



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره پنجم، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## تغییرات مکانی شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری

\* شهرام محمود سلطانی<sup>۱</sup>، ناصر دواتگر<sup>۲</sup>، مریم شکوری<sup>۳</sup> و مریم پیکان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، <sup>۲</sup> استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، <sup>۳</sup> دانشجوی دکتری بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، <sup>۴</sup> کارشناس آزمایشگاه شیمی خاک، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** فسفر یکی از عناصر غذایی اصلی محدودکننده تولیدات کشاورزی در خاک‌های شالیزاری بسیاری از مناطق برنج‌خیز جهان است. علی‌رغم اهمیت فسفر برای تولید پایدار، در خاک‌های شالیزاری شمال ایران راهبرد مدیریتی درازمدت و علمی کودهای فسفوری وجود ندارد. شیمی فسفر در این اراضی به دلیل تأثیر فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی مؤثر بر قابلیت دسترسی آن (از طریق تأثیر بر شکل‌های گوناگون فسفر) پیچیده است. بنابراین شکل‌های گوناگون فسفر نقشی بسیار حیاتی در ظرفیت تأمین فسفر قابل دسترس خاک دارد. در مطالعاتی که طی آن‌ها از روش‌های نمونه‌برداری فشرده و با پراکنش یکنواخت استفاده شده و خروجی آن‌ها نقشه پهنه‌بندی عناصر غذایی است تصمیم‌گیری میدانی برای مدیریت میزان مصرف کودهای شیمیایی (در این پژوهش، فسفر) از دقت قابل‌قبولی برخوردار می‌شود). هدف این پژوهش بررسی تغییرات مکانی فسفر قابل دسترس، آلی و شکل‌های گوناگون فسفر معدنی و نیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم و مؤثر بر آن‌ها در مقیاس ناحیه‌ای یا مزرعه‌ای برای دستیابی به امکان مدیریت بهتر کودی است.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش در شالیزارهای شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان به اجرا در آمد. نمونه‌های خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) بر پایه پراکنندگی جغرافیایی یکنواخت (شبکه ۲×۲ کیلومتر) از ۱۰۳ مزرعه برنج تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک مانند بافت، اسیدیته گل اشباع، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل و گنجایش تبادل کاتیونی، فسفر قابل دسترس و فسفر آلی آن‌ها تعیین گردید. همچنین جداسازی و تعیین شکل‌های گوناگون شیمیایی فسفر معدنی (فسفر محلول، فسفر پیوندیافته با آهن و آلومینیم، فسفر پیوندیافته با کلسیم) با روش عصاره‌گیری متوالی اندازه‌گیری شدند. آماره‌های توصیفی با استفاده از نرم‌افزار (نسخه ۱۶) SPSS و محاسبات آمار مکانی با نرم‌افزار GS+ (نسخه ۵/۱) و پهنه‌بندی با نرم‌افزار Arc GIS (نسخه ۹/۱) صورت پذیرفت.

**یافته‌ها:** فسفر پیوندیافته با آلومینیم و آهن (به ترتیب ۱۹۴ و ۱۳۲) دارای بیش‌ترین و pH خاک (۱۰/۶) دارای کم‌ترین ضریب تغییرات (CV) بود. کلاس همبستگی (نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه) در داده‌های مطالعه شده نشان از

\* مسئول مکاتبه: [shmsoltani@gmail.com](mailto:shmsoltani@gmail.com)

وابستگی مکانی متوسط تا قوی است. همچنین مقدار کم تا متوسط واریانس قطعه‌ای (۰/۰۴ تا ۳/۲) در نوسان بوده و بیانگر فواصل شبکه نمونه‌برداری مناسب برای ویژگی‌های خاک و شکل‌های فسفر است. تحلیل نیم‌تغییرنماها نشان می‌دهد که دامنه تأثیر متغیرها از ۲۷۰۰ متر تا ۶۰۰۰ متر در نوسان بودند. بر پایه همبستگی مکانی و خطی، غلظت فسفر قابل‌دسترس بیش‌ترین انطباق را با فسفر پیوندیافته با آهن (Fe-P) (۰/۹۴) و فسفر پیوندیافته با آلومینیوم (Al-P) (۰/۸۴) و کربن آلی (۰/۴) داشته است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج ناشی از همبستگی خطی و نقشه‌های پراکنش مکانی و مشخص شدن ارتباط قوی بین فسفر قابل‌استفاده و شکل‌های فسفر پیوندیافته آهن و آلومینیم از یک‌سو و ارتباط آن با ویژگی‌های پایه‌ای خاک مانند کربن آلی، می‌توان نتیجه گرفت که تعیین محدوده همبستگی مکانی این ویژگی‌ها می‌تواند در بهبود مدیریت مصرف فسفر در اراضی شالیزاری مؤثر واقع شود.

**واژه‌های کلیدی:** برنج، خاک‌های شالیزاری، تغییرپذیری مکانی، شکل‌های فسفر معدنی، فسفر آلی، فسفر قابل‌دسترس

#### مقدمه

برخی از شکل‌های فسفر مانند فسفر آلی، فسفر پیوندیافته با کلسیم، آهن و آلومینیم در اثر جذب گیاه در خاک کاهش می‌یابد (۲ و ۱۹). قابلیت دسترسی و فراهمی شکل‌های مختلف فسفر با توجه به واکنش و خصوصیات خاک‌های گوناگون متفاوت است (۱۱). انجام عصاره‌گیری متوالی برای استخراج شکل‌های مختلف فسفر و تجزیه و تحلیل روابط آن‌ها با ویژگی‌های خاک برای توصیف اثرات آن‌ها بر فسفر-قابل‌استفاده می‌تواند منجر به نتایج کاربردی مفیدی شود (۱۵ و ۳۲). نگاسا و لین وبر (۲۰۰۹) شکل‌های مختلف فسفر را به سه گروه فسفر فعال (شامل فسفر قابل استخراج به‌وسیله اولسن و فسفر آلی)، فسفر به نسبت فعال (فسفر پیوندیافته با آهن و آلومینیم) و فسفر باقی‌مانده تقسیم‌بندی نمودند. نجفی و توفیقی (۲۰۱۱) در بررسی تأثیر کاربرد کودهای فسفوری بر شکل‌های گوناگون فسفر در شرایط غرقاب دریافتند که بخش عمده فسفر افزوده شده به فسفر متصل به آهن تبدیل شده است. همچنین آن‌ها در سال ۲۰۰۶ نیز گزارش نموده بودند که میزان فسفر محلول، فسفر متصل به آهن و فسفر متصل به آلومینیم در ریزوسفر خاک‌های شالیزاری غیرآهکی تحت کشت برنج

درک علمی و آگاهی درست از تغییرپذیری شکل‌های مختلف فسفر و ساختار مکانی آن در مزرعه برای مدیریت حاصلخیزی فسفر خاک بسیار ضروری است. شیمی فسفر در خاک‌ها همواره از فرآیندهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی گوناگونی تأثیر می‌پذیرد (۳۵). با تغییرات کاربری اراضی و کشت متراکم مصرف کودهای غیرآلی رو به افزایش است (۳۹). کمبود فسفر به‌دلیل مدیریت نامناسب کودهای فسفوری (۴) به‌همراه کشت پیوسته برنج و محدودیت منابع ذاتی فسفر خاک از عوامل بازدارنده تولید برنج در اراضی شالیزاری شمرده می‌شود (۴۰). برنج برای تولید هر تن محصول در حدود دو تا سه کیلوگرم فسفر را از خاک خارج می‌کند (۳۸ و ۳۱). در صورت عدم کاربرد منابع فسفوری به خاک، تخلیه مداوم فسفر در اثر مصرف آن توسط گیاه سبب کاهش شدید این عنصر از منابع ذاتی خاک می‌شود (۳۲). از سوی دیگر با روش‌های صحیح مدیریتی در زمین‌های کشاورزی می‌توان فسفر قابل‌استفاده و فسفر کل را افزایش داد (۷ و ۹). گیاهان زراعی در ابتدا فسفر قابل‌جذب را مصرف می‌کنند، اما با کاهش آن

تشکیل داده و بیش‌تر بخش معدنی فسفر در طول زمان به‌دلیل تخیله پیوسته آن‌ها توسط گیاه برنج کاهش یافته، در حالی‌که در تیمارهای کودهای اعمال‌شده مقدار آن‌ها به‌دلیل افزودن فسفر افزایش یافته است. به دیگر سخن فسفر آلی طی زمان و در تیمار شاهد به‌دلیل نگهداری و غیرمتحرک‌سازی فسفر معدنی افزایش یافته است (۲۸). این مطالعه با هدف تعیین کمی شکل‌های مختلف فسفر در اراضی شالیزاری، ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک و پراکنش مکانی این اشکال و ویژگی‌های خاک کنترل‌کننده آن‌ها انجام شد.

