

## غلظت آستانه زیست محیطی فسفر برای برخی خاک‌های آهکی استان آذربایجان شرقی

رامین سلماسی<sup>۱</sup>، محسن فرح‌بخش<sup>۲\*</sup> و حسین اسدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران و استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران، <sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران و <sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده علوم خاک، دانشگاه گیلان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۳۰

### چکیده

برای ارزیابی پتانسیل حرکت فسفر از یک منطقه به آب‌های سطحی، چه از طریق رواناب سطحی یا زهکش زیرزمینی، یک شاخص عملی مورد نیاز است. درجه اشباع فسفر، که میزان فسفر جذب‌شده به خاک را به ظرفیت جذب آن ارتباط می‌دهد، می‌تواند شاخص مناسبی از توانایی رهاسازی فسفر آن خاک باشد. برای خاک‌های کشور، تا کنون روش‌های محاسبه درجه اشباع فسفر به کار گرفته نشده است. اهداف این پژوهش، توسعه شیوه‌های محاسبه درجه اشباع فسفر برای خاک‌های آهکی اطراف شهرستان‌های بستان‌آباد، سراب و هریس استان آذربایجان شرقی واقع در زیرحوضه دریاچه ارومیه؛ به دست آوردن مقادیر درجه اشباع فسفر برای خاک‌های آهکی و ارزیابی درجه اشباع فسفر با استفاده از فسفر محلول به عنوان شاخص پتانسیل هدررفت فسفر از طریق رواناب می‌باشد. به این منظور، از ۳۰ نقطه از مناطق یادشده که فسفر آن‌ها در دامنه وسیعی قرار داشت، نمونه برداری خاک از لایه سطحی انجام شد و پس از تعیین ویژگی‌های بافت، واکنش، کربن آلی و آهک نمونه‌های خاک، با استفاده از چهار روش اندازه‌گیری یا عصاره‌گیری فسفر خاک و چهار روش برای تعیین ظرفیت جذب آن، ۱۶ شکل گوناگون از درجه اشباع فسفر به دست آمد. درجه اشباع فسفر این خاک‌ها از ۰/۰۶ تا ۳۳/۴۹ درصد (میانگین ۸/۱۴ درصد) نوسان داشت. همبستگی معنی‌داری بین فسفر محلول در آب و انواع درجه‌های اشباع فسفر محاسبه شده وجود داشت. غلظت آستانه فسفر از بین چهار عصاره‌گیر، برای عصاره‌گیرهای اولسن، مهلیچ ۳ و سلطان‌پور به جز در رابطه‌هایی که میزان منیزیم به عنوان عامل فسفر جذب شده بوده است، در دامنه ۰/۴ تا ۳۳ درصد و برای عصاره‌گیر اکسید آهن، فقط در رابطه‌ای که مجموع کلسیم همراه منیزیم عامل جذب بوده‌اند، برابر با ۱/۳ درصد به دست آمد. خاک‌هایی که درجه اشباع فسفر آن‌ها، بالاتر از حد آستانه باشد، مستعد هدررفت فسفر محلول از طریق جریان سطحی و آبشویی و نتیجه تشدید پدیده غنی‌شدن آب‌ها در حوزه‌های آبخیز می‌باشند و باید جهت مهار وقوع این پدیده متناسب با در نظر گرفتن شرایط گوناگون حوضه، عملیات مدیریتی در آن‌ها اعمال شود.

واژه‌های کلیدی: اکسید آهن، درجه اشباع فسفر، روش‌های عصاره‌گیری اولسن، سلطان‌پور، غنی‌شدن آب، مهلیچ ۳

## مقدمه

کاربرد طولانی مدت کودهای شیمیایی و دامی منجر به انباشت فسفر در خاک می‌شود (Whalen و Chang، ۲۰۰۱؛ Qian و همکاران، ۲۰۰۴). این انباشت با اشباع مکان‌های جذب فسفر خاک، سبب افزایش آبشویی فسفر به لایه‌های زیرسطحی خاک (Eghball و همکاران، ۱۹۹۶) و نیز افزایش انتقال آن به آب‌های سطحی از طریق رواناب می‌شود (Schroeder و همکاران، ۲۰۰۴؛ Vadas و همکاران، ۲۰۰۵). هدررفت فسفر به رواناب، منجر به غنی‌شدن آب‌های سطحی<sup>۱</sup> می‌شود (Campbell و Edwards، ۲۰۰۱). ظرفیت جذب فسفر خاک، بسته به میزان رس، نوع کانی رسی، میزان مواد آلی، غلظت کلسیم، منیزیم، آلومینیوم، و آهن و واکنش خاک در نوسان است (Tisdale و همکاران، ۱۹۹۳). فرایندهایی که بر جذب سطحی فسفر اثر می‌گذارند، تحت تأثیر ظرفیت جذب خاک بوده، میزان فسفر قابل جذب برای گیاه و یا توانایی هدررفت آن از طریق رواناب یا آبشویی را تعیین می‌کنند (Hansen و همکاران، ۲۰۰۲). جابه‌جایی فسفر از خاک به آب تابع سطح مشخص از فسفر خاک یا درجه اشباع فسفر و وضعیت کاتیونی و قدرت یونی فاز محلول است (Beauchemin و همکاران، ۱۹۹۶). درجه اشباع فسفر<sup>۲</sup>، تابع قسمتی از مکان‌های جذبی خاک که با فسفر پیوند یافته‌اند (فسفر جذب شده) نسبت به شمار مکان‌های فراهم برای پیوند فسفر (ظرفیت جذب فسفر) است.

(۱) ظرفیت جذب فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) / فسفر جذب شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) = درجه اشباع فسفر (درصد)

درجه اشباع فسفر به دلیل ارتباط قوی با غلظت فسفر رواناب، به‌عنوان شاخصی از پتانسیل هدررفت فسفر از طریق رواناب و آبشویی شناخته می‌شود (Sharpley، ۱۹۹۵؛ Sims و همکاران، ۲۰۰۲) و در واقع معیاری سودمند برای پیش‌بینی اندازه فسفر در آب سطحی و زهاب به‌شمار می‌رود (Yli-Hala و Zhou، ۲۰۰۱).

