

بررسی وضعیت فسفر خاک در اراضی کشاورزی پارس‌آباد مغان

محمد پسندیده¹، محمدجعفر ملکوتی، زهرا محمداسماعیل و کریم شهبازی

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس؛ Mpassandideh@yahoo.com

استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران؛ Mjmalakouti@modares.ac.ir

محقق موسسه تحقیقات خاک و آب؛ Mesmailly_n@yahoo.com

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب؛ Shahbazikarim@yahoo.com

دریافت: 95/8/24 و پذیرش: 97/2/25

چکیده

مصرف کودهای فسفاتی در خاک‌های آهکی با مشکلاتی روبرو است زیرا فقط 10 تا 25 درصد از کودهای فسفاتی اضافه شده به خاک، برای گیاه قابل جذب بوده و بقیه آن (75 تا 90 درصد) در خاک به صورت فسفات کلسیم رسوب می‌کند. تحقیقات نشان داده است که در مناطقی که به مدت طولانی کود فسفاتی مصرف شده است، در اثر تجمع فسفر یک سری مشکلات محیط زیستی، از جمله کاهش کیفیت آب‌های سطحی، پدید آمده است. به نظر می‌رسد در برخی از مناطق ایران از جمله پارس‌آباد مغان که قطب کشاورزی بوده و از آب‌های سطحی به عنوان آب شرب ساکنین آن منطقه استفاده می‌شود، بررسی وضعیت این عنصر در خاک به وسیله شاخص‌های عملکرد محیط زیستی ضروری باشد. به همین منظور این آزمایش در سال زراعی 1395 انجام شد. ابتدا برای محدوده‌های زراعی تحت کشت آبی، یک شبکه نمونه برداری به فواصل 3×3 کیلومتر رسم گردید. به کمک دستگاه GPS از نقاط مورد نظر نمونه برداری از خاک سطحی انجام شد. در تمام نمونه خاک‌ها، بافت خاک، کربن آلی، اسیدیته، درصد آهک معادل، فسفر کل و فسفر قابل جذب اندازه‌گیری شد. در 90 مزرعه مورد مطالعه، شاخص عملکرد محیط زیستی فسفر با استفاده از فرمول و روش ارائه شده توسط بال‌استر و همکاران (2014) تخمین زده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و GS⁺ نیم تغییرنمای تجربی برای متغیرهای فسفر کل، فسفر قابل جذب و شاخص محیط زیستی، رسم و همبستگی مکانی آنها بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که در این منطقه مقدار فسفر قابل جذب خاک‌ها از 7 تا 40 میلی‌گرم بر کیلوگرم و فسفر کل خاک‌ها از 718 تا 2315 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. حداقل، حداکثر و میانگین شاخص محیط زیستی به ترتیب 40، 72 و 55 بود و بیان‌گر آنست که تقریباً تمام مزارع این منطقه در ریسک پذیری متوسطی قرار دارد. در خاک‌هایی با فسفر کل کمتر از 1200 میلی‌گرم بر کیلوگرم، با افزایش فسفر خاک، شاخص عملکرد محیط زیستی فسفر تدریجاً افزایش پیدا کرده و بعد از آن، روند افزایش شدیدتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص عملکرد محیط زیستی، انباشتگی فسفر، همبستگی مکانی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج- میدان استاندارد- بلوار امام خمینی (ره)- نرسیده به مشکین‌دشت. موسسه تحقیقات خاک و آب

مقدمه

در جهان غلظت فسفر قابل جذب در خاک‌های زراعی از 0/1 تا 3 گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند که در ایران به دلیل شرایط خاکی اکثر خاک‌های زراعی، حداکثر فسفر قابل جذب به مراتب کمتر از این مقدار می‌باشد. مقدار فسفر برداشتی از خاک در مقایسه با ازت، پتاسیم و حتی گوگرد و منیزیم به مراتب کمتر بوده و معمولاً بین 15 تا 20 کیلوگرم در هکتار است. برنج با عملکرد 8 تن در هکتار دانه همراه با کاه و کلش، 22 کیلوگرم فسفر در هکتار، گندم با عملکرد 8 تن در هکتار دانه، سیب‌زمینی با عملکرد 40 تن در هکتار، 28 کیلوگرم فسفر در هکتار و لوبیا با عملکرد دانه 4 تن در هکتار 15 کیلوگرم فسفر از خاک برداشت می‌کنند که با مصرف کودهای حاوی این عنصر باید کمبود آن جبران گردد (لاگرید و همکاران، 1999 و آزرمی و همکاران، 2014). از چنددهه گذشته تاکنون مصرف کودهای فسفاتی هم‌پای کودهای نیتروژنه و پتاسه فرض شده و انواع کودهای فسفاتی برای تأمین نیاز غذایی گیاهان به این عنصر، به بازار عرضه شده است. با مصرف کودهای فسفاتی در خاک 10 تا 25 درصد آن، جذب گیاه شده و بقیه (75 تا 90 درصد) به دلایل آهکی بودن اکثر خاک‌ها، بالا بودن pH، تنش خشکی، وجود بی-کربنات در آب آبیاری و کمبود مواد آلی، به صورت فسفات کلسیم رسوب می‌کند (مارشتر، 1995).

تحقیقات خارجی انجام شده در سال‌های اخیر، نشان می‌دهد در مناطقی که طولانی‌مدت کود فسفاتی مصرف شده است، تجمع فسفر دور از انتظار نیست. راگر و همکاران (2014) گزارش کردند که در ده سال اخیر کشاورزان در اروپا و شمال آمریکا برای جلوگیری از کمبود فسفر در گیاهان مقادیر زیادی کودهای فسفاتی مصرف کرده‌اند. این موضوع علاوه بر کاهش شدید منابع سنگ فسفات، مشکلات اکولوژیکی و تغذیه‌ای زیادی را باعث شده است. سان و همکاران (2015) در یک مطالعه زمین آماری، تغییرات فسفر کل و فسفر قابل استخراج با اولسن را در 9 منطقه زراعی چین به وسعت 1593 کیلومتر مربع بررسی کردند. نمونه خاک‌ها به تعداد 1514، 1651 و 342 نمونه به ترتیب در سال‌های 1982، 1997 و 2002 تهیه شده و فرم‌های مختلف فسفر در آن‌ها اندازه‌گیری شده بود. متوسط مقادیر کود فسفاتی اضافه شده به خاک در سال‌های یادشده به ترتیب 60، 179 و 159 کیلوگرم در هکتار فسفر بود. نتایج گزارش شده، اثر کوددهی طولانی‌مدت را در تجمع فسفر نشان می‌دهد. به طوریکه فسفر قابل جذب از سال 1982 تا 1997، 91/7 درصد افزایش نشان داد (فسفر قابل جذب از 3/51 به

