

ارزیابی چهار روش عصاره‌گیری مختلف فسفر قابل استفاده گیاه در خاک‌های گچی و غیر گچی استان اصفهان

پریسا مشایخی^{۱*} و مسعود تدین نژاد

کارشناس ارشد بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان؛ Mashayekhi_enj@yahoo.com

عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان؛

masudtadayon@yahoo.com

چکیده

برای ارزیابی چهار روش عصاره‌گیری فسفر قابل استفاده گیاه در خاک‌های گچی استان اصفهان، آزمایشی گلخانه‌ای بر روی گیاه گندم با تعداد ۳۰ نمونه خاک که از نظر میزان فسفر قابل استفاده گیاه و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در محدوده وسیعی قرار داشتند، صورت گرفت. روش‌های عصاره‌گیری فسفر شامل اولسن، سلطانیپور، مهلیچ-۳ و عصاره اشباع با آب مقطر بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که ترتیب عصاره‌گیرهای مورد مطالعه بر اساس توانایی آنها در استخراج فسفر خاک به صورت مهلیچ-۳ < اولسن < سلطانیپور < آب مقطر می‌باشد. علاوه بر این آب مقطر، عصاره‌گیر مناسبی جهت استخراج فسفر قابل استفاده گیاه نیست. در این میان روش اولسن با بیشترین همبستگی با فاکتورهای گیاهی مختلف از قبیل عملکرد وزن خشک، میزان فسفر موجود در اندام هوایی و میزان جذب فسفر، مناسبترین روش تشخیص داده شد. از سوی دیگر با توجه به نتایج آزمایش روش مهلیچ-۳ روش مناسبی برای استخراج فسفر قابل استفاده گیاه در خاک‌های گچی بوده و با توجه به قابلیت عصاره‌گیری همزمان عناصر غذایی ماکرو و میکرو در خاک جایگزین مناسبی برای عصاره‌گیر اولسن در خاک‌های گچی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اولسن، حد بحرانی، خاک گچی، سلطانیپور، فسفر، عصاره‌گیر، گندم و مهلیچ-۳

مقدمه

دلایل انجام آزمون خاک برای اندازه‌گیری فسفر را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود: (۱) تعیین شاخص ظرفیت تأمین فسفر در خاک‌ها و تخمین نیاز کودی خاک. (۲) تعیین میزان مصرف کودهای فسفره با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها به گونه‌ای که باعث افزایش عملکرد در گیاه شود. (۳) تشخیص خاک‌هایی که دارای غلظت‌های بالایی از فسفر بوده و می‌توانند به عنوان منابع غیر مشخص آلودگی آبها تلقی شوند (سیمز، ۱۹۹۸). در روش‌های مختلف استخراج

انتخاب میزان صحیح عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، تحت تأثیر آگاهی از نیاز گیاه به عنصر غذایی و نیز قدرت تأمین عنصر غذایی توسط خاک می‌باشد. هنگامی که خاک میزان کافی از عناصر غذایی ضروری برای رشد فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و ساخت و کارهای انرژی‌دخالت دارد. این عنصر در تشکیل بذر نقشی اساسی دارد و به مقدار زیادی در بذر و میوه یافت می‌شود. فسفر عامل زودرسی محصولات به ویژه غلات است (ملکوتی، ۱۳۸۴).

^۱ نویسنده مسئول: آدرس: اصفهان، شهرک امیریه، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان- کد پستی ۸۱۷۸۵-۱۹۹

* دریافت: آبان ۱۳۸۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۰

فسفر، مخلوطی از معرف های شیمیایی مختلف مورد استفاده قرار می گیرد که ممکن است در برخی شرایط در کنار شکل قابل دسترس فسفر برای گیاه بخشی از فسفر تثبیت شده را نیز جدا نماید. به همین دلیل عصاره گیر انتخاب شده در هر منطقه باید متناسب با خاک آن منطقه از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باشد (مایرز، ۲۰۰۵). آزمایشات زیادی نیز بر روی روابط بین میزان عصاره گیری فسفر و خصوصیات مختلف خاک صورت گرفته است. نتایج نشان داده است که مواردی چون مقدار رس (ککس آندر و هندرس، ۲۰۰۰)، ظرفیت جذب فسفر و رطوبت اولیه خاک (پوئت همکاران، ۱۹۹۵)، روش های مختلف مدیریتی در کشاورزی مانند نحوه و یا میزان شخم و آبیاری و ... (شارپلی و همکاران، ۲۰۰۲)، pH محیط (ترنر و همکاران، ۲۰۰۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی (تنسی و همکاران، ۱۹۹۹) و محتوای مواد آلی خاک (آرشد و همکاران، ۲۰۰۰) و وجود اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز در خاک (عبدو، ۲۰۰۶) بر روی ضرایب عصاره گیری فسفر از خاک تأثیر گذار است. روش اولسن از سال ۱۹۵۴ توسط اولسن و همکاران مورد استفاده قرار گرفت (اولسن، ۱۹۵۴). این روش عمده ترین روش مورد استفاده در بسیاری از نقاط دنیا است که برای بسیاری از خاک ها با دقت نسبتاً بالایی قابل استفاده است (پیرزینسکی، ۲۰۰۰). در نواحی شمال آمریکا و کانادا عمدتاً از عصاره گیرهای همزمان برای استخراج عناصر پر نیاز و کم نیاز استفاده می شود که متداولترین آنها عصاره گیر مهلیچ ۳- است (بونانو و همکاران، ۱۹۹۲). عصاره گیر مهلیچ ۳- توسط مهلیچ در سال ۱۹۸۴ گسترش یافت و عصاره گیری عناصر پر نیاز و کم نیاز را بهبود بخشید. این آزمون در طیف وسیعی از خاک ها چه در شرایط اسیدی و چه قلیایی قابل استفاده است (مهلیچ، ۱۹۷۸). از جمله عصاره گیرهای دیگری که برای استخراج فسفر قابل استفاده گیاه در خاک های قلیایی مناسب می باشد، استفاده از بیکربنات آمونیم همراه با DTPA است که قادر به عصاره گیری همزمان عناصر پر نیاز و کم نیاز می باشد. در طی مطالعات به عمل آمده همبستگی بالایی بین این عصاره گیر با روش اولسن مشاهده شده است (سلطانپور و شواب، ۱۹۹۷). محلول های رقیق نمک مثل کلرور کلسیم و یا آب مقطر، تنها بخش فسفر محلول را که به سرعت در اختیار گیاه قرار می گیرد، عصاره گیری می نماید که درصد بسیار پایینی از فسفر موجود در خاک می باشد. مقدار فسفر استخراج شده توسط این دو روش بسیار کمتر از آن است که همبستگی قابل اعتمادی با فسفر قابل استفاده گیاه داشته باشد، لذا این دو روش در تخمین نیاز های کودی چندان