### مواد و روش‌ها

**ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک:** در این پژوهش ۱۰۳ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) با پراکندگی جغرافیایی یکنواخت از شالیزارهای شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان انتخاب شدند. توزیع جغرافیایی نمونه خاک‌ها در شکل ۱ نشان داده شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک کردن از الک دو میلی‌متری گذرانده شدند و ویژگی‌های بافت خاک به روش هیدرومتر، pH گل اشباع با استفاده از الکتروود شیشه‌ای، کربن آلی به روش والکل‌بلاک، گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم در pH=۷ و کربنات کلسیم معادل به روش خشتی‌سازی با اسید اندازه‌گیری شد (۱۶).

برای جداسازی و تعیین شکل‌های شیمیایی فسفر معدنی از روش چانگ و جکسون اصلاح‌شده توسط کیو (۱۹۹۶) برای خاک‌های اسیدی تا خشتی استفاده شد. در این روش عصاره‌گیری دنباله‌ای شکل‌های مختلف فسفر با استفاده از: ۱) کلرید آمونیوم ۱ مولار برای عصاره‌گیری فسفر محلول، ۲) فلوراید آمونیوم نیم مولار برای استخراج فسفرهای پیوندیافته با آلومینیم،

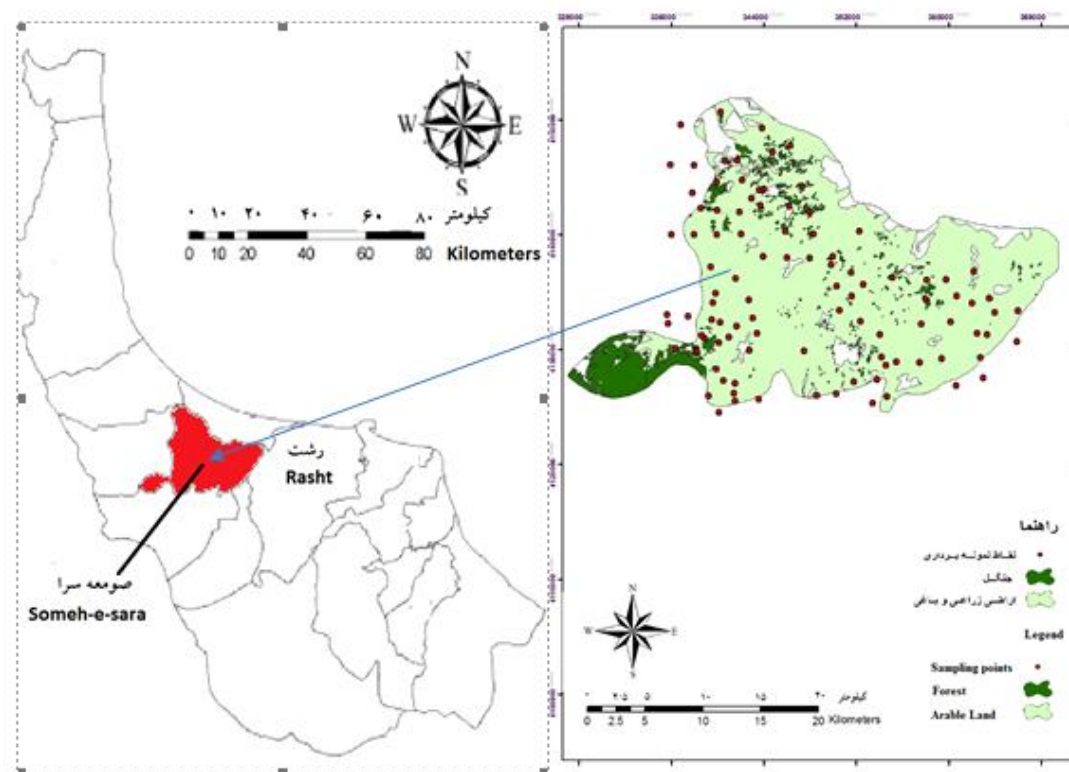
به‌طور معناداری کم‌تر از زمین‌های کشت نشده بود. عبدالگلیل و آدلی (۲۰۰۵) نشان داد که شکل‌های مختلف فسفر خاک توسط منابع ذاتی، هیدرولوژی و رفتار ژئوشیمیایی خاک کنترل شده و در خاک‌های مورد مطالعه فسفر قابل‌استفاده و فسفر متصل به آلومینیم و آهن به‌وسیله گیاهان زراعی جذب و فسفر متصل به کلسیم و فسفر باقی‌مانده نسبت به جذب مقاوم بودند (۱).

برای درک و آگاهی از غلظت فسفر قابل‌استفاده در خاک داشتن اطلاعات دقیق از پراکنش مکانی شکل‌های مختلف آن و عامل‌های مؤثر در آن در بهینه‌سازی مدیریت فسفر، قابلیت تحرک و جابجایی آن ضروری است. نیدل‌من و همکاران (۲۰۰۱) سه روش مختلف برای درون‌یابی مکانی فسفر قابل‌عصاره‌گیری استفاده نموده و چنین نتیجه‌گیری کردند که مدل‌های طبقه‌بندی صحرائی نسبت به کریجینگ در مقیاس آزمایش‌های انجام شده، ساده‌تر و ارزان‌تر است (۲۴). شلودر و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی مشکلات ناشی از درون‌یابی مکانی فسفر قابل‌استفاده کل دریافتند که در صورت نبود تعداد کافی داده، به‌کارگیری نیم‌تغییرنما و روش کریجینگ با صحت مناسبی به‌همراه نیست. هالبفس و گرون‌والد (۲۰۰۳) وابستگی توزیع مکانی فسفر معدنی را در شیب‌های گوناگون به‌میزان شیب، فرسایش و رسوبگذاری گزارش کردند. ردی و همکاران (۲۰۰۰) نیز به نتایج مشابهی در واحدهای هیدرولوژیکی در خاک‌های هیستوسول دست یافتند. چن و ما (۲۰۰۱) و هی‌لین (۲۰۰۵) نیز در مطالعات خود به نتایج مشابهی دست یافتند (۶ و ۱۳). لن و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی شکل‌های گوناگون فسفر در رژیم‌های مختلف کوددهی در شالیزارهای جنوب‌غربی چین نشان دادند که فسفر آلی (۷۵-۵۱٪) بخش عمده فسفر خاک را

این آماره‌ها با استفاده از نرم‌افزار (نسخه ۱۶) SPSS محاسبه شدند. از آزمون معنی‌دار بودن چولگی برای تشخیص نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید (۳). فسفر محلول در بسیاری از نمونه‌ها ناچیز و قابل اندازه‌گیری به روش مورفی و رایلی نبود، به این علت از این متغیر در تحلیل آمار توصیفی و آمار مکانی استفاده نشد. همبستگی خطی متغیرها با استفاده از ضریب خطی پیرسون (r) ارزیابی شدند. داده پرت با استفاده از روش پیشنهادی کاهن و همکاران (۱۹۹۴) حذف شدند. نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها، با استفاده از آزمون معنی‌داری چولگی و کشیدگی داده‌ها ارزیابی گردید (۲۸).

۳) هیدروکسید سدیم یک‌دهم مولار برای استخراج فسفرهای پیوندیافته با آهن و ۴) اسیدسولفوریک بیست و پنج صدم مولار برای استخراج فسفرهای پیوندیافته با کلسیم به‌کار رفت (۱۰). فسفر آلی به روش اولسن و سامرز (۱۹۸۲) تعیین شدند. فسفر موجود در همه عصاره‌ها به روش مورفی و رایلی (۱۹۶۲) اندازه‌گیری شدند.

**آمار توصیفی و همبستگی داده‌ها:** مهم‌ترین آماره‌های توصیفی مانند شاخص موقعیت توزیع (میانگین) و شاخص‌های پراکنش و شکل توزیع (حدافل و حداکثر، واریانس، چولگی و ضریب تغییرات) محاسبه شدند. وانگ و همکاران (۲۰۰۹) آماره‌های توصیفی را برای بررسی تمرکز و پراکندگی داده‌ها لازم دانستند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده در دشت مرکزی استان گیلان.