6/73 میلی‌گرم در کیلوگرم رسید). از سال 1997 تا 2002، به طور میانگین هر ساله 1/1 میلی‌گرم در کیلوگرم، به فسفر قابل جذب خاک‌ها اضافه شد. فسفر کل نیز از سال 1982 تا 2002 از 0/72 به 0/84 گرم در کیلوگرم (16/7%) افزایش یافت. در کل در تفسیر نتایج این گزارش، دلیل تفاوت در مقدار فسفر خاک‌ها را در سال 1982، مواد مادری، تشکیلات زمین‌شناسی و فاکتورهای تشکیل خاک دانسته‌اند. در سال‌های 1997 و 2002، کاربرد کودهای فسفاتی و افزایش ماده آلی خاک (به دلیل افزایش باقی‌مانده‌های گیاهی، تناوب زراعی، تغییر کشت) موجب افزایش فسفر قابل جذب خاک‌ها شده است و با افزایش این فرم از فسفر، فسفر کل تغییر چندانی پیدا نمی‌کند. در مناطقی که ماده آلی افزایش پیدا نکرده بود، افزایش فسفر کل نسبت به فسفر قابل جذب بیشتر بود. در این گزارش همچنین به خطرات ناشی از روند افزایش سریع فسفر خاک‌ها و لزوم کاهش مصرف کودهای فسفاتی اشاره شده است. لی و همکاران (2015) اثرات مصرف طولانی مدت (20 ساله) مصرف کودهای فسفاتی را بر فسفر قابل جذب و فسفر کل خاک‌های تحت کشت برنج بررسی کردند. در این تحقیق تیمارها شامل 1: شاهد، 2: بقایای گیاهی، 3: کود نیتروژنی + فسفاتی، 4: کود نیتروژنی + فسفاتی + بقایای گیاهی، 5: کود نیتروژنی + فسفاتی + پتاسی و 6: بقایای گیاهی + کود نیتروژنی + فسفاتی + پتاسیمی بودند. نتایج نشان داد که کشت برنج بدون اضافه کردن هیچ گونه کودی، موجب کاهش فسفر قابل جذب و فسفر کل می‌شود. به طوریکه در این حالت فسفر کل از 600 به 417 میلی‌گرم در کیلوگرم و فسفر قابل جذب از 16 به 5 میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش می‌یابد. اما با اضافه کردن کودهای نیتروژنی + فسفاتی + بقایای گیاهی، هرچند مقدار فسفر قابل جذب افزایش چندانی نشان نداد (از 16/2 به 16/9 میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت) اما فسفر کل، افزایش قابل‌توجهی داشته و از 600 به 719 میلی‌گرم در کیلوگرم رسیده بود.

در ایران تاکنون تحقیق جامعی که به منظور بررسی تجمع فسفر در خاک‌های کشاورزی انجام شده باشد، مشاهده نگردیده است. اما در نتایج یک‌سری آزمایشات که برای تعیین شکل‌های مختلف فسفر خاک انجام شده بود، به مقدار فسفر کل خاک نیز اشاره شده است. به طوریکه، فسفر کل به مقادیر 715 میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان اصفهان (دهقان، 1383)، 731 میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان گلستان (نقی‌زاده اصل و همکاران، 1390)، 771 میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان آذربایجان شرقی (حیدری و همکاران، 1392)، 563 میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان

است که متأسفانه کیفیت آب آن نامطلوب گزارش شده است (وطن‌خواه سادات، 1388 و فتائی، 1390). فتائی (1390) به منظور بررسی منابع آلاینده کانال تأمین‌کننده منابع آب شهر پارس‌آباد، پنج ایستگاه نمونه‌برداری را در طول کانال‌های آبرسانی دریاچه شهرک غفاری انتخاب کرده و در دو دوره خشک و مرطوب (بهار و تابستان) نمونه‌برداری از آب را انجام داد. در نمونه آب‌ها یک‌سری از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی استاندارد از جمله اکسیژن محلول، فلزات سنگین، کل جامدات محلول، فسفات و نیترات اندازه‌گیری شد. نتایج بدست‌آمده نشان داد که در حاشیه کانال آبرسانی دریاچه شهرک، کیفیت آب کاهش یافته است. به‌طوریکه مقدار فسفات آب از 0/1 میلی‌گرم بر لیتر در ابتدای کانال به 0/44 میلی‌گرم بر لیتر در انتهای (ابتدای دریاچه) افزایش یافته است. مقدار اکسیژن محلول آب دریاچه نیز از 10/3 میلی‌گرم بر لیتر به 8/1 میلی‌گرم بر لیتر کاهش پیدا کرده است. در این تحقیق دلیل کاهش کیفیت آب، ورود مواد آلی و معدنی (به‌ویژه فسفر) ناشی از زه‌آب‌های کشاورزی و پساب‌های انسانی گزارش شده است.

در این راستا، دانشمندان محیط‌زیست، برای ارزیابی پتانسیل انتقال فسفر از مزرعه به آب‌های سطحی و حفظ کیفیت آن، شاخص فسفر (P-index) را ارائه کرده‌اند که به وسیله آن، مزارع به‌لحاظ پتانسیل ازدست‌دادن (تلفات) فسفر رتبه‌بندی می‌شود. اهمیت استفاده از این شاخص به‌حدی است که در سال 1999 سازمان حفاظت از منابع طبیعی آمریکا (Natural Resource Conservation Service) کاربرد این شاخص را به همراه تعیین فسفر خاک به منظور تعیین آستانه محیط‌زیستی به عنوان استاندارد شماره 590 مربوط به حفاظت از عناصر مغذی، در کشاورزی اجباری اعلام نموده‌اند (بال-استر، 2011). ساده‌ترین شاخص فسفر در سال 1993 در آمریکا بیان شد.

در این روش چهار فاکتور مؤثر در انتقال فسفر به رواناب شامل فرسایش خاک، فرسایش ناشی از آب آبیاری، مقدار روان‌آب و مسافت و پنج فاکتور منبع فسفر شامل مقدار فسفر خاک، مقدار و روش مصرف کودهای فسفاتی و مقدار و روش مصرف کودهای آلی پس از وزن‌دهی به‌عنوان پایه محاسبات قرار گرفته و شاخص فسفر خاک بدست می‌آید (لیمانیون و گیلبرت، 1993). با گذشت زمان به دلیل انعطاف‌پذیری بالای این شاخص، شاخص‌های فسفر متعددی با توجه به شرایط محلی تأثیرگذار بر فاکتورهای اصلی انتقال از جمله توپوگرافی، هیدرولوژیک و مدیریت معرفی شده‌اند (شارپلی و

گیلان (سلطانی و همکاران، 1390). 597 میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان فارس (سلطانی و صمدی، 1382)، 845 میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان قزوین (مستشاری و همکاران، 1383) و 1500 میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان همدان (سمواتی و حسین پور، 1390) گزارش شده است. تجمع این عنصر در خاک، می‌تواند باعث یکسری مشکلات محیط زیستی شود (مارشتر، 1995، سپهر و همکاران، 2009). اگر فسفر تجمع‌یافته در خاک، به آب-های سطحی منتقل شود، مشکلات محیط زیستی همچون اوتریفیکاسیون (Utrification) پدید می‌آید.

