DOI: 10.22059/ijswr.2020.310326.668741 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۱، فروردین ۱۴۰۰ (ص ۱۴۱-۱۲۳)

Effect of Long Term Rice Cultivation on Potassium Status, Clay Mineralogy and Some Physicochemical Properties of Calcareous Soils in Fars Province

ABDOLSAMAD GHOLAMI[1], MAJID BAGHERNEJAD[1], ABOLFAZL AZADI[2*], SIROUS SHAKERI[3]

1. Department of Soil Science, Fculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
3. Department of Agriculture, Fculty of Agriculture Payame Noor University, Tehran, Iran.

(Received: Sep. 19, 2020- Revised: Nov. 28, 2020- Accepted: Dec. 5, 2020)

ABSTRACT

The present study was performed to investigate and compare some physico- chemical properties, clay mineralogy and different forms of potassium (K) of paddy soils with non-paddy soils and to study the effect of waterlogging on soil pedogenesis in some important paddy areas in Fars province. For this investigation, a paddy and non-paddy soil pedons within each area with similar calcareous parent materials and landform were dug and some soil properties and different forms of K in surface and subsurface soils were determined. The results showed that the average contents of soluble, exchangeable, HNO_3-extractable, structural and total K in the non-paddy soils were 3.5, 199, 864, 4635 and 5502 mg kg^{-1}; and in the paddy soils were 2.5, 164, 742, 5346 and 6088 mg kg^{-1}, respectively. Results also indicated that the paddy soils had lower contents of soluble, exchangeable and non-exchangeable K due to the K leaching by irrigation water and removal by plant uptake. Significant correlations were found between different forms of K and some soil properties like clay, CEC and OC. The results of clay mineralogy indicated similar minerals, including smectite, illite, chlorite, palygorskite, vermiculite and kaolinite but with different relative abundance. Long-term rice cultivation seems to affect only the amount of clay minerals and converts illite and palygorskite to smectite. Significantly possitive correlations were found between non-exchangeable, mineral and total K with illite content in the clay fraction.

Keywords: Different K Forms, Paddy and Non-Paddy Soils, Clay Minerals.

*Corresponding Author's Email: abolfazl_azadi@yahoo.com

اثر کشت طولانی‌مدت برنج بر وضعیت پتاسیم، کانی‌های رسی و برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک‌های آهکی استان فارس

عبدالصمد غلامی[۱]، مجید باقرنژاد[۱]، ابوالفضل آزادی*[۲]، سیروس شاکری[۳]

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۳. گروه علوم کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۹- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۱۵)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی شکل‌های مختلف پتاسیم، کانی‌های رسی و برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک‌های شالیزاری تحت کشت طولانی مدت برنج در مقایسه با خاک‌های غیرشالیزاری و بکر مجاور و مطالعه اثر شرایط غرقابی بر تکامل خاک‌ها در تعدادی از مناطق شالی‌کاری مهم استان فارس انجام شد. برای انجام این مطالعه، در هر منطقه دو خاکرخ یکی دارای کاربری کشت برنج و دیگری بکر، بر روی مواد مادری آهکی و لندفرم مشابه حفر شدند و برخی ویژگی‌های خاک و شکل‌های مختلف پتاسیم در افق‌های سطحی و زیرسطحی مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر پتاسیم محلول، تبادلی، قابل استخراج با اسید نیتریک، ساختمانی و کل در خاک‌های غیرشالیزاری مورد مطالعه به ترتیب، ۳/۵، ۱۹۹، ۸۶۴، ۴۶۳۵ و ۵۵۰۲ و در خاک‌های شالیزاری به‌ترتیب، ۲/۵، ۱۶۴، ۷۴۲، ۵۳۴۶ و ۶۰۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. همچنین نتایج نشان داد که خاک‌های شالیزاری دارای مقادیر کمتر پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی بوده که می‌تواند نتیجه آبشویی پتاسیم بوسیله آب آبیاری و خروج آن از طریق جذب بوسیله گیاه باشد. همبستگی معنی‌داری نیز بین شکل‌های مختلف پتاسیم و بعضی ویژگی‌های خاک مانند مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آلی به‌دست آمد. نتایج کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها نشان داد که نوع کانی‌ها در هر دو کاربری مشابه و عمدتاً شامل اسمکتیت، ایلیت، کلریت، پالیگورسکیت، ورمی‌کولیت و کائولینیت بوده اما مقدار نسبی آنها متفاوت می‌باشد. به نظر می‌رسد که کشت طولانی مدت برنج فقط بر مقدار کانی‌های رسی تاثیرگذار بوده و سبب تبدیل ایلیت و پالیگورسکیت به اسمکتیت شده است. رابطه مثبت و معنی‌داری نیز بین میزان پتاسم غیر تبادلی، ساختمانی و کل با مقادیر کانی ایلیت در بخش رس به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: شکل‌های مختلف پتاسیم، خاک‌های شالیزار و غیر شالیزار، کانی‌های رسی.