Figure 1. Geographical location of sampling points in the Central Plain of Guilan province.

شن، فسفر قابل استفاده و همه شکل‌های فسفر در خاک شامل فسفر آلی و فسفر پیوند یافته با کلسیم، آهن و آلومینیوم مثبت و با استفاده از آزمون معناداری چولگی در سطح احتمال پنج درصد معنادار و از این رو توزیع فراوانی آن‌ها غیر نرمال بود. غیر نرمال بودن توزیع فراوانی نشان‌دهنده آن است که در جامعه نمونه‌ها، جوامع فرعی مجزا وجود داشته، واریانس یکنواخت نبوده و داده پرت وجود دارد (۸ و ۴۱). این شرایط نشان‌دهنده تفاوت در فرآیندهای شیمیایی مؤثر بر رفتار متغیرها و یا وجود مواد مادری غیر یکنواخت است (۹).

متغیر pH خاک دارای کم‌ترین ضریب تغییرات و انحراف معیار است. کم بودن ضریب تغییرات نشان‌دهنده محدود بودن اثر عوامل بیرونی بر متغیر است. تسگی و هیل (۱۹۹۸) نیز نشان دادند که pH ضریب تغییرات کم‌تری نسبت به دیگر ویژگی‌های شیمیایی داراست، زیرا مقادیر pH بر پایه یک مقیاس لگاریتمی از غلظت پروتون در محلول خاک می‌باشد، پس برای یک تغییر کوچک در pH باید غلظت پروتون در محلول خاک به مقدار زیادی تغییر کند. فسفر قابل استفاده و همه شکل‌های مختلف فسفر در خاک از ضریب تغییرات بالایی برخوردار بودند که نشان‌دهنده غیر یکنواختی زیاد در این متغیرهاست (۴۱). دلایل متفاوتی برای این افزایش غیر یکنواختی بیان شده است که از آن جمله می‌توان به تفاوت در تیپ خاک‌های منطقه مورد مطالعه، تفاوت در مدیریت توصیه کودی فسفوری و عملیات کاشت، داشت و برداشت گیاه برنج اشاره نمود.

**آمار مکانی:** در روش‌های درون‌یابی آمار مکانی در صورتی که توزیع داده‌ها، نرمال یا نزدیک به نرمال باشد، برآوردها از صحت بیش‌تری برخوردار هستند (۲۲). قبل از کاربرد روش‌های آمار مکانی و بر پایه نتایج آمار توصیفی متغیرهایی که از چولگی معنی‌دار و توزیع فراوانی غیر نرمال برخوردار بودند، با استفاده از توابع لگاریتم طبیعی به توزیع نرمال تبدیل شدند. در آمار مکانی از نیم‌تغییرنما برای کمی‌سازی تغییرات ناحیه‌ای، تحلیل همبستگی مکانی و فراهم کردن مؤلفه‌های لازم برای درون‌یابی مکانی استفاده می‌شود (۲۳ و ۴۰). محاسبات نیم‌واریانس و برازش مدل‌های نیم‌تغییرنما به حداکثر در نیمی از درازترین بعد هندسی منطقه محدود گردید. مدل‌های برازش شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی عبارت از کروی، نمایی، خطی و گوسی بودند. انتخاب بهترین مدل‌های نیم‌تغییرنما بر پایه ضریب تبیین ( $R^2$ ) و مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) انجام پذیرفت. درون‌یابی متغیرهایی که از مدل‌های نیم‌تغییرنمای دارای سقف (کروی و نمایی) پیروی نمودند، از روش کریجینگ معمولی و برای متغیرهایی که از مدل‌های نیم‌تغییرنمای دارای سقف پیروی ننمودند، از روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله استفاده شد. در نهایت پهنه‌بندی فسفر قابل استفاده، شکل‌های مختلف فسفر و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک که در شکل‌های فسفر مؤثر بودند با استفاده از بهترین روش‌های درون‌یابی انجام شد. برای محاسبات آمار مکانی از نرم‌افزار GS+ (نسخه ۵/۰) و پهنه‌بندی از نرم‌افزار Arc GIS (نسخه ۹/۱) استفاده شد.

### نتایج

آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. چولگی متغیرهای کربن آلی،

روش اولسون در رابطه با فسفرهایی می‌باشند که بر روی کریستال‌های آلومینیم و آهن جذب سطحی شده و به آسانی فعال می‌گردند.

فسفر آلی و کربن آلی دارای ضریب تغییرات مشابهی بوده و نشان‌دهنده همبستگی مثبت معنادار این دو پارامتر با یکدیگر می‌باشد. محمود سلطانی و صمدی (۱۳۹۰) نشان دادند که فسفر آلی با کربن آلی دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار ( $r^{**}=0/58$ ) می‌باشند. نکته دارای اهمیت این است که به‌استثنای فسفر متصل به کلسیم، کربن آلی نقش مهمی در توجیه تغییرات بقیه شکل‌های فسفر، بازی می‌کند. کولاول و تیان (۲۰۰۷) بیان کردند که مواد آلی با ظرفیت بالای کلاته‌کنندگی می‌توانند فعالیت کاتیون‌های چندظرفیته تثبیت‌کننده فسفر مانند آلومینیم، آهن و کلسیم را کم کرده و با تشکیل کمپلکس آلی-فلزی، فسفر را از شکل‌های تثبیت‌شده آن به محلول خاک آزاد کنند.

سماواتی و حسین‌پور (۲۰۰۶) در بررسی وضعیت فسفر در ۵۳ خاک منطقه همدان نشان دادند که فسفر قابل‌استفاده (فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن) همبستگی معناداری با فسفر پیوندیافته با کلسیم، فسفر پیوندیافته با آلومینیم و فسفر پیوندیافته با آهن و فسفر محلول داشت. البته به‌نظر می‌رسد با توجه به پایداری کم‌تر کربنات کلسیم همبستگی فسفر پیوندیافته با کلسیم بر فسفر قابل دسترس ( $r=0/33$ ) از اهمیت کم‌تری برخوردار است.

ضریب همبستگی خطی بین متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. بین فسفر قابل‌استفاده و کربن آلی خاک همبستگی مثبت معنادار مشاهده شد. کولاول و تیان (۲۰۰۷) نشان دادند مواد آلی دارای ظرفیت کلاته‌کننده معنی‌داری هستند که فعالیت کاتیون‌های چندظرفیته ( $Al, Fe, Ca$ ) تثبیت‌کننده فسفر را کم و با تشکیل کمپلکس آلی-فلزی، فسفر را از شکل‌های تثبیت‌شده آن به محلول خاک آزاد کنند. چن و ما (۲۰۰۱) بیان کردند که غلظت‌های بالای فسفر قابل‌استفاده در خاک‌هایی با کربن آلی و سنگ آهک زیاد مشاهده می‌شود.

فسفر پیوندیافته با آهن و آلومینیم همبستگی منفی معناداری را با کربن آلی نشان دادند. فسفر پیوندیافته با کلسیم دارای بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنادار با pH خاک و به‌دنبال آن فسفر پیوندیافته با آهن با همبستگی منفی و معناداری با pH خاک قرار داشت (جدول ۲). روابط بین شکل‌های فسفر معدنی و pH توسط ردینگ‌بورگ و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش شده است. در این مطالعه فسفر قابل‌استفاده بیش‌ترین همبستگی معنادار را با شکل‌های فسفر پیوندیافته با آهن و آلومینیم (جدول ۲ و شکل ۴) و به‌دنبال آن با فسفر محلول (جدول ۲) دارد که نشان می‌دهد این شکل‌ها می‌توانند در تأمین فسفر قابل‌استفاده گیاه نقش داشته باشند. تی‌سن و همکاران (۱۹۸۴) نشان دادند که فسفر قابل‌استفاده عصاره‌گیری‌شده توسط

جدول ۱- آمار توصیفی شکل‌های مختلف فسفر و برخی ویژگی‌های خاک.

Table 1. Descriptive (Univariant) statistics of phosphorous fractions and some soil characteristics.