مورد استفاده قرار نمی گیرند و در بسیاری از تحقیقات به عنوان عصاره گیر های ضعیف برای استخراج فسفر قابل استفاده گیاه معرفی شده اند (مگیور و همکاران، ۲۰۰۱). در حال حاضر روش متداول برای تعیین میزان فسفر قابل استفاده گیاه در آزمایشگاه های کشور ما، با توجه به ماهیت آهکی بودن خاک های اکثر مناطق، روش اولسن است. در حالیکه وسعت قابل توجهی از اراضی کشور به ویژه در مناطق جنوبی و مرکزی را خاک های گچی تشکیل می دهند و هزاران هکتار از این خاک ها تحت کشت محصولات مختلف قرار دارند. خاک های گچی یکی از خاکهای مساله دار مناطق خشک می باشند که به علت عدم وجود دانش کافی درباره آنها و آشنایی لازم با مدیریت این خاک ها معضلات آنها رو به افزایش بوده و با گسترش روز افزون جمعیت در جهان و تأمین غذای کافی برای این جمعیت استفاده از خاکهای مساله دار از جمله خاک های گچی مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است (محمودی، ۱۳۷۳). از طرفی گچ و آهک از نظر ماهیت شیمیایی و رفتار در خاک با هم متفاوت هستند، از جمله حلالیت بسیار بالاتر گچ و ایجاد غلظت بالایی از یون کلسیم در مدت زمان بسیار کوتاه تر، تأثیر بر ترکیب یونی محلول خاک با ایجاد یون های کلسیم و سولفات، تأثیر بر ترکیب یونی ریزوسفر به دلیل جذب یون کلسیم توسط ریشه و آزاد شدن یون هیدروژن و تأثیر بر حلالیت کربنات کلسیم (پناهی، ۱۹۹۷). وجود همزمان گچ و آهک در خاک اثر زیادی بر رفتار سایر یون ها و قدرت یونی محلول خاک و ترکیب یونی محلول خاک از طریق ایجاد یون های کلسیم و سولفات دارد. در این شرایط حلالیت کربنات کلسیم کاهش و در مقابل فعالیت یون کلسیم افزایش می یابد. افزایش فعالیت یون کلسیم بر روی جذب عناصر دیگر از جمله فسفر، منیزیوم، سدیم، مس، آهن، روی، منگنز، نیتراژ و فسفات اثر گذاشته و به دلیل وجود رقابت جذب یون های مذکور را کاهش می دهد (فانو، ۱۹۹۰) و هرناندو و همکاران، ۱۹۶۵). از طرفی بین یون های سولفات و فسفر در جذب بر روی سطوح کلوئیدی ذرات خاک رقابت وجود دارد. به علاوه گچ حلالیت کربنات کلسیم را به دلیل وجود یون مشترک کلسیم تا حد زیادی کاهش می دهد (لیندزی و همکاران، ۱۹۸۹). بنا بر این انجام این تحقیق برای حصول اطمینان از مناسب بودن روش اولسن برای خاک های گچی با توجه به تفاوت های ذکر شده ضروری می نماید. ایندیتی و همکاران (۱۹۹۹) با انجام آزمایشاتی بر روی عصاره گیر های مختلف فسفر قابل استفاده خاک، به این نتیجه رسیدند که میزان استخراج فسفر از خاک به وسیله عصاره گیر مهلیچ-۳، ۲/۵ برابر

