

ارزیابی چند روش عصاره‌گیری برای تعیین فسفر قابل‌استفاده گیاه ذرت در برخی خاک‌های آهکی استان آذربایجان شرقی

محمد رضا مقصودی^۱، عادل ریحانی تبار^{۲*} و نصرت اله نجفی^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۵/۰۶

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

^۲ استادیار و ^۳ دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: areyhani@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق ارزیابی چند روش عصاره‌گیری برای تعیین فسفر قابل جذب گیاه ذرت در ۲۵ نوع خاک سطحی (0-30cm) انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با کشت گیاه ذرت (Zea mays L.) در شرایط گلخانه‌ای و در سه تکرار انجام گرفت. روش‌های آب مقطر، کلرید کلسیم، پاو، اولسن، کالول، سلطانیپور، مورگان، کلونا ۲ و کاغذ صافی‌های آغشته به اکسید آهن جهت تعیین فسفر قابل جذب گیاه ذرت به کارگرفته شد و همبستگی مقادیر حاصله با شکل‌های مختلف فسفر در خاک بررسی شد. بر طبق نتایج بیشترین مقدار فسفر استخراج شده توسط روش کالول و کمترین آن در روش کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار حاصل گردید. بیشترین همبستگی در میان روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی فسفر بین دو روش کالول و کلونا ۲ مشاهده شد. همچنین فسفر عصاره‌گیری شده توسط روش چند عنصری سلطانیپور با روش نوارهای کاغذی بیشترین همبستگی را نشان داد. بیشتر روش‌های عصاره‌گیری همبستگی معنی‌داری با شکل‌های فسفر آلی ناپایدار (LOP) و فسفر آلی نسبتاً ناپایدار (MLOP) داشتند که بیشترین آنها به ترتیب مربوط به روش کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و آب مقطر بود. همچنین تمام روش‌های عصاره‌گیری همبستگی بالایی با شکل دی‌کلسیم فسفات (Ca₂-P) داشتند که کمترین آنها مربوط به روش پاو بود. مقادیر فسفر کل خاک‌های مورد مطالعه با مقادیر فسفر استخراج شده با تمام عصاره‌گیرها همبستگی معنی‌دار داشت. در این آزمایش بیشترین همبستگی بین روش‌های اولسن و کالول با وزن خشک بخش هوایی ذرت بدست آمد (r به ترتیب برابر ۰/۶۷** و ۰/۷۵**). ولی به دلیل افزایش هزینه‌ها و زمان عصاره‌گیری در روش کالول، روش اولسن به‌عنوان روش برتر معرفی شد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که هر چند نوارهای کاغذی هم توانستند به خوبی شاخص‌های رشد ذرت را پیش‌بینی کنند ولی روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی برتر بودند.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، اولسن، ذرت، عصاره‌گیر شیمیایی، فسفر

Evaluation of Some Extraction methods for Determination of Corn Available Phosphorus in Some Calcareous Soils of East Azerbaijan Province

MR Maqsoodi¹, A Reyhanitabar^{2*} and N Najafi³

Received: 8 July 2012 Accepted: 28 August 2013

¹Former M.Sc. Student, Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

²Assist. Prof., Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

³Assoc. Prof., Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

*Corresponding Author Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

Abstract

In this research, evaluation of Some Extraction methods for determining available phosphorus of the corn plant in 25 calcareous soils was implemented using surface soil (0-30 cm) samples. The experiment was carried out as a factorial in a randomized complete blocks design with cultivation of corn in three replications under greenhouse conditions. Methods of distilled water, calcium chloride, Paauw, Olsen, Colwel, Soltanpour, Morgan, Kelowna-2 and filter paper impregnated with iron oxide were applied, and the available P and the correlations between the resulted values with soil phosphorus fractions were investigated. The maximum and minimum amounts of P were extracted by the methods of Colwel and 0.01 M CaCl₂ respectively. Among the chemical extraction methods of P, the highest correlation was observed between the Colwel and Kelowna-2 methods. The Soltanpour method had the highest correlation with the paper strips method. Most of the extraction methods showed significant correlations with the labile organic phosphorus (LOP) and moderately labile organic phosphorus (MLOP) fractions, of which the maximum values were related to 0.01 M CaCl₂ and distilled water methods, respectively. Also, all the extraction procedures, were, highly correlated with the dicalcium phosphate (Ca₂-P) fraction among which the lowest belonged to the Paauw method. The amounts of total-P in soils were significantly correlated with the amounts of extracted P using all the extractants. In this experiment, the methods of Olsen and Colwel had the highest correlations with corn shoot dry weight, but due to the cost increase and longer time of extraction in the Colwel method, the Olsen method was introduced as the preferred one. The results of this study showed that although the paper strips method could predict corn growth parameters well, but the chemical extraction methods were superior.

Keywords: Chemical extractant, Corn, East Azerbaijan, Olsen, , Phosphorus

مقدمه

ذرت پر محصول‌ترین غله بوده و از لحاظ مقدار کل تولید بعد از گندم و برنج سومین محصول غله‌ای جهان محسوب می‌شود. استخراج و اندازه‌گیری دقیق مقدار فسفوری که گیاه در طول دوره رشد جذب می‌کند قبل از کاشت آن امکان‌پذیر نیست، اما می‌توان به روش‌های مختلف فسفر را از شکل‌های گوناگون آن در خاک استخراج نمود که با فسفر قابل جذب همبستگی مناسب آماری داشته باشد (کمپرات و واتسن ۱۹۸۰). محققان برای ارزیابی فسفر قابل‌استفاده گیاه از عصاره‌گیرهای مختلفی استفاده کرده‌اند ولی تاکنون یک عصاره‌گیر جهانی، برای اندازه‌گیری فسفر قابل‌جذب یافت نشده است زیرا رابطه بین فسفر قابل‌جذب و فسفر استخراج شده^۱ به صورت شیمیایی عمدتاً به شکل غالب فسفر خاک (فسفات‌های کلسیم یا فسفات‌های آهن و آلومینیوم)، نوع گیاه و شرایط آزمایش بستگی دارد (دلگادو و تورنت ۲۰۰۱).

از سال ۱۹۵۴ به بعد استخراج فسفر به روش اولسن یکی از رایج‌ترین آزمون‌های فسفر خاک برای خاک‌های غیراسیدی بوده است (به نقل از دلگادو و سکالنگ ۲۰۰۸). کالول (۱۹۶۳) در استرالیا مدت زمان تماس محلول بی‌کربنات سدیم با خاک را از نیم ساعت به ۱۶ ساعت تغییر داد و مشاهده نمود که مقدار فسفر بیشتری از خاک آزاد شد، در عین حال ضریب همبستگی میان پاسخ‌های گیاه و فسفر استخراج شده با این روش بیشتر از روش متداول اولسن بود. پائو (۱۹۷۱) همبستگی بالایی بین فسفر استخراج شده توسط روش خویش و مقدار جذب فسفر توسط بخش هوایی گندم بهاره مشاهده کرد. ماتر و سامان (۱۹۷۵) گزارش کردند که ضریب همبستگی بین فسفر استخراج شده از خاک به روش اولسن و عملکرد گندم در خاک‌های آهکی سوریه نسبت به سایر عصاره‌گیرها پایین بود. مودی و همکاران (۱۹۹۰) در یک آزمایش مزرعه‌ای گزارش کردند که فسفر استخراج شده توسط 0.01CaCl_2 مولار بهترین همبستگی را با عملکرد سبز

