نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۶،ص.۱۲۳۱-۱۲۱۵

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 4, Sept.-Oct.2017, p. 1215-1231

بررسی پراکنش مکانی شاخص‌های بیولوژیک کیفیت خاک در مزارع گندم دشت پاسارگاد

وحید اله جهاندیده مهجن آبادی[۱]–علیداد کرمی[۲*]– سید روح الله موسوی[۳]–هادی اسدی رحمانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۸

چکیده

کیفیت خاک ابزاری کارآمد برای ارزیابی عملکردخاک و تغییرات ناشی از مدیریت بر خاک می‌باشد. برای ارزیابی کیفیت خاک و تغییرات آنها از شاخص‌هایی بیولوژیک استفاده می‌شود. این پروژه به‌منظورارزیابی برخی از ویژگی‌های بیولوژیک خاک در دشت پاسارگاد به‌وسعت حدود ۱۲۰۰ هکتار اجرا شد. بدین منظور پس از بررسی نقشه اولیه دشت پاسارگاد، نقاط نمونه‌برداری به‌صورت شبکه‌بندی منظم و با فاصله ۵۰۰ متر تعیین گردید و تعداد ۶۰ نمونه از عمق سطحی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری شد.در بیشتر موارد ویژگی‌های مورد مطالعه دامنهٔ تغییرات زیادی داشتند. بر پایهٔ ضریب تغییرات، pH کمترین و تنفس ویژه بیشترین تغییرات را داشت. همبستگی خطی معنی‌داری بین ویژگی‌های خاک وجود داشت. همچنین، کریجینگ، بهترین میان‌یاب برای واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربن آلی، کربن توده زنده میکروبی، آنزیم اوره‌آز، تنفس ویژه و نسبت کربن توده میکروبی به کربن آلی بود. روش وزن‌دهی عکس فاصله برای آنزیم فسفاتاز قلیایی و کوکرجینگ برای تنفس پایه خاک به‌عنوان بهترین روش انتخاب گردید. مقدار واکنش خاک از شمال به جنوب افزوده شد اما مقدار هدایت الکتریکی و کربن آلی عکس مقدار واکنش خاک بود. بیشترین مقادیر تنفس میکروبی و آنزیم اوره‌آز به ترتیب در جنوب و شرق مشاهده گردیدند. مقدار آنزیم فسفاتاز قلیایی در دشت به‌صورت پراکنده بود و مساحت گسترده‌ای از دشت مقادیری بین ۲۷۵-۲۱۵ µgPNP/g.hr را داشت. بیشترین مقدار کربن توده زنده میکروبی و نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی و کمترین مقدار تنفس ویژه در غرب مشاهده گردید. نتایج این تحقیق در بهبود برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای جهت مدیریت پایدار خاک کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی:تغییرات ویژگی‌های بیولوژیکی، زمین‌آمار، کیفیت خاک

مقدمه

پیش‌بینی دو برابر شدن جمعیت کنونی دنیا در ۵۰ سال آینده سبب شده تا بسیاری از کشورها سوالات مهمی برای آینده خاک‌های کره زمین مطرح نمایند (۴۱). چگونگی افزایش تولید غذا به دو برابر میزان کنونی در طی چند دهه، تأثیر انسان بر روی خاک و برهمکنش خاک با پیرامونش از جمله این پرسش‌هاست (۲۵). اما متأسفانه شیوه کنونی بهره‌برداری از خاک در اراضی کشاورزی و به‌ویژه گندم که در راستای برطرف نمودن نیازهای جمعیت روزافزون بشر صورت می‌گیرد، مدیریت این منابع تولیدی ارزشمند را با بحران جدی روبرو نموده است.

تأمین بیشتر این نیازمندی‌ها در قالب گسترش کشت متراکم و چند نوبت در سال، کاربرد بیش از حد متعارف نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی و کشت ارقام جدید زراعی موجب فشار بیشتر به منابع اراضی و از جمله خاک شده است.

به دلیل این‌که این فعالیت‌ها عمدتاً بدون شناخت کافی از محیط خاک و در طول سالیان متمادی انجام گرفته است، باعث کاهش تدریجی کیفیت خاک در اراضی کشاورزی و به‌دنبال آن اختلال و کاهش توانایی خاک در حمایت از فرآیند تولید غذا شده است (۳۳).

در مقابل، از اهداف مدیریت بهینه و استفاده پایدار از اراضی کشاورزی، شناسایی مدیریت‌های است که از یک سو باعث ارتقاء کمی و کیفی تولید در طولانی‌مدت گردند و از سوی دیگر، باعث حفظ کیفیت خاک شده و منجر به تخریب اراضی نشوند (۳۳). ناگزیر هرگونه چاره‌اندیشی در قبال رودررویی با این خطر رو به رشد نیازمند

۱- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۲- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(*- نویسنده مسئول:Email: ad.karami@areeo.ac.ir)
۳- دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴- دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v31i4.60472

شناخت واقع‌بینانه‌تر از سامانه خاک و رعایت اصول پایداری متعادل آن در چارچوب یک اکوسیستم طبیعی و به‌طور کلی انجام پایش وضعیت کیفیت خاک می‌باشد. بدیهی است با کنترل کیفیت خاک می‌توان تأثیر شیوه مدیریت خاک را مورد ارزیابی قرار داد. ارزیابی کیفیت خاک به عنوان یک ابزار در گزینش شیوه‌های مدیریتی ویژه نقش بسیار مهمی داشته و معیاری برای سنجش کشاورزی پایدار می‌باشد (۳۲).

توانایی دائم خاک در انجام وظایف خود به‌عنوان یک سیستم حیاتی زنده در داخل اکوسیستم و تحت کاربری‌های متفاوت، به‌طوری که علاوه بر حفظ تولید بیولوژیک بتواند کیفیت آب و هوا را بهبود بخشد و نیز تأمین‌کننده سلامت انسان، گیاه و حیوان باشد، کیفیت خاک نامیده می‌شود. کیفیت خاک را نمی‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد، بلکه با اندازه‌گیری چندین شاخص می‌توان برآورد قابل قبولی از آن داشت. به‌منظور بررسی وضعیت کیفیت خاک بایستی از شاخص‌های معرف کیفیت پویای خاک بهره‌گیری نمود، به عبارت دیگر برای ارزیابی کیفیت خاک باید شاخص‌هایی را گزینش نمود که دارای حساسیت کافی نسبت به تغییرات و اعمال مدیریت‌های مختلف بوده و با وظایف اساسی و مهم خاکمرتبط باشند (۵). برای این منظور شاخص‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در خاک اندازه‌گیری می‌شوند.

به‌دلیل واکنش سریع بخش بیولوژیک خاک در برابر مدیریت اراضی و تغییرات محیطی، بررسی وضعیت زیستی خاک در تخمین کیفیت خاک اراضی کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است (۳۵). مطالعات نشان می‌دهد که شاخص‌های بیولوژیک می‌توانند به‌عنوان اولین شاخص‌هایی باشند که برای تغییراتی که در اثر روش‌های مدیریتی و همچنین تغییرات اقلیمی در ویژگی‌های خاک روی می‌دهد محسوب شوند (۲۸). رنلا و همکاران (۲۳) دریافتند که خصوصیات بیولوژیکی خاک به دلیل اینکه ارتباط تئوریکی با چرخه عناصر غذایی در خاک دارند بهترین شاخص‌های مهم کیفیت خاک هستند. این شاخص‌ها شامل تنفس و توده زنده میکروبی، معدنی شدن نیتروژن در خاک و به ویژه فعالیت آنزیمی خاک که سهم مهم در توانایی خاک برای تجزیه مواد آلی خاک دارد، می‌باشند. تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیب جامعه میکروبی خاک، توانایی خاک را برای تولید آنزیم تعیین می‌کند، بنابراین هرگونه تغییر در جامعه میکروبی خاک بر اثر تغییر فاکتورهای محیطی می‌تواند سنتز و فعالیت آنزیمی خاک را تغییر دهد. امروزه اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی خاک به‌عنوان شاخص مهم باروری و حاصلخیزی خاک و بنابراین شاخص مهم کیفیت خاک محسوب می‌شود (۱۰).

جامعه میکروبی خاک به‌عنوان قسمت فعال کربن آلی خاک بسیار بهتر از کل مواد آلی به تغییر مدیریت واکنش نشان می‌دهد (۴). در شرایط طبیعی کربن توده زنده میکروبی خاک ۵-۱ درصد از کربن آلی خاک را شامل می‌شود (۳ و ۲۹). تغییر در این نسبت در اثر افزوده شدن مواد آلی تازه به خاک، هدررفت و یا تثبیت کربن آلی به وسیله قسمت معدنی خاک می‌باشد (۲۹). آندرسون (۳) معتقد است که خاک‌هایی با نسبت کمتر از ۲ در ناحیه بحرانی قرار دارند. افزایش نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی خاک نسبت مستقیمی با کیفیت مواد افزوده شده به خاک دارد و این نسبت در مناطقی که افزوده شدن مواد آلی تازه کم باشد، کاهش یافته و فراوانی مواد آلی سخت تجزیه شونده در خاک افزایش می‌یابد (۳ و ۴).

نکته مهم در راستای ارزیابی ویژگی‌های بیولوژیک خاک به‌دست آوردن اطلاعات پایه از منطقه مورد نظر می‌باشد که می‌تواند از طریق علم زمین‌آمار محقق گردد. ویژگی‌های خاک به طور ذاتی در طبیعت به دلیل عوامل خاکسازی (مواد مادری، پوشش گیاهی، آب و هوا) تغییرپذیر بوده ولی ناهمگونی می‌تواند با مدیریت کشاورز نیز تحریک شود (۳۹). شناخت تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک برای مدیریت اراضی کشاورزی، میانیابی و طراحی نمونه‌برداری خاک مهم بوده ولی به مقادیر قابل ملاحظه‌ای از داده‌های زمین-مرجع نیاز دارد.

