

مقایسه روشهای عصاره‌گیری پتاسیم خاک برای تعیین سطح بحرانی پتاسیم برای برنج در تعدادی از خاکهای شالیزاری استان گیلان

مسعود کاوسی* و محمود کلباسی**

چکیده

استان گیلان از عمده‌ترین مناطق تولید برنج در سطح کشور است که استفاده از ارقام پر محصول برنج در آن هر روز رونق بیشتری می‌یابد. با این وجود مطالعات اندکی در مورد وضعیت پتاسیم در مزارع برنج آن صورت گرفته و حتی تاکنون عصاره‌گیر مناسبی برای استخراج پتاسیم قابل جذب معرفی نگردیده است. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی ۱۵ روش عصاره‌گیری به منظور تعیین عصاره‌گیر یا عصاره‌گیرهای مناسب جهت تعیین پتاسیم قابل دسترسی خاک و سطح بحرانی پتاسیم برای برنج رقم سپیدرود در تعدادی از خاکهای استان گیلان به اجرا درآمد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل شامل ۲۳ نمونه خاک و دو سطح صفر و ۳۰۰ میلیگرم پتاسیم در کیلوگرم خاک انجام گرفت.

نتایج نشان داد که استفاده از کود پتاسیم در اکثر خاکها باعث افزایش عملکرد دانه، کاه و غلظت پتاسیم در گیاه و نیز افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه شده است. بررسی روابط همبستگی گویای این حقیقت بود که روشهای عصاره‌گیری با استات منیزیم، اسید سولفوریک، مورگان و کلرید کلسیم یک صدم مولار همبستگی بالایی با غلظت پتاسیم در کاه (به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۷۸، ۰/۸ و ۰/۷۸) و غلظت پتاسیم در کل گیاه (به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۷۶، ۰/۷۵ و ۰/۷۳) داشته است. همچنین ضریب همبستگی بین روشهای مذکور و مقدار جذب پتاسیم توسط کاه برنج (به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۲، ۰/۷۸ و ۰/۷۶) و پتاسیم جذب شده توسط کل گیاه (به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۸۳، ۰/۷۴ و ۰/۷۱) نیز بالا بوده که نشان می‌دهد این روشها مناسب می‌باشند. سطح بحرانی پتاسیم در روشهای مختلف عصاره‌گیری متفاوت بود. سطح بحرانی پتاسیم برای ۹۰ درصد عملکرد نسبی دانه با روش استات منیزیم ۳۸، روش مورگان ۷۴، روش کلوانا ۷۲، روش تگزاس ۱۶۰، اسید سولفوریک ۱۱۱، روش کلرید کلسیم یک صدم مولار ۳۶، روش استات آمونیوم بدون غرقاب ۱۱۲ و روش استات آمونیوم پس از دو هفته غرقاب ۱۰۰ میلیگرم در کیلوگرم خاک بود. تقریباً ۷۵ درصد خاکها از نظر پتاسیم قابل استفاده برای گیاه پایین‌تر از سطح بحرانی بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی - پتاسیم قابل دسترسی، روشهای عصاره‌گیری پتاسیم، برنج رقم سپیدرود، سطح بحرانی پتاسیم

*- دانشجوی دکتری خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
**- استاد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

پتاسیم به کندی قابل استفاده در ارتباط می‌باشد (۱۳) و همبستگیهای خوبی نیز بین آن و جذب پتاسیم توسط گیاه مشاهده شده (۳)، در عین حال همبستگیهای ضعیف نیز گزارش گردیده است (۲۷).

سدیم تترافنیل بران از عصاره گیرهایی است که برای استخراج پتاسیم بین لایه‌ای به کار می‌رود (۲۴). این نمک پتاسیم محلول را به صورت پتاسیم تترافنیل بران رسوب می‌دهد. در نتیجه فعالیت پتاسیم محلول کاهش یافته، تعادل پتاسیم محلول با پتاسیم جذب سطحی شده و پتاسیم بین لایه‌ای به هم می‌خورد. پیامد این وضعیت آزاد شدن سریع‌تر پتاسیم از مکانهای تبادل و بین لایه‌ای بوده و تعادل به سمت پتاسیم محلول پیش می‌رود. بدین ترتیب پتاسیم بین لایه‌ای استخراج می‌شود. از معایب این روش نیاز به مواد شیمیایی و صرف وقت زیاد است (۲۴).

استفاده از کلرید کلسیم یک صدم مولار، روشهای مورگان، مهلیخ یک و سه، تگزاس، کلوانا^۱، اسید کلریدریک، اسید سولفوریک و غیره نیز از دیگر روشهایی است که برای عصاره‌گیری اشکال مختلف پتاسیم و برآورد قابلیت جذب این عنصر کاربرد دارد.

نتایج تحقیقات در نقاط مختلف دنیا برای تعیین عصاره‌گیر مناسب برای پتاسیم بسیار متفاوت بوده است. تامهن و سویا (۳۲) استفاده از اسید استیک، استات سدیم مورگان، استات آمونیوم، اسید نیتریک نرمال و درصد اشباع پتاسیم را برای تعیین پتاسیم قابل جذب برای برنج، در آزمایشهای گلدانی و مزرعه‌ای به کار بردند و اعلام نمودند که پتاسیم عصاره‌گیری شده با این روشها و پاسخ گیاه برنج از همبستگی خوبی برخوردار نیست. نتایج مشابهی در هندوستان گزارش شده است (۶). در آزمایش دیگری که در هندوستان و با استفاده از ۱۱ عصاره‌گیر انجام گرفت استات آمونیوم بالاترین همبستگی را با عملکرد نسبی نشان داد و سطح بحرانی با این عصاره‌گیر ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برآورد گردید (۲).

امروزه با معرفی ارقام جدید و پر محصول، فرصت مناسبی برای افزایش تولید برنج، با استفاده از مقادیر مناسب کودهای معدنی به وجود آمده است. یکی از کودهای معدنی که نقش بسزایی در رشد، عملکرد و ارتقای کیفیت برنج ایفا می‌کند، کودهای پتاسیمی است. به منظور ارائه توصیه کودی مناسب برای هر عنصر غذایی از جمله پتاسیم، انجام برنامه آزمون خاک امری ضروری است. در برنامه آزمون خاک برای یک عنصر غذایی، انتخاب عصاره‌گیر و آزمایشهای تعیین همبستگی بین مقدار عنصر غذایی عصاره‌گیری شده از خاک و مقدار جذب شده توسط گیاه از اولویت ویژه‌ای برخوردار است (۵).

استان گیلان از عمده‌ترین استانهای تولیدکننده برنج در سطح کشور است که استفاده از ارقام پرمحصول برنج در آن هر روز رونق بیشتری می‌یابد. اما تاکنون مطالعات اندکی در باره وضعیت پتاسیم در اراضی این استان صورت گرفته و تاکنون عصاره‌گیر مناسبی برای استخراج پتاسیم قابل استفاده در این اراضی معرفی نگردیده است و توصیه کودی مناسبی هم برای این عنصر در اراضی مذکور وجود ندارد.