سویا داشت ($r=0.96^{**}$)، در حالی که این همبستگی برای عصاره‌گیر اولسن برابر 0.59 بود. سون (۱۹۹۰) با کشت جو، عصاره‌گیر اولسن و کلونا را ارزیابی و گزارش کرد که به‌علت استخراج چند عنصر با هم و کاربرد آسان و ظرفیت بافوری بهتر روش کلونا، این روش قابل پیشنهاد است. هومفاریز و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که ماده خشک چاودار دائمی همبستگی معنی‌داری با آزمون‌های مورگان، اولسن و 0.01CaCl_2 مولار داشت (به ترتیب $r=0.89^{**}$ ، 0.81^{**} و 0.75^{**}). کولهانک و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که از بین عصاره‌گیرهای آب مقطر، 0.01CaCl_2 مولار، اولسن و مهلیچ-۳، عصاره‌گیر آب مقطر بهترین ضریب همبستگی خطی را با فسفر جذب شده توسط جو داشت ($r=0.81^{**}$) و روش اولسن همبستگی بسیار پایینی با آن داشت ($r=0.25^{ns}$). دلگادو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که روش اولسن در مناطقی که خاک‌ها دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تقریباً یکنواختی هستند از ضریب همبستگی بالاتری با شاخص‌های گیاهی برخوردار است. مالینا و همکاران (۲۰۱۲) عصاره‌گیر سلطانپور را با روش اولسن مقایسه کردند و روش سلطانپور را برای تمام خاک‌های مورد مطالعه به استثنای اندی‌سول‌ها که به‌طور مشخص حاوی مقدار خیلی کم فسفر قابل‌جذب هستند، پیشنهاد کردند. یکی از دلایل مالینا و همکاران استخراج چندین عنصر به‌طور همزمان توسط روش سلطانپور می‌باشد. بر اساس مطالعه شارپلی (۱۹۹۳) روش نوارهای کاغذی می‌تواند پایه تئوری قوی‌تری از عصاره‌گیرهای شیمیایی در تخمین فسفر قابل جذب داشته باشد. مایرز و همکاران (۱۹۹۵) نشان دادند که آلودگی با ذرات خاک بعد از تکان دادن سوسپانسیون خاک با کاغذ صافی‌های با منافذ بزرگ (واتمن ۵۴۱ با منافذ $25-20\ \mu\text{m}$) بیشتر از کاغذ صافی‌های با منافذ کوچک (واتمن ۵۰ با منافذ $2\ \mu\text{m}$) یا کاغذ صافی‌های سچلیچر و سچول (SS) ۲ (۵۸۹۲ با منافذ $5-2\ \mu\text{m}$) بود. بوسلی (۱۹۹۴) نیز نتایج مشابهی را در مورد کاغذهای صافی واتمن ۵۴۱ و ۴۲

²Schleicher and Schuell¹Extracted

دو روش اولسن و کالول همبستگی بالایی با شکلهای دی‌کلسیم فسفات، فسفات آلومینیوم، فسفات آهن، آپاتیت و فسفر کل داشت. محمودسلطانی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که بین فسفر قابل جذب و فسفر آلی همبستگی منفی معنی‌داری وجود داشت ولی میان شکل‌های معدنی فسفر و فسفر قابل جذب همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت، که از بین آن‌ها فسفات آلومینیوم بیش‌ترین نقش را در قابلیت جذب فسفر برای گیاه برنج در مزارع شالیزاری داشت. سامریت و همکاران (۲۰۰۲) بین مقدار فسفر استخراج شده با عصاره‌گیرهای بری-۲، مهلیج-۳ و اولسن با شکل‌های فسفات آهن، فسفات کلسیم و فسفر محلول در احیا کننده همبستگی بسیار معنی‌داری مشاهده کردند. یانگ و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که فسفر استخراج شده توسط بی‌کربنات سدیم در روش اولسن با فسفر استخراج شده با رزین همبستگی معنی‌دار داشت؛ در حالی‌که با فسفر استخراج شده با عصاره‌گیرهای NaOH و HCl چنین نبود. شریعتمداری و همکاران (۲۰۰۷) از استان اصفهان گزارش کردند که فسفر قابل جذب رابطه معنی‌داری با فسفر کل خاک و فسفر معدنی کل و شکل‌های ناپایدار و نسبتاً ناپایدار فسفر آلی داشت. مستشاری و همکاران (۲۰۰۸) با مقایسه ضرایب همبستگی ساده بین شکل‌های مختلف فسفر مشخص کردند که دی‌کلسیم فسفات، فسفات آهن، فسفر محبوس و فسفر محلول رابطه مثبت و معنی‌داری با فسفر استخراج شده به روش اولسن داشتند که نشان دهنده تأثیر این شکل‌ها بر فسفر قابل جذب در خاک بود. نجفی و توفیقی (۱۳۸۸a) گزارش کردند که در خاک‌های آهکی، همبستگی ساده ماده خشک بخش هوایی برنج با فسفر قابل جذب و شکل‌های Al-P، Ca8-P، CBD-P، Ca10-P معنی‌دار نبود ولی با شکل‌های Fe-P و Ca2-P معنی‌دار بود. همچنین نجفی و توفیقی (۱۳۸۸b) گزارش کردند که در خاک‌های آهکی و غیرآهکی، شکل‌های فسفر معدنی با یکدیگر و با مجموع شکل‌های فسفر همبستگی معنی‌داری داشتند که بیانگر وجود یک رابطه دینامیکی بین شکل‌های مذکور می‌باشد.

با توجه به تفاوت اقلیم، مواد مادری و دیگر

(با منافذ $2/5\mu\text{m}$) گزارش کرد. برخی محققان اجازه دادند که نوارها به صورت آزادانه در سوسپانسیون خاک حرکت کنند (یلی هالا ۱۹۸۹، کوو و جلووم ۱۹۹۴). در تحقیقات انجام شده در ایران حسین‌پور و شریعتمداری (۱۳۸۵) از استان اصفهان گزارش کردند که بین فسفر استخراج شده توسط محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار با بقیه عصاره‌گیرهای رایج از جمله اولسن همبستگی معنی‌داری وجود نداشت و روش کالول در هر سه چین گیاه یونجه با شاخص جذب فسفر توسط گیاه همبستگی معنی‌داری داشت. عطاردی و خوراسگانی (۱۳۸۸) از استان خراسان شمالی گزارش کردند که برای اندازه‌گیری فسفر قابل‌استفاده گیاه سورگوم روش‌های اولسن و آب مقطر مناسب‌تر از بقیه بودند. قانعی و حسین‌پور (۱۳۸۳) از استان همدان گزارش کردند که بین فسفر استخراج شده توسط روش نوارهای کاغذی پوشیده شده با اکسید آهن با بیشتر عصاره‌گیرهای شیمیایی و فسفر جذب شده توسط گیاه نرت همبستگی معنی‌داری وجود داشت. حسین‌پور و صالحی (۱۳۸۸) از استان همدان گزارش کردند که فسفر استخراج شده توسط روش نوارهای کاغذی تنها در چین اول با فسفر جذب شده توسط گیاه یونجه همبستگی معنی‌دار نداشت ولی در بقیه چین‌ها همبستگی معنی‌دار وجود داشت. قنبری و همکاران (۱۳۷۸) از استان فارس گزارش کردند که بیشترین همبستگی بین فسفر استخراج شده و شاخص‌های گیاه نرت به ترتیب متعلق به روش اولسن، کالول و رزین بود و روش آب مقطر نیز با این سه روش همبستگی خوبی داشت.

قابلیت جذب فسفر برای گیاه، بستگی به مقادیر شکل‌های مختلف فسفر دارد که در خاک‌ها موجود هستند (تاپسن و همکاران ۱۹۸۴). فسفر قابل استفاده گیاه شکل خاصی از شکل‌های شیمیایی فسفر نیست، بلکه مجموعه‌ای از شکل‌ها را شامل می‌شود (هالفورد، ۱۹۸۳). از آنجا که فسفر کل خاک برای جذب فوری گیاه قابل استفاده نیست، تلاش‌های زیادی شده تا رابطه بین فسفر قابل استفاده گیاه و شکل‌های قابل جذب را کمی نمایند. صمدی و جیلکز (۱۹۹۸) از استرالیا گزارش کردند که فسفر استخراج شده با بی‌کربنات سدیم در هر