در این راستا مطالعات زیادی به بررسی وابستگی و تغییرات مکانی خصوصیات خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار پرداخته‌اند که برخی از آنها در نهایت به تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی خصوصیات مورد مطالعه انجامیده است. به منظور برآورد کیفیت خاک مزرعه گندم نمایه‌های کیفیت شامل کربن آلی، pH، EC، تنفس میکربی، کربن توده میکروبی، کسر متابولیک یا تنفس ویژه و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز در جنوب شرقی ایالت واشنگتن آمریکا از روش زمین‌آماری کریجینگ استفاده و بیان شده است که این روش دارای دقت قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. در این پژوهش نهایتاً نسبت به پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفیت خاک در محیط GIS اقدام گردیده و نشان داده شده که به‌منظور سنجش دقیق کیفیت خاک توزیع مکانی، شرایط خاک و فاکتورهای کنترلی دیگر باید مورد توجه قرار گیرد (۱۳).

با توجه به اهمیت و نقش منحصر به فرد ویژگی‌های بیولوژیک خاک در مطالعه تغییرات کیفیت خاک، این پروژه در دشت پاسارگاد با اهداف الف- ارزیابی و تحلیلتغییرپذیری مکانی ویژگی‌های بیولوژیک خاک در اراضی تحت کشت گندم دشت پاسارگاد به‌عنوان عواملی از جنبه‌های مهم شناخت تخریب و یا بهبود شرایط خاک، ب- مقایسهٔ روش‌های مختلف زمین‌آماری در برآورد ویژگی‌های بیولوژیک خاک، ج- تهیهٔ نقشهٔ پراکنش مکانی ویژگی‌های بیولوژیک خاک و د- بررسی محدودیت‌ها، پتانسیل‌ها و ارائه راه‌کارهای مناسب به‌منظور استفادهٔ پایدار از اراضی مورد مطالعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این پژوهش به‌منظور تخمین و تعیین پراکندگی مکانی و ارزیابی ویژگی‌های بیولوژیک کیفیت خاک جهت مدیریت و بهره‌برداری بهینه از اراضی کشاورزی گندم در دشت پاسارگاد انجام شد. وسعت منطقه موررد مطالعه در این دشت حدود ۱۲۰۰ هکتاربود. منطقهٔ پاسارگاد از نظر آب هوایی دارای اقلیم نیمه خشک است. از پرباران‌ترین ماه‌های سال، آذر، دی، بهمن و کم باران‌ترین ماه‌ها، خرداد، تیر و شهریور ماه می‌باشند. متوسط بارندگی نوزده سالهٔ این ایستگاه ۳۴۸/۱ میلی‌متر برآورد شده است. میانگین دمای منطقه طی دوره پانزده ساله، ۱۲/۵ درجهٔ سانتیگراد بوده که حداکثر مطلق دما ۴۲ درجه و مربوط به تیر ماه ۱۳۷۷ و حداقل مطلق، ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد و مربوط به دی‌ماه ۱۳۷۴ می‌باشد. میانگین تبخیر، طی دوره هفده ساله ۱۸۳۰ میلی‌متر برآورد شده که حداکثر آن ۲۰۸۲ میلی‌متر در سال ۶۶ – ۶۵ وحداقلآن ۱۴۸۹ میلی‌متر و مربوط به سال ۷۱ – ۷۰ است.

روش نمونه‌برداری

از آنجاییکه که روش نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم، معمول‌ترین شیوه در مطالعات زمین‌آماری می‌باشد (۱۹)، بنابراین به‌منظور اجرای این الگو با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه مورد نظر و گوگل ارث[1] موقعیت نمونه‌ها در قالب یک شبکه تقریباً منظم روی نقشه با ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر بر روی محدوده‌ی مطالعاتی اعمال شد و بدین ترتیب مختصات جغرافیایی۶۰ نقطه‌ی مشاهداتی به‌دست آمد (شکل ۱). سپس با توجه به موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری روی نقشه و تعیین موقعیت جغرافیایی آنها با استفاده از GPS بر روی زمین، نمونه‌ها از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شدند.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هواخشک گردید و به منظور آزمایش‌های بعدی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. واکنش خاک در گل اشباع با دستگاه پی‌اچ‌متر (۳۱)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (۲۴) و میزان ماده‌ی آلی به روش اکسیداسیون تر (۳۷) اندازه‌گیری گردیدند.

شدت تنفس میکروبی یا پایه خاک[2] با استفاده از ظروف سربسته و به روش تیتراسیون برگشتی با سود باقی‌مانده (۲)، کربن توده زنده میکروبی[3] به روش انکوباسیون نمونه تدخین شده با کلروفرم (۳۴)، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اوره‌آزبا استفاده از واکنش آنزیم سوبسترا و به‌دست آوردن محصول (۳۰) اندازه‌گیری و نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی (۴) و کسر متابولیکی[4] یا تنفس ویژه[5] (۲) محاسبه شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

توصیفآماریداده‌ها

قبل از هرگونه تجزیه و تحلیل آماری، منظم کردن داده‌ها و ارایه‌ی یک خلاصه‌ی آماری از توزیع داده‌ها ضروری است. در این پژوهش، پارامترهای آماری (شامل بیشینه، کمینه، میانگین، چولگی، کشیدگی، واریانس و ضریب تغییرات داده‌ها) با استفاده از نرم‌افزار SPSSمحاسبه و ارزیابی شدند. هم‌چنین، توزیع داده‌ها به دو روش هیستوگرام و بررسی چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از تبدیل لگاریتمی و یا ریشه‌ی دوم استفاده شد.

تجزیه و تحلیل زمین‌آماری

به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم‌تغییرنمای تجربی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار زمین‌آماری GS+ محاسبه شد. در روش زمین‌آمار، نخست تغییرات مکانی ویژگی مورد مطالعه در قالب یک متغیر ناحیه‌ای مانند$Z(x)$به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$Z(x)=m(x)+\varepsilon(x) \qquad (۱)$$

که در آن$m(x)$روند و تغییرات ساختاری را نشان داده و $\varepsilon(x)$مؤلفهٔ تصادفی است.

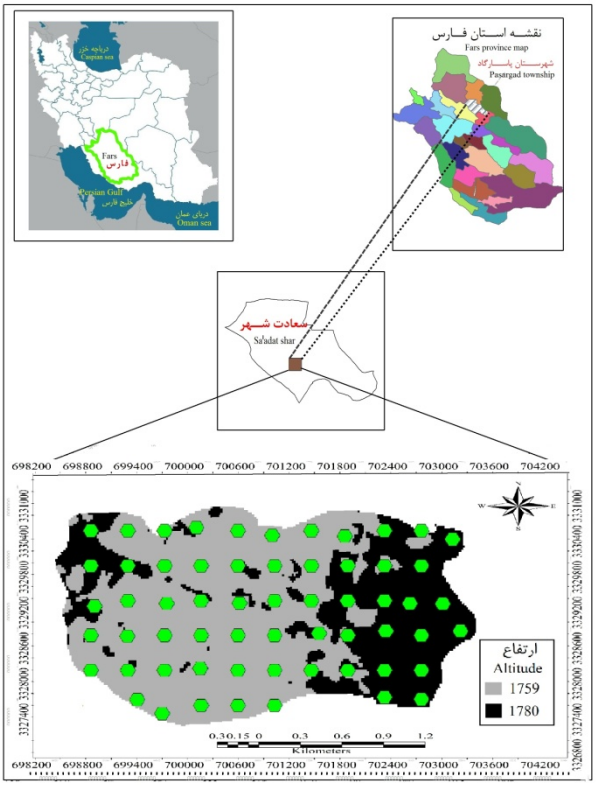
برای آنالیز زمین‌آماری با فرض برقراری فرضیات پایا یعنی هم تفاوت‌ها ثابت باشد و هم واریانس تفاوت‌ها ثابت باشد (یعنی ساختار و تغییرات همگن بوده و اختلاف مقادیر یک متغیّر ناحیه‌ای در نقاط مختلف با یکدیگر صرفاً تابعی از فاصلهٔ بین آن‌ها باشد)، مقدار واریوگرام با استفاده از داده‌های حاصل شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(Xi)-Z(Xi+h)]^2 \qquad (۲)$$

که $N(h)$ تعداد جفت نمونه با فاصلهٔ h به عنوان فواصل و $Z(Xi)$ و $Z(Xi+h)$مقادیر متغیّر در هر دو مکان مجزا با فاصلهٔ h است. نیم-تغییرنما از رسم نیم‌واریانس‌ها در مقابل فاصله به دست آمد. مدل‌های نظری بر نیم‌تغییرنمای تجربی برازش داده شد و پارامترهای اثر قطعه‌ای (C_0) آستانه ($C+C_0$) و محدودهٔ وابستگی مکانی (A_0) محاسبه شد.

1- Google Earth
2-Basal Respiration
3- Microbial Biomass Carbon

4- Metabolic Quotient
5- Special Breathing (qCO2)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

Figure 1-Location of study area and sampling points

با استفاده از واریوگرام، حدآستانه (فاصله‌ای که مقدار واریوگرام به مقدار واریانس مشاهداتی نزدیک می‌شود)، دامنهٔ تأثیر (فاصله‌ای که در ماورای آن نمونه‌ها بر هم تأثیری ندارند یا حد مجاز نمونه‌برداری)و اثر قطعه‌ای (خطاهای اندازه‌گیری، آزمایشگاهی و تغییرات غیرقابل پیش‌بینی) تعیین شد. از کریجینگ به‌عنوان بهترین تخمین‌گر خطی ناریب، که براساس منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است، به‌صورت زیر استفاده شد (۲۲):

$$Z^*(x_o)=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i Z(x_i) \qquad (۳)$$

که در آن Z^* تابع خطی از سری مقادیری از Z است که قبلاً در N نقطه، غیر از x_i اندازه‌گیری شده است، λ_iفاکتور میانگین وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه‌ی iام و $Z(x_i)$عیار نمونه‌ی iام می‌باشد. به بیان دیگر: $Z^*(Xi)$ مقدار برآورد شده، λi مقدار وزن‌های نقاط مورد مشاهده، $Z(Xi)$ مقدار مشاهده شده در اطراف نقطهٔ مورد نظر، n تعداد نقاط اندازه گرفته شده و Xiموقعیت نقاط مشاهده شده است.