طیف گسترده‌ای از عصاره‌گیرها برای تعیین پتاسیم قابل استفاده گیاه به کار رفته که احتمالاً از همه متداول‌تر روش استات آمونیوم مولار خنثی است (۱۱ و ۱۶). در این روش مجموع پتاسیم تبدلی و محلول و مقداری از پتاسیم غیر تبدلی استخراج می‌شود (۲۱). بعضی از محققین رابطه خوبی بین پتاسیم قابل استخراج به وسیله استات آمونیوم و جذب آن توسط گیاه به دست آورده‌اند (۱۸). برای خاکهایی که حاوی مقادیر زیادی رسهای اسمکتیت، کائولینیت و مواد آلی هستند و در عین حال مقدار ایلینیت یا دیگر کانیهای میکایی در آنها کم است، رابطه ذکر شده قوی‌تر می‌باشد (۱۸).

یکی از سریع‌ترین روشها جهت مطالعه دینامیک آزاد سازی پتاسیم غیر تبدلی خاک، استفاده از اسید نیتریک مولار جوشان است (۲۹). مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با این روش با مقدار

خشک و الک شدن، ۱۱ کیلوگرم از آن به گلدانهای پلاستیکی با قطر دهانه ۳۰ و عمق ۳۷ سانتیمتر و گنجایش حدود ۱۷ کیلوگرم خاک، ریخته شد. ضمناً مقدار کافی خاک از هر نمونه جهت تجزیه‌های شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از گلخراب نمودن خاک گلدانها و قرار دادن کف گلدانها در عمق ۳۰ سانتیمتری خاک شالیزار، نیتروژن به صورت اوره و فسفر به صورت سوپر فسفات تریبل به مقدار مورد نیاز برای هر خاک تعیین و همراه پتاسیم با خاک گلدانها به خوبی مخلوط شد. مقدار این عناصر برای هر خاک براساس اندازه گیری آنها در خاک و غلظتهای بحرانی پیشنهاد شده برای منطقه و با در نظر گرفتن بازده ۵۰ درصد برای اوره و ۲۰ درصد برای سوپر فسفات تریبل معین گردید. سپس تعداد ۳ نخ نشای برنج رقم سپید رود در مرکز هر گلدان کاشته شد و قسمت باقی مانده مزرعه نیز به طور همزمان با رقم مذکور نشاکاری گردید. کلیه عملیات داشت طبق روشهای مرسوم در موسسه تحقیقات برنج کشور و به صورت یکنواخت بر روی تمام گلدانها اعمال و عمق آب ایستایی در گلدانها تا ۱۰ روز قبل از برداشت بین ۵-۲ سانتیمتری سطح خاک کنترل گردید.

در زمان رسیدن، بوته‌ها از اولین گره بالای سطح خاک برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردیدند. سپس وزن خشک دانه و کاه و کلش به طور جداگانه تعیین شد. دانه و کاه و کلش هر گلدان پس از آسیاب و الک شدن جهت تعیین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد تجزیه قرار گرفتند.

عصاره‌گیری از نمونه‌های خاک با روشهای زیر صورت گرفت: استات آمونیوم مولار خنثی بر روی ۵ گرم خاک خشک و با نسبت ۱:۱۰ (۱۶)، استات آمونیوم مولار خنثی پس از دو هفته غرقاب نمودن خاک، اسید نیتریک مولار جوشان بر روی ۱۰ گرم خاک با نسبت ۱:۲/۵ و قرار دادن در دمای ۱۱۳ درجه سانتیگراد به مدت ۲۵ دقیقه (۱۶)، عصاره‌گیری با سدیم تترا فنیل بران ۰/۰۲ مولار بر روی یک گرم خاک با نسبت ۱:۲ و انحلال پتاسیم تترافنیل بران با استفاده از کلرید جیوه و کلرید

نتایج آزمایشهای انجام شده در آسام هندوستان نشان داد که پتاسیم عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم یک صدم مولار، استات آمونیوم مولار خنثی، کلرید کلسیم ۰/۰۲۵ مولار و اسید کلریدریک نیم نرمال، با عملکرد دانه، وزن خشک گیاه و پتاسیم جذب شده به وسیله برنج همبستگی معنی داری داشته است (۲۵). در آزمایشهایی که از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۶۸ در تایوان انجام گرفت روشهای مهلیخ یک و استات آمونیوم مولار خنثی برای بعضی از خاکهای شالیزاری همبستگی خوبی نشان داده‌اند (۳). در تحقیقاتی که در فیلیپین صورت گرفت، ضرایب همبستگی پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله محلولهای استات آمونیوم، استات سدیم، اسید سولفوریک سرد و اسید سولفوریک داغ با پاسخ برنج به پتاسیم خاک به ترتیب ۰/۰۳۹، ۰/۲۲۱، ۰/۳۱۷ و ۰/۵۰۲ بوده، که نشان می‌دهد پتاسیم غیر تبدالی شاخص بهتری برای توصیه کودی در این شالیزارها بوده است (۴).

این تحقیق با انگیزه تعیین عصاره گیر مناسب برای ارزیابی پتاسیم قابل استفاده خاک و نیز برآورد سطح بحرانی پتاسیم برای برنج رقم سپید رود در خاکهای اراضی گیلان، در یک آزمایش گلدانی به اجرا درآمد.

مواد و روشها

به منظور تعیین عصاره‌گیر یا عصاره‌گیرهای مناسب برای پتاسیم قابل جذب و نیز سطح بحرانی پتاسیم برای برنج رقم سپیدرود، یک آزمایش گلدانی با ۲۳ نمونه خاک از شالیزارهای مختلف استان گیلان که از نظر درصد رس، مواد آلی و پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک مولار خنثی متفاوت بودند، در موسسه تحقیقات برنج کشور صورت گرفت.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در ۲۳ نمونه خاک با دو سطح پتاسیم (صفر و ۳۰۰ میلیگرم پتاسیم در کیلوگرم خاک به صورت کلرید پتاسیم) و در سه تکرار در مزرعه انجام گردید.