عصاره گیر اولسن بوده است. این مساله به دلیل قدرت بافری بالا، وجود غلظت بالای اسید استیک و رسوب دادن کلسیم با آنیون های استات بوده که نهایتاً منجر به آزاد شدن فسفر خاک می گردد که این مقدار فسفر استخراج شده در برخی خاک ها بیشتر از شکل فسفر قابل استفاده گیاه در خاک می باشد. در مطالعات مختلف ترتیب عصاره گیر های فسفر بر اساس میزان فسفر استخراج شده از خاک هایی که دارای دامنه وسیعی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بودند، به صورت مهلیچ-۳ < اولسن < سلطانیور < آب مقطر < محلول کلرور کلسیم بوده است (حسین پور و قانع، ۲۰۰۶ و برانوم، ۲۰۰۴). در مقایسه چند عصاره گیر فسفر بر روی خاک های آهکی در عربستان، فسفر استخراج شده توسط عصاره گیر سلطانیور بیشترین همبستگی را با عملکرد گیاه نشان داد. در این مطالعه حد بحرانی فسفر قابل استفاده خاک برای گیاه گندم، برای روش سلطانیور ۵/۲، برای روش اولسن ۱۵ و برای عصاره اشباع با آب مقطر برابر با ۱/۸ به دست آمد (المصطفی و اید، ۱۹۸۹). ماتولاو و پکاو (۲۰۰۵) با مطالعه تأثیر گچ بر روی فسفر قابل استفاده گیاه مشاهده کردند که میزان استخراج فسفر از خاک های تیمار شده با گچ بسیار پایین تر از نمونه های خاک معمولی بود. با این حال مقدار فسفر استخراج شده از این خاک های گچی با عصاره گیر مهلیچ-۳ بیشتر از سایر عصاره گیر های مورد مطالعه آنها بود. مایرزو همکاران (۲۰۰۴) هم طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که روش عصاره گیری اولسن در خاکی که تنها آهک داشت دارای کارایی زیادی از نظر استخراج فسفر بود. اما با اضافه کردن گچ به این خاک ها، مقدار فسفر استخراجی با این روش بسیار کاهش یافت. آنها علت این امر را در افزایش غلظت کلسیم موجود در خاک به واسطه افزودن گچ دانستند که باعث رسوب فسفر به فرم های منو کلسیم فسفات و دی کلسیم فسفات شد.

مواد و روش ها

به منظور تعیین عصاره گیر مناسب جهت استخراج فسفر قابل استفاده گیاه، یک آزمایش گلدانی بر روی گیاه گندم با ۳۰ نمونه خاک از نقاط مختلف استان اصفهان که از نظر میزان فسفر قابل استفاده گیاه و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در محدوده وسیعی قرار داشتند (جدول ۱) طراحی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل (فاکتور اول شامل ۳۰ نمونه خاک مختلف و فاکتور دوم کود فسفره در دو سطح (۰ و ۵۰ میلی گرم P در هر کیلو گرم خاک) از منبع کودی سوپر فسفات تریپل) در ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در محل گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان به اجرا

در آمد. جهت آماده سازی گلدان ها خاک ها از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند. برای اعمال فاکتور کودی مقدار لازم از کود سوپر فسفات کاملاً آسیاب و با مقدار کمی خاک مخلوط و در خارج از گلدان با بقیه خاک مخلوط و در گلدان های ۲ کیلوگرمی ریخته شد. همچنین مقدار کود نیتروژنه و کود پتاسیمی مورد نیاز برای هر نوع خاک با توجه به آزمون خاک از منابع اوره و سولفات پتاسیم جهت رساندن سطح نیتروژن هر خاک به ۰/۲ درصد و سطح پتاسیم خاک به ۳۰۰ میلی گرم در کیلو گرم خاک محاسبه گردید و کود سولفات پتاسیم در هنگام کشت و کود اوره در دو نوبت (هنگام کاشت و زمان پنجه زنی) به خاک اضافه شدند. تعداد ۵ عدد بذر گندم در هر گلدان بعد از ضد عفونی کردن، کاشته شد. آبیاری با توزین گلدان ها به صورت روزانه و نگهداری در حالت FC انجام گردید. ۶۰ روز پس از کاشت (پیش از شروع دوره زایشی)، گیاهان از یک سانتیمتری بالای سطح خاک با تیغ استریل برداشت، بعد از اندازه گیری وزن تر با آب مقطر شستشو داده شدند. خشک کردن گیاهان در آون تهویه دار در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفت و عملکرد خشک اندام هوایی به کمک ترازو با دقت ۰/۱ گرم تعیین شد. سپس با استفاده از آسیاب برقی، کل اندام هوایی گیاه آسیاب شده و از الک مش با ۱۸ عبور داده شد. غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه پس از هضم نمونه ها با اسید سولفو سالیسیلیک با استفاده از معرف آمونیوم مولیبدات به علاوه آمونیوم وانادات به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۵۰ نانومتر اندازه گیری شد (کاتنی، ۱۹۸۸). روش های مورد استفاده جهت استخراج فسفر قابل استفاده خاک شامل اولسن (بیکربنات سدیم نیم نرمال و نیم ساعت ساعت تکان دادن (اولسن، ۱۹۵۰)، سلطانیور (بی کربنات آمونیوم یک مولار بعلاوه DTPA ۰/۰۰۵ مولار به نسبت ۱:۲ و به مدت ۱۵ دقیقه تکان دادن (سلطانیور، ۱۹۹۷)، مهلیچ ۳ (مخلوط اسید استیک ۰/۲ نرمال، نترات آمونیوم ۰/۲۵ نرمال، فلوراید آمونیوم ۰/۰۱۵ نرمال، اسید نیتریک ۰/۰۱۳ نرمال و EDTA ۰/۰۰۱ مولار) به نسبت ۱:۵ و ۵ دقیقه تکان دادن و عصاره اشباع با آب مقطر پس از ۲۴ ساعت به تعادل رسیدن با خاک بودند. در بخش محاسبات آماری، تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل برای صفات عملکرد وزن خشک اندام هوایی، غلظت فسفر در اندام هوایی و جذب کل فسفر توسط گیاه با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد و آزمون مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت. رابطه بین میزان فسفر استخراج شده در روش های مختلف با برخی خصوصیات خاک مانند درصد گچ، ماده آلی، و... به کمک رگرسیون