Leclerc و همکاران (۲۰۰۱) برای خاک‌های Quebec (اسیدیته: ۴/۵-۶/۸) کانادا گزارش کردند ارتباط خوبی بین فسفر محلول در آب و درجه اشباع فسفر محاسبه شده به‌وسیله فسفر، آهن و آلومینیوم اکسالاتی وجود داشته است. Sharpley (۱۹۹۵) و Sims و همکاران (۱۹۹۸) نیز به یافته‌های مشابهی در این رابطه دست یافتند. با این وجود، در خاک‌های خنثی تا قلیایی نشان داده شده است که این نوع درجه اشباع محاسبه شده، از کارایی ضعیفی برخوردار است (Ige و همکاران، ۲۰۰۵).

انواع درجه اشباع فسفر بر اساس روش‌های گوناگون اندازه‌گیری فسفر و ظرفیت جذب فسفر خاک پیشنهاد شده است (Hughes و همکاران، ۲۰۰۰). مناطق مختلف بسته به نوع خاک، از روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری فسفر قابل عصاره‌گیری بهره می‌جویند، در حالی که از فسفر اکسالاتی برای خاک-های اسیدی استفاده می‌شود، برای خاک‌های خنثی و قلیایی، کاربرد فسفر اولسن و فسفر مهلیچ<sup>۳</sup> پیشنهاد شده است. Nair و همکاران (۱۹۹۴) در مناطقی که عصاره‌گیر مهلیچ<sup>۳</sup> به‌عنوان آزمون زراعی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاربرد این عصاره‌گیر را برای تخمین درجه اشباع فسفر پیشنهاد نموده‌اند.

برای محاسبه ظرفیت جذب فسفر نیز از روش‌های گوناگون استفاده می‌شود. این شیوه‌ها از بیشینه فسفر جذب شده به‌وسیله معادله‌های هم‌دمای جذبی، مانند معادله لانگ‌مویر<sup>۲</sup>، تا ویژگی‌های گوناگون خاک به‌عنوان شاخص‌های ظرفیت جذب را شامل می‌شوند (Hughes و همکاران، ۲۰۰۰؛ Maguire و Sims، ۲۰۰۲). از آنجایی که تعیین هم‌دمای جذب زمان‌بر می‌باشد، از ظرفیت جذب تک نقطه‌ای فسفر نیز می‌توان بهره جست (Bache و Williams، ۱۹۷۱؛ Mozaffari و Sims، ۱۹۹۴). برای خاک‌های اسیدی، مجموع آهن و آلومینیوم اکسالاتی برای محاسبه ظرفیت جذب فسفر و فسفر اکسالاتی به‌عنوان فسفر جذب شده، بهره برده می‌شود (Schoumans، ۲۰۰۰). برای خاک‌های Manitoba کشور کانادا، Ige و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که کلسیم + منیزیم

<sup>1</sup> Eutrophication<sup>2</sup> DPS: Degree of Phosphorus Saturation<sup>3</sup> Langmuir

محلول و درجه اشباع فسفر گزارش کردند. در کشور هلند، از درجه اشباع فسفر برای محدود کردن هدررفت فسفر در آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده می‌شود و از درجه اشباع آستانه، که بیشتر از ۲۵ درصد است، به‌عنوان عامل موثر آلودگی آب‌ها استفاده می‌شود (Silva و Breeuwsma، ۱۹۹۲). کاربرد طولانی مدت کودهای فسفوره در حوزه‌های آبخیز استان آذربایجان شرقی سبب شده است که زیادی فسفر موجود در خاک از طریق رواناب وارد آب‌های پذیرنده این حوضه‌ها شود و یکی از عوامل اصلی تشدید غنی‌شدن و در نتیجه افت کیفیت این آب‌ها باشد. در کشور، تاکنون کاربرد روش‌های محاسبه درجه اشباع فسفر برای خاک گزارش نشده است. در پژوهش حاضر، برای خاک‌های آهکی اطراف شهرستان‌های بستان‌آباد، سراب و هریس در استان آذربایجان شرقی روش‌های محاسبه درجه اشباع فسفر به‌منظور به‌دست آوردن مقادیر و ارزیابی درجه اشباع فسفر با استفاده از فسفر محلول به‌عنوان شاخص پتانسیل هدررفت فسفر از طریق رواناب بررسی شده است. چهار روش اندازه‌گیری فسفر شامل روش‌های عصاره‌گیری اولسن<sup>۲</sup>، مهلیچ<sup>۳</sup>، سلطان‌پور<sup>۴</sup>، غشا اکسید آهن<sup>۵</sup> برای این منظور برگزیده شدند، چون این چهار روش، روش‌های اندازه‌گیری فسفر فراهم برای خاک‌های آهکی به‌شمار می‌روند.

### مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه اطراف شهرستان‌های بستان-آباد، سراب و هریس در استان آذربایجان شرقی می-باشند (شکل ۱). تعداد ۳۰ نمونه خاک از این مناطق در تابستان سال ۱۳۹۴ پیش از کاربرد کودهای دامی یا شیمیایی از بخش سطحی (عمق صفر تا ۱۵ سانتی-متر) به روش مرکب برداشت شد. فسفر خاک‌ها در دامنه گسترده‌ای، هفت تا ۲۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، قرار داشت. کاربری این خاک‌ها، کشاورزی (آبی و دیم) و مرتع بود. بعد از این که نمونه‌ها در