مقادیر کافی خاک از شالیزارهای مذکور تهیه و پس از هوا

آمونیم (۲۴)، مهلیخ یک برروی ۱۰ گرم خاک خشک با نسبت ۱:۵ و ۵ دقیقه تکان دادن (۲۲)، مهلیخ سه برروی ۱۰ گرم خاک با نسبت ۱:۱۰ در $pH = 5$ و ۵ دقیقه تکان دادن (۲۳)، اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار برروی ۲۰ گرم خاک با نسبت ۱:۱ و ۱۰ دقیقه تکان دادن (۱۹)، اسید سولفوریک برروی ۱۰ گرم خاک و یک سانتیمتر مکعب اسید سولفوریک غلیظ و شستشو با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال (۱۶)، کلرید کلسیم یک صدم مولار برروی ۱۰ گرم خاک با نسبت ۱:۱۰ و دو ساعت تکان دادن (۱۲)، مورگان با استفاده از اسید استیک ۰/۵۲ مولار و استات سدیم ۰/۷۳ مولار در $pH = 4/82$ برروی ۱۰ گرم خاک با نسبت ۱:۵ و ۳۰ دقیقه تکان دادن (۲۰)، روش تگزاس با استفاده از استات آمونیوم ۱/۴ مولار + اسید کلریدریک مولار + EDTA ۰/۲۵ مولار در $pH = 4/2$ برروی ۵ گرم خاک با نسبت ۱:۲۰ و یک ساعت تکان دادن (۱۴)، روش کلووانا با استفاده از اسید استیک ۰/۲۵ مولار و آمونیوم فلوراید ۰/۱۵ مولار در $pH = 3/2$ برروی ۵ گرم خاک با نسبت ۱:۱۰ و ۵ دقیقه تکان دادن (۳۴)، عصاره گیری با آب با نسبت ۱:۲۵ و یک ساعت تکان دادن و ۱۶ ساعت قرار دادن در دمای ۲۷ درجه سانتیگراد و سپس ۱۵ دقیقه تکان دادن و بعد سانتریفوژ نمودن و تعیین غلظت پتاسیم (۲۸)، عصاره گیری با آب طبق روش بالا ولی برروی نمونه هایی که دو هفته به حالت غرقاب در دمای ثابت نگهداشته شده اند. سپس همبستگی پتاسیم عصاره گیری شده با روشهای مذکور و غلظت پتاسیم در دانه، کاه و کلش و کل گیاه، مقدار پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه، دانه و کاه و کلش و نیز عملکرد نسبی دانه و همچنین همبستگی بین روشهای مختلف عصاره گیری با استفاده از نرم افزار MSTAT.C تعیین گردید. غلظت بحرانی پتاسیم با روش کیت-نلسون برای عصاره گیرهای انتخاب شده تعیین شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای

مورد بررسی را نشان می دهد. واکنش خاکها از اسیدی شدید تا کمی قلیایی (بین ۵/۱ تا ۷/۸، با میانگین ۶/۷)، بافت خاکها از شنی تارسی (با درصد رس بین ۸ تا ۴۸ و میانگین ۲۵ درصد) و کربن آلی کم (۰/۸۸) تا خیلی زیاد (۶/۷۳ درصد) تغییر می کند. خاکها از نظر ظرفیت تبادل کاتیونی و پتاسیم استخراج شده با استات آمونیوم یک مولار و اسید نیتریک جوشان یک مولار نیز دارای طیف گسترده ای می باشند (به ترتیب از ۸ تا ۴۸ و میانگین ۲۷ میلی اکی والان درصد گرم خاک، ۶۰ تا ۲۴۰ و میانگین ۱۰۵ میلیگرم در کیلوگرم خاک و ۲۹۸ تا ۷۹۱ میلیگرم در کیلوگرم خاک).

جدول ۲ تاثیر پتاسیم بر عملکرد برنج، غلظت و جذب کل پتاسیم به وسیله برنج را نشان می دهد. اثر کاربرد پتاسیم بر عملکرد دانه و کاه و کلش در ۱۲ خاک از ۲۳ خاک معنی دار بوده است. همچنین کاربرد پتاسیم در اکثر خاکها باعث افزایش همزمان عملکرد دانه و کاه و کلش شده است. میانگین افزایش عملکرد دانه ۳۹/۶ درصد بود. در آزمایش مشابهی که در موسسه بین المللی تحقیقات برنج^۱ انجام گرفت میانگین افزایش عملکرد ناشی از کاربرد پتاسیم ۸/۵ درصد بوده است (۸).

کاربرد پتاسیم در ۲۱ خاک باعث افزایش معنی دار غلظت پتاسیم در کاه و کلش و کل گیاه شد و تنها در خاکهای شماره ۷ و ۲۰ این تاثیر غیر معنی دار بود (جدول ۲). غلظت پتاسیم دانه در تیمار بدون پتاسیم ۰/۲۹ تا ۰/۴۹ و با میانگین ۰/۳۷ درصد و در تیمار با کاربرد پتاسیم بین ۰/۳۱ تا ۰/۴۹ و با میانگین ۰/۳۹ درصد بود، که نشان می دهد مصرف پتاسیم تاثیر معنی داری در افزایش غلظت پتاسیم دانه نداشته است (داده ها ارائه نشده اند). عدم تاثیر پتاسیم بر افزایش غلظت پتاسیم دانه توسط دابرم و همکاران (۸) نیز گزارش شده است.

کاربرد پتاسیم باعث افزایش معنی دار جذب کل پتاسیم به وسیله کاه و کلش و جذب پتاسیم به وسیله گیاه در ۲۱ خاک شده است. افزایش غلظت و مقدار جذب پتاسیم در اثر کاربرد پتاسیم نشان می دهد که افزودن این عنصر علاوه بر تاثیری که بر مقدار جذب پتاسیم از طریق افزایش رشد گیاه دارد، مستقیماً

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد استفاده

شماره خاک	pH	کربن آلی	رس	سیلت	ظرفیت تبادل کاتیونی	پتاسیم استخراج شده با استات آمونیوم مولار	پتاسیم استخراج شده با اسید نیتریک
		%	%	%	(سانتی مول در کیلوگرم)	(میلیگرم در کیلوگرم)	(میلیگرم در کیلوگرم خاک)
۱	۷/۸	۰/۸۸	۲۲	۵۶	۲۲	۱۸۰	۵۸۷
۲	۵/۱	۲/۴۸	۲۴	۵۲	۱۶	۷۵	۶۶۳
۳	۶/۴	۲/۹۶	۳۰	۵۰	۲۴	۸۵	۴۰۸
۴	۶/۶	۴/۳۲	۳۲	۵۰	۴۴	۱۱۰	۴۵۹
۵	۵/۲	۲/۴۱	۲۲	۵۴	۱۴	۶۰	۳۶۶
۶	۵/۵	۱/۷۶	۱۸	۴۲	۱۵	۷۵	۷۹۱
۷	۷/۲	۱/۵۰	۲۲	۴۰	۲۰	۱۲۰	۴۸۵
۸	۶/۴	۳/۰۶	۳۲	۳۸	۳۰	۱۰۰	۴۵۹
۹	۵/۳	۴/۸۳	۱۰	۴۶	۲۵	۸۵	۷۹۱
۱۰	۶/۴	۳/۸۴	۲۶	۳۶	۳۹	۱۰۰	۴۰۸
۱۱	۷/۱	۲/۲۱	۲۲	۲۰	۲۶	۱۳۰	۵۵۳
۱۲	۷/۷	۱/۰۵	۸	۴	۸	۶۰	۵۰۲
۱۳	۷/۰	۱/۵۳	۴۲	۴۴	۲۹	۱۴۵	۳۷۴
۱۴	۶/۸	۱/۷۰	۱۶	۲۲	۳۸	۱۱۰	۴۶۸
۱۵	۷/۲	۱/۸۴	۱۲	۲۸	۴۴	۸۰	۲۹۸
۱۶	۵/۹	۲/۵۲	۲۲	۲۶	۲۰	۶۵	۴۸۵
۱۷	۷/۴	۱/۸۷	۳۰	۵۰	۳۹	۹۵	۳۰۶
۱۸	۷/۲	۲/۲۱	۲۰	۴۰	۲۲	۸۵	۵۵۳
۱۹	۶/۶	۲/۴۸	۳۶	۵۰	۲۳	۸۵	۳۹۱
۲۰	۷/۳	۶/۷۳	۲۶	۲۸	۳۸	۱۸۰	۶۱۲
۲۱	۶/۰	۱/۸۰	۳۲	۳۸	۲۶	۸۵	۴۶۸
۲۲	۷/۳	۱/۸۷	۲۶	۴۶	۳۲	۶۵	۳۰۶
۲۳	۷/۷	۱/۱۲	۴۸	۴۰	۲۸	۲۴۰	۷۹۱
دامنه	۰/۱ تا ۷/۸	۰/۸۸ تا ۶/۷۳	۸ تا ۴۸	۴ تا ۵۶	۴ تا ۴۴	۲۴۰ تا ۶۰	۲۹۸ تا ۷۹۱
میانگین	۶/۶۶	۲/۴۷	۲۵/۱۳	۳۹/۱۳	۲۷	۱۰۵	۵۰۰/۷۶

