

نقش پتاسیم غیر تبادلی در تغذیه گیاه ذرت در سری‌های غالب خاک‌های زراعی استان گلستان

مهدی بحرینی طوحان^{1*}، اسماعیل دردی پور² و فرهاد خرمالی³

تاریخ دریافت: 89/07/01 تاریخ پذیرش 91/08/28

¹ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

² استادیار گروه خاکشناسی - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

³ دانشیار گروه خاکشناسی - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* مسئول مکاتبه: Email: mahdibahreini@yahoo.com

چکیده

سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی اهمیت زیادی در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاهان، به ویژه در خاک‌های غنی از کانی‌های حاوی پتاسیم دارد. با توجه به اینکه تا بحال اطلاعات کافی درباره پتاسیم غیر تبادلی در خاک‌های استان گلستان در دسترس نیست و از طرف دیگر گیاهان قادرند از پتاسیم بین لایه‌ای نیز تغذیه نمایند، لذا بررسی نقش پتاسیم غیر تبادلی جهت مدیریت و استفاده صحیح از منابع خاکی ضروری به نظر می‌رسد. به منظور ارزیابی پتاسیم قابل دسترس گیاهی و نقش پتاسیم غیر تبادلی در تغذیه گیاه، مطالعه‌ای گلخانه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل، با دو فاکتور خاک (12 سطح) و آبشویی (2 سطح) در چهار تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مشاهده شد که در همه خاک‌ها بین تیمار آبشویی شده و غیر آبشویی شده در ماده خشک و پتاسیم جذب شده بوسیله ذرت در سطح 0/01 درصد اختلاف معنی دار وجود داشت. در تیمار غیر آبشویی شده ماده خشک و جذب پتاسیم توسط گیاه بیشتر از تیمار آبشویی شده بود. میزان پتاسیم تبادلی رها شده از خاک‌ها، در تیمار غیر آبشویی بیشتر از تیمار آبشویی بود. ولی در مورد پتاسیم غیر تبادلی عکس این نتایج صادق بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین میزان پتاسیم غیر تبادلی قبل از کشت و پس از چهار مرحله برداشت گیاه در خاک‌ها در سطح 0/05 درصد اختلاف معنی دار بود. در هر مرحله به دلیل توسعه سیستم ریشه گیاه و ترشح اسیدهای آلی از ریشه، پتاسیم از فرم غیر تبادلی، وارد فاز تبادلی شده و در نتیجه میزان ماده خشک و قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه بیشتر شده است.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، پتاسیم غیر تبادلی، تغذیه ذرت

The Role of Non-Exchangeable Potassium on Plant Nutrition (Zea mays L.) in Predominant Soil Series of Golestan Province

M Bahreini Touhan^{1*}, E Dordipour² and F khormali³

Received : 23 September 2010 Accepted: 18 November 2012

¹Former M.Sc student, Dept. of Soil Sci., Gorgan Univ. of Agric. sci. and Natural Resources. Iran.

²Assist. Prof., Dept. of Soil Sci., Gorgan Univ. of Agric. sci. and Natural Resources. Iran.

³Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Gorgan Univ. of Agric. sci. and Natural Resources. Iran.

*Corresponding Author Email: mahdibahreini@yahoo.com

Abstract

The release rate of non-exchangeable K (NEK) plays a significant role in supplying K for plants; particularly in soils that they are rich in K bearing minerals. Because of rare information about NEK pool in Golestan soils and the role of interlayer soil K in plant growth, it is necessary to investigate the role of NEK in management and proper use of soil resources. In order to evaluate soil available K for plants and to determine the role of NEK on plant nutrition, a greenhouse study was carried out as a factorial experiment in completely randomized design including two factors of soil (12 levels) and leaching (2 levels) with four replicates. It is observed that in all soils, there was a significant difference in dry matter and potassium uptake by corn between leached and unleached treatments ($p < 0.01$). Dry matter and potassium uptake by corn were more in unleached treatment than that of other ones. The extent of released soil exchangeable K (SEK) in unleached treatment was higher than that of leached treatment. But the reverse results were observed for NEK. Mean comparisons results showed that there was significant difference between released exchangeable potassium and NEK at the pre-planting and after the fourth harvest ($p < 0.05$). Due to plant root system development and root organic acid exudates, K was entered into exchangeable phase from non-exchangeable pool in each stage. Consequently, amount of dry matter and availability of soil K were increased.

Keywords: Golestan Province, Non-exchangeable K, Plant nutrition (Zea mays L.)

باعث افزایش کمیت و کیفیت آن می‌شود. نیاز ذرت به پتاسیم با ازت برابری می‌کند (ملکوتی و همکاران 1384 ، کراوس 1994). بین اشکال مختلف پتاسیم رابطه تعادلی وجود دارد و این روابط تعادلی در تغذیه گیاه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند (اسپارکس و هانگ

مقدمه

ذرت از جمله گیاهان پتاسیم دوست با دوره رشد کوتاه و عملکرد بالا و در عین حال از محصولات راهبردی کشور است. تغذیه مناسب و کافی با پتاسیم

توسط فرآیند پخشیدگی جذب کرده است. آنها این پدیده را به رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی نسبت دادند. منگل (1985) در مطالعات خود بر روی جذب پتاسیم غیر تبادلی به این نتیجه رسید که گیاهان زیادی مخصوصاً تک لپه‌ایها توانایی استفاده از پتاسیم غیر تبادلی را دارند. همچنین سینگ و گولدینگ (1997) مشاهده نمودند که در خاک‌های آبرفتی پنجاب هندوستان 80 تا 90 درصد کل پتاسیم جذب شده توسط گیاهان ذرت و گندم از طریق پتاسیم بین‌لایه‌ای تأمین می‌شود. در این خاک‌ها به دلیل خروج پتاسیم بین‌لایه‌ای پاسخ به کود پتاسیمی مشاهده نگردید. رحم و همکاران (1984) نیز در مطالعات خود پی بردند گیاهانی که در خاک‌های شنی رشد می‌کنند به کود پتاسیمی واکنش نشان نمی‌دهند و علت این پدیده را به آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی از فلدسپار و میکا نسبت دادند. مورتلند (1958) نشان داد که با برداشت پتاسیم توسط گیاه، بیوتیت به ورمیکولیت تبدیل شد. تریبوت و همکاران (1987) به این نتیجه رسید که با کاهش پتاسیم محلول و تبادلی در نتیجه جذب گیاهان، پتاسیم غیرتبادلی از بین لایه‌های کانی‌های رسی مخصوصاً ورمیکولیت و ایلیت رها می‌شود. در خاک‌هایی که حاوی مقادیر کمی پتاسیم تبادلی است، اما دارای مقادیر زیادی میکا و ایلیت هستند، تجدید پتاسیم تبادلی یا محلول تا حد زیادی وابسته به آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی است. وقتی میزان پتاسیم تبادلی به سطح بحرانی رسید جذب بیشتر توسط گیاه، با سرعتی که پتاسیم از فرم غیرتبادلی آزاد می‌شود تنظیم می‌گردد. این سرعت ممکن است به حدی کند باشد که نیاز پتاسیم گیاه را مرتفع نکرده و در نتیجه میزان تولید را در صورت عدم مصرف کود پتاسیمی به طور محسوسی کاهش دهد و یا به مقدار کافی سریع باشد به طوری که رشد بهینه و عملکرد مطلوب بدون نیاز به مصرف پتاسیم حاصل گردد (ملکوئی و همایی 2005).

(1985) و واکنش‌های تعادلی و سینتیکی موجود بین آنها سطح پتاسیم محلول و قابل دسترس گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (مارتین و اسپارکس 1983، اسپارکس و لیبهارت 1981). اگرچه پتاسیم محلول و تبادلی به عنوان دو شکل قابل دسترس برای گیاه تلقی می‌شوند، مطالعات و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که دو شکل پتاسیم تثبیت شده و ساختاری نیز می‌توانند در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه نقش داشته باشند (ایوانگلو 1986، منگل و کربی 1980). بدین جهت آزمایشات انجام شده جهت پیش‌بینی پتاسیم قابل دسترس گیاه باید همراه با اندازه‌گیری پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی باشد، در حقیقت اندازه‌گیری پتاسیم خاک‌ها با عصاره-گیرهای قوی‌تری که علاوه بر پتاسیم تبادلی پتاسیم غیر تبادلی را نیز عصاره‌گیری می‌کنند، اطلاعات قابل اعتمادتری از توانایی تأمین پتاسیم خاک‌ها در اختیار می‌گذارد (گولدینگ 1984، مالولتا 1985).