اوتریفیکاسیون به غنی‌شدن آب‌های سطحی در اثر ورود مواد مغذی مثل نیترات و فسفات اطلاق می‌شود که به طور مستقیم رشد جلبک‌ها و دیگر گیاهان آبزی را تحت تأثیر قرار داده و کیفیت آب‌ها را کاهش می‌دهد. چهار فاکتور اصلی نیتروژن، فسفر، نور خورشید و گازکربنیک در این پدیده نقش دارند. عدم وجود هر یک باعث محدودشدن پدیده اوتریفیکاسیون می‌شود. از میان فاکتورهای ذکر شده کنترل فسفر از همه بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است زیرا کنترل ورود نیتروژن و گازکربنیک به دلیل تثبیت نیتروژن اتمسفر به‌وسیله برخی از جلبک‌های سبزآبی دشوار است (شارپلی و همکاران، 1999). هرچند فرایند اوتریفیکاسیون به‌طور طبیعی و با دوره بالاتر از صد سال اتفاق می‌افتد اما امروزه فعالیت‌های بشری این فرایند را تسریع کرده و عوارض آن به شکل‌های مختلف از جمله بیماری‌های عصبی مردمانی که در معرض مواد سمی تولید شده توسط جلبک‌های سبزآبی به‌طور چشم‌گیری گزارش شده و لازم است این موضوع در مناطقی که آب‌های سطحی به عنوان آب شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد، با جدیت بیشتری پیگیری شود (بارخولدر و همکاران، 1992). پارس‌آباد مغان یکی از مناطقی است که در آن عمده منابع آبی برای کشاورزی و مصرف شهری، آب‌های سطحی است.

سیستم آبیاری در این منطقه به این صورت است که آب رود ارس با احداث یک‌سری از کانال‌های اصلی و فرعی در سطح منطقه توزیع شده و کشاورزان به صورت ثقلی و سنتی و به روش کرتی، آبیاری مزارع را انجام می‌دهند. فراوانی آب و سیستم اشتباه روش آبیاری باعث شده است که کشاورزان معمولاً چندین برابر نیاز آبی محصولات کشاورزی، آب مصرف نمایند که این کار باعث اشباع‌شدن زمین‌های کشاورزی، ششستوی مواد غذایی و انتقال ذرات خاک از مزارع می‌شود. علاوه‌بر این در این منطقه به منظور تأمین آب شرب ساکنین، دریاچه مصنوعی با ظرفیت 10 میلیون متر مکعب احداث شده

همکاران، 2003). شاخص فسفر ارائه‌شده توسط بال‌استر و همکاران (2014) از جمله شاخص‌هایی است که در آن به دلیل دخیل کردن عواملی همچون مقدار فسفر کل خاک و ارائه فرمول جامع برای محاسبه، می‌تواند در ارزیابی مقدار فسفر کل مزرعه و یا منطقه به‌کار رود. در این مقاله هدف این است که وضعیت فسفر کل خاک در مزارع کشاورزی پارس‌آباد مغان با نگرش کشاورزی-محیط زیستی، بررسی شود.

مواد و روش‌ها

محل آزمایش

این آزمایش از سال 1395 تا 1396 به مدت دو سال در مزارع زراعی شهر پارس‌آباد یکی از شهرهای استان اردبیل در شمال غربی ایران انجام شد. پارس‌آباد در ساحل جنوبی رود ارس و غرب دریای خزر و بین مدارهای 39 درجه و 12 دقیقه تا 39 درجه و 42 دقیقه عرض‌شمالی و 47 درجه و 10 دقیقه تا 48 درجه و 21 دقیقه طول‌شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این منطقه یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران می‌باشد به‌طوریکه سطح اراضی کشاورزی در این منطقه به 62024 هکتار می‌رسد که از این مجموع 4000 هکتار به کشت باغات اختصاص یافته است. در این اراضی روش کوددهی به‌ویژه کودهای فسفاتی سنتی و بدون توجه به اثرات تجمعی آن صورت می‌گیرد. کشاورزان در این منطقه مصرف کودهای فسفاتی را هم‌پای کودهای نیتروژنی تصور کرده و همه‌ساله برای اغلب محصولات کشاورزی کودهای شیمیایی فسفاتی مصرف می‌کنند. عمده منابع آبی برای کشاورزی و مصرف شهری، آب‌های سطحی منشعب از رود ارس می‌باشد. رود ارس با طول 1072 کیلومتر پرآب‌ترین رود استان اردبیل به شمار می‌رود، میزان آب‌دهی سالانه ارس 5700 میلیون متر مکعب می‌باشد. حجم آب کنترل‌شده سالانه این رود حدوداً 1500 میلیون مترمکعب می‌باشد. این رود پس از طی حدود 440 کیلومتر به دریای خزر (مازندران) می‌ریزد. سیستم آبیاری در این منطقه به این شرح است که آب رود ارس با احداث یک‌سری از کانال‌های اصلی و فرعی در سطح منطقه توزیع شده و کشاورزان به صورت تقلی و سنتی و به روش کرتی، آبیاری مزارع را انجام می‌دهند (وطن‌خواه سادات، 1388 و فتائی، 1390).

نمونه‌برداری از خاک و آنالیز آزمایشگاهی

ابتدا برای تهیه پلات اولیه از منطقه از لایه‌های اطلاعاتی شبکه جاده‌ای، شبکه آبراهه و رودخانه، خطوط تراز، موقعیت مناطق مسکونی، محدوده‌های زراعی تحت کشت آبی و شبکه مختصات جغرافیایی استفاده شد. کلیه

لایه‌های فوق در سیستم نرم افزاری ARCGIS و بصورت Shape فایل و با ساختار توپولوژیک در سیستم تصویر لامبرت با بیضوی WGS84 تهیه و ذخیره گردیده و سپس شبکه نمونه‌برداری با الگوی شبکه مربع و به فواصل 3×3 کیلومتر رسم گردید. سپس با توجه به شبکه نمونه‌برداری و به کمک دستگاه GPS از نقاط مورد نظر نمونه‌برداری از خاک از عمق 0 تا 30 سانتی‌متر انجام گرفت. بدین ترتیب 90 نمونه خاک برای بررسی فسفر خاک بدست آمد. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن از الک دو میلی-متری عبور داده شد. در نمونه خاک‌ها، فسفر قابل‌جذب به روش عصاره‌گیر اولسن، فسفر کل به روش ذوب قلیائی، بافت خاک به روش هیدرومتری، کربن آلی به روش اصلاح‌شده والکی و بلاک، اسیدیته خاک با استفاده از دستگاه پتانسیومتر در گل اشباع و آهک به روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد (احیایی و بهبهانی زاده، 1372).

تعیین شاخص محیط زیستی فسفر در خاک‌های منطقه

شاخص محیط زیستی فسفر برای کل 90 مزرعه بدست آمد. برای محاسبه شاخص فسفر از فرمول و روش ارائه‌شده توسط (بال‌استر و همکاران، 2014) استفاده شد. فرمول (1)

$$PI = 18 \times [(DP_{Soil} + DP_{Fert} + DP_{Man}) \times BM_{PDP} + P_{Sed} \times BMP_{Psed}]$$

هر یک از اجزا فرمول به این شرح هستند:

PI: شاخص فسفر، DP_{Soil} : بخشی از فسفر محلول روان-آب که از خاک آزاد شده، DP_{Fert} : بخشی از فسفر محلول روان‌آب که به دلیل کاربرد کودهای شیمیایی اضافه شده است، DP_{man} : بخشی از فسفر محلول روان‌آب که به دلیل کاربرد کودهای آلی اضافه شده است، P_{Sed} : بخشی از فسفر روان‌آب که همراه با ذرات خاک در اثر فرسایش اضافه شده است، BMP_{DP} : فاکتور مربوط به عملیات حفاظتی که رهاسازی فسفر محلول را از مزرعه به روان-آب کاهش می‌دهد و P_{Sed} : بخشی از فسفر روان‌آب که همراه با ذرات خاک در اثر فرسایش اضافه شده است و BMP_{Psed} فاکتور مربوط به عملیات حفاظتی که انتقال ذرات خاک را از مزرعه به روان‌آب کاهش می‌دهد.