اندازه‌گیری شده با روش مهلیچ<sup>۳</sup> نسبت به فسفر تا آهن + آلومینیوم اکسالات تخمین بهتری از ظرفیت جذب فسفر ارائه می‌دهد. برای این که درجه اشباع فسفر، شاخص زیست محیطی موثری از پتانسیل هدر رفت فسفر باشد، لازم است که همبستگی خوبی با شکلی از فسفر که بیشتر در معرض هدررفت از طریق رواناب یا آبشویی قرار دارد، وجود داشته باشد. شمار زیادی از پژوهشگران (مانند Yli-Hala و همکاران، ۱۹۹۵؛ Pote و همکاران، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۹) همبستگی معنی‌دار بالایی را بین غلظت فسفر موجود در رواناب-های سطحی و فسفر محلول در آب گزارش کرده‌اند. برای بهره‌برداری موثر از یافته‌های آزمون خاک و درجه اشباع فسفر در مسایل مربوط به حفظ کیفیت آب، می‌باید معیارهای مناسب و سطوح آستانه آزمون خاک یا درجه اشباع فسفری خاک تعریف شوند. کاربرد مدل خط شکسته<sup>۱</sup>، رویکردی است که برای تعیین غلظت آستانه زیست محیطی فسفر خاک، یعنی غلظتی از فسفر محلول خاک که در بالاتر از آن افزایش سریع در میزان فسفر و در نتیجه احتمال اثر منفی فسفر خاک بر کیفیت آب وجود دارد، به‌کار گرفته می‌شود (Hesketh و Brooks، ۲۰۰۰؛ Condron و Mcdowel، ۱۹۹۹). در این مدل، نقطه شکستگی ارتباط بین فسفر آزمون خاک یا درجه اشباع فسفر خاک و فسفر موجود در رواناب سطحی یا زهاب زیرسطحی را به دو قسمت مجزا تقسیم می-نماید. در یکی از این دو قسمت، هدررفت فسفر در واحد افزایش هر یک از ویژگی‌های فسفر خاک یا درجه اشباع فسفر، بیشتر از دیگری است. درجه اشباع فسفر خاک برای ارزیابی خطر هدررفت فسفر به رواناب، نسبت به روش‌های آزمون فسفر خاک ترجیح داده می‌شود، چون درجه اشباع فسفر با توجه به ظرفیت خاک‌ها برای نگهداری فسفر تعیین می‌شود و در نتیجه همبستگی بهتری با فسفر رواناب در بین انواع گوناگون خاک‌ها دارد. Sharpley و همکاران (۱۹۹۶)، همبستگی خوبی بین فسفر رواناب محلول و فسفر مهلیچ<sup>۳</sup> ( $R^2=0/72$ ) به‌دست آوردند، ولی همبستگی بهتر ( $R^2=0/86$ ) را بین فسفر رواناب

<sup>2</sup> Olsen

<sup>3</sup> Mehlich-3

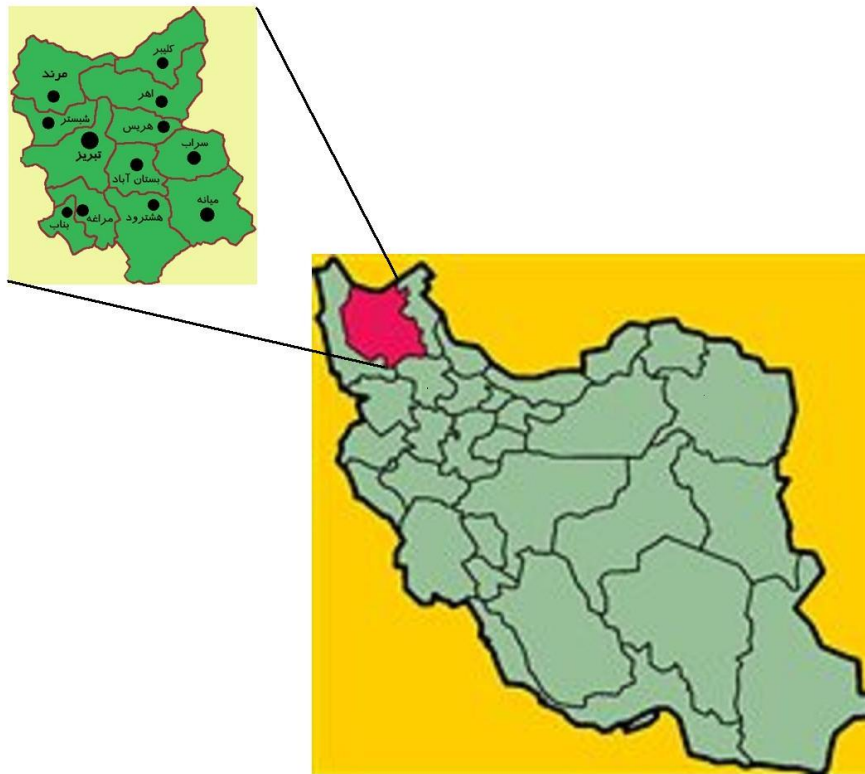
<sup>4</sup> Soltanpour

<sup>5</sup> FeO filter paper

<sup>1</sup> Split line model

آزمایشگاه خشک و کوبیده شدند، از غربال دو میلی- متری گذرانده شده و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی

و شیمیایی نگهداری شدند.



شکل ۱- نقشه موقعیت استان آذربایجان شرقی در ایران و شهرستان‌های این استان

استفاده از روش Murphy و Riley (۱۹۶۲) انجام گرفت. غلظت کلسیم و منیزیم در عصاره مهلیج ۳ با استفاده از روش تیتراسیون تعیین شد (Lanyon و Heald, ۱۹۸۲).

درجه اشباع فسفر نمونه‌های خاک با استفاده از معادله (۱) برآورد شد. در این پژوهش، از چهار شکل فسفر آزمون خاک شامل اولسن، غشاء اکسید آهن، سلطان‌پور، و مهلیج ۳ استفاده شد. فسفر قابل عصاره-گیری به روش اولسن، روش رایج اندازه‌گیری این عنصر به‌شمار می‌رود و سایر روش‌ها کاربرد کمتری دارند. در حالی‌که Borling و همکاران (۲۰۰۴) برای خاک‌های انگلستان استفاده از فسفر اولسن را برای تخمین درجه اشباع فسفر پیشنهاد نموده‌اند، Khiari و همکاران (۲۰۰۰) در خاک‌های کانادا از فسفر مهلیج ۳ برای محاسبه درجه اشباع فسفر خاک‌های Quebec بهره جسته‌اند. به‌منظور محاسبه ظرفیت جذب فسفر،

در آزمایشگاه، اسیدیته نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه pH متر (Metrohm-744) در سوسپانسیون ۱:۱ خاک به آب اندازه‌گیری شد (Thomas, ۱۹۹۶). اندازه‌گیری مواد آلی با استفاده از روش والکلی-بلک (۱۹۳۴) انجام گرفت. برای تعیین توزیع اندازه ذرات خاک از روش هیدرومتر (Gee و Bauder, ۲۰۰۲) استفاده شد. روش تیتراسیون برای اندازه‌گیری درصد کربنات کلسیم معادل نمونه‌ها به‌کار گرفته شد (Loppert و Suarez, ۱۹۹۶).