مقدار پتاسیم جذب شده توسط گونه‌های مختلف گیاهان با توجه به سیستم ریشه‌زایی گیاه، تراکم و متابولیسم ریشه و مرحله رشد گیاه فرق می‌کند (فوس و همکاران 1991، میر و جانک 1993). گونه گیاهان و حتی ارقام مختلف یک گونه گیاهی ممکن است از لحاظ توانایی در خارج نمودن پتاسیم با یکدیگر تفاوت داشته باشد، بطوریکه تفاوت قابل توجهی در توانایی خروج پتاسیم بین علفی‌ها و لگوم‌ها مشاهده گردیده است چرا که در شرایط یکسان علفی‌ها توانایی بیشتری در خروج پتاسیم در مقایسه با لگوم‌ها دارند (سرینواسارائو و همکاران 2000). سهم پتاسیم غیر تبادلی خاک در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه به عوامل متعددی از قبیل نوع و مقدار کانی‌های پتاسیم‌دار و اندازه ذرات آنها، مقدار یا درصد اولیه پتاسیم تبادلی خاک و سرعت و مقدار جذب پتاسیم توسط گیاه و میزان آبشویی بستگی دارد (جین چانگ و همکاران 1980). نای و تینکر (1977) در مطالعات خود متوجه شدند که گیاه کشت داده شده، پتاسیم بیشتری نسبت به پتاسیم تبادلی تأمین شونده

(2005) در مطالعه خود در برخی از خاک‌های آهکی غرب ایران ذکر کرد که برآورد میزان کود مصرفی باید بر اساس ذخیره پتاسیم غیر تبادلی باشد.

علاوه بر مقدار پتاسیم غیر تبادلی که در اکثر خاک‌های مورد مطالعه فراوان است، عامل مهم دیگر سرعت رهاسازی و در دسترس گیاه قرار گرفتن این جزء از پتاسیم در طول دوره رشد گیاه می‌باشد. تبدیل پتاسیم از شکلی به شکل دیگر جزئی از دینامیک پتاسیم را در خاک تشکیل می‌دهد و در طول زمان ممکن است پتاسیم‌های ساختمانی و تثبیت شده به شکل محلول یا تبادلی و یا برعکس، تبدیل شوند (توفیقی 1374).

لذا تحقیق حاضر با اهداف: 1- ارزیابی پتاسیم قابل دسترس گیاهی 2- بررسی سرعت و میزان رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی و ایجاد تعادل با فرم محلول و تبادلی 3- نقش پتاسیم غیر تبادلی در تغذیه گیاه، انجام شد. در این تحقیق از ذرت که از جمله گیاهان پتاسیم دوست با دوره رشد کوتاه و عملکرد بالا و در عین حال از محصولات راهبردی کشور است، استفاده شد.

مواد و روش‌ها

12 نمونه از بین 18 نمونه خاک نمونه‌برداری شده از مناطق زراعی غالب جنوب استان گلستان، از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری با توجه به میزان پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی و درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی برای انجام آزمایشات انتخاب شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (1962) اندازه‌گیری شد. pH و هدایت الکتریکی در عصاره 1:2 (پیچ و کنی 1992)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم با پ.هاش (8/2) (چاپمن 1965)، مقدار پتاسیم تبادلی به روش استات آمونیوم یک نرمال، درصد رطوبت اشباع و کربنات کلسیم به روش راول (1994)، اندازه‌گیری شدند. درصد ماده آلی خاک نیز به روش اصلاح شده والکی و بلاک (1934) تعیین گردید.

مشاهدات نشان داده است که پتاسیم تبادلی نمی‌تواند به عنوان تنها معیار برای توصیه‌های کودی در مورد گیاهان زارعی مطرح باشد. به ویژه در مورد گیاهان تک لپه‌ای که به دلیل مورفولوژی ریشه، قادرند از منابع پتاسیم غیر تبادلی استفاده کنند (هانس و همکاران 1976). تحقیقات در کانادا نیز نشان داده است که ذخایر پتاسیم در کانی‌های اولیه و ثانویه قسمت عمده‌ای از نیاز گیاهان چند ساله و یکساله به پتاسیم را رفع می‌کند بنابراین مطالعه درباره رها سازی این عنصر در درک تغذیه گیاهان مهم و موثر است (سیمارد و همکاران 1992).

روشی که مستقیماً میزان قابل جذب بودن پتاسیم غیر تبادلی جهت استفاده گیاه را پیش‌بینی کند وجود ندارد، زیرا بر هم کنش پیچیده‌ای بین خاک و ریشه گیاه در منطقه ریزو سفر وجود دارد (هیسنگر و دوفی 1992). جذب پتاسیم بوسیله ریشه گیاهان که حاصل آن تغییر کانی‌های خاک است یا از طریق ترشح احتمالی یون هیدرونیوم توسط ریشه است و یا از طریق جذب پتاسیم توسط ریشه‌ها که ممکن است غلظت پتاسیم در محلول حد فاصل ریشه را کاهش دهد، این امر باعث خروج پتاسیم غیر تبادلی و در طولانی مدت موجب تغییر وضعیت کانی‌ها می‌گردد (تریپوت و همکاران 1987). رسیدن غلظت پتاسیم محلول و تبادلی به سطح خاصی موجب رهاسازی پتاسیم از کانی‌ها می‌شود (رحمت اله و منگل 2000).

از نظر تغذیه گیاهی، جداسازی پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی که در آزمایشگاه صورت می‌گیرد قابل قبول نمی‌باشد، زیرا این نتایج بدون در نظر گرفتن گونه گیاهی، شدت کشت، مدیریت گذشته، شرایط آب و هوایی، توالی کاشت و سطح بازده می‌باشد. از آنجایی که بر همکنش پیچیده‌ای بین ریشه گیاه، خاک و شرایط محیطی در منطقه ریزوسفر وجود دارد، نمی‌توان میزان پتاسیم غیر تبادلی قابل جذب را بطور دقیق پیش‌بینی نمود (مالولتا 1985، هیسنگر و دوفی 1992). جلالی

(کنادسن و همکاران 1982) به صورت پیوسته اندازه-گیری شد.

آماده‌سازی گلدان‌ها و کشت گیاه

در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی با گنجایش یک کیلوگرم استفاده شد. ابتدا در کف گلدان یک کاغذ صافی واتمن قرار داده شد سپس تا ارتفاع سه سانتی‌متری پرلیت شسته شده با آب مقطر ریخته شد. در سطح پرلیت مجدداً کاغذ صافی قرار داده شد و روی آن مقدار 20 گرم از خاک‌ها ریخته شد و مابقی گلدان با مخلوط شن+ پرلیت (شسته شده با آب مقطر) پر گردید. گیاه مورد استفاده ذرت (رقم سینگل کراس) بود. بذور قبل از کشت به خوبی با قارچ کش بنومیل ضدعفونی شده و سپس تعداد پنج بذر در عمق پنج سانتی‌متری در هر گلدان کشت داده شد. پس از سبز شدن هر هفته یکبار به طور تصادفی گلدان‌ها جهت یکسان شدن شرایط جابجا شدند. جهت آبیاری از آب مقطر و جهت تأمین سایر مواد غذایی مورد نیاز از محلول منهای پتاسیم هوگلند استفاده شد. نمونه برداری از اندام هوایی گیاه طی چهار برداشت و با فاصله زمانی شش هفته یکبار انجام یافت و جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در آون با دمای 60 درجه سانتیگراد به مدت 72 ساعت خشک شد. سپس عصاره‌گیری از گیاه به روش هضم خشک انجام و غلظت پتاسیم بوسیله فلیم فتومتر تعیین شد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و نتایج کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه در جداول 1 و 2 ارائه شده است. خاک‌های مورد مطالعه دارای مقادیر مختلفی از شن، سیلت و رس می باشند. دامنه تغییرات درصد رس خاک‌ها از 24 تا 45 درصد، سیلت خاک‌ها بین 40 تا 65 درصد و شن خاک‌های مورد بررسی بین 6 تا 28 درصد می‌باشد. حدود تغییرات pH خاک‌ها بین

مرحله جداسازی بخش رس به روش کیتریک وهوپ (1963) انجام گرفت. بر این اساس نمونه‌های خاک بعد از کربنات‌زدایی، اکسایش مواد آلی و حذف اکسید آهن در یک سیلندر یک لیتری جهت جداسازی بخش رس (کمتر از 2 میکرومتر) به روش ترسیب قرار گرفتند. سپس از هر نمونه رس بدست آمده چهار تیمار شامل منیزیم، منیزیم و گلیسرول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در حرارت 550 درجه سلسیوس تهیه گردیده و با دستگاه پرتو ایکس مدل D8-advance (در زوایای 2θ بین 2 تا 30 درجه، ولتاژ 40 کیلو ولت و جریان 30 میلی آمپر) پویش گردیدند.