محاسبه P_{Sed} : برای محاسبه فاکتور P_{Sed} از فرمول زیر استفاده شد:

فرمول (2)

$$P_{Sed} = 10^{-6} \times TP \times SED \times PER \times SDR$$

در این فرمول TP مربوط به فسفر کل خاک به واحد میلی-گرم بر کیلوگرم است که در این آزمایش به روش ذوب-قلیائی برای تمام نمونه‌های خاک‌ها بدست آمد.

S: حداکثر ظرفیت نگه‌داشت
فرمول (5)

P: ارتفاع بارندگی (اینچ)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Q: ارتفاع روان‌آب (اینچ)

DP_{Fert}: برای محاسبه این فاکتور از فرمول زیر استفاده شد.

فرمول (6)

$$DP_{Fert} = 0.5 \times 0.43 \times P_F \times (RQ \div PT) \times AF_F$$

PF: مقدار کود اضافه‌شده برحسب کیلوگرم P₂O₅

در هکتار

AF_F: فاکتور مربوط به زمان و روش مصرف کود

که مقادیر 0/1 و 0/2 به ترتیب برای مزارعی که کوددهی به شکل نواری و پخش سطحی بود، در نظر گرفته شد.

PT: میانگین رسوب سالانه برحسب سانتی‌متر.

برای محاسبه PT از فرمول فرمول زیر استفاده شد:

فرمول (7)

$$Q_S (PT) = 38.77 e^{0.0353 R}$$

Q_S: میزان رسوبدهی سالانه (مترمکعب در کیلومتر

مربع) R: درجه رسوبدهی (مجموع امتیازات در نظر گرفته شده در مدل PSIAC)

مقادیر مربوط به فاکتورهای BMP_{Psed} و BMP_{PDP}

براساس جداول ارائه‌شده توسط بال‌استر و همکاران (2014) برای هر مزرعه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه در مزارع بررسی شده هیچ‌گونه عملیات حفاظتی برای انتقال فسفر محلول و ذرات خاک از مزرعه به روان‌آب انجام نشده است لذا برای آنها عدد 1 در نظر گرفته می‌شود.

DP_{man}: این بخش مربوط به قسمتی از فسفر محلول

روان‌آب است که به دلیل کاربرد کودهای آلی اضافه‌شده، اضافه می‌شود. با توجه به اینکه کاربرد کودهای آلی در این منطقه به دلایلی همچون دامپروری کم و رغبت کشاورزان برای کاربرد کودهای آلی برای باغات، در زراعت به صورت موردی و در مقدار خیلی کم انجام می‌پذیرد، لذا مقدار فسفر محلول روان‌آب که به دلیل کاربرد کودهای آلی اضافه می‌گردد، ناچیز در نظر گرفته شد. پس از تعیین شاخص محیط زیستی مزارع برای تفسیر و توصیه کودی براساس شاخص محیط زیستی از جدول (1) استفاده شد.

SED به میانگین فرسایش سالانه خاک برحسب

کیلوگرم بر هکتار اشاره می‌کند که در این آزمایش براساس مطالعات ابراهیمی و قدوسی (1380) در خصوص ارزیابی و مدل‌های برآورد فرسایش در پارس-آباد، به روش MPSIC برآورد گردید.

PER: PER به نسبت غنی‌سازی ذرات خاک

اشاره می‌کند و به این مفهوم است که ذرات ریز از نظر مقدار فسفر نسبت به ذرات درشت‌تر، غنی‌تر می‌باشد. برای محاسبه این فاکتور از رابطه آماری زیر استفاده شد.

$$PER = \exp [2.2 - 0.25 \times \ln (SED)]$$

SDR: SDR به نسبت تحویل رسوب اشاره

می‌کند و به آن بخش از مقدار خاک فرسایش‌یافته که به روان‌آب می‌رسد، اطلاق می‌شود. این فاکتور در رابطه با طول شیب زمین می‌باشد که از فرمول‌های زیر قابل محاسبه است:

$$SDR = 1$$

برای اراضی با طول شیب کم‌تر از 3 متر

$$SDR = -0/17 \ln x + 0/9$$

برای اراضی با طول شیب مساوی و یا بیش

تر از 3 متر

محاسبه DP_{Soil}: برای محاسبه فاکتور DP_{Soil} از فرمول زیر استفاده شد:

فرمول (3)

$$DP_{Soil} = 0.1 \times STP \times PX \times RQ$$

در این معادله، STP مقدار فسفر خاک به واحد

میلی‌گرم بر کیلوگرم است که به روش مهلیج 3 عصاره-گیری شده باشد.

PX ضریب عصاره‌گیری فسفر به‌واحد کیلوگرم

بر لیتر است که از رابطه $Y = 1.8X + 78.9$ بدست آمد. در این رابطه Y (PX) به واحد میکروگرم بر لیتر است. X در این رابطه مقدار فسفر خاک به روش مهلیج 3 است (واداس و همکاران، 2005 و بال‌استر و همکاران، 2014).

RQ در این معادله میانگین روان‌آب سالانه به واحد

سانتی‌متر است. برای تخمین روان‌آب در هر مزرعه از روش عدد منحنی روان‌آب (CN) استفاده شد. عدد منحنی روان‌آب از جداولی که براساس گروه‌های رطوبت خاک، هیدرولوژیکی خاک، نوع کشت و چگونگی آن، استفاده از زمین و یا پوشش آن بدست می‌آید. پس از تخمین عدد منحنی روان‌آب با توجه به مقدار بارندگی و با استفاده از فرمول‌ها و یا نمودار مربوطه ارتفاع روان‌آب بدست می‌آید (رفاهی، 1375).

فرمول (4)

CN: عدد منحنی روان‌آب

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

جدول 1- توصیه کودی فسفر براساس شاخص فسفر (بال استر و همکاران، 2014)

شاخص فسفر	طبقه	توصیه
0-40	کم	اگر فسفر کل خاک بیشتر از 800 میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، نیابستی کود فسفاتی استفاده کرد.
40-100	متوسط	اگر فسفر کل خاک بیشتر از 600 میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، نیابستی کود فسفاتی استفاده کرد.
>100	زیاد	اگر فسفر کل خاک بیشتر از 400 میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، نیابستی کود فسفاتی استفاده کرد.

تغییرات مکانی متغیرهای مورد بررسی

برای بررسی تغییرات مکانی، ابتدا مهم‌ترین آماره‌های توصیفی و شاخص‌های پراکنش از جمله میانگین، حداقل، حداکثر، واریانس، کشیدگی، چولگی و ضریب تغییرات برای پارامترهای فسفر کل، فسفر قابل جذب و شاخص زیست‌محیطی بدست آمد. سپس با استفاده از آزمون معنی‌دار بودن چولگی، نرمال بودن داده‌ها، بررسی شد. پس از تشخیص و حذف داده‌های پرت، با استفاده از لگاریتم داده‌ها، توزیع نرمال پارامترها بدست آمد. در مرحله آخر، نیم‌تغییر نمای متغیرها رسم و همبستگی مکانی آن‌ها بررسی شد. در این قسمت از نرم‌افزارهای SPSS (نسخه 16) و GS⁺ (نسخه 5) استفاده شد.