مقدمه

خاک‌های شالیزار خاک‌هایی هستند که با روش به‌خصوصی برای کشت آبی برنج مدیریت می‌شوند. تراوش اکسیژن از طریق ریشه گیاه برنج و منفذهای موجود در خاک سبب تکامل پدیده‌های خاص خاک‌های شالیزار می‌شود. این نوع خاک‌ها دارای شرایط هیدرومرفی مصنوعی می‌باشند. یعنی دارای خصوصیات و پدیده های مشخص حاصل از فعالیت انسان بوده که در نتیجه کشت و کار نمود می‌یابند. از طرفی در اراضی پست شالیزاری، شرایط آکوئیک در سراسر خاکرخ خاک حاکم می‌باشد (Constantini *et al.*, 2006). بسیاری از پدیده‌ها و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی خاک‌های شالیزار متاثر از تغییرات رژیم رطوبتی می‌باشد (Torabi Golsefidi *et al.*, 2001). بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های غرقابی پیشینه بسیار گسترده‌ای دارد. (Cheng *et al.*, 2009)در مقایسه خصوصیات خاک‌های شالیزاری و غیرشالیزاری، بالاتر بودن آهن کل، درصد رس و مواد آلی و در مقابل منگنز کل کمتر را در اراضی شالیزاری نسبت به غیرشالیزاری گزارش نمودند. Owliaie *et al.*, (2015) با مطالعه کانی‌شناسی خاک‌های شالیزاری استان فارس، کاهش نسبی میزان کانی‌های ایلیت و پالیگورسکیت در کاربری شالیزار را تغییر شکل پدوژنیک آنها به اسمکتیت گزارش دادند.

پتاسیم یکی از عناصر اصلی غذایی مورد نیاز برنج است که

* نویسنده مسئول: abolfazl_azadi@yahoo.com

بعد از نیتروژن، بیشتر از هر عنصر غذایی دیگر جذب می شود. منشأ اصلی پتاسیم در خاک‌ها، هوادیدگی کانی‌های حاوی پتاسیم می‌باشد (Malakouti and Homaee, 2005). بیشترین مقدار پتاسیم در کانی‌های اولیه و ثانویه رسی وجود دارد. کانی‌های پتاسیم‌دار خاک به طور عمده شامل میکاها و فلدسپات‌ها می‌باشند (Britzke *et al*., 2012). ساختمان میکاهای پتاسیم‌دار شامل لایه‌های ۱:۲ با بار لایه‌ای زیاد است که توسط یون‌های پتاسیم در کنار یکدیگر نگه داشته شده‌اند. میکاها اغلب در بخش رس خاک موجودند (Sparks and Huang, 1985). مطالعاتی که توسط خرمالی و همکاران (Khormali *et al*., 2008) به‌منظور بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم و کانی‌شناسی رس انجام گرفت، نشان داد که در اکثر خاک‌ها، کانی رس مختلط وجود دارد و فقط در ورتی‌سولها تفاوت قابل ملاحظه‌ای در شکل‌های مختلف پتاسیم در مقایسه با بقیه خاک‌ها وجود داشته، که به دلیل مقدار زیاد کانی اسمکتیت بوده است. مطالعات انجام گرفته درکشت های شالیزار و غیرشالیزار در ایستگاه تحقیقاتی در استان مازندران، شمال ایران، نیز نشان داد که کانی غالب منطقه اسمکتیت، ایلیت و ورمیکولیت بوده و میزان پتاسیم تبادلی در خاک‌های شالیزار کمتر از خاک‌های غیرشالیزاری بوده و همچنین پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیرسطحی است (Raheb and Heidari., 2012).