فسفر خاک به روش‌های بی‌کربنات سدیم (Olsen و همکاران، ۱۹۵۴)، غشاء اکسید آهن (Chardon, ۲۰۰۰) فسفر محلول در آب (Self-Davis و همکاران، ۲۰۰۰)، مهلیج ۳ (Mehlich, ۱۹۸۴) و آمونیوم بی-کربنات-دی تی پی ۱ (Soltanpour و Schwab, ۱۹۷۷) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های فسفر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway, 6705) با

۲۵ درصد و بافت خاک‌ها در دامنه لومی تا لوم رسی هستند.

#### درجه‌های اشباع فسفر برای خاک‌های مورد

**بررسی:** کمینه، بیشینه و میانگین انواع درجه‌های اشباع فسفر محاسبه شده برای ۳۰ خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. درجه اشباع فسفر این خاک‌ها از ۰/۰۶ تا ۳۳/۴۹ درصد نوسان داشت و میانگین آن‌ها ۸/۱۴ درصد بود. از آنجایی که فسفر محلول به‌عنوان شاخص هدررفت فسفر خاک شناخته شده است، ضریب همبستگی این ویژگی با انواع درجه‌های اشباع فسفر در این پژوهش به‌کار گرفته شد (جدول ۱). همان‌گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود، همبستگی معنی‌داری، در سطح ۹۹ درصد، بین فسفر محلول در آب و انواع درجه‌های اشباع فسفر محاسبه شده در این پژوهش به‌دست آمد (مقادیر r در دامنه ۰/۸۷-۰/۶۲ قرار دارند). کمترین میزان همبستگی در مواردی بوده است که کلسیم + منیزیم به‌عنوان ضریب جذب فسفر به‌کار گرفته شده‌اند و بیشترین همبستگی به سایر درجه‌های اشباع فسفر اختصاص دارد. Wang و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در بین مقادیر متفاوت محاسبه شده درجه اشباع فسفر، درجه‌هایی بیشترین همبستگی را با فسفر محلول در آب داشته‌اند که بر اساس فسفر اولسن، مهلیچ ۳ و غشا اکسید آهن به‌دست آمده بودند.

#### تعیین غلظت آستانه برای روابط بین مقادیر

##### گوناگون درجه اشباع فسفر و فسفر محلول:

رابطه رگرسیونی اندازه‌های گوناگون درجه اشباع فسفر در برابر فسفر محلول، نشان داد که این دو ویژگی برای تمام اندازه‌گیری‌های این پژوهش به‌صورت غیرخطی رابطه بهتری، یعنی ضریب رگرسیون بالاتری نسبت به خطی، دارند (نتایج نشان داده نشده است). این چنین روابط غیر خطی بین دو ویژگی یاد شده به‌وسیله Nair و همکاران (۲۰۰۴) و Ige و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش شده است. از آنجایی که رسم خط رگرسیون این دو ویژگی همبستگی پائینی را نسبت به غیر خطی نشان می‌دهد، از دو خط، به‌نام خط شکسته، برای تعیین رابطه بین این دو ویژگی بهره‌جویی می‌شود که نقطه تلاقی این دو خط، غلظت

از چهار شاخص شامل ظرفیت جذب تک‌نقطه‌ای، کلسیم، منیزیم و مجموع کلسیم و منیزیم عصاره‌گیری شده در محلول مهلیچ ۳ استفاده شد. در حالی که میزان جذب اندازه‌گیری شده به روش لانگ-مویر، ظرفیت واقعی جذب فسفر خاک را نشان می‌دهد، ظرفیت جذب تک‌نقطه‌ای شاخصی از ظرفیت نگهداشت فسفر خاک به‌شمار می‌رود و براحتی قابل تعیین است. همچنین، کلسیم، منیزیم و مجموع کلسیم و منیزیم عصاره‌گیری شده در محلول مهلیچ ۳ به‌عنوان شاخص‌های ظرفیت جذب فسفر به‌حساب می‌آیند، چون بین این ویژگی‌ها و بیشینه جذب لانگ‌مویر همبستگی معنی‌داری وجود دارد (Ige و همکاران، ۲۰۰۵). با استفاده از ترکیب متفاوت چهار روش فسفر عصاره‌گیری شده و چهار شاخص ظرفیت جذب فسفر، ۱۶ شکل گوناگون از درجه اشباع فسفری خاک به‌دست آمد.

#### نتایج و بحث

خاک‌های آهکی بررسی شده در این پژوهش از مناطق اطراف شهرستان‌های بستان‌آباد، سراب و هریس در استان آذربایجان شرقی گزیده شدند. برای این‌که نمونه‌های خاک با دامنه گسترده میزان فسفر انتخاب شود، سعی شد نمونه‌برداری خاک از کاربری‌های مرتع، برای مقادیر پایین فسفر و کشاورزی، برای مقادیر بالا، انجام گیرد. برای اطمینان از این‌که مقادیر فسفر نمونه‌های خاک کاربری‌های کشاورزی بالاست، از کشاورزان آن مناطق خواسته شد زمین‌هایی را معرفی نمایند که چندین سال متوالی کود فسفر در آن‌ها مصرف شده باشد. سپس نمونه‌برداری از این زمین‌ها انجام گرفت. بعد از انجام نمونه‌برداری خاک، فسفر آن‌ها در آزمایشگاه به‌روش اولسن، روش رایج اندازه‌گیری این عنصر، اندازه گرفته شد و پس از اطمینان از این‌که میزان فسفر آن‌ها در دامنه کم تا زیاد قرار دارد سایر تجزیه‌های آزمایشگاهی بر روی آن‌ها انجام گرفت.

#### برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی: یافته‌ها

های آزمایشی نمونه‌های خاک این پژوهش نشان داد، خاک‌ها دارای pH قلیایی (۸-۸/۵)، میزان مواد آلی بین ۱/۵ تا ۳/۰ درصد، درصد آهک نمونه‌ها بین ۱۵ تا

آستانه زیست محیطی فسفر نامیده می‌شود. در واقع این غلظت، غلظتی از فسفر محلول خاک می‌باشد که در بالاتر از آن مقدار، افزایش سریع در میزان فسفر و

در نتیجه احتمال بیشتر فروپاشی کیفیت آب ناشی از افزایش فسفر خاک وجود دارد. برای برخی از خاک‌ها، غلظت آستانه فسفر وجود ندارد.

**جدول ۱-** اندازه‌های کمینه، بیشینه و میانگین انواع درجه‌های اشباع فسفر محاسبه شده برای خاک‌های مورد مطالعه و ضریب همبستگی آن‌ها با فسفر محلول<sup>(۱)</sup>

درجه اشباع فسفر	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب همبستگی
$P_{Ols}/P_{150}$	۳/۶۴	۳۳/۴۹	۱۱/۲۸	۰/۸۷**
$P_{M3}/P_{150}$	۵/۰۴	۵۸/۴۹	۲۱/۶۵	۰/۸۴**
$P_{Sol}/P_{150}$	۱/۶۵	۱۸/۵۳	۶/۱۵	۰/۸۷**
$P_{FeO}/P_{150}$	۳/۸۲	۱۵/۷۶	۹/۸۱	۰/۸۵**
$P_{ols}/Ca_{M3}$	۰/۱۷	۱/۴۱	۰/۵۴	۰/۸۰**
$P_{M3}/Ca_{M3}$	۰/۲۴	۲/۴۷	۰/۹۶	۰/۸۱**
$P_{Sol}/Ca_{M3}$	۰/۰۷	۰/۷۸	۰/۲۹	۰/۸۶**
$P_{FeO}/Ca_{M3}$	۰/۱۹	۰/۷۰	۰/۴۳	۰/۸۳**
$P_{ols}/Mg_{M3}$	۱/۲۳	۱۴/۷۴	۴/۴۲	۰/۸۶**
$P_{M3}/Mg_{M3}$	۱/۶۳	۲۵/۷۵	۷/۸۳	۰/۸۲**
$P_{Sol}/Mg_{M3}$	۰/۵۳	۸/۱۵	۲/۴۱	۰/۸۶**
$P_{FeO}/Mg_{M3}$	۱/۲۸	۶/۱۶	۳/۶۴	۰/۸۶**
$P_{ols}/(Ca+Mg)_{M3}$	۰/۱۵	۱/۳۵	۰/۴۸	۰/۷۲**
$P_{M3}/(Ca+Mg)_{M3}$	۰/۲۱	۲/۳۶	۰/۸۵	۰/۶۳**
$P_{Sol}/(Ca+Mg)_{M3}$	۰/۰۶	۰/۷۴	۰/۲۶	۰/۷۲**
$P_{FeO}/(Ca+Mg)_{M3}$	۰/۶۲	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۶۵**

<sup>(۱)</sup>  $P_{Ols}$  فسفر اندازه‌گیری شده به روش اولسن،  $P_{M3}$  فسفر اندازه‌گیری شده به روش مهلیچ ۳،  $P_{Sol}$  فسفر اندازه‌گیری شده به روش سلطان‌پور،  $P_{FeO}$  فسفر اندازه‌گیری شده به روش اکسید آهن،  $P_{150}$  بیشینه فسفر جذب شده به روش تک نقطه‌ای و \*\* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