برای این منظور مقدار ۱۲۰ میلی‌گرم اوره بر کیلوگرم خاک، ۱۰ میلی‌گرم سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) بر کیلوگرم خاک و ۵ میلی‌گرم کی‌لیت آهن (سکوسترین ۱۲۸) بر کیلوگرم خاک گلدان‌ها استفاده شد. به دلیل اینکه خاک‌ها کمبود پتاسیم نداشتند، پتاسیم مصرف نشد. پس از دو ماه، بخش هوایی و ریشه برداشت، خشکانیده و پودر شدند. هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش اکسایش تر (والینگ و همکاران ۱۹۸۹) و اندازه‌گیری غلظت فسفر در آنها با روش زرد (اولسن و سومرز ۱۹۸۲) انجام شد. اندازه‌گیری غلظت فسفر در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی مولیبدات آبی که توسط مورفی و ریلی (۱۹۶۲) ارائه و توسط واتانابه و اولسن (۱۹۶۵) اصلاح شده بود و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. تنها در نمونه‌های حاصل از روش نوارهای کاغذی که در آنها از کاغذ صافی ۵۴۱ واتمن با پوششی از کاغذ صافی ۴۲ واتمن استفاده شده بود، از روش سبز (راو و همکاران ۱۹۹۷، عنان ۲۰۰۲) برای اندازه‌گیری فسفر استفاده شد. برای انتخاب مناسب‌ترین کاغذ صافی آغشته به اکسید آهن ۷ خاک با بافت‌های متفاوت انتخاب و فسفر آنها با نوارهای آغشته به اکسید آهن که با کاغذ صافی‌های واتمن ۵۴۱ تهیه شده بودند و به وسیله کاغذ صافی‌های واتمن ۴۲ پوشانده شده بودند، استخراج شد. بین روش‌های استفاده شده (نوارهای آغشته به اکسید آهن که با کاغذ صافی‌های واتمن ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۵۴۱ واتمن، ۴۲ پاکستانی و ۵۸۹^۳ سچلیچر و سچول که بدون پوشش به کار رفته بودند)، روشی که بیشترین همبستگی را با داده‌های حاصل از این ۷ خاک داشت به‌عنوان، روشی با کم‌ترین آلودگی انتخاب شد. با توجه به ضریب همبستگی بین مقادیر فسفر استخراج شده با عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی بهترین عصاره‌گیر انتخاب شد. شکل‌های معدنی فسفر به روش جیانگ و گو (۱۹۸۹) و شکل‌های آلی فسفر به روش ژانگ و کوار (۲۰۰۰) تعیین شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل و ضرایب همبستگی و توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم-افزار SPSS انجام شد.

عوامل مؤثر در تشکیل و تکامل خاک‌ها و در نتیجه ویژگی‌های متنوع خاک‌های کشور، انتخاب عصاره‌گیر یا عصاره‌گیرهای مناسب فسفر برای گیاهان مختلف به ویژه محصولات استراتژیک در هر منطقه ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف این پژوهش تعیین عصاره‌گیر یا عصاره‌گیرهای مناسب در خاک‌های استان آذربایجان شرقی برای گیاه ذرت بود که تاکنون گزارش چاپ شده‌ای از موضوع وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از خاک‌های استان آذربایجان شرقی بر اساس ویژگی‌هایی مثل بافت خاک، pH، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی و فسفر قابل استفاده گیاه انجام و در نهایت با توجه به دامنه ویژگی‌های یاد شده ۲۵ نمونه مرکب از مناطق مختلف استان از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برای این مطالعه انتخاب شدند. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و ویژگی‌هایی همچون بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه (گی و بودر ۲۰۰۲)، pH در $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار با نسبت ۱:۲ خاک به محلول و در ۱:۱ آب به خاک (ریچاردز ۱۹۵۴)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (نلسون و سومرز ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراژ کردن با سود (آلیسون و مودی ۱۹۶۵)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در نسبت ۱:۲ خاک به آب (رودز ۱۹۹۶) و کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) با اگزالات آمونیم (دورینو ۱۹۴۲) تعیین شد. فسفر قابل جذب نیز به روش اولسن (اولسن و همکاران ۱۹۵۴) اندازه‌گیری شد. سپس آزمایشی در ۲۵ نوع خاک با سه تکرار به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. در گلدان‌هایی که حاوی ۳ کیلوگرم خاک بودند، پنج بذر گیاه ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد و پس از دو هفته به سه بوته تنک شد. رطوبت خاک در طول ۲ ماه رشد بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به روش وزنی نگهداری شد. به غیر از فسفر بقیه عناصر بر طبق آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی مصرف شد.

جدول ۱- عصاره‌گیرهای مختلف فسفر مورد استفاده در این تحقیق و ویژگی‌های آنها.

مرجع	مدت تکان دادن (دقیقه)	نسبت خاک به عصاره‌گیر	pH	غلظت و ترکیب شیمیایی	روش عصاره‌گیری
اولسن و سومرز (۱۹۸۲)	۵	۱:۱۰	-	آب مقطر	آب مقطر*
اولسن و سومرز (۱۹۸۲)	۵	۱:۱۰	-	0.01M CaCl ₂	محلول رقیق نمک*
پاو (۱۹۷۱)	۶۰**	۱:۶۰	-	آب دیونیزه	پاو*
اولسن و همکاران (۱۹۵۴)	۳۰	۱:۲۰	۸/۵	0.5M NaHCO ₃	اولسن
کالول (۱۹۶۳)	۹۶۰	۱:۱۰۰	۸/۵	0.5M NaHCO ₃	کالول
سلطان‌پور و شواب (۱۹۷۷)	۱۵	۱:۲	۷/۶	1M NH ₄ HCO ₃ + 0.005M DTPA	سلطان‌پور و شواب
مورگان (۱۹۴۱)	۱۵	۱:۵	۴/۸	0.5M CH ₃ COOH + 0.7M NaC ₂ H ₃ O ₂	مورگان
کاین و همکاران (۱۹۹۴)	۱۵	۱:۱۰	-	0.25M CH ₃ COOH + 0.015M NH ₄ F + 0.25M NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂	کلونا**
چاردون و همکاران (۱۹۹۶)	۹۶۰	۱:۴۰:۱***	-	انواع کاغذهای صافی پوشیده شده با اکسید آهن	نوارهای کاغذی*

*این عصاره‌گیرها تنظیم pH نمی‌شوند. **قبل از ۶۰ دقیقه تکان دادن، مقدار خاک برداشته شده به مدت ۲۲ ساعت با آب دیونیزه خیس‌انده شد. ***یک گرم خاک + ۴۰ میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم ۰/۱ مولار + یک نوار آغشته به اکسید آهن با اضلاع ۲cm × ۱۰cm.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های عمومی خاک‌های مورد استفاده در این آزمایش.

ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کربنات کلسیم معادل (%)	۷/۰	۳۵/۰	۲۱/۵	۹/۱۵
کربنات کلسیم معادل فعال (%)	۰/۴۷	۱۰/۷۸	۵/۱۰	۲/۷۹
pH*	۷/۸	۸/۵	۸/۱۰	۰/۱۹
pH**	۷/۶	۸/۴	۸/۱۰	۰/۲۳
pH***	۷/۳	۸/۲	۷/۷۰	۰/۲۳
کربن آلی (%)	۰/۱۶	۱/۹۳	۱/۰۴	۰/۵۵
شن (%)	۱۵/۶	۶۷/۸	۰/۹	۱۸/۵
سیلت (%)	۱۵/۶	۴۳/۲	۲۹/۹	۸/۰
رس (%)	۱۲/۴	۵۷/۳	۱/۱	۱۲/۵
هدایت الکتریکی (dS/m)	۰/۱۳	۴/۱۶	۰/۶۹	۱/۰۱
فسفر استخراج شده به روش اولسن (mg/kg)	۱/۸	۷۴/۵	۱۱/۹	۱۴/۸

*در نسبت ۱:۱ آب مقطر به خاک، **در نسبت ۱:۲ آب مقطر به خاک، ***در نسبت ۱:۲ کلرید کلسیم ۰/۱ مولار به خاک

نتایج و بحث

در جدول ۳ شاخص‌های رشد گیاه نرت ارائه شده است. وزن خشک بخش هوایی بین ۱/۱-۲/۲ و میانگین آن ۵/۷۱ گرم بر گلدان بود. غلظت فسفر بخش هوایی بین ۱/۱۵-۵/۹۸ با میانگین ۴/۰۶ میلی‌گرم بر گرم بود. مقدار فسفر بخش هوایی (کل فسفر جذب شده توسط بخش هوایی) بین ۳۳/۱۳-۹/۳۶ با میانگین ۲۲/۴۴ میلی‌گرم بر گلدان بود. مقدار فسفر ریشه هم بین ۰/۸۱-۰/۱۳ با میانگین ۰/۴۷ میلی‌گرم بر گلدان بود.

در جدول ۲ توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه ارائه شده است. در خاک‌های مورد مطالعه به جز خاک‌های ۸ و ۱۵ که به ترتیب ۳۵/۲ و ۵/۸ درصد گچ داشتند، گچ وجود نداشت. صفاتی همچون درصد کربنات کلسیم، درصد کربن آلی، درصد رس و هدایت الکتریکی از ضریب تغییرات قابل توجهی برخوردار بودند که نشان دهنده دامنه خوب صفات مورد بررسی است.