به‌طور کلی پیش از این به علت پایین بودن عملکرد برنج، بیشتر خاک‌ها توانایی تامین پتاسیم لازم برای سطوح پایین تولید را دارا بودند. بنابراین در بیشتر آزمایش های کودی پاسخ به کود پتاسیم منفی یا اندک بود. در ایران نیز آزمایش‌های کودی پتاسیم در شالیزارها نتایج مشابهی داشته است (Towfighi, 1998). ولی در طی دو دهه اخیر، کاهش قابل توجهی در پتاسیم قابل استفاده در نواحی مختلف ایران مشاهده شده است که دلایل عمده آن را می‌توان رواج استفاده از ارقام پرمحصول برنج، استفاده از آب‌های زیرزمینی به جای آب‌های سطحی که عرضه پتاسیم در مزارع را کاهش می‌دهد (آب های سطحی به ویژه رودخانه ها دارای مقادیر قابل توجهی ذرات خاک با پتاسیم معدنی می باشند) افزایش میزان مصرف کودهای نیتروژنه و فسفره و استفاده محدود از کودهای پتاسیمی که باعث جذب مقادیر بیشتری از پتاسیم خاک می‌گردد و نیز حاکمیت نامناسب کشت و آبشویی فراوان پتاسیم ذکر نمود. همچنین افزایش عملکرد ماده خشک حاصل از شیوه های جدید تولید در شالیزارها، غالباً باعث تشدید خروج پتاسیم از خاک و منفی شدن موازنه ورود و خروج پتاسیم گردید. این روند به تدریج توانایی عرضه پتاسیم خاک‌ها را کاهش داده و زمینه‌ساز بروز کمبود پتاسیم می‌گردد (Davatgar, 2003). با توجه به افزایش سطح زیر کشت محصولات کشت دوم پس از برنج و از آنجائی که بیشتر کشاورزان از کودهای پتاسیمی چه در محصول برنج و چه در محصولات کشت دوم استفاده نمی کنند، قطعاً تخلیه پتاسیم خاک های شالیزاری با روند سریع‌تری صورت خواهد گرفت.