ضریب تغییرات Coefficient of Variation	کشیدگی Kurtosis	چولگی Skewness	میانگین Average	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	ویژگی‌های خاک Soil properties
10.6	-0.19	-0.89*	6.96	7.96	4.93	pH
44.9	2.56*	1.73*	2.43	6.46	0.99	کربن آلی (%) Organic matter (%)
12	7.137	2.413	3.07	21.6	0.0	کربنات کلسیم معادل % TNV%
46.4	0.64*	1.004*	19.37	48.0	3.0	شن (%) Sand (%)
15.3	-0.82	0.14	49.08	66.0	34.0	سیلت (%) Silt (%)
30.1	-0.56	0.31	31.38	54.0	11.0	رس (%) Clay (%)
95.3	2.21*	1.63*	19.93	88.2	1.3	فسفر قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم) Available phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )
48.3	0.17	0.64*	210.77	525.0	25.0	فسفر آلی (میلی گرم در کیلوگرم) Organic Phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )
62.5	1.56*	0.94*	226.07	800.0	0.0	فسفر پیوند یافته با کلسیم (میلی گرم در کیلوگرم) Ca bounded phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )
132.9	1.84*	1.56*	110.6	590.0	0.0	فسفر پیوند یافته با آهن (میلی گرم در کیلوگرم) Fe bounded phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )
194.5	6.74*	2.53*	15.63	130.0	0.0	فسفر پیوند یافته با آلومینیوم (میلی گرم در کیلوگرم) Al bounded phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )

\*Significant probability at 5 percent.

\* معنادار در سطح احتمال ۵ درصد.

جدول ۲- ضریب‌های همبستگی خطی بین فسفر قابل استفاده و شکل‌های مختلف فسفر با برخی از ویژگی‌های خاک.

Table 2. Linear correlation coefficients between available phosphorous and different phosphorous fractions and some soil characteristics.

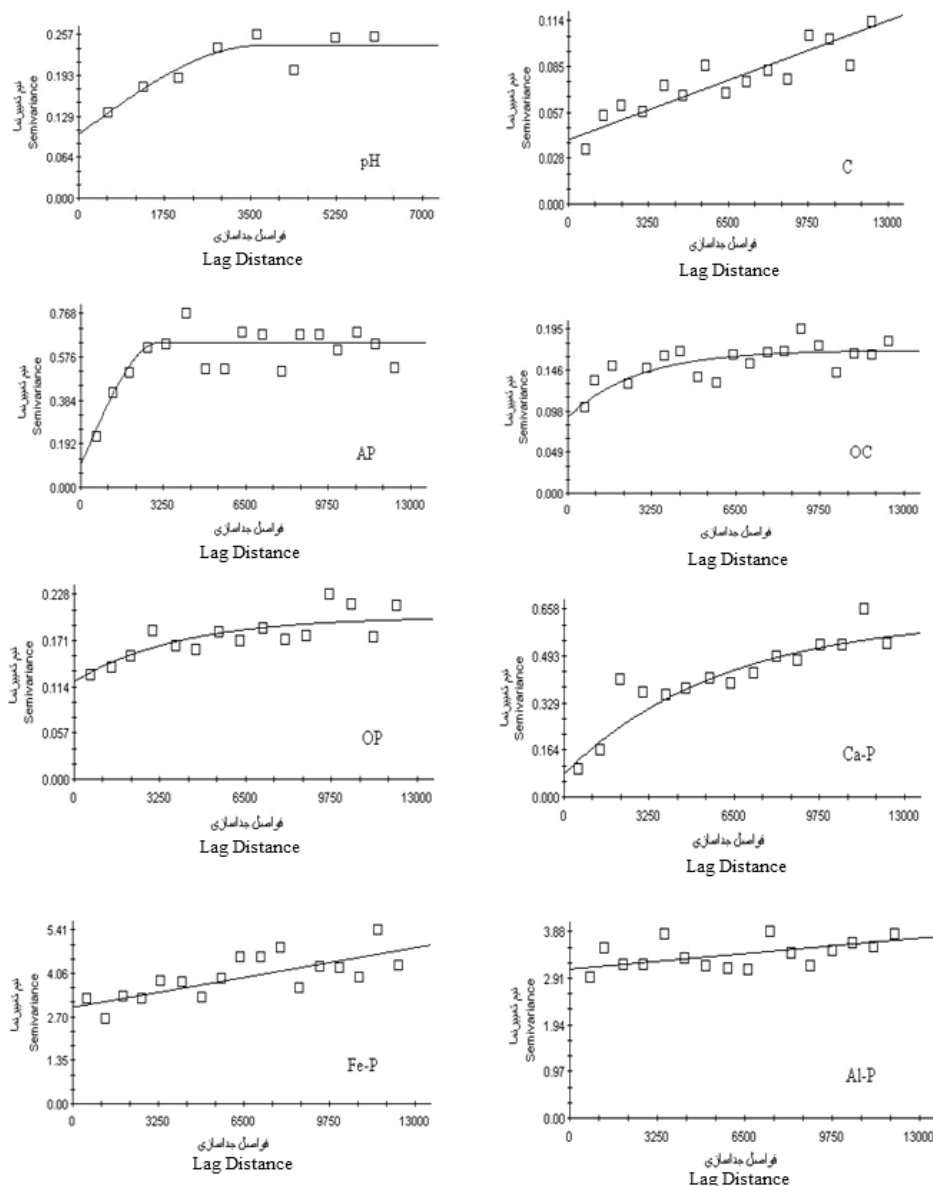
فسفر قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم) Available phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	ویژگی‌های خاک Soil properties			شکل‌های فسفر (میلی گرم در کیلوگرم) Phosphorus fractions (mg kg <sup>-1</sup> )
	اسیدیته خاک pH	رس (%) Clay (%)	کربن آلی (%) Organic carbon (%)	
-0.35**	0.20*	0.40**	0.58**	فسفر آلی Organic Phosphorus
0.33**	0.56**	-0.11 <sup>ns</sup>	-0.21*	فسفر پیوند یافته با کلسیم Ca bounded phosphorous
0.84**	-0.37**	-0.26**	-0.40**	فسفر پیوند یافته با آهن Fe bounded phosphorous
0.94**	0.06 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	-0.40**	فسفر پیوند یافته با آلومینیوم Al bounded phosphorous
0.61**	0.16 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-0.20**	فسفر محلول Soluble phosphorus
1	-0.06 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	0.42**	فسفر قابل استفاده Available phosphorus

\* and \*\* significant at 5 and 1% confidence level.

\* معنادار در سطح احتمال ۵ درصد و \*\* معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

پیوندیافته با کلسیم و فسفر آلی از مدل نمایی، فسفر قابل‌دسترس و pH از مدل کروی، رس و فسفر پیوندیافته با آهن از مدل خطی و فسفر پیوندیافته به آلومینیم از مدل خطی با شیب کم و نزدیک به اثر قطعه‌ای خالص پیروی نمودند.

تحلیل همبستگی مکانی: پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی برای گام‌های فاصله‌ای مختلف، مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنما بر آنان برازش داده شد. مدل‌های برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی متغیرهای خاک در شکل ۲ و مؤلفه‌های آن در جدول ۳ نشان داده شد. متغیرهای pH، کربن آلی و دو شکل فسفر



شکل ۲- مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر متغیرهای مطالعه شده، رس (C)، pH، کربن آلی (OC)، فسفر قابل‌استفاده (Ap)، فسفر پیوندیافته با آلومینیم (AL-P) و فسفر پیوندیافته با آهن (Fe-P).

Figure 2. Semi variant models fitted on studied variables; Clay (C), pH, Organic Carbon (OC), available phosphorous (Ap), Al bounded phosphorous and Fe bounded phosphorous.



جدول ۳- مؤلفه‌های مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر متغیرهای مورد مطالعه.

Table 3. Semivariogram parameters of fitted models for studied variables.

RSS	R <sup>2</sup>	کلاس همبستگی Correlation class	واریانس قطعه‌ای Nugget effect	آستانه Sill	دامنه Range	مدل Model	ویژگی‌های خاک Soil Properties
$2.39 \times 10^{-3}$	0.83	M	0.1	0.24	3700	کروی	pH
$4.36 \times 10^{-3}$	0.52	M	0.09	0.17	2700	نمایی	کربن آلی (%) Organic matter (%)
$1.3 \times 10^{-3}$	0.80	-	0.04	-	-	خطی	رس (%) Clay (%)
0.083	0.70	S	0.1	0.64	3100	کروی	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )
$3.8 \times 10^{-3}$	0.64	M	0.12	0.2	4000	نمایی	فسفر آلی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Organic Phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )
$5.18 \times 10^{-3}$	0.83	S	0.08	0.63	6000	نمایی	فسفر پیوندیافته با کلسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Ca bounded phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )
3.45	0.55	-	3.00	-	-	خطی	فسفر پیوندیافته با آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) Fe bounded phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )
1.36	0.26	-	3.20	-	-	خطی	فسفر پیوندیافته با آلومینیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Al bounded phosphorous (mg kg <sup>-1</sup> )

R<sup>2</sup>: ضریب تبیین؛ RSS: مجموع مربعات باقی‌مانده؛ M: وابستگی مکانی متوسط؛ S: وابستگی مکانی قوی، کربن آلی (OC)، رس (C)، فسفر قابل استفاده (Ap)، فسفر پیوندیافته با آلومینیوم (AL-P) و فسفر پیوندیافته با آهن (Fe-P).