چند متغیره استخراج گردید. جهت انتخاب عصاره گیر مناسب استخراج فسفر از خاک های گچی، خاک هایی که دارای بیش از ۵ درصد گچ بودند به صورت جداگانه از نظر آماری مورد مطالعه واقع شدند و ضریب همبستگی (r) بین فسفر استخراج شده از این خاک های گچی توسط محلول های عصاره گیر با غلظت فسفر در گیاه و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت حد بحرانی فسفر برای گیاه گندم توسط روش کیت-نلسون تعیین شد. در این روش محور عمودی درصد عملکرد نسبی و محور افقی مقدار عنصر استخراج شده توسط عصاره گیر منتخب (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) می باشد. سپس دو محور عمود بر هم که سطح بین محورهای X و Y را به چهار قسمت طوری تقسیم نماید که بیشترین نقاط در قسمت های پایین سمت چپ و بالای سمت راست قرار گیرند، رسم می شود. حد بحرانی محل برخورد محور عمودی با محور X ها می باشد.

نتایج

چنانکه در جدول ۱ آمده است، خاک های مورد مطالعه از نظر pH، شوری، درصد مواد آلی، پتاسیم، فسفر، گچ، آهک و عناصر کم نیاز در محدوده وسیعی قرار دارند. جدول شماره ۲، میانگین فسفر استخراج شده به روش های مختلف عصاره گیری را نشان می دهد. مطابق این جدول، میانگین فسفر استخراجی از روش های مختلف عصاره گیری به صورت مهلیچ-۳ < اولسن < سلطانیور < عصاره اشباع می باشد. همچنین در مطالعه میزان همبستگی موجود بین عصاره گیرهای مورد نظر، بیشترین میزان همبستگی بین روش سلطانیور با روش اولسن ملاحظه شد ($r=0.97^{**}$). بعد از آن بیشترین همبستگی به ترتیب بین روش های عصاره گیری مهلیچ با اولسن ($r=0.78^{**}$) و مهلیچ با سلطانیور ($r=0.76^{**}$) مشاهده شد. اما همبستگی معنی داری بین فسفر محلول در عصاره اشباع (شکل محلول فسفر) با سایر روش ها مشاهده نشد (جدول شماره ۳). برای مطالعه تأثیر عوامل خاکی بر مقادیر فسفر استخراجی به وسیله عصاره گیرهای مختلف همبستگی ساده بین فسفر استخراجی توسط عصاره گیرهای مختلف و فاکتورهایی از قبیل شوری، pH، بافت، عناصر کم مصرف، میزان گچ و آهک، پتاسیم، فسفر و کربن آلی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول شماره ۴). از میان فاکتورهای مذکور، بین شوری و درصد سیلت و شن با فسفر استخراج شده توسط هیچ کدام از روش های عصاره گیری مورد مطالعه همبستگی معنی داری مشاهده نشد، لذا از ذکر آنها در جدول خودداری به عمل آمد.

با توجه به اطلاعات موجود در جدول فوق فسفر استخراج شده توسط عصاره اشباع با هیچ یک از پارامترهای اندازه گیری شده در خاک همبستگی معنی داری نداشت. در حالیکه فسفر استخراج شده توسط روش اولسن با فاکتورهای مذکور بیشترین میزان همبستگی را از خود نشان داد و بعد از آن و با اختلاف بسیار کمی روش سلطانیور قرار گرفت. از نظر عناصر کم نیاز مس و روی بیشترین همبستگی منفی را عصاره گیر مهلیچ نشان داد. ارتباط منطقی مقدار جذب یک عنصر به وسیله گیاه با مقدار قابل جذب آن عنصر در خاک باعث شده که این موضوع به عنوان یکی از معیارهای انتخاب عصاره گیر مناسب در نظر گرفته شود. دیگر شاخص های گیاهی مانند غلظت عنصر در گیاه، عملکرد، عملکرد نسبی (عملکرد شاهد تقسیم بر عملکرد تیمار کود خورده ضرب در ۱۰۰)، افزایش عملکرد (عملکرد تیمار کود خورده منهای عملکرد شاهد) و راندمان جذب (عملکرد گیاه در تیمار کودی ضربدر غلظت فسفر در گیاه تیمار کود خورده منهای عملکرد گیاه در تیمار شاهد تقسیم بر میزان کود مصرفی) نیز با میزان عنصر موجود در عصاره خاک ارتباط داشته و مطالعه ضرایب همبستگی آنها نیز مفید و راهگشا می باشد. به همین دلیل همبستگی خطی فسفر استخراجی از ۳۰ نمونه خاک مورد مطالعه به وسیله عصاره گیرهای مختلف و شاخص های گیاهی مطابق جدول ۵، مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که ملاحظه می شود، همبستگی فسفر محلول در عصاره با هیچکدام از شاخص های گیاهی مورد مطالعه معنی دار نشده است. فسفر استخراج شده به وسیله روش اولسن بیشترین ضریب همبستگی را با غلظت فسفر موجود در اندام هوایی گیاه ($r=0.78^{**}$)، جذب فسفر در گیاه (عملکرد ضرب در غلظت) ($r=0.80^{**}$)، عملکرد وزن خشک ($r=0.78^{**}$) و راندمان جذب فسفر توسط گیاه ($r=0.61^{**}$)، دارا بود. پس از روش اولسن، روش سلطانیور ضرایب همبستگی بالایی با فاکتورهای گیاهی ذکر شده داشت که در تمامی موارد در سطح ۱ درصد معنی دار بود.