ارتباط بین شکل‌های مختلف پتاسیم به عنوان تابعی از کانی‌شناسی و تکامل خاک در تعیین ذخیره پتاسیم خاک و پیش‌بینی چرخه پتاسیم و جذب به‌وسیله گیاهان در خاک‌های کشاورزی بسیار با اهمیت است. معمولا برای بررسی پتاسیم، تمرکز مطالعات روی خاک‌های سطحی بوده و به خاک زیرسطحی کمتر اهمیت داده می‌شود. اهمیت پتاسیم خاک زیرسطحی به مقدار پتاسیم قابل استفاده آن در مقایسه با خاک سطحی و همچنین به تراکم ریشه و زمان اقامت ریشه در آن افق به‌منظور جذب پتاسیم بستگی دارد. توسعه ریشه بیشتر در خاک سطحی می‌باشد. مقدار پتاسیم خاک زیرسطحی معمولا کمتر از سطحی بوده و همه این عوامل سبب استفاده موثرتر از پتاسیم خاک سطحی توسط گیاه می‌شوند. اگر چه خاک‌های آهکی دارای کانی‌های غنی از پتاسیم هستند که قادرند مقادیر قابل توجهی پتاسیم برای گیاه مهیا کنند، این خاک‌ها می‌توانند در نتیجه افزایش هوادیدگی و آبشویی یا استخراج پتاسیم در سیستم‌های کشاورزی فشرده تبدیل به خاک های با کمبود پتاسیم شوند (Tributh *et al*., 1987). تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم خاک انجام شده است. Uostan, (1994) پس از بررسی ۵۲ خاک شالیزاری شمال کشور نشان داد که پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم و پتاسیم غیرقابل تبادل خاک‌های شالیزاری کاهش معنی‌داری نسبت به خاک‌های غیرشالیزاری مشابه داشته اند. Davatgar *et* (*al*., 2006) در بررسی خاک‌های استان گیلان به این نتیجه رسیدند که پتاسیم غیرقابل تبادل (قابل استخراج با اسید نیتریک جوشان) در سطح نسبتاً کم تا کم قرار دارد. به نظر می‌رسد عواملی مانند غالب بودن کانی اسمکتیت و سابقه کشت بدون افزودن کود پتاسیم علت ایجاد شرایط شده است. آنان همچنین به این نتیجه رسیدند که با در نظر گرفتن حد بحرانی ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۶۸/۸ درصد خاک های شالیزاری استان گیلان از نظر پتاسیم قابل استفاده در وضعیت متوسط تا خیلی کم قرار دارند. بنابراین با توجه به شرایط ویژه مدیریتی کشت برنج و اهمیت راهبردی این محصول و نیز نقش اساسی و انکارناپذیری که در برآورده نمودن نیازهای غذایی مردم جهان دارد و همچنین تعیین سرنوشت کودهای پتاسیمی در کشاورزی و مخصوصا شالیزارها و کسب اطلاعات کافی از نوع و نحوه انجام فرآیندهای حاکم بر خاکهای

شالیزار و مدیریت بهینه و بهره‌برداری پایدار از آنها، و همچنین با توجه به‌وضعیت منابع آب در استان فارس و امکان کشت برنج در بسیاری از مناطق مختلف آن، با این فرضیات که شرایط غرقاب و کشت طولانی مدت برنج باعث تغییرات کانی‌شناسی و شکل‌های مختلف پتاسیم می‌شود، این تحقیق با هدف تاثیر شرایط غرقاب و کشت طولانی مدت برنج بر شکل‌های مختلف پتاسیم و بررسی ارتباط آنها با کانی‌شناسی و تکامل خاک در مناطق عمده شالی‌کاری استان فارس انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و ویژگی‌های اقلیمی منطقه

استان فارس با وسعت ۱۳/۲ میلیون هکتار در بخش جنوبی ایران در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۲ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان از شمال با استان اصفهان، از جنوب با استان‌های هرمزگان و بوشهر، از غرب با استان کهگیلویه و بویراحمد و از شرق با استان یزد هم‌جوار است. ارتفاع این استان از کمتر از ۵۰۰ متر از سطح دریا در قسمت‌های جنوبی تا ۳۹۰۰ متر از سطح دریا در شمال متغیر می‌باشد و نوع رسوبات زمین‌شناسی آن مربوط به دوره تریاسه تا پلیستوسن می‌باشد. بر طبق نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران، استان فارس دارای رژیم‌های رطوبتی خاک زریک، یوستیک و اریدیک و رژیم‌های حرارتی خاک مزیک، ترمیک و هایپرترمیک می‌باشد(Banaei, 1998).