جدول ۲- اثر پتاسیم بر عملکرد برنج و غلظت و جذب پتاسیم به وسیله گیاه

شماره خاک	عملکرد (گرم در گلدان)		غلظت پتاسیم (%)				جذب پتاسیم (گرم در گلدان)		شماره	
	دانه	کاه و کلش	کاه و کلش	کل گیاه	کاه و کلش	کل گیاه	کاه و کلش	کل گیاه		
	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀		
۱	۸۲/۱	۸۸/۳ ^{NS}	۱۰۰/۳ ^{NS}	۱۰۴/۸	۱/۹*	۱/۴	۱/۹*	۱/۲	۲/۲*	۱/۴
۲	۶۷/۵	۱۱۷/۱**	۱۰۶/۱*	۷۸/۸	۲/۲**	۰/۶۳	۱/۲**	۰/۵	۲/۲**	۰/۸
۳	۷۲/۳	۱۱۰/۲*	۱۳۶/۵**	۸۳/۷	۱/۸**	۰/۵۸	۱/۲**	۰/۴۸	۲/۴**	۰/۷۵
۴	۵۶/۴	۱۰۷/۶**	۱۱۹/۷**	۷۲	۲**	۰/۸	۱/۲**	۰/۵۸	۲/۴**	۰/۷۷
۵	۵۷/۸	۹۱/۶**	۱۱۵/۲**	۵۷	۱/۸**	۰/۴	۱/۲**	۰/۲۳	۲/۱**	۰/۴۲
۶	۸۳/۲	۱۰۰/۴ ^{NS}	۱۰۲/۸ ^{NS}	۹۳/۹	۲/۲**	۰/۷۸	۱/۱۶**	۰/۷۴	۲/۱**	۱/۱
۷	۷۲/۷	۶۴/۷ ^{NS}	۱۱۵/۱ ^{NS}	۹۴/۲	۲/۱ ^{NS}	۱/۴	۱/۲ ^{NS}	۱/۶ ^{NS}	۱/۹ ^{NS}	۱/۶
۸	۷۵/۳	۱۱۹/۹**	۱۱۳*	۸۹/۸	۲/۵**	۱	۱/۴**	۰/۹۳	۲/۸**	۱/۲
۹	۱۱۰/۳	۱۱۴/۲ ^{NS}	۱۱۹/۲ ^{NS}	۱۰۵/۲	۲/۲**	۱/۴	۱/۴**	۰/۹۴	۲/۷**	۲
۱۰	۱۱۳/۸	۱۳۶/۵ ^{NS}	۱۳۵/۱*	۱۰۹/۷	۲/۴**	۱/۲	۱/۴**	۰/۷۸	۳/۲**	۱/۷
۱۱	۱۲۴/۸	۱۰۹/۱ ^{NS}	۱۴۳/۲*	۱۱۳/۱	۲/۲*	۱/۶	۱/۴**	۰/۹۳	۳/۲**	۲/۲
۱۲	۲۸	۸۲/۹**	۹۴/۲**	۵۲/۱	۲/۳**	۱/۱	۱/۴**	۰/۸۳	۲/۲**	۰/۶۷
۱۳	۱۱۱/۱	۸۴/۸*	۱۰۸/۸ ^{NS}	۹۹/۷	۲/۴ ^{NS}	۱/۲	۱/۲**	۰/۸۳	۲/۲**	۱/۸
۱۴	۵۶/۱	۹۷/۹**	۸۰/۴ ^{NS}	۸۲/۶	۲/۲*	۱/۱	۱/۲*	۰/۹۷	۲/۲*	۱/۳
۱۵	۹۱/۴	۱۲۳*	۱۲۳/۹**	۸۱/۹	۲/۲**	۱	۱/۳**	۰/۶۹	۲/۸**	۱/۲
۱۶	۴۸	۱۱۶/۷**	۱۱۳/۸**	۶۲/۲	۲/۴**	۰/۷۵	۱/۴**	۰/۵۸	۲/۷**	۰/۶۳
۱۷	۷۱/۶	۹۰/۳ ^{NS}	۹۰/۶*	۶۴/۲	۲/۴**	۰/۷۵	۱/۳۲**	۰/۵۷	۲/۱**	۰/۷۷
۱۸	۸۶/۱	۱۱۰/۴*	۱۱۱/۶ ^{NS}	۸۹/۶	۲/۳**	۰/۹۵	۱/۴**	۰/۶۸	۲/۶**	۱/۲
۱۹	۶۵/۸	۹۱/۹*	۱۲۴/۵**	۷۲/۹	۲/۲**	۰/۴۲	۱/۸**	۰/۵۸	۲/۲**	۰/۶۵
۲۰	۱۱۷/۴	۱۱۶/۱ ^{NS}	۱۳۶/۶ ^{NS}	۱۲۰/۱	۲/۴ ^{NS}	۱/۵	۰/۹۴ ^{NS}	۱	۲/۴ ^{NS}	۲/۴
۲۱	۸۰	۹۱/۷ ^{NS}	۸۲/۲ ^{NS}	۶۵/۲	۲/۴**	۰/۴۹	۱/۳۵**	۰/۴۸	۲/۴**	۰/۶۹
۲۲	۷۴/۲	۸۱ ^{NS}	۸۴/۹۶ ^{NS}	۷۲	۲/۲**	۰/۶۳	۱/۳۳**	۰/۵۳	۲/۲**	۰/۷۸
۲۳	۱۰۲/۶	۱۱۰/۹ ^{NS}	۱۱۵/۸ ^{NS}	۹۹/۴	۲/۲**	۱/۴	۱/۳۵**	۰/۹۱	۲/۵**	۱/۸
دامنه	۲۸	۶۵	۸۰	۵۲	۱/۶	۰/۴	۰/۹۴	۰/۳۷	۱/۸	۰/۴۲
	۱۲۵ تا	۱۳۷ تا	۱۲۰ تا	۱۳۷ تا	۲/۵ تا	۱/۶ تا	۱/۶ تا	۱ تا	۳/۷ تا	۲/۴ تا
میانگین	۸۰/۳۷	۱۰۲/۱۵	۱۱۱/۹	۸۴/۵۳	۲/۱۳	۱	۱/۲۸	۰/۷۱	۲/۳۵	۱/۲۱