برای تعیین کارآیی یک مدل و دقت آن، باید تعیین نمود که مقادیر برآورد شده به وسیلهٔ مدل تا چه اندازه به مقادیر مشاهده‌ای نزدیک است. به عبارت ساده‌تر چه میزان اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی وجود دارد. روش‌ها و آماره‌های موجود با بررسی و تجزیه و تحلیل این خطاها، میزان و کارآیی یک مدل را محاسبه می‌نمایند. یکی از شاخص‌های آماری که برای ارزیابی مدل‌ها از آن استفاده می‌شود، ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد.

شاخص‌های کمّی دیگری مانند آماره‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا[1]($RMSE$)و ضریب تبیین (R^2) وجود دارد که می‌توان در برآورد دقت مدل از آن‌ها استفاده نمود (۱۵). کمترین مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا برابر صفر است و مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا نشان دهندهٔ بیش‌برآورد یا کم‌برآورد است.

ضمن تعیین بهترین مدل برای برازش به نیم‌تغییرنمای تجربی، از روش‌های میان‌یابی وزن دادن عکس فاصله (IDW)، کریجینگ و کوکریجینگ به منظور بیان تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، استفاده شد.

برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها و برآوردهای زمین‌آماری، آماره‌های

1- Root Mean Square Error

میانگین مطلق خطاها[1] (MAE)، میانگین اریبی خطاها[2] (MBE)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (۳۷):

$$MAE = \frac{1}{2}\sum_{x=1}^{n}\left|\hat{z}(x) - z(x)\right| \qquad (۴)$$

$$MBE = \frac{1}{2}\sum_{x=1}^{n}[\hat{z}(x) - z(x)] \qquad (۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \qquad (۶)$$

که در آنها nتعداد نمونه‌ها، $\hat{z}(x)$ و مقدار برآورد شده پارامتر و $Z(x)$و y_iمقدار اندازه‌گیری شده پارامتر می‌باشند. مقادیر MAEو MBEمقدار اریبی را نشان می‌دهند و در حالت ایده‌آل بایستی برابر صفر باشند. مقادیر مثبت یا منفی آمارها به ترتیب نشان دهندهٔ بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی از مقدار واقعی است.

همانطور که در آمار کلاسیک روش‌های چندمتغیره وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان از روش کوکریجینگ و بر اساس همبستگی بین متغیّرهای مختلف، برای برآورد استفاده کرد.در کوکریجینگ از تابع نیم‌تغییرنمای دوجانبهٔ تجربی $[\gamma_{ij}(h)]$ برای توصیف همبستگی مکانی استفاده می‌شود (۱۷).

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left\{[Z_i(x_{k+h}) - Z_i(x_k)][Z_j(x_{k+h}) - Z_j(x_k)]\right\} \qquad (۷)$$

که در آن $N(h)$ تعداد جفت نمونهٔ به‌کار رفته در محاسبه، Z_i و Z_j به ترتیب مقدار متغیّرهای اصلی و همراه در موقعیّت‌های مکانی x_kو x_{k+h} هستند. پس از محاسبهٔ نیم‌تغییرنمای دوجانبه، مدل‌های نیم-تغییرنما بر آن برازش داده شد. از مولفه‌های نیم‌تغییرنما برای برآورد مقدار متغیّر اصلی در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده شد (۱۹):

$$\hat{Z}_u(x_\circ) = \sum_{v=1}^{V}\sum_{i=1}^{n}\lambda_{iv}Z(x_{iv}) \qquad (۸)$$

که در آن Uمتغیّر اصلی، Vمتغیّر همراه و λ_{iv} وزن تعلق گرفته به هر مشاهده برای متغیّر همراه، $Z(x_{iv})$مقدار متغیّر همراه اندازه-گیری شده در موقعیّت x_i و $\hat{Z}_{u(x_\circ)}$ مقدار متغیّر اصلی برآورد شده در موقعیّت نمونه‌برداری نشده $x_\circ$ است.

در روشوزن دان عکس فاصله[3] برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر گرفته می‌شود. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آنها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند.

پایهٔ روشوزن دان عکس فاصل، وزن‌دهی بر اساس عکس فاصله تا نقطهٔ تخمین است. به عبارت دیگر، وزن‌دهی بیشتر به نزدیکترین نمونه‌ها و اختصاص وزن کمتر به نمونه‌هایی است که در فاصلهٔ بیشتر قرار گرفته‌اند. در این روش مقدار متغیّر در نقاط نمونه‌برداری نشده از رابطهٔ زیر مشخص شد.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{Z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{d_i^m}} \qquad (۹)$$

که در آن Z مقدار برآورد متغیّر در نقطهٔ نمونه‌برداری نشده، d_i فاصلهٔ نقطهٔ نمونه‌برداری شده تا نقطهٔ تخمین، N تعداد کل نمونه‌ها و m پارامتر توان فاصله است که تغییرات آن سبب قابلیت انعطاف روش روشوزن دان عکس فاصله می‌شود.

بنابراین با انجام محاسبات و تعیین بهترین مدل زمین‌آماری و تعیین بهترین روش میان‌یابی، پراکنش مکانی ویژگی‌ها تعیین و با سطوح مناسب، نقشهٔ پهنه‌بندی شاخص‌های بیولوژیک خاک ترسیم گردید. نقشهٔ مزبور به صورت ترکیب چندطیفی تهیه شد که محدوده‌های ویژگی‌های تعیین شده و روند تغییرات آنها در منطقه بررسی و صحت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های آماری

اکثر تحلیل‌های زمین‌آماری بر مبنای نرمال بودن توزیع داده‌ها استوار است و تحلیل‌هایی که از داده‌هایی با توزیع نرمال استفاده شوند کارآیی بیشتری دارند (۳۸). چنان‌چه متغیر مزبور دارای چولگی و کشیدگی به‌ترتیب خارج از محدوده‌ی ۱- تا ۱ و ۳- و ۳ باشد،واریانس‌های آن دارای اعتبار کم‌تری خواهند بود (۲۶). نتایج چولگی و کشیدگی در جدول ۱ نشان داد که تمام ویژگی‌های خاکی دارای توزیع فراوانی نرمال بودند و فقط قابلیت هدایت الکتریکی و تنفس ویژه از توزیع نرمال برخوردار نبودند. بنابراین برای نرمال‌سازی ویژگی‌های مزبور از تبدیل لوگ نرمال استفاده شد.

باتوجه به اطلاعات ارایه شده در این جدول ۱، شوری منطقه کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود و می‌توان گفت که خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی غیر شور می‌باشند. کلاس تغییرپذیری ضریب تغییرات بر اساس معیار ارائه شده به‌وسیله ویلدینگ (۴۰) بدین صورت بدست آمده است که اگر ضریب تغییرات کمتر از ۱۵ درصد باشد در کلاس تغییرپذیری کم و اگر ضریب تغییرات بین ۱۵ تا ۳۵ درصد

1- Mean Absolute Error
2- Mean Bias Error
3-Inverse Distance Weight

باشد در کلاس تغییرپذیری متوسط و اگر ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵ درصد باشد در کلاس تغییرپذیری زیاد قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج جدول ۱، زیاد بودن ضریب تغییرپذیری بیش‌تر از ۳۵ درصد در سطح خاک برای کربن توده زنده میکروبی و تنفس ویژه، احتمالاً به‌دلیل عوامل انسانی نظیر عملیات خاک‌ورزی و استفاده از کوددهی می‌باشد که باعث تغییر در یکنواختی سطح خاک می‌شود(۴۰). جدول ۱ نشان می‌دهد که pHکم‌ترین درصد ضریب تغییرات (۳/۹۹) را بین سایر ویژگی‌ها به خود اختصاص داده است که آن می‌تواند به علت پایداری بیشتر این ویژگی و بافری بودن خاک باشد. یثربی و همکاران (۴۳) نیز ضریب تغییرات واکنش خاکرا به‌عنوان کم‌ترین ضریب تغییرات در بین ویژگی‌های خاک در جنوب ایران گزارش کرده‌اند. نتایج به‌دست آمده، نشان می‌دهد که واکنش خاک منطقه‌ی مورد مطالعه، در محدوده‌ی قلیایی می‌باشد.