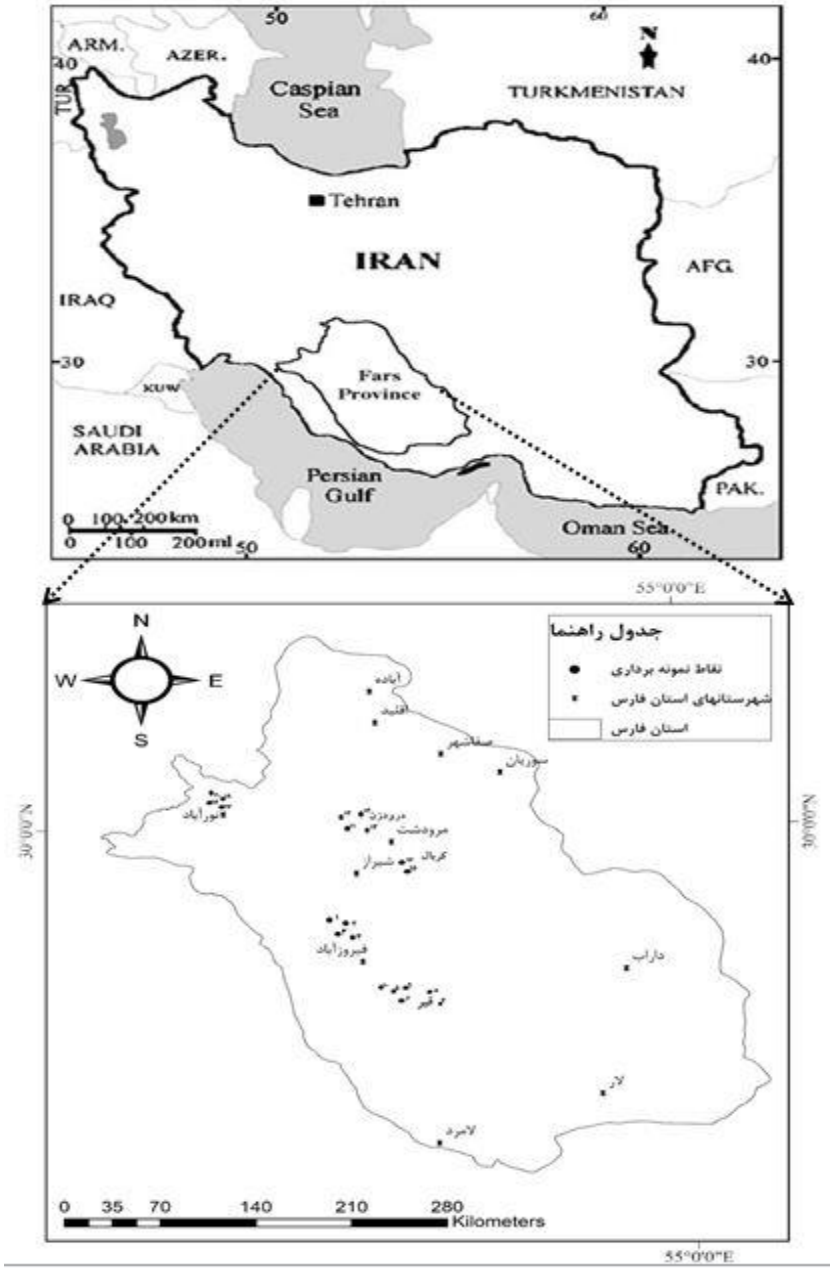
روش انجام مطالعه

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

برای انجام این پژوهش، بر اساس نقشه‌ها و مطالعات خاکشناسی و اطلاعات گرفته شده از کشاورزان باسابقه محلی، تعدادی از مناطق شالی‌کاری مهم استان با سابقه طولانی کشت برنج انتخاب شد (شکل ۱). در هر منطقه دو خاکرخ یکی دارای کاربری کشت برنج و دیگری بکر با کاربری مرتع، بر روی مواد مادری و شیب یکسان، در مجاورت یکدیگر حفر و ویژگی‌های کلی محل خاکرخ و همچنین مشخصات مربوط به هر خاکرخ تعیین و بر مبنای کلید تاکسونومی خاک (Soil Survey Staff, 2014) طبقه‌بندی گردیدند. نمونه‌برداری از افق‌های مختلف پروفیل صورت گرفت، نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. تعدادی از آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (Sumner and Miller,1996)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با بی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ و تیتراسیون بی‌کرومات پتاسیم باقی مانده با فروآمونیوم سولفات (Nelson and Sommers, 1996)، بر روی نمونه‌ها انجام شد. همچنین، شکل‌های مختلف پتاسیم خاک شامل محلول، تبادلی و غیرتبادلی و کل به روش هلمک و اسپارکس (Helmeke and Sparks,1996) به‌ترتیب در عصاره‌ی اشباع، عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال (۵ گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر عصاره‌گیر، ۱۰ دقیقه تکان دادن و سه بار تکرار)، عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان (۲/۵گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر عصاره گیر و ۱۰ دقیقه جوشاندن)و هضم با اسید فلور یدر یک و تیزاب سلطانی (۰/۵ گرم خاک و یک میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک غلیظ و ۱۰ میلی‌لیتر اسید فلوریدریک و دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت) اندازه گیری و پتاسیم بدست آمده با روش شعله‌سنجی با دستگاه شعله‌سنج مدل corning 405 تعیین شدند. پتاسیم ساختمانی با کم کردن پتاسیم کـل از پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک جوشان به‌دست آمد.