Note: R<sup>2</sup>=Adjusted R square, Rss=Sum of Squared Residuals, M=Moderate spatial dependence, S=strong spatial dependence, C=Clay, OC=Organic Carbon, Ap=Available phosphorous and AL-P and Fe-P=Al bounded phosphorous and Fe bounded phosphorous, respectively.

فسفر پیوندیافته با کلسیم در نوسان می‌باشند. دامنه تأثیر برای فسفر قابل استفاده ۳۱۰۰ متر است. پژوهشگران مختلف، دامنه‌های متفاوتی را برای وابستگی مکانی فسفر خاک گزارش کردند. نیدلمن و همکاران (۲۰۰۱) در یک حوزه آبریز با مساحت ۳۹/۵ هکتار برای فسفر قابل دسترس دامنه ۲۶۷ متر را بیان کردند. شولدر و همکاران (۲۰۰۱) در محدوده وسیع (۱۱۸۸ هکتار)، دامنه ۲۴ کیلومتر را برای فسفر قابل استفاده (عصاره‌گیری شده به روش اولسون) به دست آوردند.

دامنه تأثیر فسفر قابل استفاده با مدل کروی به دامنه تأثیر کربن آلی با مدل نمایی نزدیک می‌باشد. واریانس قطعه‌ای در این دو متغیر نیز به نسبت مشابه می‌باشد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که الگوی پراکنش مکانی کربن آلی خاک به فسفر قابل استفاده خاک شبیه و آن

دامنه تأثیر، فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها بر هم تأثیری نداشته و یا وابستگی مکانی کافی نشان نمی‌دهند و می‌توان آن‌ها را مستقل از یکدیگر محسوب نمود. این فاصله همبستگی مکانی متغیر مورد نظر را مشخص ساخته و اطلاعاتی در رابطه با حد مجاز فاصله نمونه‌برداری ارائه می‌کند. دامنه تأثیر بزرگ‌تر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر دارد. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌شود که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر مورد نظر در نقاط مجهول استفاده کرد. به عبارت دیگر هرچه این دامنه گسترده‌تر باشد از تعداد نمونه بیش‌تری برای تعیین نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده می‌شود (۱۲).

تحلیل نیم‌تغییرنماها نشان می‌دهد که دامنه تأثیر متغیرها از ۲۷۰۰ متر برای کربن آلی تا ۶۰۰۰ متر برای

عامل‌های ذاتی (مواد مادری، وضعیت هیدرولوژی و پوشش گیاهی) و عوامل مدیریتی (مانند کوددهی و بقایای گیاهی) است.

شکل‌های به نسبت فعال فسفر (Fe-P و Al-P) از مدل نیم‌تغییرنمای خطی بدون سقف با شیب کم و واریانس قطعه‌ای زیاد پیروی نمودند که نشان‌دهنده ساختار مکانی ضعیف است (شکل ۲). آماره‌های  $R^2$  و RSS برای ارزیابی درستی برازش مدل در این دو متغیر به ترتیب کم و زیاد بودند (جدول ۲). عواملی مانند وجود روند و واریانس قطعه‌ای زیاد می‌توانند در برازش ضعیف مدل‌های نیم‌تغییرنما بر داده‌های تجربی مؤثر باشند (۱۸). وجود روند، شیب کم و واریانس قطعه‌ای زیاد نشان‌دهنده رفتار نزدیک این متغیرها به تغییرات تصادفی در مقیاس و بعد هندسی ناحیه مورد مطالعه است.

**توزیع مکانی متغیرهای مورد مطالعه:** تخمین‌گرهای مورد استفاده در این مطالعه روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله بودند. برای متغیرهای pH، کربن آلی، فسفر قابل‌استفاده، فسفر آلی و فسفر پیوندیافته با کلسیم که از مدل‌های دارای سقف (کروی یا نمایی) پیروی نمودند، از روش کریجینگ استفاده شد. کریجینگ بهترین تخمین نارایب خطی را میسر می‌سازد (۲۱) برای متغیرهای رس، فسفر پیوندیافته با آهن و آلومینیوم که از مدل خطی با شیب کم پیروی می‌نمودند، از روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله استفاده شد. در این روش به نزدیک‌ترین نمونه‌ها وزن بیشتر و به نمونه‌های دورتر وزن کم‌تری اختصاص داده می‌شود (۱۸ و ۲۲).

نقشه‌های حاصل برای متغیرهای مورد بررسی در شکل ۳ نمایش داده شدند. نتایج نشان دادند pH خاک در نیمی از منطقه مورد مطالعه از شمال تا جنوب به‌جز منطقه کوچکی در شمال‌غربی تقریباً بازی (pH در محدوده ۷ تا ۸)، در قسمت نیمه دیگر

را تحت تأثیر قرار داده است. فسفر قابل‌استفاده خاک همبستگی مثبت معناداری با کربن آلی خاک داشت (جدول ۲). عبدالجلیل و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که در تمام خاک‌های مورد مطالعه رابطه مثبتی بین فسفر قابل‌استفاده و کربن آلی خاک وجود دارد. برادی و ویل (۲۰۰۸) دریافتند که با افزایش مواد آلی فسفر فعال در خاک افزایش می‌یابد.

اندازه وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک از طریق نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه ارزیابی می‌شود. هرگاه این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد باشد نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی متوسط و هرگاه این نسبت بیش از ۷۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف است (۶). ضعیف بودن ساختار مکانی معیاری از تغییرات تصادفی، دامنه کوتاه و غیرقابل توصیف است. بر این اساس فسفر قابل‌استفاده و فسفر پیوندیافته با کلسیم از وابستگی مکانی قوی برخوردار بودند. غالباً وابستگی‌های مکانی قوی از فرآیندهای داخلی (ذاتی) و وابستگی‌های مکانی ضعیف از فرآیندهای خارجی (مدیریتی) متأثر هستند (۶). سان و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که تغییرپذیری ویژگی‌های خاک ممکن است تحت تأثیر عامل‌های داخلی (عامل‌های تشکیل‌دهنده خاک) مانند مواد مادری و عامل‌های خارجی (عامل‌های مدیریتی خاک) باشد. ارزیابی میدانی از طریق پرسشنامه‌ها نیز نشان داد که در ناحیه مورد مطالعه، کشاورزان به نسبت کمی از کود فسفاته استفاده نموده‌اند (نتیجه‌ها نشان داده نشدند). فرآیندهای مدیریتی مانند تاریخ کاشت، مقدار و نوع کود مصرف معمولاً به‌صورت ویژه در مکان و زمان‌های متفاوت انجام می‌شود، در نتیجه انتظار می‌رود از شباهت و همبستگی مکانی متغیرها کاسته شود. متغیرهای pH و کربن آلی از وابستگی مکانی متوسط برخوردار بودند. به‌نظر می‌رسد تغییرات این متغیرها تحت تأثیر هم‌زمان

دارد. در شرق منطقه مورد مطالعه، جایی که مقدار رس خاک نسبت به سایر نقاط کم تر بوده، بیشترین غلظت فسفر قابل دسترس وجود دارد.

توزیع مکانی فسفر آلی دارای الگوی تقریباً مشابه با پراکنش مکانی کربن آلی و pH خاک می باشد (شکل های ۳- ب و ه). در شرق منطقه مطالعاتی با pH کم، غلظت فسفر آلی نیز کم و در شمال منطقه با pH زیاد، بیشترین غلظت فسفر آلی وجود داشت. دامنه تأثیر این دو متغیر مشابه (جدول ۳) و همبستگی مثبت معنادار فسفر آلی با pH (جدول ۲) این نتیجه را تأیید می کند.