K₀ - بدون پتاسیم K₁ - ۳۰۰ میلیگرم پتاسیم در کیلوگرم خاک

* و ** - به ترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد NS - غیر معنی دار

جدول ۳- ضرایب همبستگی روشهای مختلف عصاره گیری با عملکرد، غلظت و جذب پتاسیم در گیاه برنج

جذب کل پتاسیم		غلظت پتاسیم		عملکرد		متغیر وابسته
کاه و کلش	کل گیاه	کاه و کلش	کل گیاه	عملکرد نسبی	عملکرد دانه	روش عصاره گیری
۰/۸۳***	۰/۸***	۰/۸۳***	۰/۷۹***	۰/۵۳**	۰/۵۲**	استات منیزیم
۰/۷۸***	۰/۷۴***	۰/۸***	۰/۷۵***	۰/۴۹*	۰/۴۹*	مورگان
۰/۶۹***	۰/۶۶**	۰/۶۷***	۰/۶۲**	۰/۴۶*	۰/۴۸*	کلووانا
۰/۷۱***	۰/۷***	۰/۶۷**	۰/۶۲**	۰/۵۰*	۰/۵۵**	تگزاس
۰/۴۳*	۰/۴۳*	۰/۴۰ ^{NS}	۰/۴۰ ^{NS}	۰/۱۲ ^{NS}	۰/۲۸ ^{NS}	اسید نیتریک جوشان
۰/۸۲***	۰/۸۳***	۰/۷۸***	۰/۷۶***	۰/۶۲**	۰/۶۷***	اسید سولفوریک
۰/۶۹***	۰/۶۸***	۰/۶۷***	۰/۶۲**	۰/۴۹*	۰/۵۳**	استات آمونیوم ۱
۰/۶۸***	۰/۶۸**	۰/۶۵***	۰/۶۱**	۰/۵۱*	۰/۵۲**	استات آمونیوم ۲
۰/۴۸*	۰/۴۶*	۰/۴۵*	۰/۴۷*	۰/۲۲ ^{NS}	۰/۲۶ ^{NS}	اسید کلریدریک
۰/۷۶***	۰/۷۱***	۰/۷۸***	۰/۷۳***	۰/۴۶*	۰/۴۵*	کلرید کلسیم یک صدم مولار
۰/۳۳ ^{NS}	۰/۳۵ ^{NS}	۰/۲۸ ^{NS}	۰/۲۶ ^{NS}	۰/۲۰ ^{NS}	۰/۲۹ ^{NS}	سدیم تترافنیل بران
۰/۶۰**	۰/۵۸**	۰/۵۸**	۰/۵۵**	۰/۶**	۰/۴۲*	مهلیخ ۱
۰/۶۳***	۰/۶۲**	۰/۶۱**	۰/۵۷**	۰/۴۸*	۰/۴۹*	مهلیخ ۳
۰/۶۹***	۰/۶۳***	۰/۷۳***	۰/۷۱***	۰/۳۶ ^{NS}	۰/۳۰ ^{NS}	آب ۱
۰/۶۲***	۰/۶۲**	۰/۶۴***	۰/۵۹**	۰/۳۵ ^{NS}	۰/۴۴*	آب ۲

استات آمونیوم ۱- بدون غرقاب

استات آمونیوم ۲- عصاره گیری با استات آمونیوم پس از دو هفته غرقاب نمودن نمونه خاک

آب ۱- بدون غرقاب

آب ۲- عصاره گیری با آب پس از دو هفته غرقاب نمودن نمونه خاک

***- معنی دار در سطح یک درصد

***- معنی دار در سطح کمتر از ۰/۱ درصد

استات آمونیوم ۱- بدون غرقاب

آب ۱- بدون غرقاب

*- معنی دار در سطح ۵ درصد

***- معنی دار در سطح ۰/۱ درصد

مختلف با عملکرد، غلظت و جذب پتاسیم توسط گیاه را نشان می دهد. همبستگی عصاره گیرهای اسید سولفوریک، استات منیزیم، تگزاس، استات آمونیوم و مورگان با عملکرد دانه قوی تر از سایر روشهای عصاره گیری می باشد. این همبستگی برای عصاره گیرهایی مانند سدیم تترافنیل بران و اسید نیتریک جوشان که بخشی از پتاسیم غیر تبادلی را نیز استخراج می کنند، بسیار ضعیف است، که نشان دهنده نامناسب بودن شاخصهای پتاسیم غیر تبادلی در پیش بینی جذب پتاسیم و عملکرد گیاه برنج می باشد. همبستگی روشهای عصاره گیری با عملکرد نسبی نیز مشابه با عملکرد دانه است.

می تواند به علت تامین پتاسیم بیشتر، غلظت پتاسیم و در نتیجه جذب کل آن را در گیاه افزایش دهد. تاثیر کاربرد پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد و نیز غلظت پتاسیم در گیاه برنج به وسیله پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (۱، ۱۰، ۱۷ و ۲۳). جدول ۲ به خوبی نشان می دهد که به رغم افزایش غلظت و مقدار جذب پتاسیم توسط برنج، همیشه این افزایش باعث افزایش عملکرد (اعم از عملکرد دانه یا کاه و کلش) نگردیده است، که احتمالاً این پدیده معلول مصرف لوکس (تجملی) پتاسیم به وسیله برنج می باشد.

جدول ۳ ضرایب همبستگی خطی بین عصاره گیرهای

روش استنات منیزیوم یکسان نیست. روشهایی مثل استنات آمونیوم و مهلیخ ۳، که در آنها غلظت آمونیوم زیاد است، نسبت به روشهایی که فاقد آمونیوم یا دارای غلظت کمی از آمونیوم هستند، همبستگی کمتری با روش استنات منیزیم دارند. با توجه به ضرایب همبستگی کمتر روشهای دارای مقدار زیاد آمونیوم با غلظت پتاسیم در گیاه (جدول ۳)، می توان نتیجه گرفت که یون آمونیوم بخشی از پتاسیم غیر تبادلی خاک را نیز عصاره گیری می کند.