مطالعات کانی شناسی: مراحل جداسازی و آماده‌سازی نمونه‌ها برای تجزیه کانی‌های رسی، به روش کنز و دیکسون انجام شد (Kunze and Dixon, 1986) و برای از بین بردن عوامل شیمیایی سیمانی کننده و جدا شـدن ذرات رس از یکدیگر مبنای عمل قرار گرفت. ابتدا کربنات‌های خاک با اسـتفاده از محلول نرمال استات سدیم (pH=5) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در حمام بخار خارج شدند. برای حذف ماده آلی، آب اکسیژنه ۳۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت. طی این مرحله دی‌اکسید منگنز نیـز حـذف می‌شود. سپس با استفاده از بافر سیترات و محلول دی‌تیونات‌سدیم، اکسیدهای آهن ذرات خاک نیز خارج شد. پس از جداسازی رس (۷۵۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ به‌مدت پنج دقیقـه و سی ثانیه)، نمونه‌ها با منیزیم و پتاسیم اشباع و این نمونه ها به‌ترتیب بـا اتیلن گلیکول و دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تیمار شده و جداگانه بـا پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفتند. پلاک‌هایی از نمونه‌های آرایش یافته با تیمارهای اشباع با پتاسـیم و دمـای ۲۵ درجه سانتیگراد (K25)، اشـباع بـا پتاسیم و حرارت در ۵۵۰ درجه سانتیگراد، اشباع با منیـزیم (Mg25) و اشباع بـا منیزیم همراه با اتیلن گلیکول (EG) تهیه شد. سپس این نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه پراش پرتو ایکس مدلPhilips pw1130 با استفاده از یک تک فام کننده و تشعشع cu-kα تحت جریانی با شدت ۴۰ میلی آمپر، ولتاژی برابر ۴۰ کیلو ولت و طول موج ۱/۵۴

انگسترم مورد مطالعه قرار گرفتند. اسکن نمونه ها با سرعت ۰/۵ درجه (θ۲) در دقیقه، در زوایای θ۲ بین ۲ تا ۳۵ درجه انجام شد. فراوانی نسبی کانی‌های رسی طبق روش Johns et al., (1954) انجام شد. به‌منظور توصیف و مقایسه آماری و همبستگی بین فاکتورهای مختلف خاک تجزیه و تحلیل آماری توسط از بسته نرم افزاری SPSS 16.0 و آزمون تی-تست مستقل استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