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق مطالعه ای گلخانه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل، با دو فاکتور خاک (12 سطح) و آبشویی (که شامل 2 سطح آبشویی شده و غیر آبشویی می‌باشد) در چهار تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع آوری شده از نرم افزار SAS استفاده شد (سلطانی 1385، سلطانی 1386). همچنین رسم نمودارها با برنامه Excel انجام شد.

آماده سازی خاک‌ها (اعمال تیمار آبشویی خاک‌ها)

جهت بررسی قابلیت استفاده پتاسیم غیر تبادلی قبل از کشت گیاه، خاک‌های مورد مطالعه جهت خارج کردن پتاسیم محلول و تبادلی توسط محلول یک دهم مولار کلرید کلسیم (سه قسمت) + محلول یک دهم مولار کلرید منیزیم (یک قسمت) اشباع شدند. این نسبت بر اساس میانگین نسبت کلسیم/منیزیم تبادلی خاک‌ها انتخاب شد. اشباع سازی بدین صورت انجام شد که یک گرم خاک را با 25 میلی لیتر محلول فوق به مدت یک ساعت شیکر کرده و سپس عصاره رویی پس از سانتریفوژ دور ریخته شد و جهت خروج یون کلر اضافی خاک‌ها با آب مقطر آبشویی گردید. سپس خاک‌ها را هوا خشک کرده و میزان پتاسیم محلول، تبادلی و غیر تبادلی به روش اسید نیتریک جوشان یک نرمال

ترتیب مربوط به سری گالیکش و صوفیان می باشد که می توان به نوع رس و میزان ماده آلی آنها نسبت داد، به غیر از سری حاجی کلاته که در رده انتی سولز قرار دارد، بقیه سری ها در رده اینسپتی سولز و مالی سولز قرار دارند که تکامل یافته تر هستند.

6/9 تا 7/4 می باشد، خاک های مورد مطالعه از لحاظ شوری مشکلی نداشتند و در محدوده مناسبی قرار دارند. دامنه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ها از 23/5 تا 30/4 سانتی مول بر کیلوگرم خاک می باشد. بیشترین و کمترین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ها به

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منتخب خاک های مورد مطالعه

شماره خاک	نام سری	رده بندی	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol(+)/kg soil)	ماده آلی (%)	کربنات کلسیم معادل (%)
1	دهنه	Typic Calcixerolls	30/6	63/3	6/1	7/2	1/1	25/6	1	4
2	صوفیان	Typic Calcixerepts	26/5	61/2	12/2	6/9	1/1	23/5	2/7	1/5
3	مینودشت	Typic Calcixerolls	42/9	46/9	10/2	7/2	1/1	27/3	2/2	.1
4	گالیکش	Typic Haploxerolls	44/9	44/9	10/2	7	1/1	30/4	2/5	4
5	رامیان	Typic Haploxerolls	36/7	44/9	18/4	7/1	.8	27	1/8	4
6	دلند	Typic Calcixerepts	42/9	49/0	8/2	7/2	1/3	25/3	.3	4/5
7	حاجی کلاته	Typic Xerorthents	24/5	46/9	28/6	7/4	3/7	26/5	1/7	6/5
8	بهلکه	Typic Haploxerepts	28/6	59/2	12/2	7/4	1/2	26/5	.3	4
9	علی آباد	Typic Haploxerepts	40/8	42/9	16/3	7/2	.7	26	2/9	4/5
10	کرد کوی	Typic Endoaquepts	30/6	63/3	6/1	7/2	1	26/7	3/7	8/5
11	هاشم آباد	Typic Endoaquepts	26/5	65/3	8/2	7/4	1/7	24/5	2/5	1
12	رحمت آباد	Typic Calcixerolls	30/6	40/8	28/6	7/2	1	27	1/2	2/9

جدول 2- نتایج آزمایشات کانی شناسی

شماره خاک	نام سری	کانی شناسی
1	دهنه	میکا < کلرایت < اسمکتیت < کائولینیت
2	صوفیان	میکا < کلرایت < اسمکتیت < کائولینیت
3	مینودشت	میکا < اسمکتیت < کلرایت < کائولینیت
4	گالیکش	میکا < اسمکتیت < کلرایت < کائولینیت
5	رامیان	میکا < اسمکتیت < ورمیکولیت < کلرایت < کائولینیت
6	دلند	اسمکتیت < ورمیکولیت < میکا-ورمیکولیت < میکا < کائولینیت
7	حاجی کلاته	میکا - اسمکتیت < کلرایت < اسمکتیت < کائولینیت
8	بهلکه	میکا < کلرایت < اسمکتیت < کائولینیت
9	علی آباد	میکا < اسمکتیت < ورمیکولیت < کلرایت < کائولینیت
10	کرد کوی	اسمکتیت < کلرایت < میکا < کائولینیت
11	هاشم آباد	اسمکتیت < میکا < کلرایت < کائولینیت
12	رحمت آباد	میکا < میکا - اسمکتیت < اسمکتیت < کلرایت < کائولینیت

نتایج آبشویی خاک‌ها

دامنه تغییرات پتاسیم تبادلی قبل از آبشویی 147/6 تا 807/6 میلی گرم در کیلوگرم خاک بود، که این دامنه بعد از آبشویی بین 68/9 تا 200/1 شده است. میزان پتاسیم تبادلی در خاک‌ها پس از آبشویی با محلول یک دهم مولار کلرید کلسیم - منیزیم کاهش چشمگیری داشت. سورپاننی و همکاران (2002) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که میزان پتاسیم تبادلی بعد از آبشویی با محلول مخلوط کاهش یافت. جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم به جای پتاسیم‌های تبادلی می‌تواند دلیل کاهش میزان پتاسیم تبادلی پس از آبشویی در خاک‌ها باشد. اگر فرض کنیم که تمام پتاسیم تبادلی اولیه توسط یون‌های کلسیم و منیزیم در طی آبشویی جانشین شده باشد، می‌توان گفت که در عصاره‌گیری مجدد با استات آمونیوم (پس از آبشویی)، مقداری از پتاسیم غیر تبادلی به دلیل غلظت کم پتاسیم تبادلی خارج شده است و وارد فاز تبادلی شده است. رها شدن پتاسیم غیر تبادلی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار پتاسیم تبادلی و محلول از طریق جذب گیاهی، آبشویی و یا افزایش فعالیت میکروبی و محبوس شدن کاهش یابد (اسپارکس 1985). دلیل دیگر بر وجود پتاسیم تبادلی باقی مانده پس از آبشویی اینست که احتمالاً یون آمونیوم توانسته است جانشین پتاسیم‌های موجود در لبه کانی‌ها شود که یون‌های کلسیم و منیزیم توانایی جانشینی آنها را نداشته اند (مارتین و اسپارکس 1983، ریچارد و همکاران 1988، ریچارد و باتس 1989، مک‌لین و واتسون 1985). همچنین ممکن است هوا خشک کردن خاک‌ها پس از آبشویی باعث رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی شده باشد (ضرابی 1381 به نقل از اسلام و بولتون 1970). این موضوع در نتایج میزان پتاسیم غیر تبادلی پس از آبشویی مشخص بود. پتاسیم تبادلی خاک هرگز در طول یک و یا حتی چند فصل زراعی به طور کامل توسط گیاه از خاک خارج نمی‌گردد هر چند که در

خاک‌های مختلف ممکن است این میزان تخلیه متفاوت باشد. به طور کلی دو علت عمده برای عدم امکان تخلیه کامل خاک از پتاسیم تبادلی توسط برداشت گیاهی می‌توان ذکر کرد، جایگزینی پتاسیم تبادلی به وسیله آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای و دیگر اینکه پتاسیم تبادلی از تمام نقاط خاک به طور یکسان به وسیله ریشه جذب نمی‌شود و تحرک پتاسیم به وسیله پخشیدگی و جریان توده‌ای به اندازه‌ای نیست که با کمبود و حتی تخلیه شدید پتاسیم تبادلی اطراف ریشه فعال گیاهان، این کمبود به تمام نقاط خاک تسری یابد (اسپارکس 1985). پتاسیم محلول خاک‌ها هم تغییرات اندکی داشت. غلظت پتاسیم محلول خاک در طول فصل رشد گیاه در نوسان بوده و اندازه‌گیری آن نیز مشکل است با این حال در خاک‌هایی که قدرت بافوری خوبی دارند توانایی تأمین پتاسیم چندان تحت تأثیر جذب گیاه قرار نمی‌گیرد به طوری که در این خاک‌ها پتاسیم محلول در خاک در طول دوره رشد گیاه و حتی از سالی به سال دیگر تقریباً ثابت می‌ماند (اوستان 1373). در خاک‌های رسی غلظت پتاسیم محلول با افزایش مقدار پتاسیم تبادلی به کندی افزایش می‌یابد در حالیکه در خاک‌های شنی افزایش مزبور با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (اسپارکس 1985).