جدول ۳- شاخص‌های گیاه ذرت کاشته شده در این آزمایش.

شاخص های رشد گیاه ذرت	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
وزن تر ریشه (g/pot)	۷/۸۷	۳۸/۸۶	۲۰/۱۳	۷/۴۴
وزن خشک ریشه (g/pot)	۰/۳۲	۱/۸۵	۱/۰۳	۰/۴۰
وزن تر هوایی (g/pot)	۲۳/۶۳	۱۰۱/۷۱	۶۷/۲۸	۲۰/۲۲
وزن خشک بخش هوایی (g/pot)	۲/۱۵	۱۰/۱۰	۵/۷۱	۱/۹۳
غلظت فسفر ریشه (mg/g)	۰/۱۹	۰/۶۶	۰/۴۶	۰/۱۲
غلظت فسفر بخش هوایی (mg/g)	۱/۹۸	۵/۱۵	۴/۰۷	۰/۷۹
جذب فسفر ریشه (mg/pot)	۰/۱۴	۰/۷۴	۰/۴۷	۰/۱۹
جذب فسفر بخش هوایی (mg/pot)	۹/۷۶	۳۲/۹۲	۲۲/۶۲	۶/۷۵
درصد رشد نسبی	۲۱/۲۹	۱۰۰/۰۰	۵۶/۵۸	۱۹/۱۵
قطر ساقه (mm)	۴/۴۰	۱۰/۴۰	۶/۹۴	۱/۳۸
ارتفاع بوته (cm)	۶۳/۱۷	۱۱۴/۱۱	۹۷/۳۵	۱۴/۳
فاکتور انتقال	۶/۰۰	۱۴/۲۸	۹/۴۷	۱/۹۲

مشاهده می‌شود میانگین فسفر استخراج شده نوار پوشش‌دار بسیار کمتر از موارد دیگر بود اما همبستگی آن با نوارهای تهیه شده با کاغذ صافی‌های با قطر ۸ میکرومتر و کمتر، بالا بود. در این موارد می‌توان کاهش مقدار فسفر در نوار پوشش‌دار را به حضور پوشش و ممانعت آن از تماس مستقیم سوسپانسیون با نوار دانست. بنابراین، نوارهای کاغذی آغشته به اکسید آهنی که توسط کاغذ صافی‌های ۴۰ و ۴۲ واتمن و یا ۵۸۹^۳ سچلیچر و سچول تهیه شده‌اند و بدن پوشش هستند، برای استخراج فسفر با این روش مناسب می‌باشند. حذف مرحله پوشش‌دار کردن در این روش باعث کاهش هزینه‌ها و زمان ساخت این نوارها می‌شود. پوشش‌دار کردن نوارها همچنین باعث تثبیت موقعیت نوارها در ظرف حاوی سوسپانسیون می‌شد که مطابق روش اصلی پیشنهاد شده است (چاردون و همکاران ۱۹۹۶) اما وقتی این پوشش‌ها نباشند نوارها آزادانه در سوسپانسیون غوطه‌ور بودند. بنابراین می‌توان اثر تثبیت موقعیت نوارها را در کاهش آلودگی‌ها بی اثر دانست که البته مغایر نظر سیسینگ (۱۹۸۳) است.

انتخاب مناسب‌ترین کاغذ صافی آغشته به اکسید آهن در این بررسی از کاغذ صافی واتمن ۵۴۱ آغشته به آهن پوشانده شده با واتمن ۴۲ به‌عنوان روشی که در آن ذرات خاک نمی‌تواند مستقیماً با کاغذ صافی آغشته به آهن در تماس باشد و ایجاد آلودگی کند و همچنین رفع احتمال ساییدگی و خراشیدگی نوارها طی تکان دادن سوسپانسیون استفاده شد. چاردون و همکاران (۱۹۹۶) از نایلون مش‌ها به‌عنوان پوشش برای رفع آلودگی استفاده کردند. با توجه به جدول ۴ می‌توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش قطر منافذ کاغذ صافی-ها، ضریب همبستگی فسفر استخراج شده توسط آنها با فسفر استخراج شده با نوارهای کاغذی آغشته به اکسید آهن که از کاغذ صافی واتمن ۵۴۱ با پوششی از کاغذ صافی واتمن ۴۲ تهیه شده بود کاهش می‌یابد. بنابراین اگر برای استخراج فسفر از این نوارهای کاغذی آغشته به اکسید آهن استفاده می‌شود باید قطر منافذ کاغذ صافی مورد استفاده کمتر یا مساوی ۸ میکرومتر باشد. بوسلی (۱۹۹۴) و مایرز و همکاران (۱۹۹۵) نیز گزارش کردند که در صورت استفاده از کاغذهای صافی با منافذ نسبتاً بزرگ (بیش از ۱۰ میکرون)، ممکن است طی تکان دادن با ذرات خاک آلوده شوند. همانطور که

جدول ۴- توصیف آماری فسفر استخراج شده (mg/kg) با انواع کاغذ صافی‌های آغشته به اکسید آهن.

نوع کاغذ صافی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	r	قطر منافذ (μm)
واتمن ۵۴۱ پوشانده شده با واتمن ۴۲	۰/۴۱	۲/۲۴	۰/۹۶	۰/۶۲		
واتمن ۴۰	۲/۹۷	۱۰/۸۶	۵/۳۴	۲/۷۸	۰/۹۵**	۸
واتمن ۴۱	۱/۴۶	۹/۰۲	۴/۲۱	۲/۵۹	۰/۹۰**	۲۰
واتمن ۴۲	۴/۴۷	۱۵/۸۰	۷/۵۳	۳/۹۴	۰/۹۵**	۲/۵
پاکستانی ۴۲	۴/۵۶	۱۳/۸۶	۸/۴۰	۳	۰/۸۲*	-
واتمن ۵۴۱	۱۰/۶۷	۳۹/۱۵	۲۱/۱۸	۹/۸۱	۰/۱۵ ^{ns}	۲۲
سچلیچر و سچول ^۱ ۵۸۹	۲/۸۰	۱۲/۲۶	۵/۷۸	۳/۰۶	۰/۹۵**	۲<

r همبستگی فسفر استخراج شده با نوار آغشته به اکسید آهن پوشش‌دار و بدون پوشش؛ ns غیر معنی‌دار، * و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

می‌رسد دو خاک ۲ و ۵ با مقدار بسیار زیاد اولسن - P (به ترتیب ۷۴/۵ و ۳۶/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) باعث افزایش کاذب همبستگی فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف در ۲۵ خاک مورد مطالعه شده است، به طوری که داده‌های حاصل از این دو خاک در اکثر موارد دارای مقدار کوکس^۱ بیش از یک بودند.

پس از حذف این دو خاک همبستگی بین فسفر استخراج شده توسط دو روش اولسن و سلطانپور * ۰/۷۸ شد (شکل ۴). همچنین همبستگی بین فسفر استخراج شده توسط دو روش اولسن و آب مقطر * ۰/۴۲ شد (شکل ۲). جدول ۶ همبستگی فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف را در ۲۳ خاک (با حذف خاک‌های ۲ و ۵) نشان می‌دهد. بعد از حذف دو خاک مذکور همبستگی روش پاو با روش‌های دیگر پایین بود که شاید حاکی از تأثیر پذیرفتن این روش از ویژگی‌های خاک مانند بافت خاک باشد. بین روش‌های اولسن و کالول همبستگی قابل ملاحظه‌ای وجود داشت که با گزارش مقنون و همکاران (۲۰۰۳) نیز مطابق بود. همبستگی بین فسفر استخراج شده توسط دو روش اولسن و سلطانپور * ۰/۷۸ بود. بیشترین همبستگی برای روش سلطانپور بین فسفر استخراج شده توسط این روش و کلونا ۲ (۰/۹۶) بود. وجود همبستگی بین این عصاره‌گیرها نشان می‌دهد که احتمالاً این عصاره‌گیرها