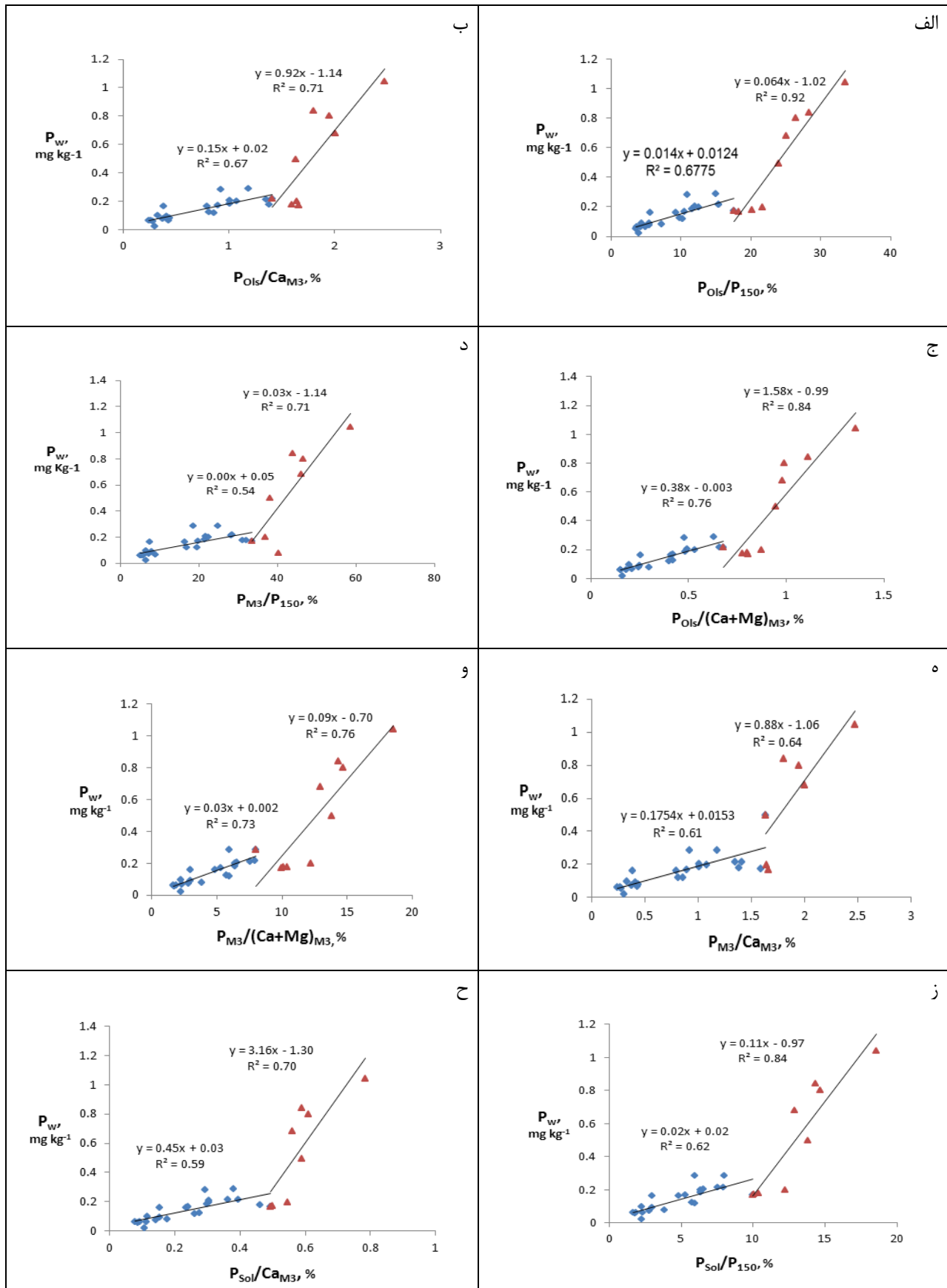
در شکل ۱، رابطه بین انواع درجه‌های اشباع فسفر و میزان فسفر محلول در نمونه‌های خاک این پژوهش آورده شده است. غلظت آستانه فسفر برای عصاره-گیرهای اولسن، مهلیچ ۳ و سلطان‌پور در روابطی که میزان منیزیم به‌عنوان عامل فسفر جذب شده بوده است، به‌دست نیامد. برای سایر روابط و برای این عصاره‌گیرها غلظت آستانه در دامنه ۰/۴ تا ۳۳ درصد به‌دست آمد. برای عصاره‌گیر اکسید آهن، فقط در رابطه‌ای که مجموع کلسیم همراه منیزیم عامل جذب بوده‌اند، این غلظت به‌دست آمد که برابر ۱/۳ درصد بود.

غلظت آستانه در پژوهش Nair و همکاران (۲۰۰۴) نیز به‌دست آمده است. با این حال، در نمونه خاک‌های مورد بررسی Ige و همکاران (۲۰۰۵) این غلظت دیده نشد. علت آن می‌تواند دامنه پایین درجه-های اشباع فسفر خاک‌های مورد بررسی باشد. بیشتر نمونه خاک‌های این پژوهشگران، دارای درجه اشباع فسفر کمتر از ۱۰ درصد بوده‌اند که باعث شده در روابط بین این ویژگی و غلظت فسفر محلول، غلظت آستانه مشاهده نشود.

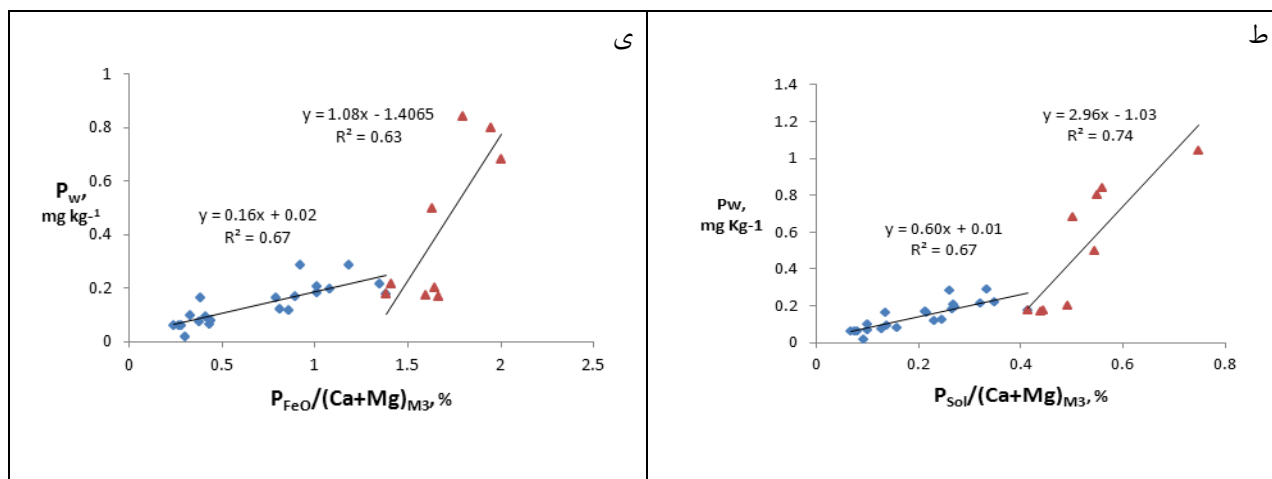
همان‌گونه که در شکل ۱- الف برای یکی از نمونه درجه‌های اشباع فسفر این پژوهش دیده می‌شود، بعد از درجه اشباع فسفر حدود ۱۷ درصد، غلظت فسفر محلول در آب با شیب خیلی بالاتری نسبت به درجه اشباع کمتر از ۱۷ درصد افزایش می‌یابد. به این معنی موقعی که درجه اشباع فسفر خاک‌های حوضه از ۱۷ درصد یا متناظر آن میزان فسفر محلول حدود ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر می‌شود، احتمال وقوع پدیده غنی‌شدن آب‌های پذیرنده در زیرحوضه مربوطه افزایش می‌یابد.