برای بررسی تأثیر گچ در استخراج فسفر قابل استفاده گیاه با عصاره گیرهای مورد مطالعه خاک های دارای بیش از ۵ درصد گچ به صورت جداگانه مورد بررسی واقع شدند. در محاسبات آماری صورت پذیرفته بر روی خاک های با بیش از ۵ درصد گچ نتایج به دست آمده نشان داد که میزان گچ موجود در خاک بر روی میزان فسفر عصاره گیری شده در سه روش اولسن، سلطانیور و مهلیچ ۳ تأثیر کاملاً معنی داری در سطح ۱ درصد

داشت. میزان فسفر استخراج شده در این خاک‌ها به ترتیب مهلیچ ۳ < اولسن < سلطانپور بود و در واقع از همان روند قبلی که در کل نمونه‌ها مشاهده شد، پیروی نمود. در این خاک‌ها از نظر میزان استخراج فسفر بیشترین همبستگی بین روش اولسن با مهلیچ ۳ به دست آمد (** $r=0.92$) (جدول ۶). نتایج بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که در این خاک‌ها علاوه بر روش عصاره‌گیری اولسن، عصاره‌گیر مهلیچ ۳ نیز دارای ضرایب همبستگی نسبتاً بالایی با میزان فسفر موجود در گیاه (** $r=0.74$) و عملکرد گیاه (** $r=0.65$) بوده است (جدول ۶).

در نهایت از روش گرافیکی کیت-نلسون برای تعیین حد بحرانی فسفر برای گیاه گندم استفاده شد. در این مطالعه حد بحرانی فسفر در خاک‌های غیر گچی در عصاره‌گیری به روش اولسن برابر با ۱۵، برای عصاره‌گیر سلطانپور برابر با حدود ۶/۵، برای عصاره‌گیر مهلیچ برابر با ۳۵ و برای عصاره اشباع حدود ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلو گرم خاک بود که این مقادیر در خاک‌های گچی به حدود ۱۷ برای روش اولسن، ۴۵ برای روش مهلیچ، ۳/۵ برای عصاره‌گیر سلطانپور و ۲/۵ برای روش عصاره اشباع رسید.

بحث و نتیجه‌گیری

از بین عصاره‌گیرهای فسفر مورد مطالعه در این تحقیق عصاره‌گیر مهلیچ ۳- بیشترین مقدار فسفر را از خاک استخراج نمود که این امر با نتایج حاصل از پژوهش‌های سایر محققین از جمله ایندییتی (۲۰۰۱)، برانوم (۲۰۰۴)، مالارینو (۱۹۹۹) و حسین پور و قانع (۲۰۰۶) مشابه است. از سوی دیگر کمترین مقادیر فسفر استخراجی مربوط به عصاره اشباع بود. علاوه بر این نتایج نشان داد که مقدار فسفر استخراج شده بوسیله این عصاره‌گیر با فاکتورهای گیاهی همبستگی معنی‌دار نشان نداد. این امر می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که فسفر محلول به تنهایی شاخص مناسبی جهت تعیین فسفر قابل جذب گیاه نمی‌باشد. این نتیجه توسط مگ داف و همکاران (۱۹۹۹) و مگیر و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش شده است. از بین روش‌های عصاره‌گیری انتخاب شده، در خاک‌های غیر گچی روش عصاره‌گیری سلطانپور بیشترین همبستگی را با روش متداول اولسن داشت (** $r=0.97$) (جدول ۳). ایندییتی و راسی (۱۹۹۹) در خاک‌های منطقه شمال کانادا و سلطانپور (۱۹۹۷) در خاک‌های آهکی طی انجام تحقیقات خود در مقایسه عصاره‌گیرهای مختلف فسفر همین نتیجه را گزارش نمودند. در خاک‌های با بیش از ۵ درصد گچ بیشترین همبستگی بین روش عصاره‌گیری اولسن با مهلیچ ۳ مشاهده شد.