توصیف آماری فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مورد بررسی

به طور میانگین در ۲۵ خاک مورد مطالعه کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار کمترین مقدار فسفر و روش کالول بیشترین آن را استخراج کرد (جدول ۵). روش سلطانپور نیز بعد از روش‌های کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و آب مقطر کمترین مقدار فسفر را استخراج کرد. همچنین با توجه به ضریب تغییرات، روش‌های سلطانپور، آب مقطر، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و مورگان از بیشترین تغییرات فسفر استخراج شده برخوردار بودند (جدول ۵). برای بررسی امکان استفاده عصاره‌گیرها به جای یکدیگر برای انتخاب عصاره‌گیری که بتواند با صرف هزینه و وقت کمتر شاخص‌های رشد گیاه ذرت را پیش‌بینی کند، همبستگی آماری فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مورد بررسی، محاسبه شد که در جدول‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. در این مطالعه همبستگی روش پاو با روش‌های دیگر پایین بود در حالی که روش‌های دیگر نسبتاً همبستگی بالایی با هم داشتند. بیشترین همبستگی در روش‌های شیمیایی استخراج فسفر بین دو روش کالول و کلونا ۲ بود (** ۰/۹۹=r). در ۲۵ خاک مورد مطالعه همبستگی بین فسفر استخراج شده با روش اولسن و روش چند عنصری سلطانپور * ۰/۹۷ بود (شکل ۳). همچنین همبستگی بین فسفر استخراج شده توسط دو روش اولسن و آب مقطر نیز ۰/۹۲ بود (شکل ۱). به‌نظر

^۱Cook's value

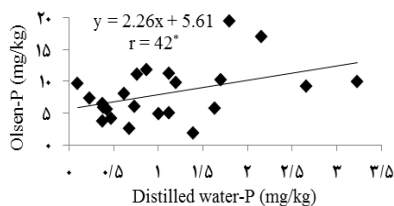
کاغذی مربوط به روش‌های سلطانپور و واتمن ۴۲ بود. تمام روش‌های نوارهای کاغذی به‌جز روش ۵۴۱ واتمن با هم ضریب همبستگی بیش از ۰/۸ داشته و در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بودند. بین روش‌های نوارهای کاغذی بیشترین همبستگی مربوط به روش‌های واتمن ۴۰ و ۴۱ بود.

از منابع یکسانی فسفر را استخراج می‌کنند. کمترین این همبستگی‌ها ($0/06^{ns}$) نیز مربوط به روش‌های پاو و اولسن بود. از روش نوارهای کاغذی، روش واتمن ۵۴۱ با هیچ یک از روش‌هایی که با محلول بی‌کربنات سدیم فسفر خاک را استخراج می‌کنند، همبستگی نداشت و بیشترین همبستگی بین روش‌های شیمیایی و نوارهای

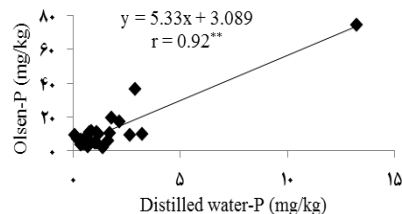
جدول ۵- توصیف آماری فسفر استخراج شده (mg/kg) توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری فسفر.

روش استخراج فسفر	حداقل	حداکثر	میانگین
کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار	۰/۱۲	۲/۵۳	۰/۴۸
آب مقطر	۰/۱۰	۱۳/۲۳	۱/۶۵
سلطانپور	۰/۷۵	۳۹/۰۹	۴/۵۱
Pi (واتمن ۴۱)	۱/۲۷	۳۰/۷۰	۵/۲۴
Pi (سچلیچر و سچول ^۲ ۵۸۹)	۰/۴۳	۳۶/۷۴	۶/۴۴
Pi (واتمن ۴۰۹)	۲/۵۱	۳۲/۱۴	۶/۵۹
Pi (واتمن ۴۲)	۲/۹۴	۲۷/۴۷	۷/۶۹
پاو	۱/۹۰	۱۷/۶۸	۸/۰۵
Pi (پاکستانی ۴۲)	۳/۴۱	۲۹/۶۷	۹/۰۵
اولسن	۱/۷۶	۷۴/۴۸	۱۱/۸۸
مورگان	۱/۶۲	۱۲۷/۶۸	۱۹/۶۸
کلونا ۲	۶/۲۹	۱۰۲/۱۶	۲۰/۲۶
Pi (واتمن ۵۴۱)	۶/۳۹	۵۶/۰۲	۲۱/۸۰
کالول	۶/۷۶	۱۲۰/۸۱	۲۷/۶۱

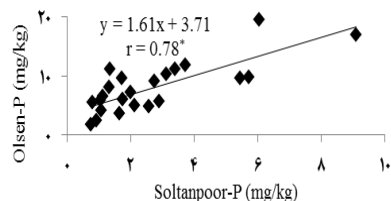
Pi: روش کاغذصافی‌های آغشته به اکسید آهن. منظور از کاغذ صافی پاکستانی همان کاغذ صافی‌های بدون نام شرکت سازنده در بازار ایران می‌باشد که بسیار ارزان قیمت هم هستند و تصور بر این است که از پاکستان وارد کشور می‌شوند.



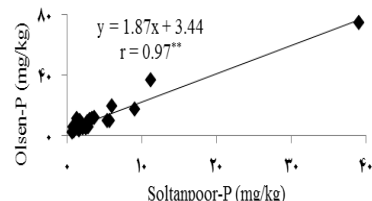
شکل ۲- رابطه بین فسفر استخراج شده توسط روش آب مقطر و اولسن در ۲۳ خاک مورد مطالعه.



شکل ۱- رابطه بین فسفر استخراج شده توسط روش آب مقطر و اولسن در ۲۵ خاک مورد مطالعه.



شکل ۴- رابطه بین فسفر استخراج شده توسط روش سلطانپور و اولسن در ۲۳ خاک مورد مطالعه.



شکل ۳- رابطه بین فسفر استخراج شده توسط روش سلطانپور و اولسن در ۲۵ خاک مورد مطالعه.

استخراج شده توسط روش مورگان اصلاح شده (MMP) و فسفر محلول در آب مقطر با افزایش مقادیر ماده آلی خاک کاهش یافت. این نتایج با گزارش شریعتمداری و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت. همچنین تمام روش‌های عصاره‌گیری همبستگی بالایی با Ca_2-P داشتند که کمترین آنها مربوط به روش پائو (* $r=0.67$) بود. این نتایج نشان می‌دهند که احتمالاً بیشتر فسفری که این عصاره‌گیرها استخراج می‌کنند از منبع دی‌کلسیم فسفات می‌باشد که با توجه به حل‌پذیری بالای دی‌کلسیم فسفات نسبت به اکتاکلسیم فسفات یا آپاتیت این نتیجه قابل پیش‌بینی بود. در مورد روش پائو نیز این تأثیر وجود داشت اما بسیار کمتر از روش‌های دیگر بود. در مورد رابطه دی‌کلسیم فسفات با روش اولسن نتایج به‌دست آمده مطابق نتایج صمدی (۲۰۰۳) و نجفی و توفیقی (۱۳۸۸b) بود. نتایج نشان می‌دهند که مجموع فسفر آلی با فسفر استخراج شده توسط هیچ یک از روش‌ها رابطه معنی‌داری نداشتند. همچنین آپاتیت و فسفات آلومینیوم با فسفر استخراج شده توسط هیچ یک از روش‌ها رابطه معنی‌داری نداشت اما مجموع فسفر معدنی به‌جز روش‌های آب مقطر و پائو رابطه معنی‌داری

همبستگی فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف با شکل‌های فسفر در خاک‌های مورد مطالعه توصیف آماری شکل‌های مختلف فسفر در جدول ۷ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار شکل‌های معدنی فسفر به‌ترتیب آپاتیت ($Ca_{10}-P$) < اکتاکلسیم فسفات (Ca_8-P) < فسفات آلومینیوم ($Al-P$) < دی‌کلسیم فسفات (Ca_2-P) < فسفات آهن ($Fe-P$) بود. مقدار شکل‌های آلی فسفر نیز به‌ترتیب فسفر آلی نسبتاً ناپایدار ($MLOP$) < فسفر آلی ناپایدار (LOP) < فسفر آلی پایدار ($NLOP$) بود (جدول ۷). جدول ۸ همبستگی (r) شکل‌های مختلف فسفر با فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود که هیچ یک از روش‌های عصاره‌گیری همبستگی بالایی با شکل $NLOP$ نداشتند ولی تمام روش‌های عصاره‌گیری همبستگی بالایی با شکل‌های LOP (به‌جز روش پائو و کاغذ صافی ۵۴۱ واتمن آغشته به اکسید آهن) و $MLOP$ (به‌جز روش مورگان و کاغذ صافی ۵۴۱ واتمن آغشته به اکسید آهن) داشتند. اوهنو و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که ضریب همبستگی رابطه بین فسفر

روشی بود که در آن از کاغذ صافی سچلیچر و سچول^۳ ۵۸۹ استفاده شده بود ولی به‌علت گرانی این نوع کاغذ شاید بهتر باشد از کاغذ صافی‌های واتمن ۴۰ و ۴۲ استفاده کرد چون فسفر استخراج شده توسط آنها نیز همبستگی خوبی با وزن خشک هوایی داشتند (r در هر دو *^{۰/۵۹}). به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهند که روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی در این تحقیق برتر از روش نوارهای کاغذی در پیش‌بینی شاخص‌های گیاهی بودند.