نتایج کشت گلخانه‌ای

شاخص‌های گیاهی

طی چهار برداشت، عملکرد و جذب پتاسیم توسط ذرت تحت شرایطی که دو تیمار آبشویی و بدون آبشویی داشتیم، جهت بررسی نقش پتاسیم غیر تبادلی در تغذیه ذرت اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر خاک، تیمار آبشویی و اثر متقابل آنها بر ماده خشک و جذب پتاسیم توسط ذرت در هر یک از چهار برداشت در سطح 0/01 درصد معنی دار بود. با توجه به جدول (3)، مشاهده می‌شود که در همه خاک‌ها بین تیمار آبشویی و غیر آبشویی در میزان

ماده خشک و پتاسیم جذب شده در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بطوریکه در تیمار غیرآبشویی عملکرد و جذب پتاسیم توسط گیاه بیشتر از تیمار آبشویی بود. سوراپاننی و همکاران (2002) نیز در مطالعات خود به نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین در بین خاک‌ها بطور کلی در هر دو تیمار، سری علی-آباد بیشترین و سری رحمت‌آباد کمترین جذب پتاسیم را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول 3- مقایسه میانگین‌های کل ماده خشک و پتاسیم جذب شده توسط گیاه پس از چهار برداشت

جذب پتاسیم (mg/kg)			ماده خشک (g/pot)			شماره خاک
میانگین	غیر آبشویی	آبشویی	میانگین	غیر آبشویی	آبشویی	
266/1B	342/0b	190/1j	28/5F	31/7g	25/4m	1
217/0D	254/7f	179/4k	22/1H	23/3o	20/9q	2
209/2E	259/0e	159/3m	32/5D	35/2e	29/7j	3
202/1F	237/7h	166/5l	32/8C	35/5d	30/1i	4
203/8F	248/7g	158/9m	34/2B	39/0b	29/4k	5
168/4G	223/2i	113/6q	28/5F	32/0f	25/0n	6
137/7I	167/2l	108/2r	21/7I	22/9p	20/5r	7
224/1C	329/1c	119/1p	18/3J	16/7t	19/8s	8
323/8A	369/7a	277/9d	36/7A	42/5a	30/8h	9
103/7J	100/2s	107/2r	28/5F	32/0f	25/0n	10
146/4H	153/1n	139/7o	31/9E	37/0c	29/6l	11
86/7K	87/0t	86/3t	27/9G	30/9h	25/0n	12
	231/0A	150/5B		31/6A	25/7B	متوسط

حروف لاتین کوچک مقایسه میانگین‌ها به روش (LSD 5%) اثرات متقابل بین خاکها و تیمارها و حروف لاتین بزرگ ستون میانگین مقایسه اثرات

ساده بین خاکها و ردیف متوسط بین دو تیمار در خاکها می باشد.

سیستم ریشه گیاه و ترشح اسیدهای آلی از ریشه، پتاسیم از فرم غیرتبادلی، وارد فاز تبادلی شده و قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه بیشتر شده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در برداشت سوم در تیمار آبشویی بر عکس تیمار بدون آبشویی جذب پتاسیم توسط ذرت بیشتر از مراحل قبل بوده است، بطوریکه در این مرحله در تیمار آبشویی افزایش ماده خشک داشتیم. در تیمار آبشویی در این مرحله شاید به دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای و از طرفی به دلیل غلظت کم پتاسیم تبادلی و در معرض هوادیدگی قرار گرفتن پتاسیم‌های بین لایه‌ای و ایجاد یک شیب غلظت منفی، پتاسیم بیشتری آزاد شده و در اختیار گیاه قرار گرفته

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که جذب پتاسیم توسط گیاه در هر خاک در تیمار بدون آبشویی نسبت به آبشویی بیشتر است که در نتیجه آن میزان ماده خشک هم بیشتر بوده است. در تیمار آبشویی به دلیل پایین بودن سطح پتاسیم تبادلی و خروج پتاسیم‌های غیر تبادلی لبه‌های کانی در اثر آبشویی، قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه کم شده است. در حالیکه در تیمار بدون آبشویی به دلیل سطح بالای پتاسیم تبادلی قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه بالا بوده است. ولی در هر مرحله نسبت به مرحله قبل، هم میزان ماده خشک و هم پتاسیم جذب شده توسط گیاه در هر دو تیمار بیشتر بود. که در هر مرحله به دلیل توسعه

است و پتاسیم غیر تبادلی در این خاک‌ها سهم کوچکی در جذب پتاسیم توسط گیاه به عهده دارد (منگل و اوهلن بکر 1993).

تغییرات شکل‌های پتاسیم بعد از برداشت ذرت پتاسیم محلول

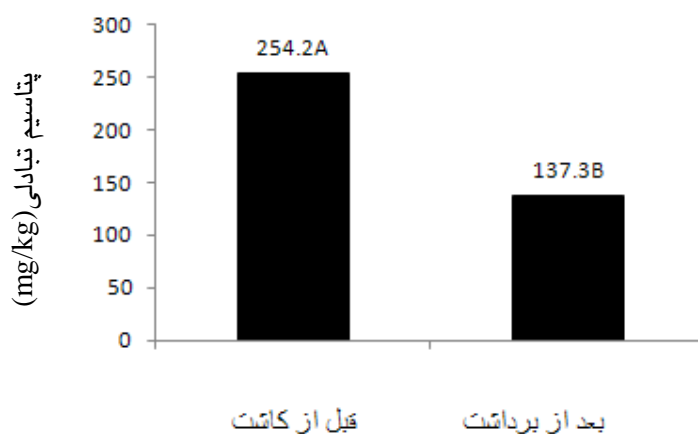
میزان پتاسیم محلول خاک‌های آبشویی شده و بدون آبشویی پس از برداشت تغییرات چندانی را نشان نداد. که با برداشت پتاسیم از فاز محلول توسط گیاه، بلافاصله به دلیل ایجاد شیب منفی غلظت پتاسیم، از فرم تبادلی و غیر تبادلی پتاسیم رها شده و کمبود آن برطرف شده است. در اغلب خاک‌ها پتاسیم تبادلی در مدت یک ساعت با محلول خاک به تعادل می‌رسد و در برخی این نوع تعادل تقریباً آنی است (مالاولتا 1985).

پتاسیم تبادلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر خاک، تیمار آبشویی، زمان، اثر متقابل خاک و تیمار آبشویی، اثر متقابل خاک و زمان، اثر متقابل تیمار آبشویی و زمان و اثر متقابل خاک، تیمار آبشویی و زمان در سطح 0/05 معنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل 1) نشان داد که بین میزان پتاسیم تبادلی قبل از کاشت و پس از چهار مرحله برداشت در نتیجه جذب گیاه در خاک‌ها در سطح پنج درصد احتمال اختلاف معنی دار وجود داشت. همچنین در دو تیمار آبشویی و غیر آبشویی نیز در سطح 0/05 درصد اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول 5). همانطور که ذکر شد میزان پتاسیم تبادلی خاک‌ها پس از آبشویی کاهش پیدا کرد. می‌توان گفت که با خروج پتاسیم تبادلی در نتیجه جذب گیاه، مقداری از پتاسیم غیر تبادلی که در لبه کانی‌ها قرار دارد به دلیل شیب ایجاد شده وارد فاز تبادلی شده است. بنابراین پس از کشت در مراحل اولیه در خاک-های آبشویی شده قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاه کمتر می‌شود. در حالیکه در خاک‌های غیر آبشویی به