جدول ۱-ویژگی‌های آماری متغیّرهای اندازه‌گیری شده در دشت پاسارگاد

Table 1- The statistical properties of measured variables in Pasargad plain

متغیّر Variable	واحد Unit	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Average	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
واکنش خاک (pH)	-	7.0	8.4	7.92	3.99	-0.67	-0.09
قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	(dS/m)	0.51	1.74	0.929	29.14	1.21	1.30
کربن آلی (OC)	(%)	0.79	1.38	1.08	12.46	0.26	-0.55
تنفس میکروبی (BR)	(mg CO_2/kg soil.day)	39.6	91.2	58.8	20.3	0.7	0.09
کربن توده زنده میکروبی (MBC)	(mg Cmin/kg soil)	59.21	473.6	245.7	42.56	0.20	-0.64
فعالیت آنزیم اوره‌آز (Urease)	mg N-NH_4+/kg) (soil. 2hr	56.45	264.1	162.5	27.05	-.03	-0.25
فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (Alkaline phosphatase)	(µg PNP/g.hr)	123.09	383.1	230.9	25	0.6	-0.01
تنفس ویژه (qCO_2)	(mg CO_2/gCmin.hr)	1.16	9.69	3.46	62.14	1.52	1.6
نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی (MBC/OC)	-	0.46	4.78	2.31	44.73	0.36	-0.32

جدول ۲- ضریب همبستگی ساده بین متغیّرهای خاکی اندازه‌گیری شده در دشت پاسارگاد

Table 2- Simple correlation coefficient between measured variables in Pasargad plain

	pH (1)	EC (2)	OC (3)	BR (4)	MBC (5)	Urease (6)	Alkaline phosphatase (7)	qCO_2 (8)	MBC/OC (9)
1	1								
2	-0.6**	1							
3	-0.29*	0.13	1						
4	-0.23	0.003	0.35**	1					
5	0.33	-0.14	-0.06	-0.09	1				
6	-0.07	0.07	0.37**	0.01	0.05	1			
7	-0.14	-0.01	0.55**	0.25*	0.11	0.42**	1		
8	-0.23	0.1	0.18	0.36**	-0.82**	-0.09	-0.05	1	
9	-0.39**	-0.01	-0.31*	-0.17	0.96**	-0.04	-0.02	-0.81**	1

** و *:به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

** and * are insignificant and significant at 1 and 5 percent, repectively.

ارزیابی همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شدهٔ خاک

با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون ضرایب همبستگی ساده بین ویژگی‌های خاکی تعیین و در جدول ۲ ارائه شده است.

با توجه به جدول۲، واکنش خاک با قابلیت هدایت الکتریکی و

کربن آلی دارای همبستگی منفی و معنی‌دار به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد و با کربن توده زنده میکروبی و نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد بود. کربن آلی همبستگی مثبت و معنی‌دار با تنفس میکروبی خاک و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز در سطح احتمال یک درصد داشت. همچنین تنفس خاک با فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در سطح احتمال پنج و تنفس ویژه و درصد نیتروژن در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد. وجود همبستگی بین ویژگی‌های خاک بیانگر ارتباط بین آنهاست. هر چه عدد همبستگی‌ها بیشتر باشد، ارتباط مزبور قوی‌تر است.

همبستگی موجود بین کربن آلی، تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم-های فسفاتاز قلیایی و اوره‌آز در تحقیق حاضر را می‌توان به ارتباط تنگاتنگ این شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه نسبت داد. به‌طور کلی افزایش فعالیت آنزیمی با افزایش مواد آلی به خاطر وابستگی فعالیت میکروبی و آنزیم تولید شده به عرضه سوبسترای کربن می‌باشد. به‌علاوه بیشتر آنزیم‌های برون سلولی آزاد شده در خاک تنها در صورتی که سریعاً تجزیه نشوند، قادرند در خاک پایدار بمانند. از اینرو وجود کلوئیدهای آلی از عوامل مؤثر در حفظ و پایداری این آنزیم‌ها در محیط خاک به حساب می‌آیند. بنابراین افزایش مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت میکروبی بلکه از طریق پایداری آنزیم در خاک باعث افزایش فعالیت آنزیم گردیده که به دنبال آن تنفس میکروبی افزایش می‌یابد (۳۵).

توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق و گزارشات ارائه شده توسط محققان مختلف (۱ و ۴۵) بر ما آشکار می‌سازد که عموماً فعالیت‌های آنزیمی با مقدار کربن آلی خاک همبستگی دارند. همبستگی قوی این آنزیم‌ها با کربن آلی نشان‌دهنده این است که هر دو آنزیم دارای تمایل قوی برای برقراری پیوند با بخش آلی خاک می‌باشند. به‌طور کلی در تمام مطالعات فوق بر نقش کلیدی کربن آلی خاک در حفظ فعالیت آنزیمی خاک تأیید شده تا آنجا که سطح فعالیت آنزیم‌ها در خاک به دلیل اینکه به تخریب مواد آلی از خود نشان می‌دهند به‌عنوان شاخص‌های سنجش کیفیت خاک پیشنهاد شده‌اند (۲۰).

آمار مکانی

نیم‌تغییرنمای تجربی منفرد ویژگی‌های اندازه‌گیری شدهٔ خاک به طور جداگانه محاسبه و ترسیم گردید. مدل‌های مختلف کروی، نمایی، خطی، خطی سقف‌دار و گوسی بر نیم‌تغییرنمای تجربی برازش داده شد و مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. اطلاعات زمین‌آماری شامل C_0بیان کنندهٔ اثر قطعه‌ای، C_0+Cآستانه، A_0دامنه یا شعاع تأثیر و $\frac{C_0}{C_0+C}$ (بیان کنندهٔ این است که چه مقدار از کل تغییرپذیری را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند) بهترین مدل برازش داده شده بر پارامترهای خاکی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مدل‌های برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی منفرد و خلاصه‌ای از اطلاعات زمین‌آماری

Table 3- Models fitted on single semivariogram and summary of geostatistical data

فاکتور Factor	مدل Model	اثر قطعه‌ای C_0	آستانه C_0+C	نسبت همبستگی مکانی $\frac{C_0}{C_0+C}$	دامنه تأثیر، متر A_0, Meter	ضریب تبیین R^2	مجموع مربعات خطا RSS
pH	نمایی Exponential	0.0307	0.3474	0.0883	6685	0.996	$1.22*10^{-5}$
EC	گوسی Gaossian	0.0663	0.2085	0.3179	7110	0.738	$1.14*10^{-4}$
OC	کروی Spherical	0.0128	0.0258	0.5019	8109	0.949	$1.89*10^{-6}$
BR	کروی Spherical	0.1	140.9	0.0007	843	0.991	21.3
MBC	کروی Spherical	2660	10970	0.2424	971	0.999	7904
Urease	کروی Spherical	1	1991	0.0005	798	0.934	49804
Alkaline phosphatase	گوسی Gaossian	10	38.1	0.0026	436	0.923	$1.44*10^{-6}$
qCO_2	کروی Spherical	0.0001	0.2962	0.00033	1105	0.998	$1.48*10^{-5}$
MBC/OC	کروی Spherical	0.001	1.111	0.0009	1077	0.965	0.0167

بیش‌ترین دامنه، برای درصد کربن آلی و برابر ۸۱۰۹ متر بود. این در حالی است که کم‌ترین دامنه برای فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و برابر ۴۳۶ متر مشاهده گردید. در مجموع دامنه تأثیر برای ویژگی‌های بیولوژیک کم بود که این می‌تواند به دلیل پویایی این ویژگی‌ها در محیط خاک و حساسیت بالا نسبت به عوامل مدیریتی باشد.دامنه تأثیر، فاصله‌ای است که در بیش از آن، نمونه‌ها بر هم تأثیری ندارند و می‌توان آن‌ها را مستقل از هم فرض نمود. چنین فاصله‌ای حد هم‌بستگی ویژگی مورد نظر را مشخص می‌کند و اطلاعاتی در رابطه

با حد مجاز فاصله‌ی نمونه‌برداری ارایه می‌دهد (۱۹). فاصله‌ی نمونه‌برداری که برای این پژوهش تعیین شد، ۵۰۰ متر بود، اما با توجه به دامنه محاسبه شده برای ویژگی‌ها (به‌جز آنزیم فسفاتاز قلیایی)، می‌توان به منظور تعیین فاصله‌ی بهینه‌ی نمونه‌برداری در منطقه‌ی مطالعاتی این فاصله را افزایش داد، بدون آن که در دقت مطالعه خللی ایجاد شود و با این کار در زمان و هزینه‌ها صرفه‌جویی می‌شود.

با توجه به جدول ۳ بهترین مدل برای نیم‌تغییرنمای منفرد درصد کربن آلی، تنفس میکروبی، آنزیم اوره‌آز، کربن توده زنده میکروبی، تنفس ویژه و نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی مدل کروی، برای واکنش خاک مدل نمایی و برای قابلیت هدایت الکتریکی و آنزیم فسفاتاز قلیایی مدل گوسی بود. کرمی و بصیرت (۱۴) نیز بهترین مدل برازش داده شده به کربن آلی را کروی گزارش نمودند. در دشت سانگنین چین نیز بهترین مدل برای پ‌هاش کروی بوده است (۴۲). نائل و همکاران (۲۱) نیز بهترین مدل برازش داده ده بر تنفس پایه خاک و کربن آلی را مدل کروی بیان نموده است.

ویژگی‌های خاکی اندازه‌گیری شده، اثر قطعه‌ای کوچکی را نشان دادند. نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه ($\frac{C_\circ}{C_\circ + C}$) شاخصی از قدرت ساختار متغیّرهای مکانی است. اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، متغیّر از ساختار مکانی قوی و اگر نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد ساختار مکانی آن متوسط و اگر این نسبت بیش از ۰/۷۵ باشد، ساختار مکانی آن ضعیف خواهد بود (۶). بنابراین به‌جز قابلیت هدایت الکتریکی و درصد کربن آلی که دارای وابستگی مکانی متوسط هستند، سایر ویژگی‌ها در کلاس وابستگی مکانی قوی قرار می‌گیرند.

قویبودن ساختارمکانیویژگی‌هایموردمطالعهبدانمعنااست کهاستفادهازروش‌هایزمین‌آماریبهخوبیمی‌توانددر تجزیهوتحلیلالگویتغییرپذیریمتغیرهایموردمطالعه مفیدواقعشود. وابستگی مکانی قوی ویژگی‌های خاک می‌تواند به خصوصیات ذاتی خاک (شکل‌گیری خاک) وابسته باشد در حالی‌که وابستگی مکانی متوسط عمدتاً به عوامل خارجی (روش‌های مدیریت خاک) نسبت داده می‌شود (۶).