نتیجه‌گیری کلی

در شرایط این تحقیق، فسفر عصاره‌گیری شده توسط روش‌های عصاره‌گیری بر پایه استفاده از محلول بی‌کربنات سدیم رابطه بهتری با شاخص‌های رشد گیاه ذرت مطالعه داشتند. هر چند فسفر عصاره‌گیری شده به روش کالول همبستگی بالاتری نسبت به روش اولسن با وزن خشک بخش هوایی ذرت داشت ولی این تفاوت زیاد نبود ($\Delta r=0/08$) و چون هزینه‌ها و زمان لازم برای تکان دادن در عمل عصاره‌گیری (۱۶ ساعت) در روش کالول طولانی‌تر است لذا روش اولسن عصاره‌گیر برتر در این تحقیق معرفی می‌شود. روش غیرتخریبی نوارهای کاغذی هم توانست همبستگی خوبی با شاخص‌های رشد ذرت داشته باشد اما در این مطالعه برتری خاصی نسبت به روش اولسن مشاهده نشد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول بوده که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به‌دلیل تأمین هزینه‌های لازم تشکر می‌گردد.

با دیگر عصاره‌گیرها داشتند. نتایج نشان داد که ACCE با هیچ یک از شکل‌های فسفر خاک به‌جز Fe-P (**^{۰/۵۳}- r = همبستگی معنی‌داری نداشت. فسفر کل با تمام عصاره‌گیرها همبستگی معنی‌دار داشت (جدول ۸). در ۲۵ خاک مورد مطالعه بیشترین همبستگی خطی بین روش پاو و مقدار فسفر ریشه ذرت مشاهده شد (**^{۰/۵۲}- r =). همچنین روش کاغذ صافی واتمن ۵۴۱ آغشته به اکسید آهن با فسفر جذب شده در بخش هوایی و ریشه رابطه‌ای منفی و معنی‌دار داشت (r به‌ترتیب *^{۰/۴۴} و *^{۰/۴۸}). در این تحقیق کمترین همبستگی خطی بین روش پاو و وزن خشک بخش هوایی ذرت مشاهده شد (^{ns} $r=0/01$). در نگاه اول به‌نظر می‌رسید که هیچ یک از عصاره‌گیرهای مورد مطالعه در این تحقیق، قادر به پیش‌بینی شاخص‌های گیاه ذرت نبودند اما با حذف دو خاک ۲ و ۵ با فرض غیرنرمال بودن آنها این همبستگی‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. نتایج بعد از این تغییر در جدول ۹ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که بیشترین همبستگی به‌ترتیب بین روش‌های کالول، اولسن و کلونا ۲ با وزن خشک بخش هوایی بود (r به‌ترتیب *^{۰/۷۵}، *^{۰/۶۷} و *^{۰/۶۵}). هرچند دیگر عصاره‌گیرها نیز رابطه معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی داشتند، ولی این روابط هم به‌دلیل دقت کم نمی‌توانند پیش‌گوی مناسبی برای شاخص‌های رشد گیاه ذرت باشند. با توجه به جدول ۹ در این آزمایش روش‌های آب مقطر، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و مورگان همبستگی معنی‌داری با هیچ‌یک از شاخص‌های گیاه ذرت نداشتند. روش‌های پاو و روش کاغذ صافی واتمن ۵۴۱ آغشته به اکسید آهن با غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه و مقدار فسفر ریشه همبستگی منفی و معنی‌داری داشتند که دیگر عصاره‌گیرها با این سه شاخص همبستگی نداشتند. در روش Pi بیشترین همبستگی در

جدول ۶- همبستگی‌های ساده بین فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه در ۲۳ خاک مورد مطالعه

روش استخراج	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱- آب مقطر	۰/۷۲**	۰/۴۰ ^{ns}	۰/۴۲*	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۶۷**	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۵۴**	۰/۵۸**	۰/۶۳**	۰/۶۹**	۰/۵۲*	۰/۴۶*	۰/۵۸**
۲- کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار	۱	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۵۳**	۰/۵۱*	۰/۷۸**	۰/۵۵**	۰/۷۰**	۰/۷۴**	۰/۷۲**	۰/۷۷**	۰/۷۱**	۰/۵۱*	۰/۷۵**
۳- پاو	۱	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۳۰ ^{ns}	۰/۵۰*	۰/۱۵ ^{ns}
۴- اولسن	۱	۰/۹۴**	۰/۷۸**	۰/۸۸**	۰/۷۴**	۰/۹۱**	۰/۹۰**	۰/۹۰**	۰/۷۹**	۰/۷۹**	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۸۸**	۰/۸۸**
۵- کالول	۱	۰/۶۸**	۰/۹۶**	۰/۶۸**	۰/۶۹**	۰/۸۸**	۰/۸۵**	۰/۸۸**	۰/۷۹**	۰/۷۹**	۰/۳۴ ^{ns}	۰/۸۳**	۰/۸۳**
۶- سلطانیپور	۱	۰/۶۵**	۰/۹۱**	۰/۸۷**	۰/۸۸**	۰/۸۸**	۰/۸۷**	۰/۸۸**	۰/۹۲**	۰/۷۶**	۰/۶۱**	۰/۸۹**	۰/۸۹**
۷- کلونا ۲	۱	۰/۷۲**	۰/۸۹**	۰/۸۵**	۰/۷۵**	۰/۷۸**	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۷۹**	۰/۷۹**	۰/۷۸**	۰/۷۸**	۰/۷۹**	۰/۷۹**
۸- مورگان	۱	۰/۸۸**	۰/۸۹**	۰/۸۲**	۰/۷۴**	۰/۶۰**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**
۹- Pi (واتمن ۴۰)	۱	۰/۹۸**	۰/۹۴**	۰/۸۴**	۰/۵۴**	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۹۳**
۱۰- Pi (واتمن ۴۱)	۱	۰/۹۲**	۰/۵۴**	۰/۸۳**	۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۲**
۱۱- Pi (واتمن ۴۲)	۱	۰/۹۴**	۰/۵۲*	۰/۸۲**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۴**
۱۲- Pi (پاکستانی ۴۲)	۱	۰/۸۳**	۰/۶۱**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**	۰/۸۳**
۱۳- Pi (واتمن ۵۴۱)	۱	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*
۱۴- Pi (سچلیچر و سچول ۵۸۹ ^۳)	۱	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*	۰/۴۸*

ns غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، Pi: روش کاغذصافی‌های آغشته به اکسید آهن

جدول ۷- توصیف آماری شکل‌های مختلف فسفر (mg/kg) در ۱۷ خاک مورد مطالعه تعیین شده به روش جیانگ گو (۱۹۸۹) و ژانگ و کوار (۲۰۰۰).

شکل‌های مختلف فسفر	حداقل	حداکثر	میانگین
LOP	۳۵/۳۹	۸۵/۴۴	۵۶/۶۹
MLOP	۴۵/۸۸	۱۱۳/۲۳	۶۸/۱۹
NLOP	۱۲/۹۳	۱۲۸/۸۷	۵۴/۷۱
Ca ₂ -P	۵/۱۴	۸۲/۰۰	۱۵/۹۵
Ca ₈ -P	۲۷/۲۹	۴۸۶/۶۵	۱۹۳/۱۳
Al-P	۲۲/۷۲	۱۳۲/۵۳	۵۵/۳۶
Fe-P	۷/۳۷	۶۹/۲۶	۲۳/۸۷
Ca ₁₀ -P	۳۶/۸۰	۵۲۵/۳۳	۲۴۰/۹۳
مجموع فسفر آلی	۱۰۴/۲۵	۲۵۵/۱۸	۱۷۹/۶۶
مجموع فسفر معدنی	۲۵۲/۹۱	۸۴۱/۴۷	۵۳۶/۵۸

جدول ۸- همبستگی خطی (۴) شکل‌های مختلف فسفر با فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه.