روش مورگان نیز وضعیتی مشابه با روش استنات منیزیوم دارد ولی همبستگی آن با روش کلرید کلسیم کمی بیشتر از استنات منیزیوم است. روش تگزاس که در آن غلظت آمونیوم مانند روشهای استنات آمونیوم یک مولار و روش مهلیخ ۳ زیاد است، همبستگی بالایی با روشهای مذکور نشان داد (r^2 به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۸).

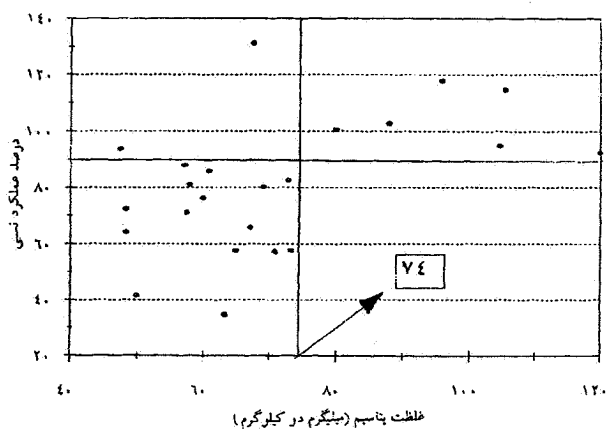
روش اسید سولفوریک بالاترین همبستگی را با استنات آمونیوم نشان داد. اما در برخی از خاکها مقادیر متفاوتی از پتاسیم خاک را نسبت به روش استنات آمونیوم مولار استخراج می کنند، که ظاهراً با توجه به همبستگی بالاتر پتاسیم عصاره گیری شده توسط این روش با غلظت پتاسیم و جذب کل پتاسیم توسط گیاه، نسبت به روش استنات آمونیوم، شاخص بهتری از پتاسیم قابل استفاده خاک محسوب می شود.

اشکال ۱ تا ۸ سطح بحرانی پتاسیم برای عملکرد نسبی دانه برنج را با روش کیت - نلسون و برای عصاره گیرهای مختلف نشان می دهد. بررسی شکلها گویای این حقیقت است که سطح بحرانی پتاسیم با استنات منیزیوم، مورگان، کلوانا، تگزاس، اسید سولفوریک، استنات آمونیوم بدون غرقاب، کلرید کلسیم یک صدم مولار و روش استنات آمونیوم پس از دو هفته غرقاب به ترتیب ۳۸، ۷۴، ۷۲، ۱۶۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۳۶ و ۱۰۵ میلیگرم در کیلوگرم خاک می باشد. سطح بحرانی پتاسیم برای عملکرد دانه با روشهای فوق الذکر تقریباً مشابه اعداد بالا است (داده ها نشان داده نشده اند).

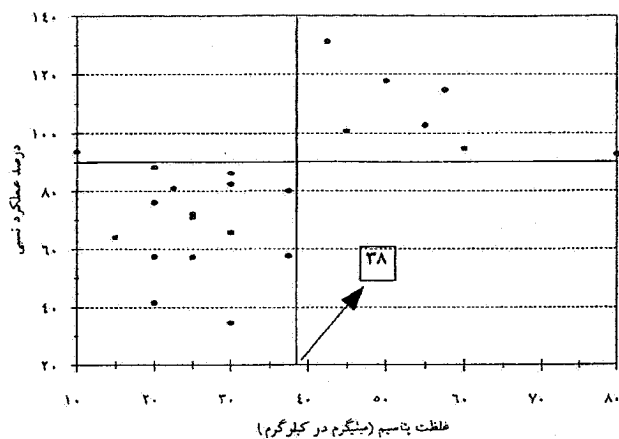
مقایسه داده های بالا نشان می دهد که روش تگزاس، استنات آمونیوم بدون غرقاب و روش اسید سولفوریک، پتاسیم

همبستگی عصاره گیرهای مختلف با غلظت پتاسیم در کاه و کلش و کل گیاه بسیار معنی دار و قوی می باشد (جدول ۳). این همبستگی برای استنات منیزیم، مورگان، اسید سولفوریک، کلرید کلسیم یک صدم مولار و آب به مراتب قوی تر از سایر روشها و برای اسید نیتریک جوشان، سدیم تترافنیل بران و اسید کلریدریک ضعیف تر از سایر عصاره گیرها است. به نظر می رسد روشهایی که ارتباط تنگاتنگی با پتاسیم به سهولت قابل استفاده دارند در مقایسه با سایر روشها همبستگی بهتری با غلظت پتاسیم در برنج نشان می دهند. در این ارتباط روشهای عصاره گیری با آب و کلرید کلسیم یک صدم مولار با توجه به سادگی و ارزان بودن می توانند مورد توجه بیشتری قرار گیرند. همبستگی عصاره گیرهای مختلف با جذب کل پتاسیم توسط کل گیاه و یا کاه و کلش مشابه با همبستگی این روشها با غلظت پتاسیم در گیاه است. عصاره گیرهای اسید سولفوریک، استنات منیزیوم، مورگان و کلرید کلسیم یک صدم مولار با توجه به همبستگی بالا و سادگی روش توصیه می شوند. نتایج تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف دنیا در مورد تعیین همبستگی روشهای عصاره گیری مناسب برای پتاسیم در برنج بسیار متفاوت بوده است. در برخی از این مطالعات استنات آمونیوم مولار (۳۰ و ۳۱)، در بعضی کلرید کلسیم یک صدم مولار (۲۵) و در عده ای عصاره گیرهایی که پتاسیم غیر تبادلی را استخراج می کنند (۴) مناسب ترین عصاره گیر تشخیص داده شد. در برخی از آزمایشها به طور کلی هیچ عصاره گیری مناسب تشخیص داده نشده است (۶).

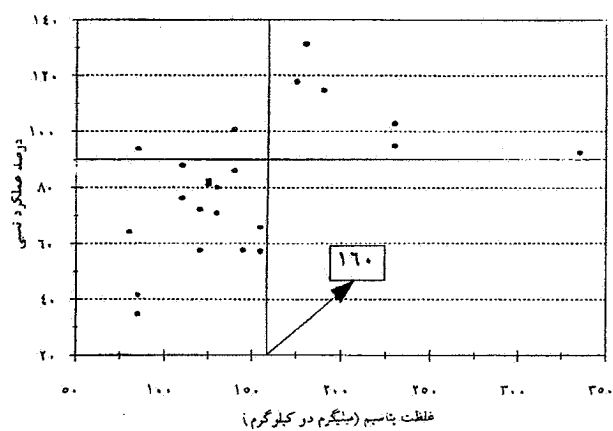
جدول ۴ بیانگر ضرایب همبستگی خطی پتاسیم استخراج شده به وسیله عصاره گیرهای مختلف است. این جدول نشان می دهد همبستگی استنات منیزیم با روشهایی که پتاسیم به سهولت قابل استفاده (روش مهلیخ ۱ و آب) و یا بخشی از پتاسیم غیر تبادلی (اسید نیتریک جوشان، سدیم تترافنیل بران و اسید کلریدریک) را استخراج می کنند بسیار ضعیف تر از روشهایی است که عمدتاً پتاسیم تبادلی را خارج می کنند. اما همبستگی روشهایی که پتاسیم تبادلی را استخراج می کنند با