بررسی نتایج مورفولوژی و رده‌بندی‌خاک‌ها نشان داد، خاک‌های شالیزاری مناطق مورد مطالعه از تکامل پروفیلی بیشتری نسبت به مناطق غیرشالیزاری برخوردارند. به‌طوریکه بر اساس نتایج طبقه‌بندی، خاک‌های شالیزاری مناطق مطالعه شده در راسته‌های اینسپتی‌سولز و الفی‌سولز و گروه‌های بزرگ Epiaquepts، Haplaquepts، و Epiaqualfs قرار گرفتند. براساس نتایج ارائه شده در جدول (۱) مقدار کربن آلی در خاک‌های سطحی شالیزار بیشتر از غیرشالیزار است که بیشتر بودن مقدار ماده‌آلی در افق های سطحی می‌تواند به دلیل وجود بقایا و ریشه گیاه در آنها باشد. میانگین کربن آلی خاک‌های شالیزار ۱/۱ و در خاک‌های غیرشالیزار ۰/۸ درصد بود که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار بود (شکل ۲). Owliaei and Najafi, (2013)، در مطالعه خاک‌های شالیزاری منطقه یاسوج افزایش معنی‌دار ۳/۴ درصدی

در کربن‌آلی خاک‌های شالیزاری را گزارش نمودند. همچنین میانگین کربن آلی خاک‌های زیرسطحی شالیزار ۰/۷ درصد است که از لحاظ آماری با میانگین آن در غیرشالیزار (۰/۵ درصد) اختلاف معنی دار دارد. مقدار کربن آلی در محدوده ۰/۸۷ تا ۱/۶۰ در خاک‌های سطحی شالیزار و ۰/۴۲ تا ۱/۰۹ درصد در خاک‌های سطحی غیرشالیزار بود. به طور کلی مقایسه گروهی نشان می‌دهد که خاک‌های سطحی و زیرسطحی شالیزار و غیرشالیزار با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته و مقدار کربن آلی در خاک‌های شالیزار بیشتر از غیرشالیزار است. Kogel-Knabner *et al*., (2010) و Wissing *et al*., (2013) معتقدند که مقادیر بیشتر کربن آلی در خاک‌های شالیزار می‌تواند در نتیجه تجمع بقایای ریشه برنج یا ترکیبات لیگنینی باشد.