شماره عصاره‌گیرها							شکل های مختلف فسفر
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۷۶**	۰/۶۷**	۰/۷۶**	۰/۷۴**	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۷۰**	۰/۶۳**	LOP
۰/۵۸*	۰/۷۳**	۰/۵۴*	۰/۶۹**	۰/۵۵*	۰/۶۹**	۰/۷۸**	MLOP
-۰/۱۷ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	-۰/۱۰ ^{ns}	-۰/۱۲ ^{ns}	-۰/۲۰ ^{ns}	-۰/۲۰ ^{ns}	-۰/۱۵ ^{ns}	NLOP
۰/۹۵**	۰/۹۷**	۰/۹۲**	۱**	۰/۶۷**	۰/۹۷**	۰/۹۴**	Ca ₂ -P
۰/۵۰*	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۵۶*	۰/۴۰ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	Ca ₈ -P
۰/۳۵ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۴۲ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	Al-P
۰/۴۵ ^{ns}	۰/۵۸*	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۶۰*	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۵۲*	۰/۶۰*	Fe-P
-۰/۱۳ ^{ns}	-۰/۰۷ ^{ns}	-۰/۱۷ ^{ns}	-۰/۱۴ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	-۰/۰۴ ^{ns}	-۰/۰۶ ^{ns}	Ca ₁₀ -P
۰/۲۴ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	مجموع فسفر آلی
۰/۶۳**	۰/۵۳*	۰/۶۳**	۰/۵۹*	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۵۷*	۰/۴۷ ^{ns}	مجموع فسفر معدنی
۰/۷۴**	۰/۶۳**	۰/۷۵**	۰/۷۲**	۰/۵۱*	۰/۶۷**	۰/۵۸*	فسفر کل

شماره عصاره‌گیرها							شکل های مختلف فسفر
۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	
۰/۶۸**	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۶۸**	۰/۶۹**	۰/۶۹**	۰/۶۹**	۰/۶۴**	LOP
۰/۷۴**	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۵۲*	۰/۶۴**	۰/۶۹**	۰/۶۹**	۰/۴۲ ^{ns}	MLOP
-۰/۱۰ ^{ns}	-۰/۳۹ ^{ns}	-۰/۲۱ ^{ns}	-۰/۰۹ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	-۰/۱۵ ^{ns}	-۰/۱۸ ^{ns}	NLOP
۰/۹۷**	۰/۸۱**	۰/۹۴**	۰/۹۳**	۰/۹۸**	۰/۹۸**	۰/۸۲**	Ca ₂ -P
۰/۲۵ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۴۲ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۵۷*	Ca ₈ -P
۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۴۳ ^{ns}	Al-P
۰/۶۳**	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۴۹*	۰/۵۴*	۰/۶۱**	۰/۶۰*	۰/۳۱ ^{ns}	Fe-P
-۰/۱۰ ^{ns}	-۰/۲۸ ^{ns}	-۰/۰۱ ^{ns}	-۰/۱۲ ^{ns}	-۰/۱۱ ^{ns}	-۰/۰۹ ^{ns}	-۰/۱۱ ^{ns}	Ca ₁₀ -P
۰/۳۳ ^{ns}	-۰/۰۴ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	مجموع فسفر آلی
۰/۵۲*	۰/۷۳**	۰/۶۸**	۰/۵۹*	۰/۶۰*	۰/۶۰*	۰/۶۲**	مجموع فسفر معدنی
۰/۶۵**	۰/۷۶**	۰/۷۷**	۰/۷۲**	۰/۷۱**	۰/۷۷**	۰/۷۰**	فسفر کل

غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، شماره عصاره‌گیرها در جدول ۶ ارائه شده‌اند

جدول ۹- همبستگی خطی فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی در ۲۳ خاک مورد مطالعه حذف خاک‌های ۲ و ۵.

شماره عصاره‌گیرها							شاخص‌های رشد
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۶۵**	۰/۴۷*	۰/۷۰**	۰/۶۷**	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	وزن خشک بخش هوایی
-۰/۲۵ ^{ns}	-۰/۲۹ ^{ns}	-۰/۲۶ ^{ns}	-۰/۱۴ ^{ns}	-۰/۶۲**	-۰/۳۱ ^{ns}	-۰/۲۸ ^{ns}	غلظت فسفر بخش هوایی
۰/۴۲*	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۴۸*	۰/۵۶**	-۰/۲۱ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	مقدار فسفر بخش هوایی
-۰/۲۳ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	-۰/۲۳ ^{ns}	-۰/۰۵ ^{ns}	-۰/۵۷**	-۰/۲۲ ^{ns}	-۰/۲۱ ^{ns}	غلظت فسفر ریشه
-۰/۰۲ ^{ns}	-۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	-۰/۵۶**	-۰/۰۶ ^{ns}	-۰/۰۵ ^{ns}	مقدار فسفر ریشه

شماره عصاره‌گیرها							شاخص‌های رشد
۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	
۰/۶۰**	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۵۶**	۰/۵۹**	۰/۵۵**	۰/۵۹**	۰/۳۸ ^{ns}	وزن خشک بخش هوایی
-۰/۳۳ ^{ns}	-۰/۶۰**	-۰/۴۲*	-۰/۲۴ ^{ns}	-۰/۲۵ ^{ns}	-۰/۲۵ ^{ns}	-۰/۲۵ ^{ns}	غلظت فسفر بخش هوایی
۰/۳۷ ^{ns}	۰/۳۴ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۴۳*	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	مقدار فسفر بخش هوایی
-۰/۱۵ ^{ns}	-۰/۵۷**	-۰/۲۸ ^{ns}	-۰/۱۱ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	-۰/۱۷ ^{ns}	-۰/۱۲ ^{ns}	غلظت فسفر ریشه
۰/۰۴ ^{ns}	-۰/۵۶**	-۰/۲۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	-۰/۱۰ ^{ns}	مقدار فسفر ریشه

غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، شماره عصاره‌گیرها در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

منابع مورد استفاده

حسین پور ع و شریعتمداری ح. ۱۳۸۵. ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین فسفر قابل‌استفاده در گیاه یونجه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۰، شماره ۴، صفحه‌های ۱۰۷ تا ۱۱۸.

حسین پورع و صالحی م ح . ۱۳۸۸. تعیین فسفر قابل استفاده با روش نوارهای کاغذی پوشیده شده با اکسید آهن و مقایسه آن با روش‌های شیمیایی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران جلد ۴۰، شماره ۲، صفحه‌های ۱۰۵ تا ۱۱۰.

عطاردی ب و نادری خوراسگانی م. ۱۳۸۸. تعیین عصاره‌گیر مناسب و حد بحرانی فسفر برای سورگوم (*Sorghumbicolor L. Var. Speedfeed*) در خاک‌های آهکی منطقه بیرجند. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک جلد ۱۳، شماره ۵۰، صفحه‌های ۱۳۳ تا ۱۴۶.

قنبری ع، مفتون م و کریمیان ن. ۱۳۷۸. ارزیابی گلخانه‌ای و آزمایشگاهی چند عصاره‌گیر جهت تعیین فسفر قابل استفاده ذرت در بعضی از خاک‌های آهکی استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۲، شماره ۴، صفحه‌های ۴۱ تا ۵۲.

قانع‌ی اح و حسین پورع. ۱۳۸۳. ارزیابی نوارهای کاغذی پوشیده شده با اکسید آهن در تعیین فسفر قابل جذب خاک تعدادی از خاک‌های همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۸، شماره ۱، صفحه‌های ۹۵ تا ۱۰۴.

