدول ۷. معیارهای ارزیابی مدل های رگرسیونی در دوره توسعه و صحت سنجی

آنزیم	منطقه	توسعه مدل		صحت سنجی مدل	
		R ² _{adj}	RMSE	R ² _{adj}	RMSE
اوره آز	میامی	۰/۷۰۴	۵/۶۳	۰/۵۶۱	۵/۹۱
	سوداغلن	۰/۵۶۵	۳/۱۲	۰/۵۱۸	۴/۰۲
فسفاتاز قلیایی	حسین آباد	۰/۷۰۲	۲/۵۶	۰/۶۳۸	۲/۰۷
	میامی	۰/۵۰۷	۱۴/۱۹۰	۰/۴۸۱	۱۶/۷۰۴
بتا گلوکوزیداز	سوداغلن	۰/۶۱۱	۱۵/۶۶	۰/۵۸۲	۱۲/۹۷
	حسین آباد	۰/۶۳۷	۱۰/۲۵	۰/۶۵۱	۱۱/۰۹
حسین آباد	میامی	۰/۵۰۲	۱۲/۹۳	۰/۴۲۱	۱۴/۷۰
	سوداغلن	۰/۶۳۰	۹/۹۲	۰/۵۳۸	۱۲/۱۴
		۰/۵۷۱	۱۰/۸۵	۰/۵۹۲	۸/۶۴

نتیجه گیری

شده بود. عامل شوری فقط بر آنزیم اوره آز در دو منطقه مؤثر بود که زنگ خطری برای کاهش کارآیی جذب کود اوره توسط محصولات کشاورزی به عنوان مهمترین منبع کودهای نیتروژنی است. این موضوع نشان می دهد احتمالاً این آنزیم به شوری حساسیت بیشتری نسبت به دو آنزیم دیگر داشته و برای بررسی های کیفی خاک در مناطق نیمه خشک از نظر جنبه های زیستی و حاصلخیزی مناسب تر است. آنزیم بتاگلوکوزیداز بیشترین ضریب تغییرات را در اراضی شهرستان داشت. این آنزیم بیشتر تحت تأثیر عوامل مربوط به مواد آلی خاک مثل کربن آلی کل و کربن زیست توده میکروبی است که می تواند بیان کننده حساسیت بیشتر این آنزیم به عوامل مدیریتی و اقلیمی مؤثر بر چرخه کربن خاک باشد که از مهمترین شاخص های بررسی کیفیت خاک خصوصاً در اراضی تغییر کاربری شده به کشاورزی است. در مجموع نتایج این تحقیق می تواند با فهم بهتر از پیش بینی روند

نتایج این تحقیق که یک بررسی موردی بوده، نشان داد فعالیت های آنزیمی خاک دارای حساسیت های قابل توجه و متفاوتی در برابر شرایط مختلف شیمیایی و فیزیکی خاک تحت تأثیر خصوصیات اقلیمی و مدیریتی است. این یافته ها نشان داد با توجه به ضریب تغییرات زیاد فعالیت آنزیمی در مناطق مختلف، این ویژگی می تواند به عنوان یک شاخص مهم و کاربردی در بررسی های کیفیت خاک مورد توجه قرار گیرد. نحوه فعالیت های آنزیمی خاک در سه منطقه فوق متفاوت بوده و عوامل خاکی مختلفی در هر منطقه، آنزیم خاصی را کنترل می کردند. مهم ترین ویژگی های خاک مؤثر بر فعالیت آنزیمی در مناطق شمالی شهرستان به ترتیب اولویت کربن آلی، بافت، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر و پتاسیم و در مناطق جنوبی کربن آلی، هدایت الکتریکی و pH بود. کربن آلی مهم ترین عامل مؤثر بر فعالیت همه آنزیم های بررسی

مدیریتی خاک مثل مدیریت کودی و در زمینه تخریب یا احیا
اراضی در سیستم‌های فعلی کشت منطقه کمک کند.

تغییرات آنزیمی خاک با استفاده از اندازه‌گیری سایر خصوصیات
شیمیایی و فیزیکی خاک در جهت دادن به تصمیمات صحیح