اگر ضریب تبیین بهترین مدل برازش داده شده بر نیم‌تغییرنما کمتر از ۰/۵ باشد همبستگی مکانی ضعیف تعریف می‌شود (۹). بنابراین طبق جدول ۳ ویژگی‌های خاکی اندازه‌گیری شده در این پژوهش از همبستگی مکانی بالایی برخوردار بودند. در بیشتر موارد ضریب تبیین بسیار بالا و مناسب و مجموع مربعات خطا بسیار پایین، نتایج بسیار منطقی و مناسبی را نشان داد. تنها کربن توده زنده میکروبی و فعالیت آنزیم اوره‌آز بود که مقدار عددی مجموع مربعات خطا زیاد بود.

ارزیابی نیم تغییرنمای دوجانبه و میان‌یابی کوکریجینگ

نیم‌تغییرنمای دوجانبه تجربی برای تنفس پایه خاک با درصد کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی، فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز قلیایی با درصد کربن آلی به طور جداگانه محاسبه و ترسیم گردید. مدل‌های مختلف کروی، نمایی، خطی، خطی سقف‌دار و گوسی بر نیم‌تغییرنمای دوجانبه تجربی برازش داده شد و مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید.

بیشترین و کمترین دامنه به ترتیب مربوط به نیم‌تغییرنمای دوجانبه تجربی تنفس پایه خاک با کربن آلی (۸۴۴۲ متر) و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با کربن آلی (۴۱۴متر) است. بهترین مدل برای نیم‌تغییرنمای دوجانبه فعالیت آنزیم اوره‌آز با درصد کربن آلی مدل کروی، برای تنفس پایه خاک با کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی مدل نمایی و برای فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با درصد کربن آلی مدل گوسی بود.

جدول ٤- مدل‌های برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای دوجانبه تجربی و خلاصه‌ای از اطلاعات زمین‌آماری

Table 4- Models fitted on bilateral semivariogram and summary of geostatistical data

فاکتور Factor	مدل Model	اثر قطعه‌ای C_0	آستانه C_0+C	نسبت همبستگی مکانی $\frac{C_0}{C_0+C}$	دامنه تأثیر، متر A_0, Meter	ضریب تبیین R^2	مجموع مربعات خطا RSS
BR-OC	نمایی Exponential	0.525	1.972	0.3773	8442	0.96	$2.89*10^{-4}$
BR-Alkaline phosphatase	نمایی Exponential	148.1	334.5	0.4427	2458	0.977	19.7
Urease-OC	کروی Spherical	0.45	2.359	0.1907	525	0.923	0.0354
Alkaline phosphatase-OC	گوسی Gaossian	0.01	4.159	0.0024	414	0.898	$1.22*10^{-5}$

نتایج گویای آن است که ساختار مکانی تنفس پایه خاک با کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی متوسط و ساختار مکانی فعالیت آنزیم اوره‌آز با درصد کربن آلی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با درصد کربن آلی قوی بود. از لحاظ ضریب تبیین نیز بهترین مدل برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای دوجانبه سایر ویژگی‌ها نیز از همبستگی مکانی بالایی برخوردار بودند (جدول ۴).

ارزیابی مدل‌های تخمین‌گر

صحّت تخمین نقشهٔ پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک با روش‌های وزن‌دادن عکس فاصله، کریجینگ نقطه‌ای و کوکریجینگ برای ویژگی‌های خاکی، با استفاده از آماره‌های *MBE*، *MAE* و *RMSE* اعتبارسنجی گردید. بدین منظور مقادیر تخمین زده شدهٔ پارامتر مزبور با استفاده از بهترین مدل‌های برازش داده شده بر داده‌های اندازه‌گیری شده با آماره‌های مزبور محاسبه و بررسی گردید (جدول ۵). مقادیر مزبور باید برای برآورد بهینه نزدیک صفر باشند (۱۸).

جدول ۵- ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی ویژگی‌های خاکی در دشت پاسارگاد

Table 5- Evaluation of different interpolation methods of soil characteristics in Pasargad plain

متغیّر Variable	میان‌یاب Interpolation	میانگین مطلق خطاها MBE	میانگین اریبی خطاها MAE	ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE
pH	کریجینگ Kriging	-0.002	0.172	0.27
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	0.007	0.179	0.028
EC	کریجینگ Kriging	0.004	0.204	0.035
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	-0.036	0.206	0.037
OC	کریجینگ Kriging	-0.0014	0.101	0.0081
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	-0.0012	0.103	0.0083
BR	کریجینگ Kriging	-0.498	10.01	79.0
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	-0.585	9.48	73.9
	BR-OC	-0.1591	9.62	79.7
	BR-Alkaline phosphatase	-0.1591	9.62	79.7
MBC	کریجینگ Kriging	4.58	73.3	3771
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	7.32	81.9	4907
Urease	کریجینگ Kriging	1.935	35.24	950
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	2.688	35.81	971
	Urease-OC	-0.232	39.25	1140
Alkaline phosphatase	کریجینگ Kriging	0.588	51.90	2316
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	1.204	48.85	1817
	Alkaline phosphatase-OC	0.074	50.44	2012
qCO_2	کریجینگ Kriging	-0.083	1.314	1.584
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	-0.579	1.453	2.383
MBC/OC	کریجینگ Kriging	0.026	0.675	0.338
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weight	0.065	0.801	0.469

با توجه به جدول ۵ بهترین میان‌یاب برای ویژگی‌های واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، کربن توده زنده میکروبی، آنزیم اوره‌آز، تنفس ویژه و نسبت کربن توده میکروبی به کربن آلی کریجینگ، برای آنزیم فسفاتاز قلیایی وزن‌دادن عکس فاصله و برای تنفس پایه خاک کوکرجینگ (تنفس پایه خاک با آنزیم فسفاتاز قلیایی) بود. برآورد روش کریجینگ برای متغیّرهای خاکی در مقایسه با روش‌های وزن‌دادن عکس فاصله و کوکریجینگ با توجه به آماره‌های مورد بررسی تقریباً بدون اریب بود و از ارجحیت بیشتری برخوردار است. بنابراین روش کریجینگ در مقایسه با روش‌های وزن-دادن عکس فاصله و کوکرجینگ تقریباً از مقادیر کمتر آماره‌های MBE، MAE و RMSE (به جز در مورد آنزیم فسفاتاز و تنفس پایه خاک) برخوردار بود که نشان دهندهٔ نزدیکی بیشتر برآوردها به مقادیر اندازه‌گیری شده با روش مزبور است.

به منظور برآورد ویژگی‌های خاک مزرعه گندم شامل کربن آلی، pH، EC، تنفس میکربی، کربن توده میکروبی، کسر متابولیک یا تنفس ویژه و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز در جنوب‌شرقی ایالت واشنگتن آمریکا از روش زمین‌آماری کریجینگ استفاده و بیان شده است که این روش دارای دقت قابل ملاحظه‌ای نسبت به دیگر روش‌ها می‌باشد (۱۳). همچنین برای برآورد توزیع مکانی ویژگی‌های خاک روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بهتر از روش وزن دادن عکس فاصله بوده است (۴۴). در تحقیق دیگر با استفاده از سه روش میان‌یاب وزن دادن عکس فاصله، کوکریجینگ و اسپلاین‌ها، شوری خاک، واکنش خاک و ماده آلی خاک در جنوب غربی استرالیا برآورد شده که مشخص گردیده روش کوکریجینگ و اسپلاین‌ها برای تخمین سطوح شوری و ماده آلی و وزن دادن عکس فاصله برای برآورد سطوح واکنش خاک مناسب بوده است (۲۶).

پهنه‌بندی

با توجه به شکل ۲الف، مقادیر واکنش خاک در جنوب منطقه بیشترین مقدار بود و به سمت شمال و شمال غربی از میزان آن کاسته می‌شد. بیشترین اراضی دارای مقادیر واکنش خاک بین ۷/۵ تا۸/۴ بود. این موضوع تأیید کننده این می‌باشد که منطقه مورد مطالعه در زمرهٔ خاک‌های قلیایی قرار دارد که این می‌تواند به دلیل بارندگی سالانه کم در منطقه باشد. دلایل تغییرات واکنش خاک را می‌توان علاوه بر شرایط طبیعی به حاکم خاک، به مدیریت اعمال شده در مزارع ربط داد که تأثیر متفاوتی بر واکنش خاک داشته‌اند. با کاربرد کودهای شیمیایی و دامی و خاکورزی‌های مختلف واکنش خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در جنوب و تا حدودی جنوب شرقی منطقه کمترین مقدار بود و به سمت شمال و شمال غربی به میزان آن افزوده می‌شد (شکل ۲ب). تقریباً تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش خاک عکس هم بود و جدول همبستگی نیز این موضوع را تأیید می‌کند (جدول ۲). اگرچه با توجه به نقشه پهنه‌بندی قابلیت هدایت الکتریکی، منطقه مورد نظر در زمرهٔ خاک‌های غیر شور قرار می‌گیرد ولی می‌بایست به نواحی شمال و شمال غربی منطقه، به منظور مطالعات دقیقتر برای محصولات حساس و این‌که شاید به‌دلیل مدیریت غلط این نواحی در آینده در زمره خاک‌های شور قرار گیرد، توجه بیشتری نمود.