نجفی، ن و توفیقی ح. ۱۳۸۸a. روابط همبستگی فسفر قابل جذب و شکل‌های فسفر معدنی با رشد، غلظت فسفر و مقدار فسفر بخش هوایی برنج در خاک‌های شالیزاری شمال ایران. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۱ تا ۲۴ تیرماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

نجفی، ن و توفیقی ح. ۱۳۸۸b. تعیین شکل‌های فسفر معدنی و روابط همبستگی آنها با یکدیگر و با فسفر قابل جذب در خاک‌های شالیزاری شمال ایران. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۴-۲۱ تیرماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

- Allison LE and Moodie CD, 1965. Carbonates. Pp. 1379-1396. In: Black CA, (ed). Method of Soil Analysis. Part3. Chemical methods. Soil Science Society of American, Madison, WI.
- Annan B, 2002. Applying the methods of chemical extraction and DGT to measure available sediment phosphorus. Honours Dissertation, University of Western Australia.
- Buselli EM, 1994. Evaluation of several high-affinity, high capacity, sinks for multielement release from soils, mine spoils, and sediments. Utah State University, Logan, Utah.
- Chardon WJ, Menon RG, and Chien SH, 1996. Iron Oxide impregnated filter paper (Pi test): A review of its development and methodological research. Nutrient Cycling in Agroecosystems 46: 42-51.
- Colwell JD, 1963. The estimation of the phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal. 3: 190-198.
- Delgado A and Torrent J, 2001. A comparison of soil extraction procedures for estimating the phosphorus release potential of agricultural soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 32: 87-105.
- Delgado A, and Scalenghe R, 2008. Aspects of phosphorus transfer in Europe. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171: 552-575.
- Delgado A, Campillo MC, and Torrent J, 2010. Limitations of the Olsen method to assess plant-available phosphorus in reclaimed marsh soils. Soil Use and Management 26: 133-140.
- Drouinean G, 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol: nouvelles données sur la separation et la nature des fractions calcaires. Agronomy Journal 12: 441-450.
- Gee GW, and Bauder JW. 2002. Particle size analysis. Pp. 201-214. In: Jacob HD and Clarke Topp G, (eds). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Holford ICR, 1983. Differences in the efficacy of various soil phosphate tests for white clover between very acid and more alkaline soils Australian Journal of Soil Research 21: 173-182.
- Humphreys J, Tunney H, and Duggan P, 2001. Comparison of extractable soil phosphorus with dry matter production and phosphorus uptake by perennial ryegrass in a pot experiment. Irish Journal of Agricultural and Food Research 40: 45-54.
- Jiang B and Gu Y, 1989. A suggested fractionation scheme for inorganic phosphorus in calcareous soil. Fertilizer Research 20: 150-165.
- Kamprath EJ, and Watson ME, 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. Pp. 433-469 In: Khasawneh FE, Sample EC and Kamprath EJ, (eds). Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of American, Madison, WI.
- Kulhanek M, Balik J, Cerny J, Nedved V and Kotkova B, 2007. The influence of different intensities of phosphorus fertilizing on available phosphorus contents in soils and uptake by plants. Plant Soil Environ 53: 382-387.
- Kuo S and Jellum EI, 1994. The effect of soil phosphorus buffering capacity on phosphorus extraction by iron oxide-

- coated paper strips in some acid soils. *Soil Science* 158:124-131.
- Maftoun M, Ardekani MAH, Karimian N and Ronaghy AM, 2003. Evaluation of phosphorus availability for Paddy rice using eight chemical soil tests under oxidized and reduced soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34:2115-2129.
- Mahmoodsoltani SH, Davatgar N, Kavooosi M, ShahdiKomleh A and Darighgoftar F, 2010. Phosphorous fractionation of paddy fields on north of Iran and their relations with physico-chemical properties of soils. 4th International Symposium on Phosphorus Dinamics in the Soil-Plant continuum in Beijing, China.
- Mater AE, and Samman M, 1975. Correlation between NaHCO_3 -extractable P and response to P fertilization in pot tests. *Agronomy Journal* 67: 850-856.
- Molinaa M, Ortega R, and Escudey M, 2012. Evaluation of the AB-DTPA multiextractant in Chilean soils of different origin with special regard to available phosphorus. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58:789-803.
- Moody PW, Dickson T, Dwyer JC, and Compton BL, 1990. Predicting yield responsiveness and phosphorus fertilizer requirements of soybeans from soil tests. *Australian Journal of Soil Research* 28:399-406.
- Morgan MF, 1941. *Chemical Soil Diagnosis by the Universal Soil Testing System*; Bull, Storrs, CT, 450
- Mostashari M, Muazardalan M, Karimian N, Hosseini HM and Rezai H, 2008. Phosphorus fractions of selected calcareous soils of Qazvin province and their relationships with soil characteristics. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 3: 547-553.
- Murphy, J and Riley JP, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Myers RG, Pietzynski GM, and Thien SJ, 1995. Improving the iron oxide sink method for extracting soil phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* 59:853-857.
- Nelson DW, and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961-1010. In: Sparks DL, (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Ohno, T., BR. Hoskins, and M.S. Erich. 2007. Soil organic matter effects on plant available and water soluble phosphorus. *Biology and Fertility of Soils* 43:683-690.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, and Dean LA, 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. USDA, Cire. 939, US. Gover. Prin. Office, Washington DC.
- Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR, (eds). *Methods of Soil Analysis, 2nd ed. Part 2. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
- Paauw FVD, 1971. An effective water extraction method for the determination of plant-available phosphorus. *Plant and Soil* 34:467-481.
- Qian P, Schoenau JJ, and Karamanos RE, 1994. Simultaneous extraction of available phosphorus and potassium with a new soil test: a modification of the Kelowna extraction. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25:627-635.
- Rao AS, Reddy KS and Takkar PN, 1997. 'Malachite green method compared to ascorbic acid for estimating small amounts of phosphorus in water, 0.01 M calcium chloride, and Olsen soil extracts'. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26:589 - 601.
- Rhoades JD, 1996. Salinity, electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: Sparks D, (ed). *Methods of Soil Analysis. part3. Chemical methods*. Soil Science Society of American, Madison WI.
- Richards LA, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils, P. 84. USDA Handbook. number, 60, U.S. Government printing office, Washington, DC.
- Samadi A and Gilkes RJ, 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of western Australia. *Australian Journal of Soil Research* 36: 585-601.
- Samadi A, 2003. A study on distribution of forms of phosphorus in calcareous soils of western Australia. *Journal of Agricultural Science and Technology* 5:39-49.
- Samrit PC, Jongruk S, Charier M and Nipon T, 2002. Changes of some chemical properties, inorganic phosphate fractions and available P in some paddy Soils in Thailand. Pp. 14-21. 17th WCSS, Aug. Bangkok, Thailand.
- Shariatmadari H, Shirvani M, and Dehghan RA, 2007. Availability of organic and inorganic phosphorus fractions to wheat in toposequences of calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 2601-2617.
- Sharpley AN, 1993. Assessing phosphorus bioavailability in agricultural soils and runoff. *Fertilizer Research* 36:259-272.
- Sissingh, H.A. 1983. Estimation of plant-available phosphates in tropical soils. A new analytical technique. Institute for Soil Fertility Research, Haren, Report. p 235. Netherlands.
- Soltanpour PN, and Schwab AP. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micro nutrients in alkaline soils. *Communications in Soil Science Plant Analysis* 8:195-207.
- Soon, Y K. 1990. Comparison of parameters of soil phosphate availability for the northwestern Canadian prairie. *Canadian Journal of Soil Science* 70:227-237.
- Tiessen H, Stewart JWB and Cole CV, 1984. Transformation of phosphates varying in citrate and water solubility in a calcareous soil after incubation with cattle dung. *Journal of Indian Society Soil Science*, 32: 421-426.

- Van Rotterdam AMD, Bussink DW, Temminghoff EJM, and Van Riemsdijk WH, 2012. Predicting the potential of soils to supply phosphorus by integrating soil chemical processes and standard soil tests. *Geoderma* 189-190:617-626.
- Waling I, VanVark W, Houba VJG and Vanderlee JJ, 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University. Netherlands.
- Watanabe FS, and Olsen SR, 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 29: 677-678.
- Yang JE, Jones CA, Kim HJ and Jacobsen JS, 2002. Soil inorganic phosphorus fractions and olsen-P in phosphorus responsive calcareous soils: Effect of fertilizer amount and incubation time. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35: 855-871.
- Yli-Halla M, 1989. Reversibly adsorbed P in mineral soils of Finland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 20:695-709.
- Zhang H and Kovar JL, 2000. Phosphorus fractionation. Pp. 50-59. In: Pierzynski GE, (ed). *Methods of Phosphorus Analysis for Soil, Sediments, Residues and Waters*; Southern Cooperative Series Bulletin No. 369, NCSU: Raleigh, NC.