(** $r=0.92$) (جدول ۶). در کلیه تجزیه‌های آماری صورت گرفته جهت مطالعه میزان همبستگی موجود بین صفات مختلف گیاهی مانند عملکرد وزن خشک گیاه، میزان فسفر موجود در بافت‌های گیاهی، میزان جذب فسفر توسط گیاه و ... با فسفر استخراج شده از خاک توسط روش‌های عصاره‌گیری مورد مطالعه، بیشترین ضرایب همبستگی مربوط به روش اولسن بود (جدول ۵). این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات کارتیکا و سوسیلا (۲۰۰۸) و ایندییتی (۲۰۰۱) همخوانی دارد. بعد از روش اولسن در مورد کلیه صفات گیاهی فوق‌الذکر، بیشترین همبستگی در روش سلطانپور در خاک‌های غیر گچی و روش مهلیچ ۳ برای خاک‌های با بیش از ۵ درصد گچ مشاهده شد. المصطفی و اید (۱۹۸۹) بهترین عصاره‌گیر فسفر قابل استفاده گیاه را از نظر میزان همبستگی با فسفر جذب شده توسط گیاه برای خاک‌های آهکی عربستان، عصاره‌گیر سلطانپور معرفی نمودند. از لحاظ همبستگی بین روش‌های عصاره‌گیری مورد مطالعه با فاکتورهای مختلف خاک، از نظر مقدار آهک موجود در خاک روش اولسن بیشترین همبستگی منفی را نشان داد و بعد از آن روش سلطانپور قرار گرفت. همین رویه برای خصوصیات دیگر خاک از قبیل درصد ماده آلی، pH و درصد رس هم صادق بود (جدول ۴). این نتیجه قبلاً توسط آرشد و همکاران (۲۰۰۰) هم گزارش شده است. از نظر عناصر کم مصرف تنها دو عنصر مس و روی دارای همبستگی معنی‌دار با روش‌های اولسن، مهلیچ و سلطانپور بودند و بین عناصر آهن و منگنز با میزان فسفر استخراجی توسط روش‌های مذکور همبستگی معنی‌داری دیده نشد. این امر توسط محققان دیگری از جمله اسرینیوازارو و همکاران (۲۰۰۷) هم گزارش شده است. در بین سه روش مورد بحث روش مهلیچ بیشترین همبستگی منفی را با مس و روی نشان داد. در این پژوهش حد بحرانی فسفر برای گیاه گندم در روش اولسن برابر با ۱۵، برای عصاره‌گیر سلطانپور برابر با حدود ۶/۵، برای روش مهلیچ ۳ برابر با ۳۵ و برای عصاره اشباع ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلو گرم خاک‌های غیر گچی به دست آمد. این حدود با آنچه که المصطفی و اید (۱۹۸۹) در پژوهش‌های خود برای خاک‌های آهکی عربستان بدان اشاره نمودند (حد بحرانی فسفر برای روش سلطانپور ۵/۲، برای روش اولسن ۱۵، برای محلول کلرور کلسیم ۰/۴۶ و برای عصاره اشباع ۱/۸) بسیار نزدیک است. این مقادیر در خاک‌های گچی به حدود ۱۷ برای روش اولسن، ۴۵ برای روش مهلیچ، ۳/۵ برای عصاره‌گیر سلطانپور و ۲/۵ برای روش عصاره اشباع رسید. از طرفی بیشترین همبستگی منفی بین فسفر استخراج شده و

همبستگی بالا با فاکتور های گیاهی مذکور، برای استخراج فسفر قابل استفاده گیاه در خاک های مورد مطالعه روش مناسبی می باشد. همچنین نتایج نشان داد که در خاک های دارای بیش از ۵ درصد گچ عصاره گیر مهلیج ۳ نیز جهت استخراج و تعیین فسفر قابل استفاده گیاه با ضریب اطمینان نسبتاً بالایی قابل استفاده است. از آنجایی که استخراج همزمان عناصر پر مصرف و کم مصرف از خاک منجر به صرفه جویی در زمان انجام آزمایشات و مواد شیمیایی مورد استفاده می شود این امر در خور توجه می باشد.

مقدار گچ موجود در خاک مربوط به روش مهلیج بود و پس از آن روش های سلطانیپور و اولسن قرار گرفتند. ماتولا و همکاران (۲۰۰۵) هم در تحقیقات خود بر روی بررسی توانایی عصاره گیر های مختلف در استخراج فسفر در خاک های گچی به همین نتیجه رسیدند. در کل از آنجایی که وجود یک ارتباط منطقی و یک همبستگی قابل قبول بین عملکرد و مقدار جذب یک عنصر به وسیله گیاه با مقدار قابل جذب آن عنصر در خاک می تواند معیار مطمئنی برای انتخاب عصاره گیر مناسب باشد، لذا در خاک های استان اصفهان عصاره گیر اولسن با داشتن