با توجه به شکل ۳پ، مقادیر کربن آلی در جنوب و جنوب شرقی منطقه کمترین مقدار بود و به سمت شمال و شمال غربی به میزان آن افزوده می‌شد. بیشترین سطوح اراضی (۵۵ درصد) دارای مقادیر کربن آلی خاک بین۱/۱۱ تا ۱/۲۵ درصد بود. افزایش بیشتر ویژگی مزبور در شمال منطقه می‌تواند به دلیل اضافه کردن بیشتر کود دامی توسط کشاورزان باشد. هرچند نوع و درجه تازگی کود دامی که در این منطقه توسط کشاورزان به مزارع اضافه می‌شود تفاوت زیادی با هم دارند. در جنوب و شمال غربی منطقه بیشترین مقادیر تنفس پایه خاک مشاهده گردید (شکل ۲ت) که این می‌تواند به دلیل وجود مواد سهل‌التجزیه در مواد آلی خاک (۷) و استفاده کمتر از کودهای شیمیایی باشد. هرچه ماده آلی سهل‌الوصول در خاک بیشتر باشد در نتیجه فعالیت میکروبی و به‌دنبال آن تنفس میکروبی افزایش می‌یابد. در مقابل در جنوب غربی و قسمتی از مرکز منطقه میزان تنفس پایه خاک کمتر مشاهده می‌شود (شکل ۲ت). تحقیقات نشان داده است که افزایش ماده آلی سهل‌الوصول باعث افزایش تنفس میکروبی و فعالیت آنزیمی می‌گردد. این درحالی است که کودهای شیمیایی تأثیر منفی بر شاخص‌های مزبور داشته است (۸). همچنین هدررفت ماده آلی سهل‌الوصول خاک بر اثر کشت و کار و مدیریت نامناسب خاک می‌تواند به‌عنوان عامل اصلی کاهش تنفس میکروبی (۴۵) در نواحی از منطقه که تنفس میکروبی کم است باشد.

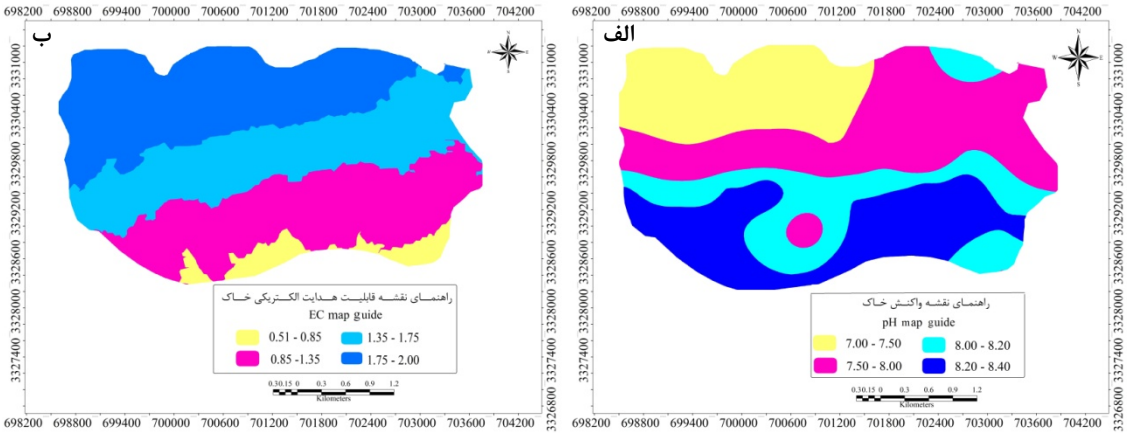
سطح وسیعی در منطقه (۸۶/۵ درصد) دارای مقادیر کربن توده زنده میکروبی بین ۱۶۰ تا ۳۵۰ mg Cmin/kg soilاست. کربن توده زنده میکروبی در غرب منطقه مقادیر بالاتری را دارا بود اما، مقادیر آن در شمال شرقی کمترین مقدار است (شکل ۲ث). هرچه میزان مواد آلی و بقایای گیاهی تازه کم باشد، حداقل میزان کربن توده زنده میکروبی مشاهده می‌گردد. ساگار و همکاران (۲۷) نیز مشاهده کردند که با کاهش ورود مواد آلی تازه به خاک، میزان کربن توده زنده میکروبی خاک نیز کاهش می‌یابد. لی و چن (۱۶) نیز کاهش کربن توده زنده میکروبی را با افزایش خشکی در عمق‌های ۵-۰ و ۱۰-۵ سانتی‌متری گزارش نموده‌اند. به نظر می‌رسد در مناطقی که داری مقادیر کم کربن توده زنده میکروبی می‌باشند باید علاوه بر مقدار ماده آلی به نوع ماده آلی توجه ویژه‌ای نمود که این متأسفانه در بعضی

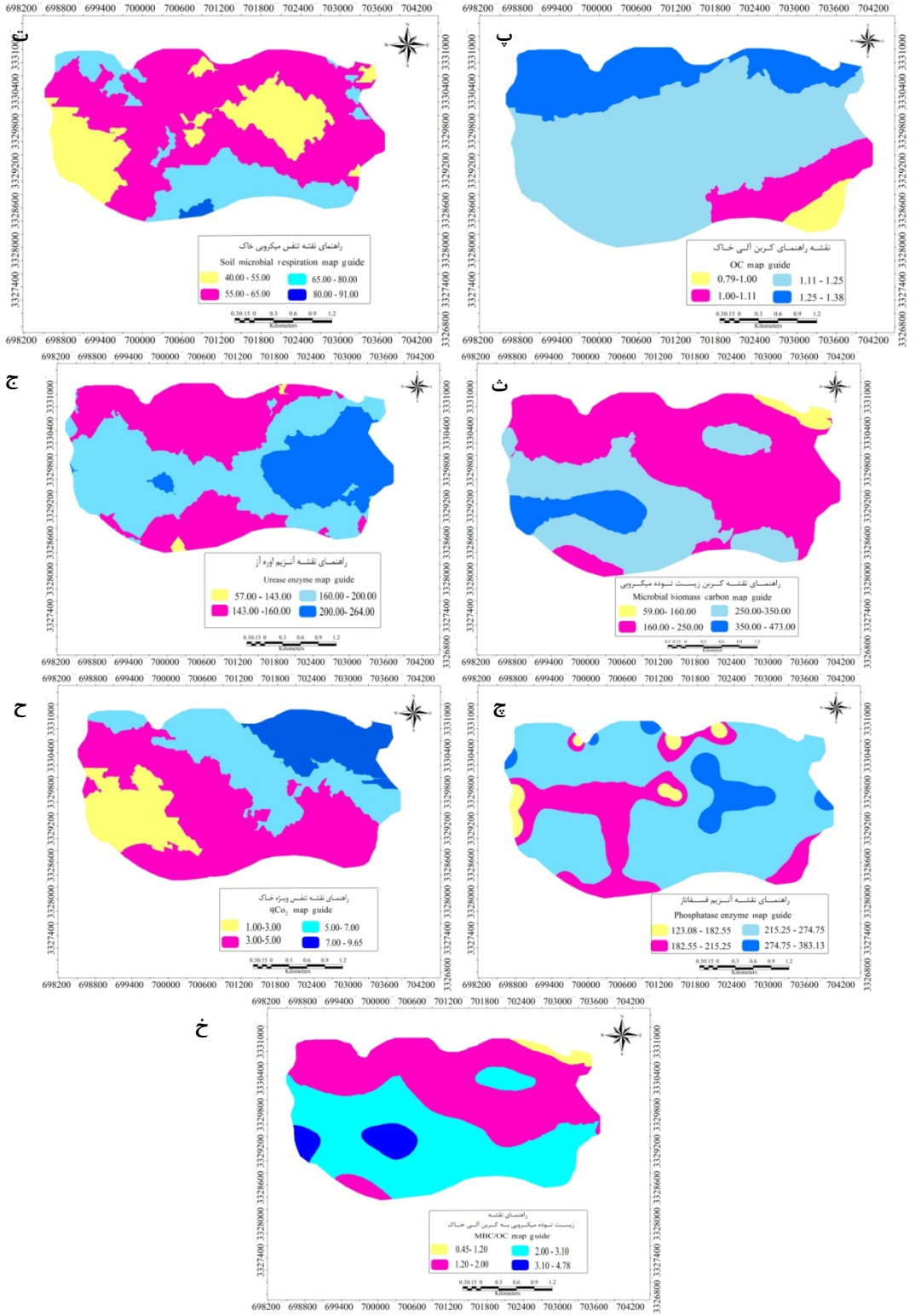
نقاط منطقه رعایت نشده و از مواد آلی غیر تازه و سخت تجزیه شونده استفاده می‌کنند. بنابراین مشاهده می‌شود که علی‌رغم افزایش ماده آلی، کربن توده زنده میکروبی روندی متفاوت را نشان می‌دهد.

فعالیت آنزیم اوره‌آز در شرق منطقه مورد مطالعه مقادیر بالاتری را داشت کمترین مقادیر آن در جنوب و شمال مشاهده گردید. سطح وسیعی در منطقه (۸۰ درصد) مقادیر بین ۱۴۲ تا ۲۰۰ mg N-NH4+/kg soil. 2hr را دارا بود (شکل ۲ج). به نظر می‌رسد به دلیل حساسیت بالای آنزیم اوره‌آز به عوامل مدیریتی و پویایی آن و به دنبال آن دامنه تأثیر کمتر (۷۹۸ متر)، چنین الگویی دور از انتظار نمی‌باشد (جدول ۳). در بررسی‌های انجام شده توسط زنگ و همکاران (۴۵) میزان رطوبت، کربن آلی خاک، نیتروژن کل و فسفر از عوامل تأثیرگذار بر فعالیت آنزیم اوره‌آز ذکر شده‌اند. از دلایل بالا بودن فعالیت آنزیم اوره‌آز در قسمت‌هایی از منطقه می‌توان به زیاد بودن مواد آلی در این نواحی اشاره نمود که جدول همبستگی نیز تأیید کننده این موضوع است (جدول ۲). کاهش فعالیت آنزیم اوره‌آز در جنوب و شمال منطقه ممکن است به‌دلیل کاهش ترشحات ریشه و فعالیت ریزجانداران خاکزی ناشی از کاهش بقایای آلی اضافه شده به خاک و نیز ورود آمونیوم ناشی از مصرف بیش از حد کودهای نیتروژنه باشد.

فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در منطقه به‌صورت پراکنده بود و سطح وسیعی (۶۸/۳۲ درصد) در منطقه مورد مطالعه مقادیری از ۲۱۵ تا ۲۷۵ µg PNP/g.hr را داشت (شکل ۲چ). به نظر می‌رسد این آنزیم نیز به دلیل حساسیت بالا به عوامل مدیریتی و پویایی آن و به دنبال آن دامنه تأثیر کمتر (۴۳۶ متر) چنین الگویی دور از انتظار نمی‌باشد (جدول ۳). از دلایل بالا بودن فعالیت این آنزیم در قسمت‌هایی از منطقه نیز می‌توان به زیاد بودن مواد آلی در این نواحی اشاره نمود که جدول همبستگی نیز تأیید کننده این موضوع است (جدول ۲). نتایج تحقیقات اکوستا-مارتینز و همکاران (۱) نشان داد که فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی رابطه مثبت و معنی‌داری با کربن آلی داشت که مؤید نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است. همچنین کاهش فعالیت این آنزیم در قسمت‌هایی از منطقه می‌تواند به دلیل مصرف بیش از حد کودهای فسفره توسط کشاورزان باشد. متأسفانه مشاهده شد که کشاورزی در منطقه به‌شدت با تکیه بر کودهای شیمیایی به ویژه نیتراته و فسفره است و کشاورزان در هر دوره کشت مقادیر بالایی از این کودها را مصرف می‌کنند که موجب گردیده بود تا خاک به شدت حالت کلوخه‌ای به خود گرفته و از طرف دیگر عملیات شخم به‌سختی انجام شود.

با توجه به شکل ۲ح تنفس ویژه در غرب کمترین مقدار را دارا بود. بیشترین مقدار ویژگی مزبور در شمال شرق منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. مقادیر بالای ۲ (در برخی منابع بالای ۳ را ذکر نموده‌اند) این شاخص نشان از شرایط تنش در خاک است (۳). بنابراین قسمت‌هایی از منطقه دارای شرایط نرمال از نظر این شاخص نمی‌باشد که می‌تواند به‌دلیل عوامل مدیریتی غلط باشد. افزایش تنفس ویژه با توجه به نتایج قبلی به دست آمده در این پروژه قابل پیشبینی بود چرا که روش‌های مدیریتی غلط در برخی از قسمت‌های منطقه سبب کاهش شاخص‌های بیولوژیک نظیر تنفس میکروبی خاک، فعالیت آنزیمی و کربن توده زنده میکروبی گردیده است که تمامی آنها نشان از وجود شرایط تنش برای ریزجانداران است، به‌طوری که مدیریت غلط با تغییر نوع و حذف بقایای آلی وارد شده به خاک، تغییر و کاهش جمعیت و فعالیت میکروبی و نیز آشفتگی شرایط پایدار خاک بر اثر عملیات خاکورزی و تردد ماشین‌آلات خاک سبب افزایش این شاخص گردیده است. گزارش شده است که شرایط محیطی متفاوت از قبیل تفاوت ورود مواد آلی تازه به خاک و کیفیت کربن آلی در مناطق مورد بررسی می‌تواند علت تفاوت در میزان کسر متابولیکی یا تنفس ویژه باشد (۱۲).





شکل ۲- نقشه تغییرپذیری مکانی برای واکنش خاک (الف)، قابلیت هدایت الکتریکی (ب)، درصد کربن آلی (پ)، تنفس میکروبی (ت)، کربن توده زنده میکروبی (ث)، فعالیت آنزیم اوره‌آز (ج)، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (چ) تنفس ویژه یا کسر متابولیک (ح) و نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن خاک (خ) در خاک‌های دشت پاسارگاد

Figure 2- Map spatial variability for Ph (a), EC (b), OC (c), microbial respiration (d), microbial biomass carbon (e), urease enzyme (f), phosphatase enzyme (g), metabolic fraction or specialbreathing (h) and MBC/OC (i) in Pasargad plain.

بیشترین مقدار نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی در غرب و جنوب مشاهده و به سمت شمال و شمال شرقی از میزان آن کاسته شد (شکل ۲خ). آندرسون (۳) معتقد است که خاک‌هایی با نسبت کمتر از ۲ این شاخص در ناحیه بحرانی قرار دارند. افزایش نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی خاک نسبت مستقیمی با کیفیت مواد افزوده شده به خاک دارد و این نسبت در مناطقی که افزوده شدن مواد آلی تازه کم باشد، کاهش یافته و فراوانی مواد آلی سخت تجزیه شونده در خاک افزایش می‌یابد (۳ و ۴). لذا باید در قسمت‌هایی از منطقه که این نسبت کمتر از ۲ است (۵۰/۶ درصد منطقه، به‌ویژه در شمال و شمال شرقی) به کیفیت مواد آلی که به مزارع اضافه می‌شود توجه نمود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت که ارزیابی ویژگی‌های بیولوژیکی که مورد بحث قرار داده شد، می‌تواند نقش برجسته‌ای را در کنترل عوامل مدیریتی در منطقه مورد نظر ایفا کند. تغییرات زیاد برخی از شاخص‌ها از جمله کربن توده زنده میکروبی و تنفس ویژه، احتمالاً به‌دلیل حساسیت زیاد این ویژگی‌ها به عوامل انسانی نظیر عملیات خاک‌ورزی و استفاده از کوددهی شیمیایی می‌باشد که باعث تغییر در یکنواختی سطح خاک می‌شود. نقشه پهنه‌بندی این دو ویژگی نیز این موضوع را تأیید کرد. نتایج حکایت از همبستگی منطقی بین ویژگی‌ها بود که وجود همبستگی بین ویژگی‌های خاک بیانگر ارتباط قوی بین آنهاست. علم زمین‌آمار به‌خوبی توانست ویژگی‌ها را مورد بررسی و مطالعه قرار دهد به گونه‌ای که نتایج نشان از دامنه تأثیر کمتر شاخص‌های بیولوژیک بود که به حساسیت آنها در برابر عوامل مدیریتی اشاره دارد و این تأیید کننده این موضوع است که این شاخص‌ها می‌توانند به منظور ارزیابی خاک در این منطقه به خوبی استفاده گردند. به نظر می‌رسد در برخی از نواحی منطقه به دلایلی شامل: ۱- نامناسب بودن نوع مواد آلی اضافه شده به خاک، ۲- اضافه نکردن مواد آلی و ۳- تجزیه مواد آلی در اثر روش‌های ناصحیح مدیریتی، مقدار و نوع مواد آلی در خاک مناسب نبوده و لذا شاخص‌های بیولوژیکی خاک رو به افول است. این معضل موجب به‌وجود آوردن نواحی بحرانی در این منطقه شده است. به نظر می‌رسد توان بیولوژیک خاک از مضرات کودهای شیمیایی مستثنی نبوده و در نواحی که فعالیت آنزیمی کاهش یافته است کشاورز باید به منظور مدیریت پایدار اراضی از مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتراته و فسفره بکاهد و در عوض از کودهای دامی مناسب استفاده کند. همچنین به نظر می‌رسد در نواحی بحرانی باید از سیستم‌های کم‌خاکورزی و یا حتی بی‌خاکورزی استفاده گردد تا روند تخریب خاک کاهش و یا حتی متوقف گردد. در مجموع با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده قسمت‌هایی در منطقه دارای شرایط حاد از نظر شاخص‌های بیولوژیکی خاک می‌باشند که می‌بایست در روش‌های مدیریتی که در این نواحی توسط کشاورزان اعمال می‌شود تغییر استراتژی داد.

منابع

1- Acosta-Martínez, V., Klose, S., and Zobeck, T.M. 2003. Enzyme activities in semiarid soils under conservation reserve program, native rangeland, and cropland. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166: 699-707.
2- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. p. 831-872. 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.
3- Anderson, T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. Agriculture, Ecosystem & Environmental, 98: 285-293.
4- Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. Soil Biology and Biochemistry, 21:471-479.
5- Brejda, J.J., Moorman, T.B., Karlen, D.L., and Dao, T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern highy plains. Soil Science of Society American Journal, 64: 2115-2124.
6- Camberdella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science of Society American Journal, 58: 1501-1511.
7- Chander, K., Goya, S., and Kapoor, K. 2006. Microbial biomass dynamics during thedecomposition of leaf litter of Poplar and eucalyptus in a sandy loam. Applied SoilEcology, 35: 10-23.
8- Dixon, W.J., and Massey, F.J. 1983. Introduction to statistical analysis. McGraw Hill Pub., USA.
9- Duffera, M., White, J.G., and Weisz, R. 2007. Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implication for site-specific management. Geoderma, 137: 327-339.
10- Garcia-Gil, J.C., PlazacSenesi, N., Brunetti, G., and polo, A. 2004. Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of semiarid Mediterranean soil. Biology and Fertility of Soils, 39: 320-328.
11- GhorbaniDashtaki, S., Homaee, M., Mahdian, M.H., and Kouchakzadeh, M. 2009. Site-dependence performance