توزیع مکانی شکل های فسفر پیوند یافته با آلومینیوم و آهن با pH نشان داد که دارای همبستگی مکانی منفی هستند. مناطق با غلظت زیاد فسفر پیوند یافته با آلومینیوم و آهن دارای pH کم هستند (شکل های ۳- و، ز و الف). فسفر پیوند یافته با کلسیم و وابستگی مکانی مثبت نشان دادند (شکل ۳- الف و د). در بین این دو متغیر همبستگی مثبت معنادار وجود داشت (جدول ۲). در مرکز ناحیه مطالعاتی که از pH بالاتری برخوردار است، بیشترین غلظت فسفر پیوند یافته با کلسیم وجود داشت.

### نتیجه گیری نهایی

فسفر قابل استفاده و همه شکل های فسفر در خاک های شالیزاری از تغییرات و غیریکنواختی زیادی برخوردارند که نشان دهنده تفاوت عامل های مؤثر در وضعیت و شکل های مختلف فسفر است. با توجه به پایداری کمپلکس های هیدروکسی آلومینیوم فسفات و هیدروکسی آهن فسفات در pH های کم تر از ۶ و منطبق بودن توزیع مکانی غلظت های بالای فسفر قابل استفاده با pH کم تر از ۶ در شرق ناحیه مطالعه شده از یک سو و همبستگی زیاد فسفر های پیوند یافته با آهن و آلومینیوم با فسفر قابل استفاده

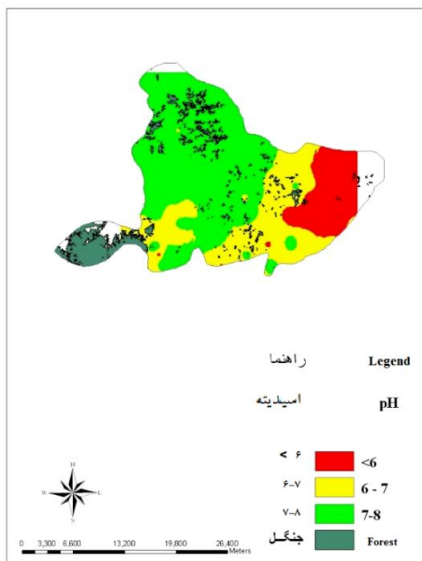
منطقه از نوار باریک از شمال تا جنوب اسیدی ضعیف (pH در محدوده ۶-۷) و در قسمتی از شرق ناحیه اسیدی متوسط (pH > ۶) می باشد (شکل ۳- الف).

غلظت فسفر قابل دسترس در شمال شرق ناحیه مطالعه شده بیش تر است (شکل ۳- د). ارزیابی پرسشنامه ها نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی فسفات توسط کشاورزان در این بخش بیش تر است. آگنین و آجوک (۲۰۰۶) نشان دادند که مصرف کودهای شیمیایی تنها غلظت فسفر قابل دسترس از بخش فعال را افزایش داده، اما اثر آن بر غلظت فسفر آلی کم است. در بیش تر خاک های این ناحیه pH کم تر از شش و غلظت فسفر پیوند یافته با آهن و آلومینیوم نسبت به سایر اشکال بیش تر است (شکل ۳- و، ز). فسفر قابل دسترس دارای بیش ترین همبستگی خطی معنادار با فسفر پیوند یافته با آهن و آلومینیوم بود (جدول ۲). به نظر می رسد با کاهش pH تا کم تر از ۶ پایداری کمپلکس های هیدروکسی آلومینیوم فسفات و هیدروکسی آهن فسفات افزایش یابد. فسفر پیوند یافته با آهن و آلومینیوم بیش ترین همبستگی را با فسفر قابل دسترس داشته اند (جدول ۲).

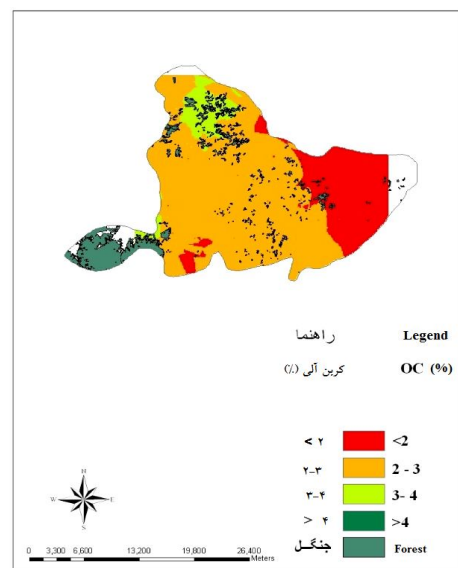
بر پایه حد بحرانی پیشنهادی دابرنمن و فیرهوست (۲۰۰۰) برای فسفر قابل استفاده (۱۲ میلی گرم در کیلوگرم) و ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) که حد بحرانی را برای فسفر (با روش اولسون) در خاک های شالیزاری شمال کشور ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم بیان کردند، غلظت این عنصر در برخی اراضی غرب، شمال غرب و مرکز منطقه مطالعه شده کم تر از حد بحرانی قرار دارد (شکل ۳- الف). هر چند رابطه معنی داری بین pH و فسفر قابل استفاده مشاهده نشد (جدول ۲)، اما pH خاک ها در بیش تر بخش های غرب و شمال غرب منطقه در دامنه ۷ تا ۸ قرار داشتند. توزیع مکانی فسفر قابل دسترس و متغیر رس نشان داد که همبستگی مکانی منفی بین این دو متغیر وجود

ارتباط قوی بین فسفر قابل استفاده و شکل‌های فسفر پیوندیافته آهن و آلومینیم از یک سو و ارتباط آن با ویژگی‌های پایه‌ای خاک مانند کربن آلی، تعیین محدوده همبستگی مکانی این ویژگی‌ها می‌تواند در بهبود مدیریت مصرف فسفر در اراضی شالیزاری مؤثر واقع شود.

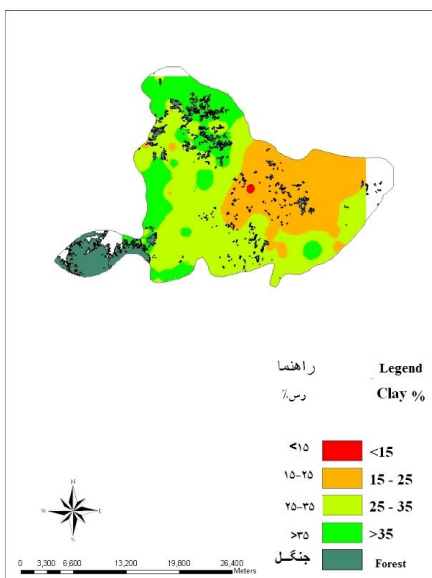
احتمالاً این شکل‌ها از نقش بیشتری در تامین نیاز گیاه به فسفر برخوردار هستند. غلظت فسفر قابل استفاده در شمال غرب و غرب ناحیه مطالعه شده از غلظت‌های کم‌تر از حد بحرانی (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) برخوردار بودند که منطبق با نواحی با pH خاک بزرگ‌تر از ۷ بودند. با توجه به مشخص شدن



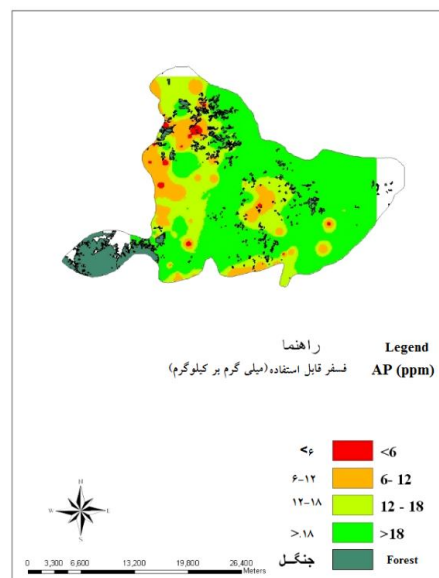
الف - pH



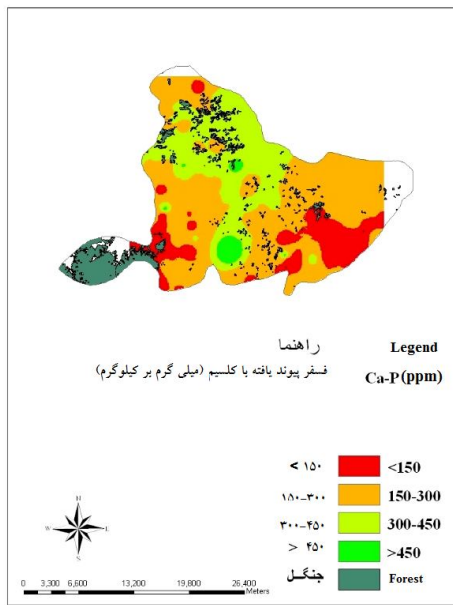
ب- کربن آلی (%)  
Organic carbon



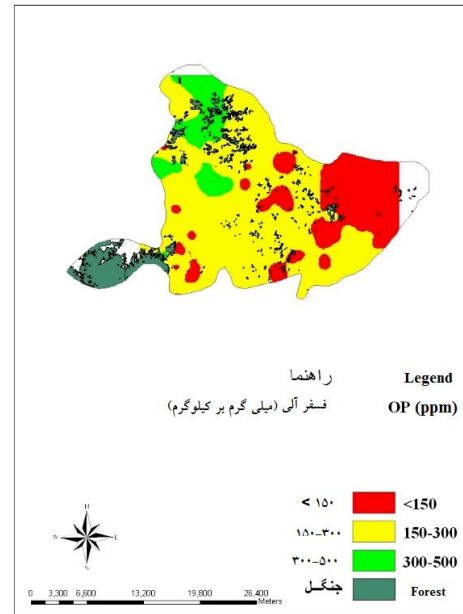
ج- رس (%)  
Clay (%)