است، ولی در تیمار غیرآبشویی به دلیل سطح مناسب پتاسیم تبادلی، رهاسازی پتاسیم از فاز غیر تبادلی به آرامی و به مرور زمان صورت می‌گیرد. به طور کلی زمانی که سطح پتاسیم تبادلی بالا باشد گیاه کمتر با کمبود پتاسیم مواجه می‌شود. با کاهش پتاسیم تبادلی به یک سطح بحرانی احتمالاً پتاسیم از فاز غیر تبادلی رها می‌شود و این کمبود را جبران می‌کند. با توجه به اینکه روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی به آرامی و با گذشت زمان می‌باشد، کاهش سریع پتاسیم تبادلی به هر دلیلی از جمله آبشویی و عدم مصرف بهینه کودهای پتاسیمی، می‌تواند برای گیاه ایجاد مشکل کند و در صورت عدم کوددهی، گیاه با کاهش عملکرد مواجه می‌شود. بنابراین در صورت پایین بودن سطح پتاسیم تبادلی، دادن کود به نفع گیاه و باعث جلوگیری از تثبیت و غیرقابل استفاده شدن پتاسیم خاک می‌شود (ملکوئی و همکاران 1384). با رشد گیاه میزان پتاسیم تبادلی خاک کاهش می‌یابد و با رسیدن میزان پتاسیم تبادلی خاک به سطح خاصی، که از ویژگی‌های هر خاک است، پتاسیم تبادلی باقیمانده با انرژی بیشتری نگهداری می‌شود. بدین جهت گیاه نمی‌تواند پتاسیم تبادلی خاک را به کمتر از مقداری که از ویژگی‌های آن خاک است برساند. از طرفی، با کاهش غلظت پتاسیم محلول و تبادلی، رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (مکلین و واتسون 1985). نتایج نشان داد که خاک علی‌آباد بیشترین عملکرد و برداشت پتاسیم را توسط گیاه در هر مرحله داشته است. در این رابطه می‌توان به سطح بالای پتاسیم آن و کانی غالب ایلیت تری اکتاهدرال در این سری خاک اشاره کرد. در حالیکه سری رحمت‌آباد کمترین جذب پتاسیم توسط گیاه را داشت که می‌توان به درصد رس کم و نوع کانی غالب آن که میکای دی اکتاهدرال و کانی مختلط میکا-اسمکتیت بود (بحرینی طوحان و همکاران 1388)، اشاره کرد. در خاک‌های حاوی کانی غالب اسمکتیت، منبع اصلی تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، پتاسیم تبادلی

دلیل اینکه از سطح بالاتری از پتاسیم تبادلی برخوردار می‌باشد قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاه بیشتر می‌باشد.



شکل 1- مقایسه میانگین (به روش LSD 5%) پتاسیم تبادلی قبل از کشت و بعد از برداشت

چهار مرحله برداشت در نتیجه جذب گیاه در خاک‌ها در سطح 0/05 اختلاف معنی دار بود. همچنین در دو تیمار آبشویی و غیر آبشویی نیز در سطح 0/05 اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول 4). نتایج نشان داد که سری هاشم آباد بیشترین میزان پتاسیم غیر تبادلی را دارد در حالیکه سری رحمت آباد کمترین میزان پتاسیم غیر تبادلی را دارد. همچنین در تیمار آبشویی در مقایسه با تیمار غیر آبشویی میزان پتاسیم غیر تبادلی کمتر است. می‌توان گفت که در تیمار آبشویی تغییرات بیشتری در میزان پتاسیم غیر تبادلی صورت گرفته است که شاید ناشی از سطح پایین پتاسیم تبادلی در این تیمار باشد. با ایجاد یک شیب منفی از غلظت در تیمار آبشویی، رهاسازی پتاسیم از فاز غیر تبادلی نسبت به تیمار غیر آبشویی بیشتر بوده است.

در وضعیت تیمار آبشویی، تعادل بین شکل تبادلی و غیر تبادلی بهم خورده است، به گونه‌ای که در سری خاک‌های آبشویی شده کمبود پتاسیم مشاهده شد و عملکرد گیاه کاهش یافت. استنباط می‌شود که در ابتدا رهاسازی پتاسیم از فاز غیر تبادلی به کندی صورت گرفته است و انرژی نگهداری پتاسیم غیر تبادلی زیاد بوده است. در حالیکه در کشت‌های اولیه در سری خاک‌های غیر آبشویی به دلیل اینکه میزان پتاسیم تبادلی در حد مطلوب تری نسبت به خاک‌های آبشویی شده قرار داشت، عملکرد بهتر بود.

پتاسیم غیر تبادلی

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل 2) نشان داد که بین میزان پتاسیم غیر تبادلی قبل از کاشت و پس از

جدول 4- مقایسه میانگین‌های پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی بعد از برداشت در دو تیمار آبشویی

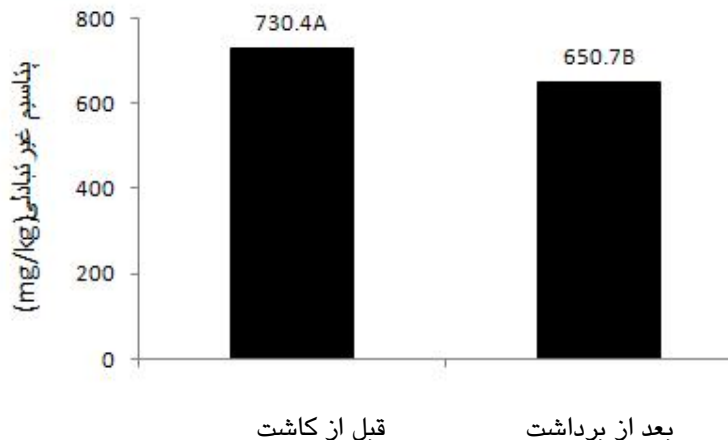
پتاسیم غیر تبادلی (mg/kg)			پتاسیم تبادلی (mg/kg)			شماره خاک
میانگین	غیر آبشویی	آبشویی	میانگین	غیر آبشویی	آبشویی	
777/2C	789/6d	764/7f	248/5B	406/2b	90/9m	1
577/2G	593/3k	561/0n	200/3D	318/7d	82/0n	2
635/7E	650/4h	621/0i	173/3E	280/6e	66/0p	3
573/6G	594/6k	552/5o	172/7E	269/9f	75/5no	4
557/2I	583/7l	530/7p	132/0G	195/4h	68/7op	5
496/3J	525/4p	467/3q	132/3G	193/1h	71/5op	6
564/6H	604/9j	524/3p	126/1H	179/4i	72/7op	7
1018/7B	1018/9c	1018/5c	225/5C	345/9c	105/1l	8
730/8D	773/0e	688/5g	154/3F	237/0g	71/6op	9
594/8F	620/3i	569/4m	157/5F	243/3g	71/7op	10
1306/8A	1341/2a	1272/4b	445/2A	741/3a	149/1j	11
385/8K	404/2r	367/3s	80/8I	116/4k	45/2q	12
	708/3A	661/5B		293/9A	80/8B	متوسط

حروف لاتین کوچک مقایسه میانگین به روش (LSD 5%) اثرات متقابل بین خاکها و تیمارها و حروف بزرگ ستون میانگین مقایسه اثرات ساده بین خاکها و ردیف متوسط بین دو تیمار در خاکها

را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی خاک‌های زیر کشت در سطح یک درصد کاهش معنی‌داری در مقایسه با خاک‌های کشت نشده داشته‌اند و نتیجه گرفتند که تغییرات زیاد پتاسیم تبادلی و همزمان با آن، افت قابل ملاحظه سطح پتاسیم غیرتبادلی بیانگر نقش شکل اخیر پتاسیم در برآورد نیاز گیاه نیشکر به این عنصر در طی کشت و کار طولانی مدت است. محبی (1380) در مطالعات خود گزارش نمود که از مجموع 20 مزرعه مورد بررسی در 16 مزرعه توازن پتاسیم منفی بوده است. به عبارت دیگر پتاسیم قابل جذب خاک در پایان فصل رشد نسبت به ابتدای فصل رشد کاهش یافته بود.

اوستان و توفیقی (1375) در یک تحقیق تأثیر ده‌ها سال کشت برنج بر روی اشکال مختلف پتاسیم خاک را در شمال کشور مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم و پتاسیم غیرتبادلی خاک‌های شالیزاری کاهش معنی‌داری نسبت به خاک‌های غیرشالیزاری مشابه داشتند و آنها نتیجه گرفتند که اگر روند کاهش مقدار پتاسیم قابل دسترس گیاه به همان صورت ادامه یابد به احتمال زیاد در سال‌های آینده گیاه برنج در تأمین پتاسیم مورد نیاز خود دچار مشکل می‌شود.