REFERENCES

- Abasian, A., Golchin, A. and Sheklabadi, M. (2014) Influence of soil type and sampling depth on soil biological properties and enzymatic activities. *Journal of Soil Biology*. 2(2): 11-124. (In Farsi)
- Bardgett, R. D. and vanderPutten, W. H. (2014) Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515: 505-511.
- Blake, G. R. and Hart age, K. H. (1986) Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part1: physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. Agronomy Monograph. 9: 363-382.
- Creamer, R.E., Hannula, S.E., Leeuwen, J.P.V., Stone, D., Rutgers, M.,Schmelz, R.M. et al. (2016) Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe. *Applied Soil Ecology*, 97: 112-124.
- Hashemi, M., Gholamalizadeh Ahangar, M., Bameri, A., Sarani, F. and Hejazizadeh, A. (2016) Survey and Zoning of Soil Physical and Chemical Properties Using Geostatistical Methods in GIS (Case Study: Miankangi Region in Sistan). *Journal of Water and Soil*. 30(2):443-458. (In Farsi)
- Hendriksen, B.N., Creamer, R.E., Stone, D., Winding, A. (2015) Soil exo-enzyme activities across Europe—the influence of climate, land-use and soil properties. *Applied Soil Ecology* 97: 44-48.
- Hoseini, M. A., Haghnia, G.H., Lakzian, A. and Emami, H. (2012) The influence of barley (*Hordeum vulgare L.*) residue managements on the β -glucosidase activity in soil. *Journal of Agroecology*.4(1): 74-82. (In Farsi)
- Jenkinson, D. S., Brookes, P. C. and Powelson, D. S. (2004) Measuring soil microbial biomass. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*. 36: 5-7.
- Kandeler, E., Eder, G. and Sobotik, M. (1994) Microbial biomass, N mineralization, and the activities of various enzymes in relation to nitrate leaching and root distribution in a slurry-amended grassland. *Journal of Biology and Fertility of Soils*. 18: 7-12.
- Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. (1986) Aggregate stability and size distribution. In: Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America, Madison, WI: 425-442.
- Li, Q., Liang, J.H., He, Y.Y., Hu, Q.J., Yu, S.(2014) Effect of land use on soil enzyme activities at karst area in Nanchuan, Chongqing, Southwest China. *Plant Soil Environ*. 1: 15-20.
- Li, W., Liu, T., Jiang, M., Wu, CY., Chen, M., Ma, X. F. and Li, X. Y. (2017) Changes in soil aggregate-associated enzyme activities and nutrients under long-term chemical fertilizer applications in a phosphorus-limited paddy soil. *Soil Use Manage*. 33(1):25-33.
- Liu, X. M., Li, Q., Liang, W. J. and Jiang, Y. (2008) Distribution of soil enzyme activities and microbial biomass along a latitudinal gradient in farmlands of Songliao plain, northeast China. *Pedosphere Journal*. 18: 431-440.
- Moscatelli M. C., Lagomarsino, A., De Angelis, O. and Grego, S. (2005) Seasonality of soil biological properties in a poplar plantation growing under elevated atmospheric CO₂. *Apply Soil Ecology*, 30:162-173.
- Olsen, S. R. and Sommers, L. (1982). Phosphorus. In: AL. Page: *Methods of soil analysis*, Agron. No. 9, Part2: Chemical and microbiological properties, (ed.) American Society Agronomy, Madison, WI, USA. 403-430.
- Page, A. L., Miller, R. H and. Keeney, D. R. (1982) *Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B. and Méndez, A. (2012) Soil biochemical activities and the geometric mean of soil enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biology and Fertility of Soils*. 48: 511-517.
- Paz-Ferreiro, J., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., Seoane, S. and Gil-Sotres, F. (2011) Intra-annual variation in biochemical properties and the biochemical equilibrium of different grassland soils under contrasting management and climate. *Biology and Fertility of Soil*, 47: 633-645.
- Paz-Ferreiro, J., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., Seoane, S. and Gil-Sotres, F. (2010) Effect of management and climate on biochemical properties of grassland soils from Galicia (NW Spain). *European Journal of Soil Biology*. 46: 101-108.
- Philippot, L., Spor, A., Henault, C., Bru, D., Bizouard, F. and Jones, C.M. (2013) Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. *ISME Journal*. 7: 1609-1619.
- Reed, H. E. and Martiny, J. B. H. (2007) Testing the functional significance of microbial composition in natural communities. *FEMS Microbiology Ecology*. 62: 161-170.
- Rutgers, M., Wouterse, M., Drost, S. M., Breure, A. M., Mulder, C., Stone, D., et al. (2016) Monitoring soil bacteria with community-level physiological profiles using Biolog ECO-plates in the Netherlands and Europe. *Appl. Soil Ecol*. 97: 23-35.
- Sarikhani, M. R., Chalabianlu, N. and Alavikia, S. S. (2016) Distribution of Phosphate Solubilizing Bacteria and Soil Phosphatase Activity in Different Land Uses. *Journal of Water and Soil* . 29(6): 1662-1673. (In Farsi)

- Sinsabaugh, R. L., Zak, D. R., Gallo, M., Lauber, C. and Amonette, R. (2004) Nitrogen deposition and dissolved organic carbon production in northern temperate forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1509–1515.
- Tabatabai, M. A. (1994) Method of Soil analysis. Part 2_Microbiological and Biochemical Properties. SSSA Book, Series No.5. Soil Science Society America, Madison, WI: 775-803.
- Tajik, S., Ayoubi, Sh. and Nourbakhsh, F. (2012) Prediction Soil Enzyme Activity by the Use of Soil and Topographic Characteristics in Hilly Region of Semiroum District, Isfahan Province. *Journal of Water and Soil*, 26(3): 753-761. (In Farsi)
- Vasconcellos, R.L., Segat, J.C., Bonfim, J. A., Baretta, D. and Cardoso, E.J. (2013) Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *Eur. J. Soil Biol.* 58: 105–112.
- Waring, B. G., Weintraub, S. R. and Sinsabaugh, R. L. (2014) Ecoenzymatic stoichiometry of microbial nutrient acquisition in tropical soils. *Biogeochemistry*, 117: 101-113.
- Wilding, L. P. (1985) Spatial variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil survey. Pp. 166-194. In: Nielsen DR, and Bouma J (eds.). *Soil Spatial Variability*, Wageningen, the Netherlands.
- Xiao-Chang, W. and Qin, L. (2006) Beta-glucosidase activity in paddy soils of the Taihu lake region, China. *Pedosphere*, 16: 118-124.
- Xu, Z., Yu, G., Zhang, X., He, N., Wang, Q., Wang, S., Wang, R., Zhao, N., Jia, Y. and Wang, C. (2017) Soil enzyme activity and stoichiometry in forest ecosystems along the North-South Transect in eastern China (NSTEC). *Soil Biology and Biochemistry*, 104: 152–163.