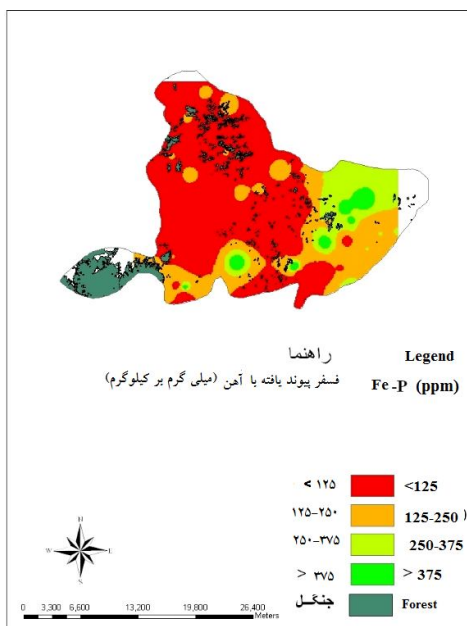
د- فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم)  
Available Phosphorus (mg/kg)



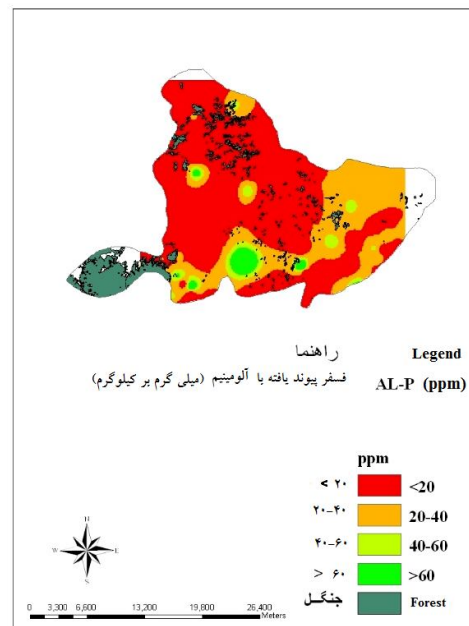
د- فسفر پیوند یافته با کلسیم (میلی گرم در کیلوگرم)  
Ca bounded phosphorous (mg/kg)



ه- فسفر آلی (میلی گرم در کیلوگرم)  
Organic phosphorous (mg/kg)



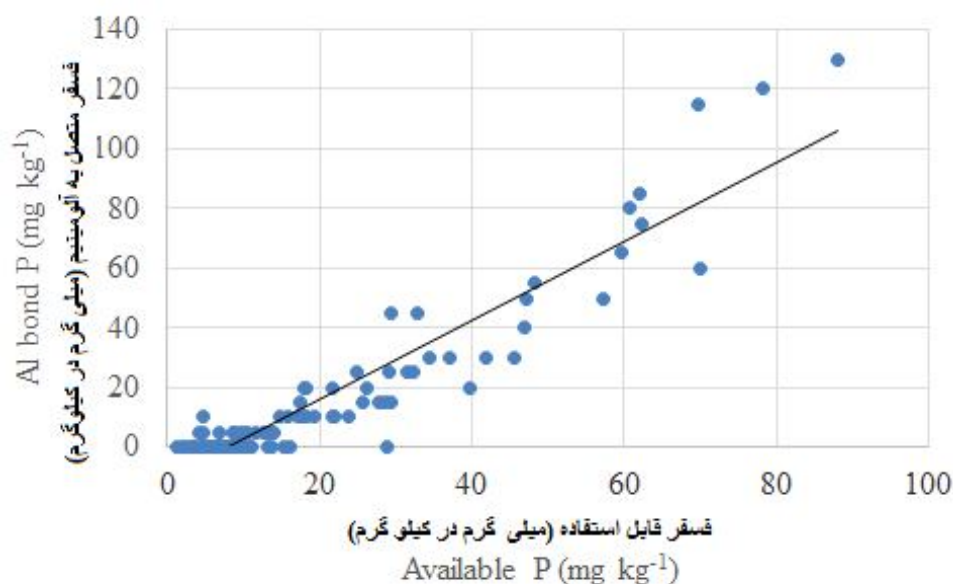
و- فسفر پیوند یافته با آهن (میلی گرم در کیلوگرم)  
Fe bounded phosphorous (mg/kg)



ز- فسفر پیوند یافته با آلومینیم (میلی گرم در کیلوگرم)  
Al bounded phosphorous (mg/kg)

شکل ۳- توزیع مکانی متغیرهای مورد مطالعه.

Figure 3. Spatial distribution of the studied variables.



شکل ۴- رابطه بین فسفر متصل به آلومینیم و فسفر قابل جذب در خاک‌های شالیزاری مورد مطالعه.

Figure 4. Relationship between available P and Al bounded P in the studied paddy soils.

#### منابع

1. Abd El-Galil, A., and Adly, A.M.O. 2005. Spatial variability of phosphorus fractions in surficial sediments along the river Nile, Egypt. Environmental inact assessment. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. 8: 2. 41-57.
2. Agbenin, J.O., and Igbokwe, S.O. 2006. Effect of soil-dung manure incubation on the solubility and retention of applied phosphate by a weathered tropical semi-arid soil. Geoderma. 133: 3. 191-203.
3. Balasundram, S.K., Husni, M.H.A., and Ahmad, O.H. 2008. Application of geostatistic tools to qualify spatial variability of selected soil chemical properties from a cultivated tropical peat. J. Agron. 7: 1. 82-87.
4. Brady, N.C., and Weil, R.R. 2008. Nature and properties of soils. 14<sup>th</sup> ed. Prentice hall, Upper saddle Riever, NJ. USA, 992p.
5. Cahn, M., Hummel, J., and Brouer, B. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 4. 1240-1248.
6. Chen, M., and Ma, L.Q. 2001. Taxonomic and geographic distribution of total phosphorus in Florida surface soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 5. 1539-1547.
7. Darilek, J., Huang, B., De-Cheng, L., Zhi-Gang, W., Yong-Cun, Z., Wei-Xia, S., and Xue-Zheng, S. 2010. Effect of land use conversion from rice paddies to vegetable fields on soil phosphorus fractions. Pedosphere. 20: 2. 137-145.
8. Davatgar, N., Kavos, M., Alinia, M.H., and Peykan, M. 2004. Evaluation of the effect of potassium and soil physical and chemical properties in paddy fields of Guilan province. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. University of Technology. Esfahan University of Technology. Number 4.
9. Doberman, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice nutrient disorders and nutrient management. Potash and phosphate institute of Canada and international rice research institute. Oxford Geographic Printers Pte Ltd. Canada, Philippines, 192p.
10. Guo, F., Yost, R.S., and Jones, R.C. 1996. Evaluating iron-impregnated paper strips for assessing available soil phosphorus. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27: 11-12. 2561-2590.
11. Halbfuß, S., and Grunewald, K. 2003. Spatial variability of phosphorus contents in top-soils of two small catchments under agricultural use. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166: 2. 197-203.