نتایج و بحث

وضعیت فسفر کل و فسفر قابل جذب خاک‌ها

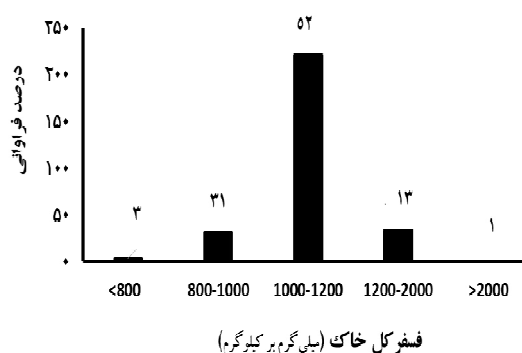
در جدول دو و سه برخی از نتایج بدست آمده از آنالیز 90 نمونه خاک سطحی (0-30 سانتی‌متر) که از کل منطقه مورد آزمایش تهیه شده بود، نشان داده شده است. در این منطقه دامنه غلظت فسفر قابل جذب و فسفر کل خاک وسیع می‌باشد. به‌طوریکه مقدار فسفر قابل جذب خاک‌ها از 7 تا 40 میلی‌گرم بر کیلوگرم و فسفر کل خاک‌ها از 718 تا 2315 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. بیشترین فراوانی فسفر کل (52 درصد اراضی) بین 1000 و 1200 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و حدوداً در 54 درصد اراضی مقدار فسفر قابل استفاده کمتر از 15 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (اشکال یک و دو).

جدول 2- مشخصات آماری برخی از فاکتورهای آزمایشگاهی در 90 نمونه از خاک مزارع

پارامتر	اسیدیته	کربن آلی	رس	کربنات کلسیم معادل
حداقل	8/2	3/1	63	30
حداکثر	7/1	0/2	18	5
میانگین	7/8	1/4	43	11
انحراف از معیار	0/15	0/6	10	5



شکل 2- درصد فراوانی فسفر قابل جذب خاک در اراضی کشاورزی پارس‌آباد مغان



شکل 1- درصد فراوانی فسفر کل خاک در اراضی کشاورزی پارس‌آباد مغان

شاخص محیط زیستی فسفر

مزارع بیشتر از 600 میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، نبایستی کودهای فسفاتی بکار برد. براساس تعریف انجام شده، در این محدوده از شاخص فسفر، به طور تقریبی در هر هکتار حدود 2/2 تا 5/6 کیلوگرم فسفر (P) از مزارع خارج می‌شود.

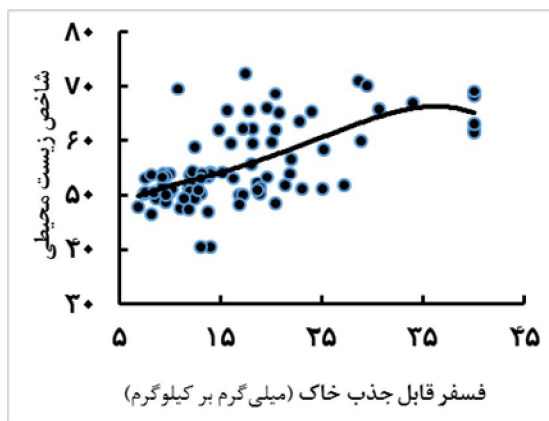
در شکل سه شاخص فسفر مزارع مورد آزمایش نشان داده شده است. حداقل، حداکثر و میانگین این شاخص به ترتیب 40، 72 و 55 است. این نتیجه نشان می‌دهد به لحاظ طبقه‌بندی انجام شده توسط (بالاستر و همکاران، 2014) تقریباً تمام مزارع این منطقه به لحاظ ریسک‌پذیری و قابلیت انتقال فسفر از مزارع به آب‌های سطحی در طبقه متوسط قرار گرفته و اگر فسفر کل خاک



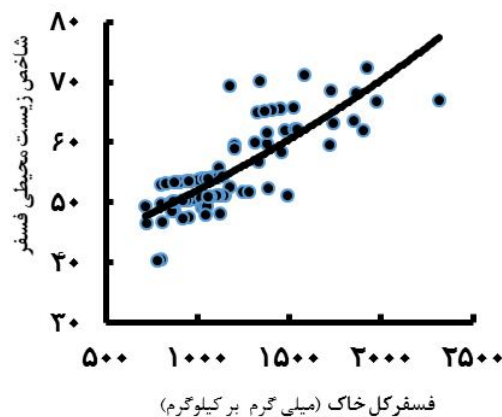
شکل 3- شاخص فسفر در مزارع مورد آزمایش

افزایش شدیدتری پیدا کرده است. با توجه به شکل 5، مشاهده می‌شود که با افزایش فسفر قابل جذب به بیش از 18 میلی‌گرم بر کیلوگرم، افزایش شاخص محیط زیستی، شدت پیدا کرده است.

همانطوریکه در شکل 4 مشاهده می‌شود، در خاک‌هایی با فسفر کل کمتر از 1200 میلی‌گرم بر کیلوگرم، با افزایش فسفر کل خاک، شاخص محیط زیستی تدریجاً افزایش پیدا کرده است و بعد از آن، با افزایش فسفر کل خاک (بیشتر از 1200 میلی‌گرم بر کیلوگرم) این شاخص



شکل 5- رابطه فسفر قابل جذب با شاخص زیست محیطی



شکل 4- رابطه فسفر کل خاک با شاخص زیست محیطی

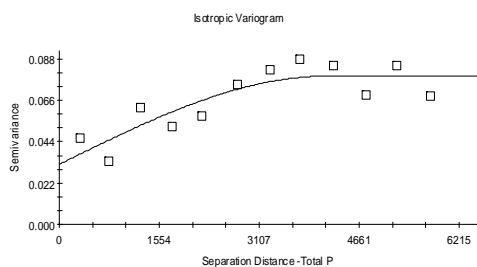
بررسی تغییرات مکانی

برخی از نتایج آمار توصیفی داده‌ها در جدول 3 و مدل‌های برازش داده شده بر نیم‌تغیرنمای تجربی متغیرهای فسفر کل و قابل جذب خاک و شاخص زیست محیطی فسفر در شکل شش و مولفه‌های آن در جدول چهار نشان داده شده است. نیم‌تغیرنمای متغیرهای فسفر کل خاک و شاخص زیست محیطی از مدل نمایی و متغیر فسفر قابل-

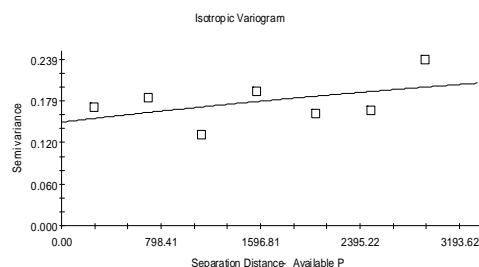
جذب خاک از مدل خطی پیروی می‌کنند. بررسی نیم-تغیرنماها نشان می‌دهد که دامنه تأثیر متغیرها برای فسفر کل و قابل جذب خاک و شاخص زیست محیطی به ترتیب 4160، 7110 و 5050 متر است. دامنه تأثیر همبستگی مکانی متغیر موردنظر را نشان داده و فاصله‌ای است که در بیشتر از آن، نمونه‌ها وابستگی مکانی کافی نداشته و می‌توان آن‌ها را مستقل از هم به حساب آورد.