بارانی مطلق و همکاران (1382) در یک تحقیق تخلیه پتاسیم در خاک‌های تحت کشت نیشکر خوزستان



شکل 2- مقایسه میانگین (به روش LSD 5%) پتاسیم غیر تبادلی قبل از کشت و بعد از برداشت

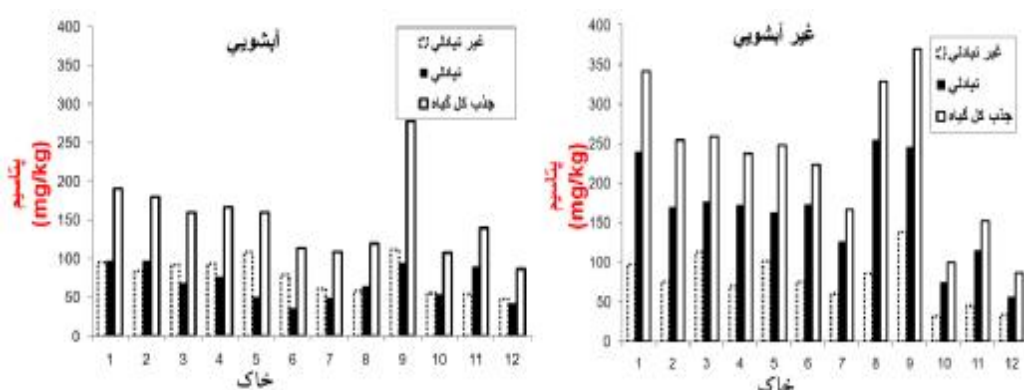
رحمت آباد که کانی غالب آنها اسمکتیت بود، کمترین رهاسازی را داشتند (بحرینی طوحان و همکاران 1388). در خاکهای حاوی کانی غالب اسمکتیت منبع اصلی تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، پتاسیم تبادلی است و پتاسیم غیر تبادلی در این خاکها سهم کوچکی در جذب پتاسیم توسط گیاه به عهده دارد (منگل و اوهلن بکر 1993). همانطور که در شکل‌های 3 و 4 مشاهده می‌شود سهم پتاسیم تبادلی در تیمار غیر آبشویی نسبت به آبشویی بیشتر است که می‌توان به بالا بودن سطح اولیه آن نسبت داد. نتایج نشان داد که پتاسیم تبادلی رهاسده در تیمار غیر آبشویی همبستگی بیشتری با جذب گیاه نسبت به تیمار آبشویی داشت (شکل 4). مقایسه شکل‌های 4 و 5 نشان داد که در تیمار غیر-آبشویی پتاسیم غیرتبادلی نسبت به پتاسیم تبادلی نقش کمتری دارد بطوری‌که همبستگی کمتری با جذب کل گیاه نشان داد. همبستگی بین پتاسیم غیرتبادلی رهاسده با جذب کل گیاه در تیمار غیر آبشویی بیشتر از آبشویی بود (شکل 5). به نظر می‌رسد که پتاسیم غیر تبادلی (جدول 5) در تیمار آبشویی سهم بیشتری داشته است. پتاسیم غیرتبادلی برداشت شده توسط گیاه بر اساس روابط زیر (سورپاننی و همکاران 2002) محاسبه شد (جدول 6):

سهم پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی رها شده از خاکها در تغذیه زرت

نتایج مقایسه میانگین (جدول 5) بیانگر اختلاف معنی دار (5 درصد) بین میزان پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی رها شده قبل از کاشت و پس از چهار مرحله برداشت از خاکها در بین تیمارهای آبشویی و غیر آبشویی می‌باشد. مشاهده می‌شود که میزان پتاسیم تبادلی رها شده از خاکها، در تیمار غیر آبشویی بیشتر از تیمار آبشویی می‌باشد. با توجه به اینکه میزان پتاسیم تبادلی پس از آبشویی کاهش یافت، بنابراین می‌توان گفت که در تیمار غیر آبشویی به دلیل سطح بالاتر پتاسیم نسبت به خاکهای آبشویی شده، رهاسازی بیشتر بوده است، که این مسئله با نتایج سورپاننی و همکاران (2002) مطابقت دارد. همچنین می‌توان گفت که در هر دو تیمار بین خاکها اختلافات کم می‌باشد و خاکهایی که از نظر کانی شناسی شباهت دارند با هم اختلاف کمی دارند. در مورد پتاسیم غیر تبادلی عکس این نتایج صادق است. بطوریکه میزان پتاسیم غیرتبادلی رها شده در تیمار آبشویی بیشتر است. نتایج نشان داد که بیشترین پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی رهاسده از خاکها مربوط به سری علی آباد است که این نتایج با نتایج سینتیکی که در مقاله دیگری ارائه شده است مطابقت دارد. همچنین سری‌های کردکوی، هاشم آباد و

وجود دارد. بطوری‌که این رابطه در تیمار آبشویی قویتر می‌باشد که شاید دل بر رهاسازی پتاسیم غیر-تبادلی بیشتر در این تیمار باشد. شکل 7 منحنی یک به یک بین پتاسیم برداشت شده توسط گیاه و مجموع پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی ره‌اشده از خاک‌ها را نشان می‌دهد. در تمام خاک‌ها به غیر از سری صوفیان و دهنه که به ترتیب در تیمار غیرآبشویی و آبشویی می‌باشند، میزان پتاسیم ره‌اشده بیشتر مساوی برداشت گیاه می‌باشد.

پتاسیم غیرتبادلی برداشت شده توسط گیاه = کل جذب گیاه - پتاسیم تبادلی ره‌اشده [1]
پتاسیم تبادلی ره‌اشده = پتاسیم تبادلی قبل از کاشت - پتاسیم تبادلی بعد از برداشت [2]
برای نشان دادن اهمیت پتاسیم غیرتبادلی از منحنی یک به یک استفاده شد. همانطور که در شکل 6 مشاهده می‌شود رابطه بسیار نزدیکی بین پتاسیم غیر-تبادلی ره‌اشده از خاک با سهم پتاسیم غیرتبادلی محاسبه شده با روش سوراپاننی و همکاران (2002)

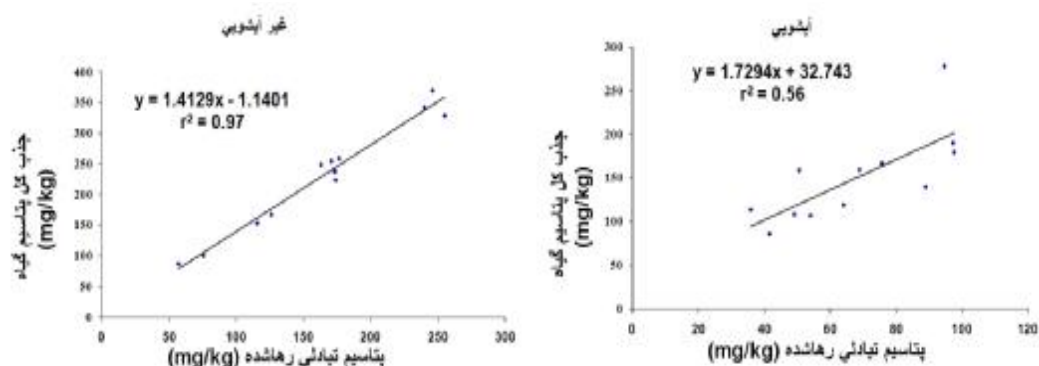


شکل 3 - سهم پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی و کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه

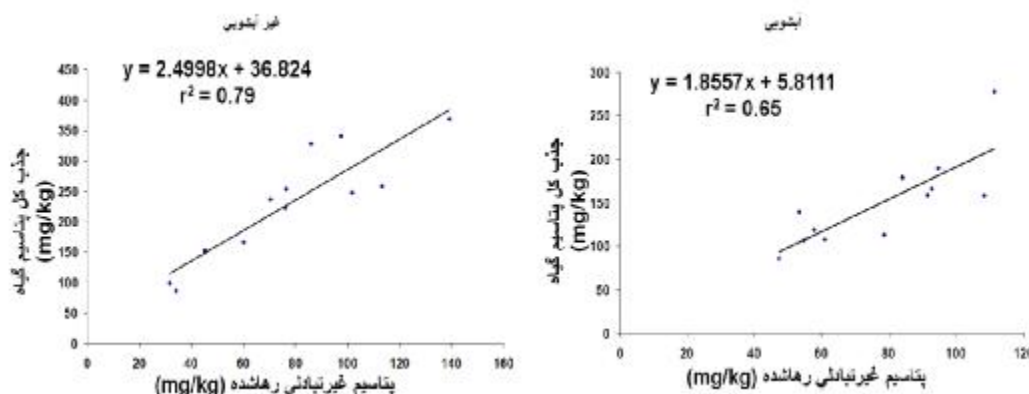
جدول 5 - مقایسه میانگین میزان پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی ره‌اشده از خاک‌ها پس از برداشت در تیمارها

پتاسیم غیر تبادلی ره‌اشده (mg/kg)			پتاسیم تبادلی ره‌اشده (mg/kg)			شماره خاک
میانگین	غیر آبشویی	آبشویی	میانگین	غیر آبشویی	آبشویی	
102/1B	110/3c	83/9cdef	166/5A	235/6b	97/4ef	1
79/5C	76/2gfh	82/9fgh	142/8B	187/9c	97/7ef	2
96/1B	101/7dce	90/4gdfe	121/6C	173/8c	69/4jhi	3
82/3C	73/9gihj	90/7gdfe	122/1C	168/9c	75/3ghi	4
100/8B	93/2gdfce	108/5dc	109/9CD	169/7c	50/2jk	5
74/3C	70/2ikhj	78/3gfh	104/8D	173/5c	36/1k	6
58/2D	56/1mklj	60/4iklj	87/3E	125/0d	49/5jk	7
72/9C	90/3gdfe	55/5mklj	160/4A	257/1a	63/7ij	8
160/9A	139/4b	182/5a	170/3A	245/2ab	95/3fg	9
42/0E	29/2n	54/8mklj	67/2F	81/2fghi	53/3jk	10
47/1DE	40/8mn	53/5mkl	102/8D	116/2ed	89/4fgh	11
40/1E	33/8n	46/4mln	48/1G	54/6jk	41/6k	12
	76/2B	83/1A		165/7A	68/2B	متوسط

حروف لاتین کوچک مقایسه میانگین به روش (LSD 5%) اثرات متقابل بین خاک‌ها و تیمارها و حروف لاتین بزرگ ستون میانگین مقایسه اثرات ساده بین خاک‌ها و ردیف متوسط بین دو تیمار در خاک‌ها.