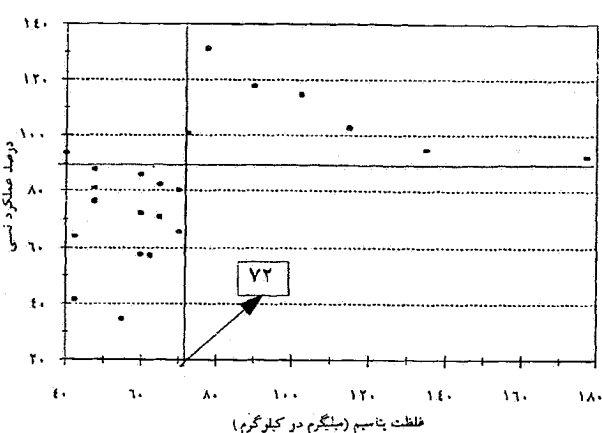
شکل ۲- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش مورگان



شکل ۱- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش استات منیزیم



شکل ۴- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش تگزاس



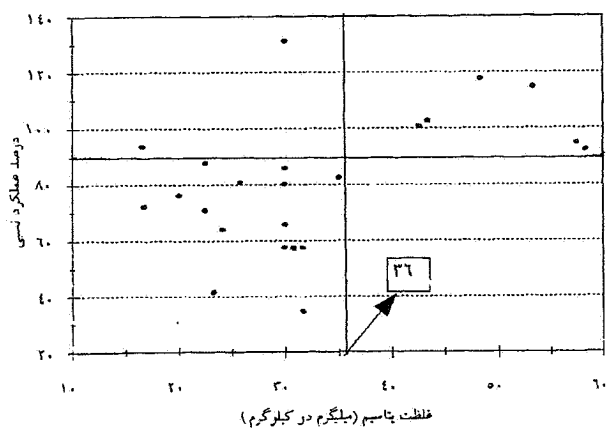
شکل ۳- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش کلوانا

هندوستان این اعداد از ۵۱ تا ۱۶۰ میلیگرم در کیلوگرم خاک متغیر بوده است (۲، ۷، ۱۵ و ۲۶).

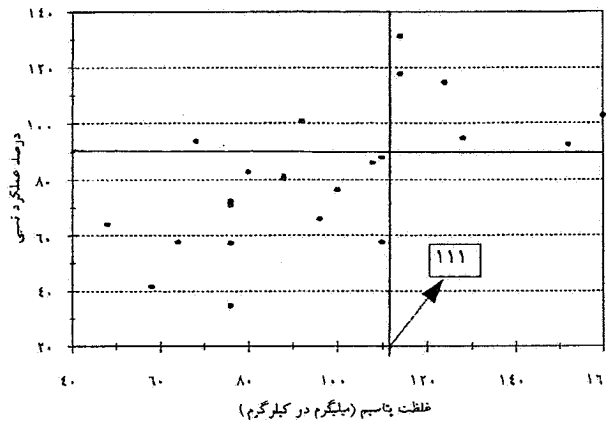
نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که کاربرد پتاسیم در اکثر خاکهای شالیزاری گیلان باعث افزایش تولید ماده خشک، عملکرد دانه و کاه و کلش برنج شده است. بررسی ضرایب همبستگی پتاسیم استخراج شده با عصاره گیرهای مختلف و غلظت پتاسیم دانه، کاه و کلش و کل گیاه نشان دهنده همبستگی بسیار ضعیف این روشها با غلظت پتاسیم دانه و همبستگی بسیار قوی با غلظت پتاسیم در کاه و کلش و کل گیاه می باشد.

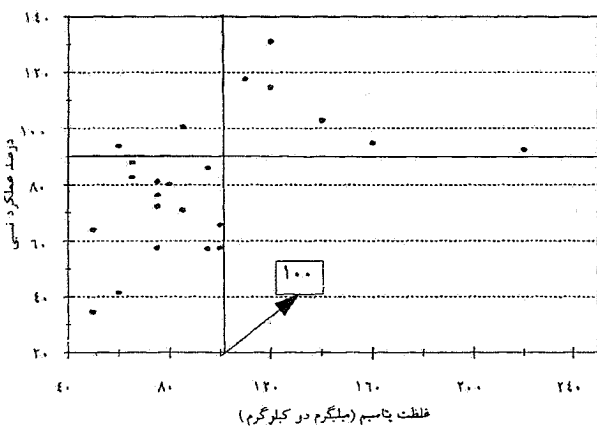
بیشتری از خاک استخراج نموده و سطح بحرانی آنها بالاتر از عصاره گیرهای دیگر است. روشهای مورگان و کلوانا از این نظر حد واسط هستند و استات منیزیم و کلرید کلسیم یک صدم مولار، که احتمالاً پتاسیم به سهولت قابل جذب گیاه را برآورد می نمایند، پتاسیم کمتری استخراج کرده و سطح بحرانی آنها پایین تر از عصاره گیرهای دیگر است. سطح بحرانی پتاسیم می تواند تحت تاثیر ویژگیهای خاک، نوع رقم و مدیریت کاشت و داشت گیاه قرار گیرد. به عنوان مثال سطح بحرانی پتاسیم برای گیاه برنج با استفاده از استات آمونیوم مولار در ارقام و خاکهای مختلف از حدود ۳۱ تا ۱۶۰ میلیگرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (۹). در کشور



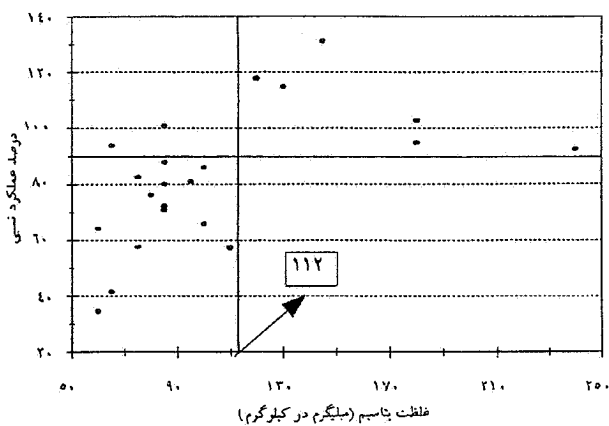
شکل ۶- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش کلرید کلسیم یک صدم مولار



شکل ۵- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش اسیدسولفوریک



شکل ۸- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش استات آمونیوم پس از دو هفته غرقاب



شکل ۷- غلظت بحرانی پتاسیم برای روش استات آمونیوم بدون غرقاب

برنج، در استفاده از این روش اصرار باشد، سطح بحرانی پتاسیم با این روش ۱۱۲ میلیگرم پتاسیم در کیلوگرم خاک می باشد، که به مراتب کمتر از ۲۵۰ میلیگرم در کیلوگرم خاک است که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب اعلام گردیده است. نتیجه گیری کلی تحقیق این است که اصولاً عصاره گیرهایی که بخشی از پتاسیم غیر تبدلی بین لایه ای را برآورد می نمایند، برای خاکهای مورد استفاده در این تحقیق مناسب نمی باشند.