جدول 3- خلاصه آمار توصیفی داده‌های نمونه خاک‌ها و شاخص زیست محیطی

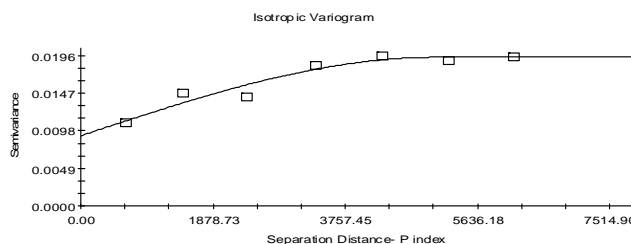
کشیدگی Kurtosis	چولگی Skewness	واریانس Variance	انحراف معیار Standard deviation	میان Middle	میانگین Average	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	ویژگی
-0/74	0/36	1/1	331	1107	1186	2315	718	فسفر کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
-0/54	0/32	69/4	8/3	15/4	17/3	40	6/8	فسفر قابل جذب (میلی-گرم بر کیلوگرم)
-0/48	0/30	51/9	7/2	53/4	55/5	72	40	شاخص زیست محیطی



Spherical model (Co = 0.03210; Co + C = 0.07930; Ao = 4160.00; r2 = 0.744; RSS = 8.357E-04)



Exponential model (Co = 0.1489; Co + C = 0.2988; Ao = 7110.00; r2 = 0.185; RSS = 5.537E-03)



Spherical model (Co = 0.00915; Co + C = 0.01940; Ao = 5050.00; r2 = 0.929; RSS = 4.855E-06)

شکل 6- مدل‌های نیم‌تغیرنمای برازش داده شده بر متغیرهای مورد مطالعه

جدول 4- مولفه‌های بهترین مدل نیم‌تغییر نمای برازش شده بر متغییرهای مورد مطالعه

پارامتر	مدل	دامنه	آستانه	اثر قطعه‌ای	کلاس همبستگی	ضریب تبیین	مجموع مربعات باقیمانده
	Model	Range	Sill	Nugget effect	Correlation class	r^2	RSS
فسفرکل	نمایی	4160	0/079	0/032	متوسط	0/74	$8/4 \times 10^{-4}$
فسفر قابل جذب	خطی	7110	0/39	0/15	متوسط	0/19	$5/5 \times 10^{-3}$
شاخص زیست-محیطی	نمایی	5050	0/02	0/01	متوسط	0/93	$4/8 \times 10^{-6}$

بحث

محاسبه شده و مطابق تعریف ارائه شده (بالاستر و همکاران، 2014)

تخمین زده می‌شود از هر هکتار زمین کشاورزی سالانه بین 2/5 تا 5 کیلوگرم فسفر از مزرعه خارج شود، صحت دارد و یا خیر. دوم اینکه در گروه-بندی این شاخص (با توجه به جدول یک) که در آن مصرف کود در خاک‌هایی با فسفرکل بالاتر از 600 میلی-گرم بر کیلوگرم، ممنوع شده است، نیاز به مطالعات منطقه‌ای دارد یا خیر. در این آزمایش برای حل نسبی این مشکل، همبستگی شاخص زیست‌محیطی با فسفرکل ($r^2=0.64$) و فسفر قابل جذب خاک ($r^2=0.38$) مورد بررسی قرار گرفت (اشکال 4 و 5). نتیجه بدست آمده از این همبستگی را می‌توان به این شکل توصیه کرد که در اراضی که فسفرکل آنها بیشتر از 1200 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، از نظر زیست‌محیطی، باید دقت بیشتری در مصرف کود کرد. زیرا در خاک‌هایی با مقادیر بالاتر از این مقدار فسفرکل، افزایش فسفر خاک، شاخص زیست-محیطی را با شدت بیشتری بالا می‌برد. در این منطقه از 90 مزرعه مطالعه شده، 38 مزرعه دارای فسفرکل بالاتر از 1200 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشند.

دانشمندان محیط‌زیست در تلاش بودند بدون تعیین شاخص زیست‌محیطی و صرفاً براساس روابط آماری بین فسفر خاک با مقدار فسفر رواناب، حدود بحرانی فسفر خاک برای تلفات فسفر از مزارع را تعریف نمایند. به طوریکه، نتایج چندین آزمایش مزرعه‌ای نشان داده است که رابطه آماری معنی‌داری ($r^2=0.58 - 0.98$) بین غلظت فسفر قابل جذب در خاک و غلظت فسفر محلول در روان آب وجود دارد. لذا برخی از محققین از این رابطه برای تعیین حد بحرانی فسفر خاک برای کنترل فسفر محلول رواناب استفاده کرده و مقادیری در محدوده 75 تا 200 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر خاک را به عنوان حد بحرانی محیط‌زیستی گزارش کرده‌اند (هیدویت و شارپلی، 1999). سیمز و همکاران (2001 و 2002) مقادیر فسفر قابل جذب خاک را که به وسیله روش مهلیج 3 در

همانطوریکه در قسمت نتایج گفته شد، در این منطقه دامنه غلظت فسفر قابل جذب و فسفرکل خاک وسیع می‌باشد. در نتایج آزمایشات ارائه شده توسط شهبازی و بشارتی (1392) که در خصوص وضعیت حاصلخیزی اراضی زراعی کشور انجام شده بود، مشابه این نتیجه در استان اردبیل گزارش شده است. به طوریکه مقدار فسفر قابل جذب در 47/6 درصد خاک‌های این استان، کمتر از 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در 14/8 درصد خاک‌ها نیز مقدار فسفر قابل جذب بیشتر 20 میلی-گرم بر کیلوگرم گزارش شده است. به عقیده کو (1996) تغییرات شدید غلظت فسفر در خاک‌های یک منطقه دور از انتظار نیست. به دلیل مصرف مقادیر متفاوت کودهای فسفاتی و سرعت متفاوت تبدیل شکل‌های محلول فسفر به شکل‌هایی با حلالیت کمتر، غلظت‌های متفاوتی از فسفر در خاک‌های یک منطقه می‌تواند وجود داشته باشد. هرچند کمبود و یا زیادبود فسفر قابل استفاده خاک به سهولت به وسیله حدود بحرانی آن قابل ارزیابی است. اما شاخصی که بتوان براساس آن مقدار فسفرکل خاک را سنجید، در کشاورزی وجود ندارد. با این وجود، در محیط‌زیست اخیراً شاخصی توسط (بالاستر و همکاران، 2014) ارائه شده است که حداکثر حد مجاز فسفرکل خاک یک مزرعه و یا منطقه را می‌توان بدست آورد. در قسمت نتایج به مقادیر عددی این شاخص و حد مجاز فسفرکل خاک مزارع مطالعه شده اشاره شده است.

اما ارزیابی وضعیت فسفرکل خاک براساس شاخصی که نتایج کاربرد آن در شرایط مختلف اقلیمی و خاکی مقایسه و صحت‌سنجی نشده است، می‌تواند جای سوال باشد. به طورکلی، دو انتقاد علمی در این زمینه می‌توان مطرح کرد. اول اینکه آیا شاخص بدست آمده براساس فرمول‌های پیچیده، می‌تواند در شرایط خاکی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه، صحت داشته باشد. یعنی در این منطقه که شاخص زیست‌محیطی بین 40 تا 100

شش)، چنین استنباط می‌شود که ساختار مکانی ضعیف بوده و بیشتر ناشی از عوامل مدیریتی می‌باشد. اما مدل نیم‌تغیرنمای متغیرهای فسفر کل خاک و شاخص زیست-محیطی دارای حد (سقف‌دار) بوده و از وابستگی مکانی متوسطی برخوردار می‌باشد (شکل شش و جدول چهار) لذا به نظر می‌رسد این متغیرها تحت تاثیر هم‌زمان عوامل ذاتی خاک و عوامل مدیریتی قرار گرفته‌اند.