در شکل ۱، رابطه بین انواع درجه‌های اشباع فسفر و میزان فسفر محلول در نمونه‌های خاک این پژوهش آورده شده است. غلظت آستانه فسفر برای عصاره-گیرهای اولسن، مهلیچ ۳ و سلطان‌پور در روابطی که میزان منیزیم به‌عنوان عامل فسفر جذب شده بوده است، به‌دست نیامد. برای سایر روابط و برای این عصاره‌گیرها غلظت آستانه در دامنه ۰/۴ تا ۳۳ درصد به‌دست آمد. برای عصاره‌گیر اکسید آهن، فقط در رابطه‌ای که مجموع کلسیم همراه منیزیم عامل جذب بوده‌اند، این غلظت به‌دست آمد که برابر ۱/۳ درصد بود.

غلظت آستانه در پژوهش Nair و همکاران (۲۰۰۴) نیز به‌دست آمده است. با این حال، در نمونه خاک‌های مورد بررسی Ige و همکاران (۲۰۰۵) این غلظت دیده نشد. علت آن می‌تواند دامنه پایین درجه-



شکل ۲- غلظت آستانه زیست محیطی فسفر برای روابط بین مقادیر گوناگون درجه اشباع فسفر و فسفر محلول



ادامه شکل ۲- غلظت آستانه زیست محیطی فسفر برای روابط بین مقادیر گوناگون درجه اشباع فسفر و فسفر محلول

اشباع فسفر خاک که خطر هدررفت فسفر را افزایش می‌دهد، کاربرد داشته باشد. به این صورت که در حوزه‌های آبخیز، خاک‌هایی که درجه اشباع فسفر آن‌ها بالاتر از حد آستانه باشد، دارای توانایی بالای هدررفت فسفر محلول از طریق جریان‌های سطحی و آبشویی می‌باشند و امکان تشدید غنی‌شدن در آب‌های این حوضه‌ها بالا است. بنابراین برای مهار آلودگی آب‌های این حوضه‌ها، می‌بایست متناسب با ویژگی‌های گوناگون حوضه نظیر ویژگی‌های آب‌شناختی، زمین‌شناختی و خاک‌شناختی عملیات مدیریتی در آن‌ها اعمال شود.

بنابراین، جهت کاهش مخاطره غنی‌شدن ناشی از فسفر در آب‌های این زیرحوضه، باید کودپاشی فسفره را به اندازه‌ای انجام داد که مقدار این عنصر در خاک پایین‌تر از ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار گیرد، یا این-که رواناب‌های آن را به‌گونه‌ای مهار کرد که وارد آب-های پذیرنده حوضه نشوند. به همین ترتیب، غلظت آستانه فسفر برای روابط اشکال ۱- ب تا ۱- ی در درجه‌های اشباع فسفر به ترتیب برابر ۱/۴، ۰/۶۵، ۰/۳۴، ۱/۸، ۷/۵، ۱۰، ۰/۵، ۰/۴ و ۱/۳ درصد به‌دست آمد. با توجه به موارد یاد شده، مشخص می‌شود که غلظت آستانه می‌تواند به‌عنوان ابزار مدیریتی در حوزه‌های آبخیز برای تعیین میزانی از فسفر یا درجه

#### منابع مورد استفاده

1. Bache, B.W. and E.G. Williams. 1971. A phosphate sorption index for soils. *Journal of Soil Science*, 22: 289-301.
2. Beauchemin, S., R.R. Simard and D. Cluis. 1996. Phosphorus sorption-desorption kinetics of soil under contrasting land uses. *Journal of Environmental Quality*, 25: 1317-1325.
3. Borling, K., E. Otabbong and E. Barberis. 2004. Soil variables for Breeuwsma. 1992. Phosphate fertilization and environmental effects in the Netherlands and the Po Region (Italy). Report 57, Agricultural Research Department, The Winand Staring Center for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, the Netherlands.
4. Campbell, K.L. and D.R. Edwards. 2001. Phosphorus and water quality impacts. Pages 91-109 in W.F. Ritter and A. Shirmoshammadi, (eds.) *Agricultural nonpoint source pollution: Watershed Management and Hydrology*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, United States.
5. Chardon, W.J., R.G. Menon and S.H. Chien. 1996. Iron oxide impregnated filter paper (Pi test): 1. A review of its development and methodological research. *Nutrition Cycling Agroecosystems*, 46: 41-51.
6. Eghball, B., G.D. Binford and D.D. Baltensperger. 1996. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. *Journal of Environmental Quality*, 25: 1339-1343.
7. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1, 2nd ed., Agronomy Monographs. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.