12. Hasani Pak, A.A. 2007. *Geostatistics*. Tehran University Press. Tehran. Iran.
13. Hailin, Z., and Kovar, J.L. 2000. Phosphorus fractionation. P 50-59, In: *Methods of P Analysis*. (ed.). North Carolina University, Raleigh, USA.
14. Heilmann, E., Leinweber, P., Ollesch, G., and Meißner, R. 2005. Spatial variability of sequentially extracted P fractions in a silty loam. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 3. 307-315.
15. Kuo, S. 1996. Phosphorus. P 869-919, In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3: Chemical Methods*. SSSA, Madison, WI.
16. Klute, A. 1985. *Methods of soil analysis .Part I and II .Agronomy*. Mad. Wis. USA, 1188p.
17. Kolawole, G.O., and Tian, G. 2007. Phosphorus fractionation and crop performance on an Alfisol amended with phosphorus rock combined with and without plant residues. *Afr. J. Biotech.* 6: 16. 1972-1978.
18. Madani, H. 1990. *Geostatistics*. Foolad Industry Publication center. Iran, 660p.
19. Mahmoud Soltani, S., Davatgar, N., Kavooosi, M., and Darighgoftar, F. 2011. Phosphorous fractionation of paddy fields and their relations with physical and chemical properties of soils (Case study: Some-e-Sara city, Guilan province). *J. Water Soil Cons.* 18: 2. 159-176.
20. Mahmoud Soltani, S., and Samadi, A. 2003. Phosphorus fractionation of some calcareous soils in Fars province and their relationships with some soil properties. *Agr. Sci. Nat. Res. J.* 3: 7. 119-128.
21. Malakooti, M.J., and Kavooosi, M. 2004. *Balance nutrition of rice*. SANA publication press. Iran, 611p.
22. Miller, M.P., Singer, M.J., and Nielsen, D.R. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 4. 1133-1141.
23. Mohamadi, J. 2006. *Pedometeri*. Pelk Publication Company. Iran, 454p.
24. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica. Acta.* 27: 31-36.
25. Needelman, B.A., Gburek, W.J., Sharpley, A.N., and Petersen, G.W. 2001. Environmental Management of Soil Phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 5. 1516-1522.
26. Najafi, N., and Towfighi, H. 2006. Effects of rhizosphere of rice on the inorganic phosphorus fractions in paddy soils of north of Iran: 1- Native phosphorus fractions. *Iran. J. Agric. Sci.* 37: 5. 919-933.
27. Najafi, N., and Towfighi, H. 2011. Effects of soil moisture regimes and phosphorus fertilizer on available and inorganic P fractions in some paddy soils, north of Iran. *Iran. J. Water Soil Res.* 42: 2. 257-269.
28. Negassa, W., and Leinweber, P. 2009. How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172: 3. 305-325.
29. Lan, M.Z., Lin, X.J., Wang, F., Zhang, H., and Chen, C.R. 2012. Phosphorus availability and rice grain yield in a paddy soil in response to long-term fertilization. *Biol. Fertil. Soils.* 48: 5. 579-588.
30. Olsen, S.R., and Sommers, J.F. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A.L. Page (Ed.), *Methods of soil Analysis*. Agron. No. 9, part 2: Chemical and microbiological properties, 2<sup>nd</sup> edition. Am. Soc. Agron. Madison. WI. USA.
31. Paz-Gonzalez, A., Vieira, S., and Castro, M.T.T. 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an Umbric horizon. *Geoderma.* 97: 3. 273-292.
32. Reddy, D.D., Rao, A.S., and Rupa, T. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Biores. Tech.* 75: 2. 113-118.
33. Rodenburg, J., Stein, A., van Noordwijk, M., and Ketterings, Q.M. 2003. Spatial variability of soil pH and phosphorus in relation to soil run-off following slash-and-burn land clearing in Sumatra, Indonesia. *Soil Till. Res.* 71: 1. 1-14.

34. Saleque, M., Abedin, M., Ahmed, Z., Hasan, M., and Panaullah, G. 2001. Influences of phosphorus deficiency on the uptake of nitrogen, potassium, calcium, magnesium, sulfur and zinc in lowland rice varieties. *J. Plant Nutr.* 24: 10. 1621-1632.
35. Saleque, M., Abedin, M., Bhuiyan, N., Zaman, S., and Panaullah, G. 2004. Long-term effects of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice. *Field Crops Res.* 86: 1. 53-65.
36. Samavati, M., and Hossainpoor, A. 2006. Phosphorus fractionation of some soils in Hamedan and their relationships with some soil properties. *Soil Water J.* 20: 2. 246-259.
37. Schloeder, C., Zimmerman, N., and Jacobs, M. 2001. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 2. 470-479.
38. Shuai, X., and Yost, R.S. 2004. State-space modeling to simplify soil phosphorus fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 4. 1437-1444.
39. Sun, B., Zhou, S., and Zhao, Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma.* 115: 1. 85-99.
40. Tiessen, H., Stewart, J., and Cole, C. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 4. 853-858.
41. Timsina, J., and Connor, D. 2001. Productivity and management of rice-wheat cropping systems: issues and challenges. *Field Crop Res.* 69: 2. 93-132.
42. Tsegaye, T., and Hill, R.L. 1998. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth and nutrient uptake measurement. *Soil Sci.* 163: 155-165.
43. Wang, Z., Song, K., Zhang, B., Liu, D., Li, X., Ren, C., Zhang, S., Luo, L., and Zhang, C. 2009. Spatial variability and affecting factors of soil nutrients in croplands of Northeast China: a case study in Dehui County. *Plant Soil Environ.* 55: 3. 110-120.
44. Young, F., Hammer, R., and Larsen, D. 1999. Frequency distributions of soil properties on a loess-mantled Missouri watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1. 178-185.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(5), 2018*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Spatial variability of phosphorus fractions in paddy soils**

**\*Sh. Mahmoud Soltani<sup>1</sup>, N. Davatgar<sup>2</sup>, M. Shakoori<sup>3</sup> and M. Paykan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, <sup>2</sup>Assistant Prof., of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, <sup>3</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Guilan University, <sup>4</sup>Chemistry Laboratory Officer of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Received: 12/21/2016; Accepted: 12/30/2017

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Phosphorus (P) has been one of the major nutrients limiting agricultural production in many rice growing regions of the world. In spite of P importance for rice sustainable production, the cultivated paddy fields of Guilan have not long-term, in proper and scientific P management strategies. Phosphorus (P) chemistry in paddy soils is complicated due to various chemical and biological processes involve in its availability through various P fraction pools. Therefore, P fractions play a crucial role on soil available P supplying capacity especially in paddy fields. Proper and effective managerial practices of P and assessment of their effects on rice production requires an understanding of their variability in concentration across the fields. The spatial variability of soil properties and P content is the outcome of the interaction of several soil characters and processes and in agricultural fields involves also effects of management practices. Thus, the objective of this study was to conduct a large-scale analysis of the spatial variability of available and organic P and also inorganic P fractions and the important physical and chemical soil characters on P fractions' distribution for better fertilizers managerial practices.

**Materials and Methods:** This experiment was conducted at Some-e-Sara city in Guilan province. Soil samples were collected from 103 paddy fields with uniform geographical distribution in grids of 2×2 km. Soil samples were analyzed to determine available P, organic P, their effective physical and chemical properties (Texture, pH, CEC, T.N.V, Clay and O.C) and also sequentially extracted to determine inorganic P fractions(soluble P, Al-P, Fe-P and Ca-P). Descriptive and spatial variability analysis and mapping was done by using SPSS (ver. 16), GS+ (ver. 5.1) and Arc GIS (Ver. 9.1), respectively.

**Results:** The highest coefficients of variation belonged to available P and its controlling P fractions, Al and Fe bounded P, about 132 and 194, respectively, whereas, pH showed the lowest CV, 10.6. The nugget to sill ratio ranged from 12 to 60% for almost all the studied data sets, showing moderate to strong pattern of spatial dependence. The small to moderate nugget effects also indicate that the sampling grid used was proper to reflect the spatial dependence of the studied soil properties and P fractions. Analysis of semivariogram corresponding to experimental data sets showed that the values for the range of spatial dependence of the semivariogram models varied from 2700 to 6000 m. Based on the results obtained from linear correlation analyses and spatial distribution maps, available P strongly correlated with both Al and Fe-P fractions and OC, about 0.84, 0.94 and 0.40, respectively.

**Conclusions:** Based on the results obtained from linear correlation analyses and spatial distribution maps, available P strongly correlated with both Al and Fe-P fractions and OC. Therefore, we concluded that determination of spatial correlation's area of these soil chemical properties can effectively improve P fertilizers management in paddy fields.

**Keywords:** Rice, Paddy soils, Guilan, Spatial variability, Inorganic phosphorus fractions, Organic phosphorus, Available phosphorus

---

\* Corresponding Author; Email: [shmsoltani@gmail.com](mailto:shmsoltani@gmail.com)