شکل 4- رابطه بین پتاسیم تبادلی و جذب پتاسیم توسط گیاه در تیمارها



شکل 5- رابطه بین پتاسیم غیر تبادلی و جذب پتاسیم توسط گیاه در تیمارها

که در خاک‌های آبرفتی پنجاب هندوستان 80 تا 90 درصد کل پتاسیم جذب شده توسط گیاهان نرت و گندم از طریق پتاسیم بین‌لایه‌ای تأمین می‌شود.

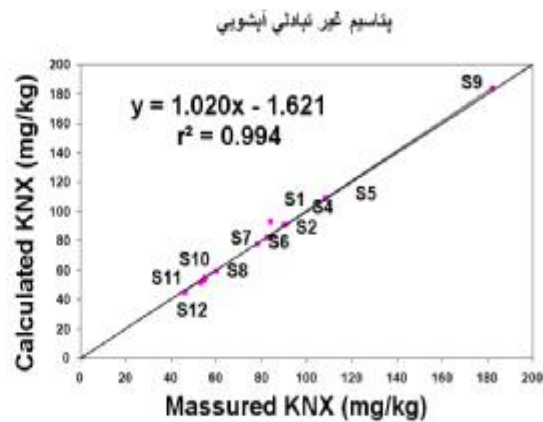
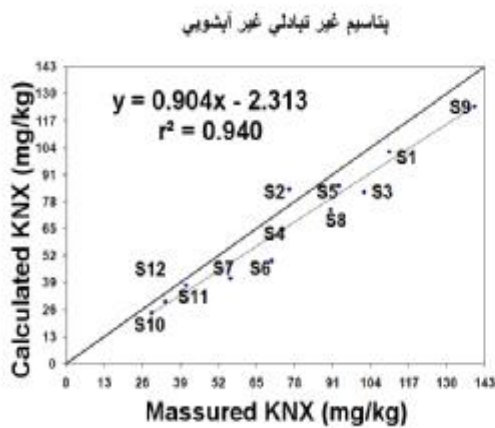
نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی زمانی که سطح پتاسیم تبادلی بالا باشد گیاه کمتر با کمبود پتاسیم مواجه می‌شود. با کاهش پتاسیم تبادلی به یک حدی احتمالاً پتاسیم از فاز غیرتبادلی رها می‌شود و این کمبود را جبران می‌کند. با توجه به اینکه روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی به آرامی و با گذشت زمان می‌باشد، کاهش سریع پتاسیم تبادلی به هر دلیلی از جمله آبشویی و عدم مصرف بهینه کودهای پتاسیمی، می‌تواند برای گیاه ایجاد مشکل کند و در صورت عدم کوددهی، گیاه با کاهش عملکرد مواجه می‌شود، که نتایج تیمار آبشویی صحت این بحث

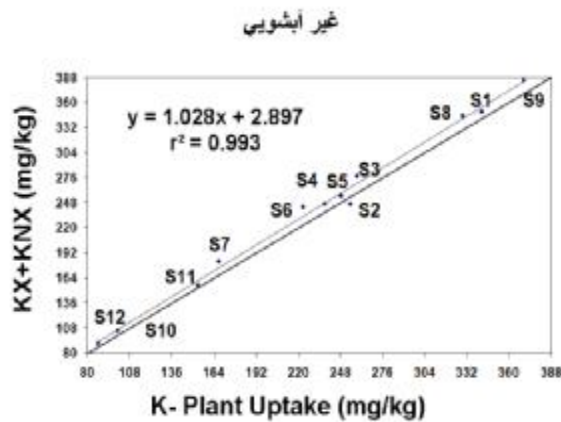
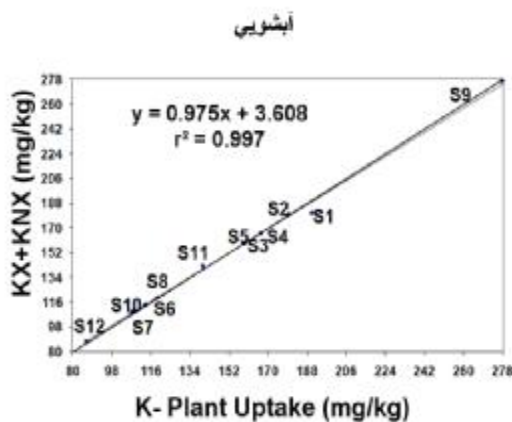
گولدینگ (1984) معتقد است که بعضی از گیاهان قادرند علاوه بر پتاسیم تبادلی مقداری از نیاز خود را از پتاسیم غیرتبادلی بدست آورند. نای و تینکر (1977) در مطالعات خود متوجه شدند که گیاه کشت داده شده، پتاسیم بیشتری نسبت به پتاسیم تبادلی تأمین شونده توسط فرآیند پخشیدگی جذب کرده است، آنها این پدیده را به رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی نسبت دادند. منگل (1985) در مطالعات خود بر روی جذب پتاسیم غیر-تبادلی به این نتیجه رسید که گیاهان زیادی مخصوصاً تک‌لپه‌ایها توانایی استفاده از پتاسیم غیرتبادلی را دارند. رحم و همکاران (1984) در مطالعات خود پی بردند گیاهانی که در خاک‌های شنی رشد می‌کنند به کود پتاسیمی واکنش نشان نمی‌دهند و علت این پدیده را به آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از فلدسپار و میکا نسبت دادند. همچنین سینگ و گولدینگ (1997) مشاهده نمودند

از ویژگی‌های آن خاک است برسانند. از طرفی با کاهش غلظت پتاسیم محلول و تبادلی، رهاسازی پتاسیم غیر-تبادلی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. در خاک‌های حاوی کانی غالب اسمکتیت، منبع اصلی تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، پتاسیم تبادلی است و پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها سهم کوچکی در جذب پتاسیم توسط گیاه به عهده دارد.

را تایید می‌کند. بنابراین در صورت پایین بودن سطح پتاسیم تبادلی، دادن کود به نفع گیاه و باعث جلوگیری از تثبیت و غیرقابل استفاده شدن پتاسیم خاک می‌شود. با رشد گیاه میزان پتاسیم تبادلی خاک کاهش می‌یابد و با رسیدن میزان پتاسیم تبادلی خاک به سطح خاصی، که از ویژگی‌های هر خاک است، پتاسیم تبادلی باقیمانده با انرژی بیشتری نگهداری می‌شود. بدین جهت گیاه نمی‌تواند پتاسیم تبادلی خاک را به کمتر از مقداری که



شکل 6- منحنی 1:1 بین پتاسیم غیرتبادلی اندازه گیری شده و محاسبه شده



شکل 7 - منحنی 1:1 بین کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه و مجموع پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی رهاسازده از خاک

جدول 6- سهم پتاسیم غیر تبادلی بر اساس رابطه سوراپاننی و همکاران (2002)

شماره خاک	کل جذب گیاه (mg/kg)	تبادلی			غیر آیشویی			کل جذب گیاه (mg/kg)	شماره خاک
		رها شده (mg/kg)	تبادلی (%)	سهم غیر تبادلی (mg/kg)	غیر تبادلی (%)	سهم غیر تبادلی (mg/kg)	تبادلی (%)		
1	342/03	239/80	70/1	102/23	29/9	29/9	190/08	1	
2	254/70	170/65	67/0	84/05	33/0	33/0	179/35	2	
3	259/03	176/40	68/1	82/63	31/9	31/9	159/33	3	
4	237/68	173/10	72/8	64/58	27/2	27/2	166/50	4	
5	248/65	162/95	65/5	85/70	34/5	34/5	158/90	5	
6	223/20	173/65	77/8	49/55	22/2	22/2	113/58	6	
7	167/15	126/05	75/4	41/10	24/6	24/6	108/20	7	
8	329/08	254/80	77/4	74/28	22/6	22/6	119/05	8	
9	369/70	245/70	66/5	124/00	33/5	33/5	277/85	9	
10	100/15	75/65	75/5	24/50	24/5	24/5	107/18	10	
11	153/08	115/45	75/4	37/63	24/6	24/6	139/73	11	
12	87/03	57/00	65/5	30/03	34/5	34/5	86/33	12	