جدول ۱- دامنه تغییرات خصوصیات خاک های مورد مطالعه

فاکتور	EC dS/m	کربن آلی	آهک	گچ %	شن	سیلت	رس
دامنه تغییرات	۱/۳-۱۲/۷	۰/۰۶-۲/۲	۱۷-۶۱/۵	۰/۱۲-۲۱/۷	۱۲-۸۲	۴/۶-۴۶/۶	۹/۲-۵۳/۲
میانگین	۷	۰/۶۶	۴۱/۸۱	۴/۲۱	۴۴/۸	۲۳/۸۶	۳۱/۳۴
فاکتور	pH (گل اشباع)	فسفر(اولسن)	پتاسیم	روی	آهن mg kg ⁻¹	منگنز	مس
دامنه تغییرات	۷/۲-۷/۹	۰/۹۵-۴۰/۲	۱۲۵-۳۶۹	۰/۵-۱۵/۴	۰/۳-۹/۷	۱/۵-۱۵/۹	۰/۲۲-۴۱/۲
میانگین	۷/۴۹	۱۳/۱۴	۲۳۲	۴/۵۴	۲	۵/۰۶	۷/۹۹

جدول ۲- میانگین و دامنه تغییرات فسفر استخراج شده به وسیله عصاره گیرهای مورد مطالعه

عصاره گیرها	دامنه تغییرات mg kg ⁻¹		میانگین mg kg ⁻¹
	حداقل	حداکثر	
عصاره اشباع	۰/۲	۱۱	۲/۷۳
اولسن	۰/۱۶	۶۷/۱۷	۱۵/۳۸
سلطانیپور	۰/۲	۳۶/۸	۷/۳
مهلیج ۳	۱	۱۰۹	۳۵/۸۱

جدول ۳- ضرایب همبستگی خطی (r) بین فسفر استخراج شده بوسیله روشهای مختلف عصاره گیری

روش عصاره گیری	اولسن	سلطانیپور	مهلیج ۳
عصاره اشباع	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}
مهلیج	۰/۷۸ ^{**}	۰/۷۶ ^{**}	
سلطانیپور	۰/۹۷ ^{**}		

** معنی دار در سطح ۱ درصد، ns غیر معنی دار

جدول ۴- ضریب‌های همبستگی (r) مقادیر فسفر استخراج شده با خصوصیات خاک

عصاره اشباع	مهلیج ۳	سلطانپور	اولسن	فاکتور اندازه گیری شده
۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۳۹*	۰/۴۳**	۰/۴۵**	pH
-۰/۱۲ ^{ns}	-۰/۴۰*	-۰/۴۹**	-۰/۵۲**	آهک
-۰/۲۳ ^{ns}	-۰/۵۹**	-۰/۴۹*	-۰/۴۸*	گچ
۰/۰۵ ^{ns}	۰/۴۷**	۰/۴۸**	۰/۵۱**	مواد آلی
۰/۰۹ ^{ns}	-۰/۵۲*	-۰/۵۲*	-۰/۵۷**	درصد رس
-۰/۰۰۹ ^{ns}	-۰/۵۹**	-۰/۴۵*	-۰/۴۷*	روی
-۰/۱۰ ^{ns}	۰/۵۶*	۰/۵۰*	۰/۵۴**	مس

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد، ns غیر معنی دار

جدول ۵- ضریب‌های همبستگی (r) فسفر استخراج شده به روشهای مختلف عصاره گیری با شاخصهای گیاهی

روش عصاره گیری	عملکرد وزن خشک g/pot	غلظت فسفر در گیاه mg kg ⁻¹	راندمان جذب فسفر	میزان جذب فسفر در اندام هوایی
اولسن	۰/۷۸**	۰/۷۸**	۰/۶۱**	۰/۸۰**
سلطانپور	۰/۷۲**	۰/۷۵**	۰/۵۸**	۰/۷۷**
مهلیج	۰/۶۴**	۰/۵۶**	۰/۵۰*	۰/۵۷**
عصاره اشباع	۰/۲۲ns	۰/۲۲ns	۰/۱۰ns	۰/۱۸ns

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد، ns غیر معنی دار

جدول ۶- ضرایب همبستگی خطی (r) بین فسفر استخراج شده بوسیله روشهای مختلف عصاره گیری با یکدیگر

و نیز با عملکرد و میزان فسفر موجود در گیاه در خاک های گچی

روش عصاره گیری	اولسن	سلطانپور	مهلیج ۳	عملکرد وزن خشک g/pot	غلظت فسفر در گیاه mg kg
اولسن	۱	۰/۶۸**	۰/۹۲**	۰/۶۸**	۰/۸۸**
سلطانپور	۰/۶۸**	۱	۰/۵۶**	۰/۴۵*	۰/۵۶**
مهلیج	۰/۹۲**	۰/۵۶**	۱	۰/۶۵**	۰/۷۴**

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد و ns غیر معنی دار

فهرست منابع:

۱. محمودی، شهلا. ۱۳۷۷. خصوصیات، مدیریت و ارزیابی تناسب اراضی. ویژه نامه خاک های گچی. مجله علمی و پژوهشی خاک و آب. جلد ۱۲- شماره ۲.
۲. ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۸۴. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران. چاپ سوم با بازنگری کامل، ۵۰۰ صفحه. انتشارات سنا، تهران، ایران.
3. Abdu, N. 2006. Soil phosphorus extraction methodologies: A review. African J. Agric. Res. 1(5):159-161.
4. Al-Mostafa, W. A., and I. A. Ayed. 1989. Comparison of various extrants for evaluating phosphorus availability to plants in Saudi Arabia soils. J. King Saud Univ. Agricu. Sci. 10(1&2): 145-153.
5. Arshed, R., Salim, M., and M. Yoosal. 2000. Soil properties related to phosphorus sorption as cribbed by modified freundlich equation in some soils. phosphorus sorption in soil. Int. J. Agri. Biol. 12(4).