of infiltration models. Water Resources Management, 23: 1573-1650.
12- Islam, K.R., and Weil,R.R. 2000. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced byconservation management. Journal of Soil and Water Conservation, 54: 69-78.
13- Jeffrey, L.S., and Jonathan, J.H. 2011. Field scale studies on the spatial variability of soil quality indicators inwashington state, USA. Applied and Environmental Soil Science, doi:10.1155/2011/198737.
14- Karami, A., and Basirat, S. 2015. Geostatistical assessment of spatial variability of some surface soil properties in arsenjan plain. Soil Research (Soil and Water Sciences). 29: 59-69. (in Persian with English abstract)
15- Khodaverdiloo, H., Homaee, M., van Genuchten, M.T., and GhorbaniDashtaki, S. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. Journal of Hydrology, 399: 93–99.
16- Li, X., and Chen, Z. 2004. Soil microbial biomass C and N along a climatic transect in the Mongolian steppe. Biology and Fertility of Soils, 39:344-351.
17- McBratney, A.B., and Webster, R. 1983. Optimal interpolation and is arithmic mapping of soil properties: V. Coregionalization and multiple sampling strategies. Journal of Soil Science, 34: 137-162.
18- Mishra, U., Lal, R., Liu, D., and Van Meirvenne, M. 2010. Predicting the spatial variation of the soil organic carbon pool at a regional scale. SSSAJ, 74: 906-914.
19- Mohammadi, G. 2006. Pedometer 2 (spatial statistics). Pelk Press, Tehran, 453 p. (in Persian)
20- Monreal, C.M., and Bergstrom, D.W. 2000. Soil enzymatic factors expressing the influence of land use, tillage system and texture on soil biochemical quality. Canadian Journal of Soil Science, 80: 419-428.
21- Neal, M., Khademi, H., and Hajabbasi, A. 2004. Response of soil quality indicators and their spatial Variability to land degradation in central Iran. Applied soil ecology, 27: 221-232.
22- Oyonarte, N.A., and Mateos, L. 2002. Accounting for soil variability in the evaluation of furroirrigation. Transactions of the ASAE, 45: 85-94.
23- Renella, G., Merch, M., Land, L., and Nannaipieri, P. 2005.Microbial activity and hydrolase synthesis in long-termed-contaminated soils. Soil Biology and Biochemistry, 37: 133-139.
24- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Salinity Laboratory Staff, 160 p.
25- Richter, D., Hofmockel, M., Callaham, M.A., Powlson, D.S., and Smith, P. 2007. Long-term soil experiments: Keys to managing earth's rapidly changing ecosystems. Soil Science of Society American Journal, 71: 266–279.
26- Robinson, T.P., and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial. interpolation techniques for mapping soil properties. Computers and Electronics in Agriculture, 50: 97-108.
27- Saggar, S., Hedley, C.B., and Salt, G.J. 2001. Soil microbial biomass, metabolic quotient, and carbon and nitrogen mineralisation in 25-year-old Pinusradiata agroforestry regimes. Australian Journal of Soil Research, 39: 491-504.
28- Shi, W., Dell, E., Bowman, D., andIyyemperumal, K. 2006. Soil enzymeactivities and organic matter compositionin a turfgrasschromosequence. Plant and Soil, 288: 288-296.
29- Sparling, G.P. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Australian Journal of Soil Research, 30: 195-207.
30- Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes. In:A.L. Page, R.H. Miller, and D.R.Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2.2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison WI.
31- Thomas, G.W. 1996. Soil PH and soil acidity. p. 475-490. In: D.L. sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. No. 5. ASA and SSSA, Madison, WI.
32- Van Leeuwen, J.P., Lehtinen, T., Lair, G.J., Bloem, J., Hemerik, L., Ragnarsdóttir, K.V., Gísladóttir, G., Newton, J.S., and de Ruiter, P.C. 2015a. An ecosystem approach to assess soil quality in organically and conventionally managed farms in Iceland and Austria. Soil Science, 1: 83-101.
33- Van Leeuwen, J.P., Moraetis, D., Lair, G.J., Bloem, J., Nikolaidis, N.P., Hemerik, L., and de Ruiter, P.C. 2015b. Ecological soil quality affected by land use and management on semi-arid Crete. Soil Discussion, 2: 187–215.
34- Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuringsoil microbial biomass carbon. Soil Biology and Biochemistry, 19: 703-704.
35- Veum, K.S., Goyne, K.W., Kremer, R.J., and Miles, R.J. 2013. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. Biogeochemistry, doi:10.1007/s10533-013-9868-7.
36- Wakernagel, H. 2002. Multivariate Geostatistics. Springer Press, 387 p.
37- Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38.
38- Webster, R., and Oliver, M.A. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Chichester, England, 271 p.
39- Wei, J.B., Xiao, D.N., Zhang, X.Y., and Li, X.Z. 2006. Spatial variability of soil organic carbon in relation to environmental factors of a typical small watershed in the black soil region, northeast China. Environmental Monitoring and Assessment, 121: 597-613.
40- Wilding, L.P. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil survey. p. 166-

194. In: D.R. Nielsen, and J. Bouma (eds.) Soil Spatial Variability Wageningen, Netherlands.
41- Wilding, L.P., and Lin, H. 2006. Advancing the frontiers of soil science towards geoscience. Geoderma, 131: 257–274.
42- Yang, F., Zhang, G., Yin, X., and Liu, Z. 2011. Field-scale spatial variation of saline-sodic soil and its relation with environmental factors in western Songnen plain of China. International Journal of Environmental Research, 8: 374-387.
43- Yasrebi, J., Sharifi, M., Fathi, H., Karimian, N., Emadi, M., and Baghernejad, M. 2008. Spatialvariability of soil fertility properties forprecision agriculture in southern Iran. Journal ofApplied Sciences, 8: 1612-1650.
44- Zare-Mehrjardi, M., Taghizadeh-Mehrjardi, R., and Akbarzadeh, A. 2010. Evaluation of geostatistical techniques for mapping spatial distribution of soil pH, salinity and plant cover affected by environmental factors in Southern Iran. NotulaeScientiaBiologicae*,2*: 92–103.
45- Zeng, D.H., Hu, Y.L., Chang, S.X., and Fan, Z.P. 2009. Land cover change effects on soil chemical and biological properties after planting Mongolian pine (*Pinussylvestrisvar. mongolica*) in sandy lands in Keerqin, northeastern China. Plant and Soil, 317: 121-133.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 4, Sept.-Oct.2017, p. 1215-1231

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۶،ص.۱۲۳۱-۱۲۱۵

Evaluation of Spatial Variability of Biological Indicators of Soil Quality in Wheat Farms of Pasargad Plain

V.A. JahandidehMahjenAbadi[1] - A. Karami[2*] - R. Mosavi[3] - H. Asadi Rahmani[4]

Received:13-12-2016
Accepted:18-03-2017

Introduction: Soil quality as an important part from soil resource sustainability, consistently isinfluenced by human activities.Today, the presence of accurate information about variability of soil quality properties is considered more than ever to apply this information in economic modeling, environmental predictions, accurate farming and natural resources management. Soil quality is defined as: "capacity of the soil to function, within the ecosystem and land-use boundaries, to sustain biological productivity, maintain environmental quality, and promote plant and animal health"; therefore, it is one of the most important factors in developing sustainable land management and sustaining the global biosphere. The definition of soil quality encompasses physical, chemical and biological characteristics, and it is related to fertility and soil health. Many indicators can be used to describe soil quality, but it is important to take into account sensitivity, required time, and related properties, than can be explained. Properties related to organic matter content, such as microbial respiration, microbial biomass carbon (MBC) and enzymatic activity (urease and phosphatases) can be used as soil quality indicators. They provide early information about mineralization processes, nutrient availability and fertility, as well as effects resulting from changes in land use or agricultural practices (e.g. tillage or application of different types of organic matter). In this context, biological properties have been used as soil quality indicators, because of their relationship with organic matter content, terrestrial arthropofauna, lichen, microbial community (biomass or functional groups), metabolic products as ergosterol or glomalin and soil activities as microbial respiration and enzyme production. This study was carried out for evaluation the spatial variability of biological soil quality indicators in wheat farms of Pasargad plain.

Materials and Methods: After reviewing the initial map of Pasargad, a total of 60 samples were provided using a systematic grid square sampling pattern with 500×500 m over the 1200 ha area of Pasargad at surface soil depth (0-30 cm). The characteristics of soil including organic carbon, pH, EC, microbial respiration, microbial biomass carbon , soil alkaline phosphatase and urease enzymes activity, ratio of microbial biomass carbon to organic carbon (MBC/OC) andmicrobial metabolic quotient(qCO_2) were measured and calculated. Results were analysed with SPSS, Excel, GS^+, and ArcGIS sotwares. Summary statistics were calculated for the 60 samples including mean, maximum and minimum, coefficient of variation (CV), kurtosis and skewness. In addition, Pearson correlation coefficients were calculated for untransformed data. For evaluation of different interpolation methods of soil characteristics in Pasargad plain root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE) and mean absolute error (MAE) were used. We also constructed maps of the spatial distributions for each individual variable using best interpolators including kriging, inverse distance weighting (IDW) and cokriging methods.

Results and Discussion; The results showed that in the most cases the studied properties had too much variation. Based on the coefficient of variation, pHand qCO_2had the lowest and highest variations, respectively. There was significant linear correlation between most of soil properties. From lognormal transformation was used for normalization of EC and qCO_2. Best model for single semivariogram of organic carbon, microbial respiration, urease enzyme activity, microbial biomass carbon, qCO_2 and MBC/OC in the soil was spherical model, for pH in the soilwas exponential model and for EC and phosphatase enzyme activity was gaussian model. Also, the best interpolator for pH, EC, organic carbon, microbial biomass carbon, urease activity,

1- P.H.T student of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
(*Corresponding Author Email: ad.karami@areeo.ac.ir)
3- P.H.T Student of Soil Resource Management, Department of Science and Soil Engieenering, Tehran University, Tehran, Iran
4- Associate Professor of Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karag, Iran

$qCO_2$and MBC/OC was kriging, for alkaline phosphatase activity was inverse distance weight, and for microbial respiration was cokriging method. Amount of pH increased from north to south of Pasargad plain, but amounts of EC and organic carbon were inverse of pH.The higher amounts of microbial respiration and urease activity were observed at the south and east, respectively. The amount of phosphatase activity in the soil of Pasargad plain was scattered, and wide area in the plain had the activity between 215-275 µg PNP/g.hr. The higher amount of MBC and MBC/OCand lower amount of qCO_2were observed at the west.

Conclusions: The biological soil properties were sensitive and rapid indicators of effects of soil management. Generally, according to the spatial variabilitymap, the areas in the region are critical situations in terms of biological indicators of soil. So the management techniques that are applied by farmers in these areas have to be changed. The results of this study used in the improvement of regional planning for sustainable management of soil.

Keywords: Biological properties variability, Geostatistic, Soil quality