8. Hansen, N.C., T.C. Daniel, A.N. Sharpley and J.L. Lemunyon. 2002. The fate and transport of phosphorus in agricultural systems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57: 408-417.
9. Ige, D.V., O.O. Akinremi, D.N. Flaten, B. Ajiboye and M.A. Kashem. 2005. Phosphorus sorption capacity of alkaline Manitoba soils and its relationship to soil properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 9: 151-158.
10. Hesketh, N. and P.C. Brookes. 2000. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality*, 29: 105-110.
11. Hughes, S., B. Reynolds, S.A. Bell and C. Gardner. 2000. Simple phosphorus saturation index to estimate risk of dissolved P in runoff from arable soils. *Soil Use and Management*, 16: 206-210.
12. Khiari, L., L.E. Parent, A. Pellerin, A.R.A. Alimi, C. Tremblay, R.R. Simard and J. Fortin. 2000. An agri-environmental phosphorus saturation index for acid coarse-textured soils. *Journal of Environmental Quality*, 29: 1561-1567.
13. Lanyon, L.E. and W.R. Heald. 1982. Magnesium, calcium, strontium, and barium. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
14. Leclerc, M.L., M.C. Nolin, D. Cluis and R.R. Simard. 2001. Grouping soils of the Montreal Lowlands (Quebec) according to fertility and P sorption and desorption characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*, 81: 71-83.
15. Qian, P., J.J. Schoenau and P. Mooleki. 2004. Phosphorus amounts and distribution in a Saskatchewan soil after five years of swine and cattle manure application. *Canadian Journal of Soil Science*, 84: 275-281.
16. Maguire, R.O. and J.T. Sims. 2002. Measuring agronomic and environmental soil phosphorus saturation predicting phosphorus leaching with Mehlich 3. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 2033-2039.
17. McDowell, R.W. and L.M. Condron. 1999. Developing a predictor for phosphorus loss from soil. In L.D. Currie (ed.) *Best soil management practices for production*. Fertilizer and Lime Res. Center 12th Annual Workshop, Palmerston North, New Zealand. Massey University, Palmerston North, New Zealand.
18. Mehlich, A. 1984. Mehlich III soil test extractant: A modification of Mehlich II extractant. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1409-1416.
19. Murphy, J. and H.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta*, 27: 31-36.
20. Nair, V.D., K.M. Portier, D.A. Graetz and M.L. Walker. 2004. An environmental threshold for degree of phosphorus saturation in sandy soils. *Journal of Environmental Quality*, 33: 107-113.
21. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circulation 939*, USDA, Washington, DC.
22. Pote, D.H., T.C. Daniel, D.J. Nichols, A.N. Sharpley, P.A. Moore, D.M. Miller and D.R. Edwards. 1999. Relationship between phosphorus levels in three Ultisols and phosphorus concentrations in runoff. *Journal of Environmental Quality*, 28: 170-175.
23. Pote, D.H., T.C. Daniel, A.N. Sharpley, P.A. Moore, D.R. Edwards and D.J. Nichols. 1996. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 855-859.
24. Schoumans, O.F. 2000. Determination of the degree of phosphate saturation in non-calcareous soils. In G.M. Pierzynski (ed.), *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and water*. Southern Cooperation Service Bulletin 396.
25. Schroeder, P.D., D.E. Radcliffe, M.L. Cabrera and C.D. Belew, 2004. Relationship between soil test phosphorus and phosphorus in runoff: Effects of soil series variability. *Journal of Environmental Quality*, 33: 1452-1463.
26. Self-Davis, M.L., P.A. Moore and B.C. Joern. 2000. Determination of water and/or dilute salt-extractable phosphorus. In G.M. Pierzynski (ed.) *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and waters*. Southern Cooperation Service Bulletin 396, North Carolina State University, Raleigh.
27. Sharpley, A.N. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 24: 920-926.
28. Sharpley, A.N. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 24: 920-926.
29. Sims, J.T. and P.M. Mozaffari. 1994. Phosphorus availability and sorption in an Atlantic coastal Plain watershed dominated by animal-based agriculture. *Soil Science*, 157: 97-107.
30. Sims, J.T., R.O. Maguire, A.B. Leytem, K.L. Gartley and M.C. 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: 2016-2032.

31. Sims, J.T., R.R. Simard and B.C. Joern. 1998. Phosphate loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality*, 27: 277-293.
32. Soltanpour, P.N. and A.P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micro-nutrients in alkaline soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 8: 195-207.
33. Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. MacMillan Publication Cooperation, New York, United States, 752 pages.
34. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA Book Service, Madison, WI, pp. 475-490.
35. Vadas, P.A., P.J.A. Kleinman, A.N. Sharpley and B.L. Turner. 2005. Relating soil phosphorus to dissolved phosphorus in runoff: A single extraction coefficient for water quality modeling. *Journal of Environmental Quality*, 34: 572-580.
37. Walkley, A. and L.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
38. Wang, Y.T., T.Q. Zhanga, I.P. O'Halloranb, Q.C. Hua, C.S. Tana, D. Speranzini, I. Macdonalde and G. Patterson. 2015. Agronomic and environmental soil phosphorus tests for predicting potential phosphorus loss from Ontario soils. *Geoderma*, 241-242: 51-58.
40. Whalen, J.K. and C. Chang. 2001. Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual applications of cattle feedlot manure. *Journal of Environmental Quality*, 30: 229-237.
41. Yli-Halla, M., H. Hartikainen, P. Ekholm, E. Turtola, M. Puustinen and K. Kallio. 1995. Assessment of soluble phosphorus load in surface runoff by soil analyses. *Agricultural Ecosystem Environment*, 56: 53-62.
42. Zhou, M. and Y.L. Hala. 2001. Phosphorus-sorption characteristics of soils and limestone from the Southern Everglades and adjacent farmlands. *Soil Science Society of American Journal*, 65: 1404-1412.

## Concentration of phosphorus environmental threshold in some calcareous soils of East Azerbaijan Province

Ramin Salmasi<sup>1</sup>, Mohsen Farahbakhsh<sup>\*2</sup> and Hossien Asadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Iran and Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of East Azerbaijan, AREEO, Tabriz, Iran, <sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Iran and <sup>3</sup> Associate Professor, Faculty of Soil Science, University of Guilan, Iran

Received: 19 April 2017

Accepted: 09 August 2017

### Abstract

There is critical need for a practical indicator to assess the potential of phosphorus (P) movement from a given site to surface waters, either via surface runoff or subsurface drainage. The Degree of P Saturation (DPS), which relates a measure of P already adsorbed by a soil to its P adsorption capacity, could be a good indicator of that soils P release capacity. For our country soils, there is not any report for DPS calculating. This study aimed to develop techniques of calculating the DPS for calcareous soils of western Azerbaijan, Uremieh Lake sub-watershed, obtaining DPS levels for calcareous soils, and evaluating DPS by use of soluble P as indicator of P runoff potential. For this purpose, 30 surface soil samples with widely P contents were selected and after determining some of general physico-chemical properties, using of four measures of soil available P and four indices of P sorption capacity, sixteen different forms of DPS were obtained. Significant correlation was obtained between soluble P and different forms of DPS in this study. Threshold P concentration between four extractants, were obtained for Olsen, Mehlich-3, and Soltanpour ones, except in calculations with Mg as P adsorbed contributor in range of 0.4-33 percent, with 8.14 mean, and for FeO extractant, only in calculations with Ca + Mg as adsorbing one was obtained that was equal to 1.3 percent. Degree of P saturation in soils with higher than threshold P concentration values are sustainable to P runoff via surface runoff or leaching, and as a result eutrophication intensification, and for control this phenomenon should apply management practices with regard to different situations of watershed.

**Key words:** Degree of P saturation, Extraction methods of Olsen, Mehlich-3, Soltanpour, Ferrous oxide, Eutrophication

---

\* Corresponding author: mfbakhsh@ut.ac.ir