پیشنهادات و نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست آمده از انجام این آزمایش به شرح زیر جمع‌بندی می‌شود:

- در منطقه پارس‌آباد مغان، دامنه غلظت فسفر کل و قابل‌جذب خاک‌های مزارع کشاورزی وسیع می‌باشد. براساس مطالعات زمین‌آماری مربوط به تغییرات مکانی فسفر خاک، به نظر می‌رسد مصرف طولانی‌مدت کودهای فسفاتی و آهکی بودن خاک‌های این منطقه موجب این نتیجه شده باشد. پیشنهاد می‌شود با مقایسه نمونه خاک برداشت‌شده از این مزارع با خاک‌هایی که در آنها کود مصرف نشده است (مراغ، حاشیه مزارع و غیره) موضوع با دقت بیشتری بررسی شود.

- نتایج بررسی شاخص زیست‌محیطی فسفر، نشان داد که تقریباً تمام مزارع این منطقه به‌لحاظ ریسک-پذیری و قابلیت انتقال فسفر از مزارع به آب‌های سطحی در طبقه متوسط قرار گرفته است. براساس تعریف انجام-شده، در این محدوده از شاخص، به طور تقریبی در هر هکتار حدود $2/2$ تا $5/6$ کیلوگرم فسفر (P) از مزارع خارج می‌شود. پیشنهاد می‌شود با انجام آزمایشاتی، مقدار سالانه خروج فسفر از مزارع را بررسی و با مقدار فوق مقایسه شود. بدین ترتیب کارایی و صحت استفاده از این شاخص در منطقه بررسی می‌شود.

- براساس روابط آماری بین شاخص زیست-محیطی و فسفر کل و فسفر قابل‌جذب خاک، در خاک-هایی که فسفر کل خاک بیشتر از 1200 و فسفر قابل‌جذب خاک بیشتر از 18 میلی‌گرم بر کیلوگرم است، افزایش فسفر خاک مقدار شاخص زیست‌محیطی را با شدت بیشتری افزایش می‌دهد. لذا توصیه می‌شود کوددهی در این گونه مزارع با دقت بیشتری صورت بگیرد.

- پیشنهاد می‌شود در مطالعات تکمیلی، باکشت گیاه، تاثیر شاخص‌های زیست‌محیطی (فسفر کل خاک) بر عملکرد گیاه بررسی و در توصیه کودی مدنظر قرار بگیرد.

برخی از خاک‌های اراضی کشاورزی آمریکا بدست آمده بود، در چهار گروه کمتر از 50، بین 51 تا 100، 101 تا 150 و بیشتر از 150 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گروه‌بندی کرد. مقدار فسفر خاک کمتر از 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم به عنوان حد بحرانی برای نیاز گیاهان به فسفر و مقدار بیشتر از 150 میلی‌گرم بر کیلوگرم به عنوان سطح فسفری از خاک که می‌تواند در صورت کوددهی آب‌های سطحی را با مشکل روبرو سازد، تعریف شد. ایشان این شاخص فسفر را شاخص فسفر کشاورزی-محیط‌زیستی بیان کردند. در گزارشات هیدویت و شارپلی (1999) نیز براساس نوع عصاره‌گیر و منطقه، فسفر قابل‌جذب خاک بر اساس حدود بحرانی برای نیاز تغذیه‌ای گیاهان و حفظ کیفیت آب‌ها (محیط‌زیست) گزارش شده است. برای عصاره‌گیر اولسن و منطقه Idaho، مقادیر 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، آستانه بحرانی برای نیاز تغذیه‌ای گیاهان و مقادیر 50 تا 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر برای آستانه بحرانی زیست‌محیطی به ترتیب برای بافت خاک شنی و لوم سیلتی (Silt loam) گزارش شده است. بنابه گزارشات علمی، همبستگی داده‌های آزمون خاک با متغیرهایی همچون پتانسیل غنی‌شدن روناب سطحی نمی‌تواند به تنهایی به‌طور کامل، پتانسیل تلفات فسفر از مزارع را ارزیابی کند. زیرا متغیرهای دیگری همچون فرسایش خاک نیز در این خصوص دخیل بوده و نقش اساسی دارد. البته در مناطقی با فرسایش خاک ناچیز (چمنزارها و مراغ)، این نوع رابطه‌ها می‌تواند معنی‌دار بوده و کاربردی باشد (شارپلی و همکاران، 1996 و سیمز 2000).

در بخش دیگری از نتایج این مقاله می‌توان به جواب این پرسش که آیا مقادیر فسفر کل خاک و شاخص زیست‌محیطی صرفاً ناشی از عوامل ذاتی خاک (همچون مواد مادری و یا توپوگرافی) بوده و یا عوامل مدیریتی (همچون کوددهی) نیز می‌تواند مؤثر باشد، پاسخ داد. با محاسبه نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه، اندازه وابستگی مکانی بدست می‌آید. به‌طوریکه نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه کم‌تر از 25، بین 25 تا 75 و بیشتر از 75 درصد، به ترتیب، نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی، متوسط و ضعیف می‌باشد (چن و ما، 2001). در اغلب موارد، وابستگی مکانی قوی در فاکتورهای خاکی متأثر از فرایندهای داخلی (مواد مادری، وضعیت هیدرولوژیکی و غیره) و وابستگی مکانی ضعیف ناشی از فرایندهای خارجی از جمله عوامل مدیریتی و کوددهی می‌باشد (سلطانی و همکاران، 1396). با توجه به مدل نیم‌تغیرنمای مدل فسفر قابل‌جذب خاک که بدون سقف و با اثر قطعه‌ای قابل‌توجه می‌باشد (شکل

فهرست منابع:

1. ابراهیمی، م. و قدوسی ج. 1380، ارزیابی چهار مدل تجربی برای برآورد رسوب در حوضه دره قنبرلو - پارس‌آباد مغان، همایش ملی مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان مرکزی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، https://www.civilica.com/Paper-FMSE01-FMSE01_047.html
2. احيایی م. و ع. ا. بهبهانی زاده. 1372. شرح روش‌های شیمیایی تجزیه خاک. نشریه شماره 892. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
3. حیدری ن، ریحانی تبارع، نجفی ن و ش اوستان. 1392. توزیع شکل‌های مختلف فسفر در برخی خاک‌های استان آذربایجان شرقی و رابطه آن با برخی ویژگی‌های خاک. مجله تحقیقات خاک و آب ایران. دوره 44، شماره 3. صفحه 279-271
4. دهقان رع، شریعتمداری ح و ح خادمی. 1386. شکل‌های فسفر خاک در چهار ردیف ارضی از مناطق اصفهان و شهرکرد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال 11، شماره 42. صفحه 463-472
5. رفاهی، ح. ق. 1375. فرسایش آبی و کنترل آن. تهران. ایران.
6. سلطانی ش. م.، دواتگر ن.، شکوری م. و م. پیکان. 1396. تغییرات مکانی شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد 24، شماره 5. صفحه 93-109
7. سمواتی م و ع حسین‌پور. 1390. اجزای مختلف فسفر معدنی و قابلیت فراهمی آن در تعدادی از خاک‌های استان همدان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال 15، شماره 55. صفحه 137-127
8. شهبازی، ک و بشارتی، ح. 1392. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. جلد 1، شماره 1، صفحه 1-16
9. فتائی ا. 1390. بررسی مقادیر پارامترهای کیفی کانال‌های آبرسانی شهرستان پارس‌آباد. سازمان حفاظت محیط‌زیست. فصلنامه علمی محیط‌زیست. شماره 50. ص 81-72
10. محمود سلطانی ش، دواتگر ن، کاووسی م و ف دریغ گفتار. 1390. شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های شالیزاری و روابط آن‌ها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مورد مطالعه: خاک‌های شالیزاری شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد 18، شماره 2. صفحه 176-159
11. محمود سلطانی ش و ع صمدی. 1382. شکل‌های مختلف فسفر در برخی خاک‌های آهکی استان فارس و رابطه آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال 7، شماره 3. صفحه 119-127
12. مستشاری م، معزاردلان م، کریمیان ن، رضایی ح و ح میرحسینی. 1388. توزیع شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های استان قزوین، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد 23، شماره 1. صفحه 21-11
13. نقی‌زاده اصل ز، درودی‌پور ا، قلی‌زاده ع، کیانی ف و ح امامی. 1390. بررسی رابطه بین فسفر عصاره‌گیری شده به وسیله چند عصاره‌گیر و شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های استان گلستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 25، شماره 3. صفحه 509-517
14. وطن‌خواه سادات، ا. 1388. امکان‌سنجی اقلیمی کشت مرکبات در پارس‌آباد مغان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد واحد اهر. اهر. ایران.

15. Azarmi F, Malakouti MJ, and K. Khavazi. 2014. Effect of Phosphate solubilizers in increasing the efficiency and utilization of phosphate fertilizers in canola. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Science)* 37: 499-507.
16. Bolster, C. H. 2011. "A critical evaluation of the Kentucky phosphorus index." *Journal of the Kentucky Academy of Science* 72(1): 46-58.
17. Bolster, C., T. Horvath, B. Lee, S. Mehlhope, S. Higgins and J. Delgado. 2014. "Development and testing of a new phosphorus index for Kentucky." *Journal of Soil and Water Conservation* 69(3): 183-196.
18. Chen, M., and L.Q. Ma. 2001. Taxonomic and geographic distribution of total phosphorus in Florida surface soils. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 5. 1539-1547.
19. Heathwaite, L. and A. Sharpley .1999. "Evaluating measures to control the impact of agricultural phosphorus on water quality." *Water Science and Technology* 39(12): 149-155.
20. Kou, S. 1996. Total organic phosphorus. PP: 869-919. In: D. L. Sparks. (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. SSSA. Madison, WI.
21. Laegreid M, Bockman OC, and O. Kaarstad. 1999. *Agriculture, fertilizers and the environment*. NorskHydro ASA. CABI Publishing, Norway. 294 p.
22. Lemunyon, J. L. and R. G. Gilbert. 1993. "The concept and need for a phosphorus assessment tool." *Journal of production agriculture* 6(4): 483-486.
23. LI, Y., Y. Rui, G. Ru, H. WEI, A. CHEN and L. Yong. 2015. "Effects of long-term phosphorus fertilization and straw incorporation on phosphorus fractions in subtropical paddy soil." *Journal of Integrative Agriculture* 14(2): 365-373.
24. Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher plants*. 2nd Edition London. Academic Press.
25. Page, A., R. Miller and D. Kenney. 1982. *Methods of Soil Analysis-Part 2 (Ed) No. 9, agronomy Series ASA, SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA*.
26. Roger A, Libohova Z, Rossier N, Joost S and A. Maltas. 2014. Spatial variability of phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma* 217-218:26-36
27. Sepehr E, Malakouti MJ, Kholdebarin B, Samadi A, and N. Karimian. 2009. Genotypics variation in P efficiency of selected Iranian cerrals in greenhouse experiment. *Int. Journal of Plant Production*. 3:17-28.
28. Sharpley A N, T Daniel, T Sims, J Lemunyon, R Stenens and Darry R. 1999. *Agricultural phosphorus and eutrophication*. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service.
29. Sharpley, A. N., W. J. Gburek, G. Folmar and H. Pionke. 1999. "Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania." *Agricultural water management* 41(2): 77-89.
30. Sims, J. T., R. O. Maguire, A. Leytem, K. Gartley and M. Pautler. 2002. "Evaluation of Mehlich 3 as an agri-environmental soil phosphorus test for the Mid-Atlantic United States of America." *Soil Science Society of America Journal* 66(6): 2016-2032.
31. Sims, J., A. Edwards, O. Schoumans and R. Simard. 2000. "Integrating soil phosphorus testing into environmentally based agricultural management practices." *Journal of Environmental Quality* 29(1): 60-71.
32. Sun WX, Huang B, Qu MK, Tian K, Yao LP, Fu MM, and Yin LP. 2015. Effect of farming practices on the variability of phosphorus status in intensively managed soils. *Soil Science Society of China*. 25-3:438-449
33. Vadas, P., P. Kleinman, A. Sharpley and B. Turner. 2005. "Relating soil phosphorus to dissolved phosphorus in runoff." *Journal of Environmental Quality* 34(2): 572-580.

Investigating Soil Phosphorous in Agricultural Lands of ParsAbad-e- Moghan

M. Passandideh¹, M. J. Malakouti, Z. MohammadIsmail, and K. Shahbazi

PhD student of Tarbiat Modares University; E-mail: Mpassandideh@yahoo.com

Professor, Tarbiat Modares University; E-mail: Mjmalakouti@modares.ac.ir

Researcher, Soil and Water Research Institute of Iran; E-mail: Mesmaily_n@yahoo.com

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute of Iran;

E-mail: Shahbazikarim@yahoo.com

Received: November, 2016 and Accepted: May, 2018

Abstract

Application of phosphorous (P) fertilizers to calcareous soils has some problems, because only 10-25% of P- fertilizers added to the soil are absorbed by the plant and the rest (75 to 90 %) is precipitated as calcium phosphate. Research has shown that P accumulates in soils where P-fertilizer has been used for a long time. Accumulation of P has caused a number of environmental problems including reduction of surface water quality. In some parts of Iran, such as ParsAbad-e- Moghan, which are considered as agricultural pole, study of total P by environmental indicators is necessary. For this purpose, this experiment was conducted in 2016. At first, sampling grid was drawn (at 3 * 3 km intervals) for agricultural lands, then soil sampling was done by GPS. Soil texture, organic carbon, pH, T.N.V, total P and available P were analyzed in all soil samples. Also, Environmental Performance Index (EPI) was estimated by Bolster (et al. 2014) method. SPSS (version 16) and GS+ software were used to determine the spatial correlation of total P, available P and Phosphorus Environmental Index. The results revealed that the range of available P varied from 7 to 40 mg.kg⁻¹ and total P ranged from 718 to 2315 mg.kg⁻¹. The minimum, maximum and average environmental indicators were 40, 72, and 55, respectively, indicating that almost all of the farms in this area were at medium risk. Increasing the environmental index is more severe in soils in which total P exceeds 1200 mg kg⁻¹.

Keywords: Environmental Performance Index, P-accumulation, Spatial correlation

¹ Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Meshkin Dasht, Karaj, Iran