منابع مورد استفاده

- اوستان ش و توفیقی ح، 1375. بررسی اثر کشت برنج به فرم‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پنجمین کنگره علوم خاک ایران (خلاصه مقالات)، آموزشکده کشاورزی کرج، کرج، ایران.
- اوستان ش، 1373. بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه تهران، ایران.
- بارانی مطلق م، ثوابی غ، کریمیان ن و محمودی ش، 1382. بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های زیر کشت نیشکر در خوزستان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه گیلان و موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران.
- بحرینی طوحان م، دردی پور ا و خرمالی ف، 1388. مقایسه توانایی اسید آلی و نمک معدنی در سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در سری‌های غالب خاک‌های زراعی استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره 3 صفحه‌های 59-81.
- توفیقی ح، 1374. سینتیک آزاد شدن پتاسیم از خاک‌های شالیزاری شمال ایران: مقایسه و ارزیابی معادلات سنتیکی مرتبه اول، مرتبه صفر و دیفیوژن پارابولیک. مجله علوم کشاورزی ایران. سال 26، شماره 4 صفحه‌های 27-41.
- سلطانی ا، 1385. تجدید نظر در کاربرد روش‌های آماری در تحقیقات کشاورزی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. 74 صفحه.
- سلطانی ا، 1386. کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری (برای رشته‌های کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. 182 صفحه.
- ضرابی م، 1381. بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی و قابلیت جذب آن با استفاده از اسید اگزالیك، اسید مالیک و کلرید کلسیم در بعضی خاک‌های همدان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه همدان، ایران.

- محبی ع، 1380. بررسی توازن پتاسیم در خاک‌های زیر کشت گندم در استان هرمزگان. هفتمین کنگره علوم خاک ایران (مجموعه مقالات کوتاه)، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
- ملکوتی م ج، شهابی ع ا و بازرگان ک، 1384. پتاسیم در کشاورزی ایران. انتشارات سنا. 352 صفحه.
- Anonymous, 1999. SAS Software, SAS Institute. version 8. Cary, NC, USA.
- Bouyoucos GJ, 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron J* 54: 464-465.
- Chapman HD, 1965. Cation exchange capacity. Pp. 891- 901 In: *Methods of Soil Analysis. Part 2.* Black CA (ed). American Society of Agronomy, Madison, Wis, USA.
- Evangelou VP, Karathanasis AD and Blevins RL, 1986. Effect of soil organic matter accumulation on potassium and ammonium quantity- intensity relationships. *Soil Sci Soc Am J* 50: 378-382.
- Fohse D, Claassen N and Jungk A, 1991. Phosphorus efficiency of plants II. Significance of root radius, root hairs and cation- anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil* 132: 261- 272.
- Goulding KWT, 1984. The availability of potassium in soil to crops as measured by its release to a calcium-saturated cation exchange resin. *J Agric Sci Camb* 103: 265-275
- Hisinger PBJ and Dufey JE, 1992. Rapid weathering of a trioctahedral mica by the roots of rye grass. *Soil Sci Soc Am J* 56: 977-982.
- Hons FM, Dixon JB and Matocha JE, 1976. Potassium sources and availability in a deep sandy soil of East Texas. *Soil Sci Soc Am J* 40: 370- 373.
- Jalali M, 2005. Release kinetics of non-exchangeable potassium in calcareous soils. *Commun Soil Sci and Plant Anal* 36: 1903-1917.
- Jian- Cheng X, Mao- Tong M, Cheng- Lin D and Ji-Xing C, 1980. On the potential of K- nutrition and the requirement of K- fertilizer in important paddy soils of China. Institute of Soil Sciences, Academia Sinca, Nanjing.
- Kittrick JA and Hope EW, 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X- ray diffraction analysis. *Soil Sci Soc Am Proc* 37: 201-205.
- Knudsen D, Peterson GA and Partt PF, 1982. Lithium, sodium and potassium. Pp. 403-429. In: Page AL et al (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2.* American Soc of Agronomy. Madison Wis.
- Krauss A, 1994. Potassium in Soils: Dynamics and Availability. Iran Agrofood, Export Promotion Center of Iran. Tehran.
- Malakouti MJ and Homae M, 2005. Soil Fertility of Arid and Semi-Arid Regions " Difficulties and Solutions. 2nd Edition. Tarbiat Modarres University. 508Pp.
- Malavolta AE, 1985. Potassium status of tropical and subtropical region. Pp. 163- 200. In: Munson RD (ed) *Potassium in Agriculture ASA CSSA SSSA.*
- Martin HW and Sparks DL, 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Sci Soc Am J* 47: 883-887.
- Mc Lean EO and Watson ME, 1985. Soil Measurements of plant available potassium. Pp. 277-308. In: Munson RD (ed). *Potassium in Agriculture. SSSA. Madison Wis USA.*
- Mengel K, 1985. Dynamics and availability of major nutrients in soils. *Adv Soil Sci* 2: 65-131.
- Mengel K and Kirkby EA, 1980. Potassium in crop production. *Adv Agron* 33: 59- 110.
- Mengel K and Uhlenbecker K, 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by Ryegrass. *Soil Sci Soc Am J* 57:761-766.
- Meyer D and Jungk A 1993. A new approach to quantify the utilization of non exchangeable soil potassium by plants. *Plant and Soil* 149: 235- 243.
- Mortland M, 1958. Kinetics of potassium release from biotite. *Soil Sci Soc Am Proc* 22:503-508.
- Nye PH and Tinker PB, 1977. *Solute Movements in the Soil- Root System.* Blackwell Sci Publ Oxford England.

- Page ALV and Keeney MRH, 1992. Method of Soil Analysis. American Society of Agronomy. Madison WI. USA.
- Rahmatullah BZ and Mengel K, 2000. Potassium release from Mineral structures by H⁺ ion – resin. *Geoderma*. 96: 291- 305.
- Rehm MG, Sorensen RC and Wiese RA. 1984. Soil test values for phosphorus, potassium and zinc as affected by rate applied to corn. *Soil Sci Am J* 48: 814-818.
- Richards JE and Bates TE, 1989. Studies on the potassium supplying capacities of southern Ontario soils. III. Measurement of available K. *Can J Soil Sci* 69:597-610.
- Richards JE, Bates TE and Sheppard, 1988. Studies on potassium supplying capacities of southern Ontario Soils. I. Field and green house experiments. *Can J Soil Sci* 68: 183-197.
- Rowell DL, 1994. Soil Science: Methods and Application. Longman Scientific and Technical. 350p.
- Simard RS, Dekimpe CR and Zizka J, 1992. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Sci Soc Am J* 56: 1421-1428.
- Singh B and Goulding KWT, 1997. Changes with time in the potassium content and phyllosilicates in the soil of broadbalk continuous wheat experiment at Rothamsted. *European J Soil Sci* 48: 651- 659.
- Sparks DL, 1985. Kinetics of ions reaction in clay minerals and soils. *Adv Agron* 38: 231- 266.
- Sparks DL and Liebhardt WO, 1981. Effect of long term lime and potassium applications on quantity – intensity (Q/I) relationships in sandy soil. *Soil Sci Soc Am J* 45: 786-790.
- Sparks DL and Huang PM, 1985. Physical chemistry of soil potassium. Pp. 201–276. In: Munson R D (Ed.), Potassium in Agriculture. Soil Sci Soc Am. Madison, WI. USA.
- Srinivasarao C, Rupa TR, Subba Rao A, Ramesh G and Bansal SK, 2000. Release kinetics of non-exchangeable potassium by different extractants from soils of varying mineralogy and depth. *Communications in Soil Sciences and Plant Analysis*. 37: 473-491.
- Surapaneni A, Tillman RW, Kirkman JH and Gregg PEH, 2002. Potassium- supplying power of selected Pallic soils of New Zealand 1. Pot trial study. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 45: 113-122.
- Tributh H, Boguslawski EV, Lieres AV, Steffens D and Mengel K, 1987. Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals. *Soil Sci* 143: 404-409.
- Walkley A and Black IA, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37:29-38.