6. Branom, J. R., and S. Dibyend. 2004. Phosphorus bioavailability in sediments of a sludge disposal lake. *Am. Environ. Geoscience*. 11(1): 42-52.
7. Buondonno, A., Coppola, E., Felleca, D., and P. Violante. 1992. Comparing tests for soil fertility: Conversion equations between Olsen and Mehlich 3 as phosphorus extractants for 120 soils of South Italy. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 699-716.
8. Cox, F.R., and S. E. Hendricks. 2000. Soil test phosphorus and clay content effects on runoff water quality. *J. Environ. Qual.* 29:1582-1586.
9. FAO. 1990. Management of gypsiferous soils Bulletin. No. 62. Rome.
10. Hernando, V., Sachez, M. P. and J. G. Contreas. 1965. Study of the mineral nutrition of maize on soil rich in gypsum. *Zolfo in Agricoltura*. Palermo. 398-411.
11. Hosseinpour, A. R., and A. H. Ghanee. 2006. Comparison of Iron Oxide, Impregnated paper strips with other extractants in determining available soil phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37(5&6): 889-897.
12. Indiati, R., Figliolia, G. A., and I. Perukchini. 2001. Comparison of conventional and innovative soil phosphorus tests in estimating plant -available phosphorus. *Soil fertility and plant nutrient. Options Mediterraneennes*. 50:257-266.
13. Indiati, R., and N. Rossi. 1999. Extractability of residual phosphorus from highly manured soils. *Ital. J. Agron.* 3(2):63-73.
14. Kartika, G., and A. D. Susila. 2008. Phosphorus correlation study for vegetables grown in the Ultisols, Sustainable Agriculture and natural resource management collaborative research support program, Crop production laboratory, Department of Agronomy and Horticulture, Working paper. available: WWW. Oiread.vt.edu
15. Lindsay, W. L., Velk, P. C. G., and H. C. Chein. 1989. Phosphate minerals. In: *Minerals in soil environments* (2nd ed). Dixon, J. B., and S. B. Weed. SSSA Bookser. 1089-1130.
16. Magdoff, E. R., Hryshko, C., Jokela, W. E., Durieux, R. P., and Y. Bu. 1999. Comparison of soil extraction for plant availability and environmental assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 999-1006.
17. Maguire, R. O., Foy, R. H., Bailey, J. S., and J. T. Sims. 2001. Estimation of the phosphorus sorption capacity of acidic soils in Ireland. *Europ J. Soil Sci.* 52: 475-487.
18. Mallarino, A., P and J. Sawyer. 1999. Interpreting Mehlich-3 soil test results. *Integrated crop management newsletter, Iowa state university*. 482(2):11-14
19. Matula, J., and M. Pechova. 2005. Influence of gypsum treatment on extractability of nutrients from soils. *Plant Soil Environ.* 51(8):368-375.
20. Mehlich, A. (1978). New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9(6): 477-499.
21. Myers, R. G., Sharply, A. N., and G. M. Pierzynski. 2005. Ion sink phosphorus extraction methods applied on 24 soils from the continental USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 511-521.
22. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., and Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate; U.S. Department of Agriculture: Washington, D.C., USDA Circ. 939.
23. Panahi, K. H. 1997. The effects of gypsum on the sorption reactions of phosphate in some calcareous soil. Thesis in fulfillment for the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Soil Science Reading University, UK.
24. Pierzynski, G. M. 2000. Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters. Bull. No. 396.
25. Pote, D. H., Daniel, T. C., Nichols, D. J., Moore, P. A., Miller, D. M., and D. R. Edwards. 1995. Seasonal and soil-drying effects on runoff phosphorus relationships to soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1006-1012.

26. Sharpley, A. N., Kleinman, P. J. A., McDowell, R. W., Gitau, M., and R. B. Bryant. 2002. Modeling phosphorus transport in agricultural watersheds: Processes and possibilities. *J. Soil Water Conserv.* 57: 425–439.
27. Sims, J.T. 1998. Soil testing for phosphorus: Environmental uses and implications. Bull. No. 389. Univ. Delaware, Newark, DE.
28. Soltanpour, P. N and A. P. Schwab. 1997. A new soil test for simultaneous extraction (pp.403-427) . In :Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. Miller, R. H. and D. R, Keeney. 1982. Madison, Wisconsin USA.
29. Srinivasarao, C., Ganesh, A. N., and M. Ali. 2007. Effect of phosphorus levels on zinc, iron, copper and manganese removal by chickpea genotype in Typic Ustochrept. *J. food legumes.* 20(1):45-48.
30. Tunesi, S., Poggi, V., and C. Gessa. 1999. Phosphate desorption and precipitation in calcareous soils: the role of calcium ions in solution and carbonate minerals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 53: 219-227.
31. Turner, B. L., Cade-Menun, B. J., and D. T. Westermann. 2003. Organic phosphorus composition and potential bioavailability in semi-arid arable soils of the Western United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1168–1179 .