براساس این همبستگیها، استات منیزیوم، اسید سولفوریک، مورگان و کلرید کلسیم یک صدم مولار و آب با توجه به همبستگیهای بالا و سهولت عصاره گیری، به عنوان عصاره گیرهای مناسب پیشنهاد می شوند. با توجه به سطوح بحرانی به دست آمده برای عصاره گیرهای مختلف می توان نتیجه گرفت که تقریباً ۷۵ درصد خاکهای مطالعه شده از نظر پتاسیم قابل جذب پایین تر از حد بحرانی می باشند. اگر به رغم همبستگی نسبتاً پایین استات آمونیوم یک مولار با عملکرد نسبی دانه

منابع مورد استفاده

1. Bajwa, M. J. 1986. Differential response of flooded rice to potassium chloride on two clay mineralogically different soils. *Rice Abst.* 9: 3: (114). IRRI.
2. Bansal, K. N., U. P. S. Bhadoria and J. N. Dube. 1985. Effect of applied potassium on nutrient contents of rice grown in three soils. *Plant Soil* 84(2):275-278.
3. Boruha, H. C. 1990. Potassium release characteristics of three major soil orders of Assam. *J. Potassium Res.* 6: 139-143.
4. Chang, S. C., G. B. Querigero and B.V. Fraiss. 1967. A study on the correlation between availability index of soil phosphorus and potassium and response to fertilizers of lowland rice in the Philippines. A working paper of UNDP/SF Soil Fertility Survey and Research Project in the Philippines.
5. Corey, R. B. 1987. Soil test procedures. *Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation.* P 15-12. SSSA. Special Publication Number 21.
6. Datta, N. P. and A. R. Kalbande. 1967. Correlation of response in paddy with soil test for potassium in different Indian soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 15: 1-6.
7. De Datta, S. K. and D. S. Mikkelsen. 1985. Potassium nutrition of rice. *In: R. D. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture*, pp. 665-669, CSSA, SSSA Madison, WI, ASA.
8. Dobermann, A., P. C. Sta Cruz and K. G. Cassman. 1996. Fertilizer inputs, nutrient balance, and K balance. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 1-10.
9. Dobermann, A., K. G. Cassman, P. C. Sta Cruz, M. A. Adviento and M. F. Pampolino. 1996. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive irrigated rice systems. II: Effective soil K-supplying capacity. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 11-21.
10. Guo, L., A. Lin and F. Q. Tang. 1986. Effect of K fertilizer on rice yield increase and their application. *Rice Abstr.* 9: 3: (113). IRRI.
11. Haby, V. A., M. P. Russelle and E.O. Skogley. 1990. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. *In: Soil Testing and Plant Analysis*. pp. 181-228, SSSA. Madison, WI.
12. Houba, V. J. G., I. Novazamasky, A. W. M. Hubregts and J. J. Vander Lee. 1986. Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl₂, by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant Soil* 96: 433-437.
13. Hsu, W. W. et al. 1979. Potassium release by some Delaware-soils. *Commu. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1037-1056.
14. Johnson, G. V., R.A. Isaac, S. J. Donohue, M. R. Tucker and J. Woodruff. 1984. Procedures used by state soil testing laboratories in the southern region of the United States. *Agric. Exp. Stn. Southern Coop. Series, Bull.* 190, Oklahoma State Univ.
15. Kemmler, G. 1980. Potassium deficiency in soils of the tropics as a constraint to food production in the tropics, pp. 253-275. IRRI.
16. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1990. Lithium, sodium, and potassium. *In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis.* 3rd ed., pp. 225-246. Part 2, Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, WI.
17. Kolar, J. S. and H. S. Grewal. 1989. Response of rice to potassium. *International Rice Res. Newsletter.*

14(3): 330.

18. Kumari, P. P. and R. S. Aiyer. 1993. Soil test and crop response studies for potassium in laterite/red loam soils of Kerala. *J. Potassium Res.* 9: 62-65.
19. Lancaster, J. D. 1980. Mississippi soil test methods and interpretation. Mississippi Agric. Exp. Stn., Mimeo.
20. Lunt, H. A., C. L. W. Swanson and H. G. M. Jacobson. 1950. The Morgan soil testing system. Connecticut Agric. Exp. Stn. Bull. 541.
21. Mc Lean, E. O. and M. E. Watson. 1985. Soil measurements of plant-available potassium. *In*: R. D. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture. pp. 277-308. SSA. Madison, WI.
22. Mehlich, A. 1953. Determination of P, K, Na, Ca, Mg, and NH_4 . Soil Test Div., Mimeo, North Carolina, Dep. Agric., Raleigh NC.
23. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.
24. Mustscher, H. 1995. Measurement and assessment of soil potassium. IPI. Research Topic No. 4.
25. Nath, A. K. and S. Purkaystha. 1988. A study on soil test and crop response in respect of potassium in acid alluvial soils of Assam. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 36(1): 120-124.
26. Panda, M. and S. K. Panda. 1993. Evaluation of some potassium tests for rice in Fluventic Ustochrept. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 41: 188-189.
27. Salomon, M. and J. B. Smith. 1957. A comparison of methods for determining extractable soil potassium in fertilizer test plots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21: 222-225.
28. Schneider, A. 1997. Release and fixation of potassium by a loamy soil as affected by initial water content and potassium status of soil samples. *Europ. J. Soil Sci.* 48: 263-271.
29. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* Vol. 6. Springer Verlag.
30. Su, N. R. 1972. The fertility status of Taiwan soils. ASPAC Food and Fertilizer Center Tech. Bull. 8.
31. Subba Rao, A., N. S. Bhonsle, M. Singh and M. K. Mishra. 1993. Optimum and high rate of fertilizer and farmyard manure application on wheat and sorghum (fodder) yields and dynamics of potassium in an alluvial soil. *J. Potassium Res.* 9(1): 217-234.
32. Tamhane, R. V. and B. C. Subbiah. 1962. Correlation of soil tests with pot and field trials in the evaluation of soil fertility. *Soil Sci. Plant Nutr.* 8(3): 5-14.
33. Thakur, R. B. 1992. Potassium fertilization in transplanted rice. *J. Potassium Res.* 8(2): 158-161.
34. Van Lierop, W. 1985. Comparison of laboratory methods for evaluating plant available soil phosphorus. In the role of soil analysis in resource management. Proc. 9th. British Columbia Soils Workshop, B. C. Ministry of Environ., Vancouver, Canada.