جدول ۱- مشخصات عمومی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاکرخ	منطقه	کاربری	رده بندی	عمق	CCE*	OC	CEC (cmol(c) kg^{-1})	EC (dS m^{-1})	pH	شن	سیلت	رس
					(٪)						(٪)	
۱	فیروزآباد۱	بکر	Typic Calcixerepts	سطحی	۵۷/۴	۰/۸۷	۱۲/۷	۰/۴۲	۷/۹۴	۲۳/۴	۳۹/۵	۳۷/۱
				زیر سطحی	۵۸/۹	۰/۳۸	۱۲/۵	۰/۵۷	۷/۸۵	۴۹/۲	۱۲/۶	۳۸/۲
۲		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۵۴/۷	۱/۱۴	۱۴/۹	۰/۸۵	۷/۷۵	۱۲/۸	۴۷/۸	۳۹/۴
				زیر سطحی	۵۶/۷	۰/۷۷	۱۳/۸	۰/۶۴	۷/۷۶	۱۳/۰	۴۰/۰	۴۷/۰
۳	فیروزآباد۲	بکر	Typic Haplustepts	سطحی	۷۰/۳	۱/۰۹	۱۰/۰	۰/۴۰	۷/۸۳	۴۵/۰	۳۲/۰	۲۳/۰
				زیر سطحی	۷۰/۶	۰/۴۲	۹/۶	۰/۲۶	۷/۹۵	۳۷/۵	۲۹/۳	۳۳/۲
۴		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۵۸/۷	۱/۱۵	۱۳/۹	۰/۴۸	۷/۶۵	۳۱/۶	۳۳/۸	۳۴/۶
				زیر سطحی	۵۷/۰	۰/۶۷	۱۳/۸	۰/۳۳	۷/۹۳	۳۳/۱	۲۹/۸	۳۷/۱
۵	ریکان	بکر	Typic Haplustepts	سطحی	۷۴/۵	۱/۰۸	۱۱/۳	۰/۴۰	۷/۸۷	۵۴/۰	۲۶/۷	۱۹/۳
				زیر سطحی	۷۴/۸	۰/۷۱	۱۰/۰	۰/۴۵	۷/۶۴	۴۷/۹	۲۳/۰	۲۹/۱
۶		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۶۷/۶	۱/۳۸	۱۳/۹	۰/۸۵	۷/۵۸	۴۱/۰	۲۹/۲	۲۹/۸
				زیر سطحی	۶۴/۹	۱/۰۴	۱۱/۳	۰/۴۳	۷/۶۰	۴۶/۴	۲۰/۱	۳۳/۵
۷	فتح آباد	بکر	Typic Haplustepts	سطحی	۵۴/۰	۰/۸۸	۱۰/۰	۲/۶۰	۷/۶۲	۳۸/۵	۳۷/۵	۲۴/۰
				زیر سطحی	۵۶/۰	۰/۷۵	۸/۸	۱/۲۴	۷/۴۳	۳۸/۶	۳۴/۰	۲۷/۴
۸		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۵۱/۰	۱/۰۶	۱۳/۵	۳/۶۰	۷/۱۷	۲۸/۱	۳۷/۰	۳۴/۹
				زیر سطحی	۵۳/۰	۰/۸۷	۱۱/۳	۱/۸۶	۷/۳۲	۲۱/۱	۲۹/۹	۴۹/۰
۹	شلدان	بکر	Typic Haplustepts	سطحی	۷۰/۰	۰/۵۶	۱۰/۵	۰/۵۵	۷/۶۶	۳۶/۸	۳۹/۸	۲۳/۴
				زیر سطحی	۶۷/۴	۰/۴۰	۸/۸	۰/۸۵	۷/۶۰	۳۶/۰	۳۶/۶	۲۷/۴
۱۰		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۶۴/۹	۱/۱۴	۱۴/۲	۰/۸۵	۷/۴۹	۴۶/۰	۱۶/۶	۳۷/۴
				زیر سطحی	۶۳/۴	۰/۵۶	۱۲/۰	۰/۷۹	۷/۵۳	۴۶/۰	۱۴/۶	۳۹/۴
۱۱	کوشکک۱	بکر	Typic Haploxerepts	سطحی	۴۷/۳	۱/۶۰	۱۵/۱	۰/۶۳	۷/۸۰	۱۸/۱	۳۱/۲	۵۰/۷
				زیر سطحی	۴۹/۹	۰/۸۵	۱۳/۸	۰/۵۰	۸/۰	۲۶/۰	۲۱/۳	۵۲/۷
۱۲		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۴۵/۳	۱/۲۱	۱۶/۴	۰/۹۳	۷/۳۷	۱۵/۰	۲۹/۱	۵۵/۹
				زیر سطحی	۴۷/۵	۰/۹۴	۱۵/۱	۰/۵۳	۷/۶۹	۱۰/۵	۲۶/۴	۶۳/۱
۱۳	کوشکک۲	بکر	Typic Calcixerepts	سطحی	۴۸/۵	۰/۶۱	۱۴/۸	۰/۵۴	۷/۸۴	۱۲/۶	۳۵/۰	۵۲/۴
				زیر سطحی	۴۹/۲	۰/۴۸	۱۵/۰	۰/۴۰	۷/۹۱	۱۲/۰	۳۴/۰	۵۴/۰
۱۴		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۴۶/۵	۰/۸۷	۱۶/۵	۰/۶۶	۷/۷۳	۹/۰	۳۰/۷	۶۰/۳
				زیر سطحی	۵۰/۰	۰/۶۲	۱۵/۵	۰/۴۷	۷/۸۶	۱۰/۳	۳۲/۶	۵۷/۱
۱۵	کربال	بکر	Typic Calcixerepts	سطحی	۵۱/۰	۰/۴۲	۱۵/۲	۳/۵۰	۸/۳۰	۱۵/۹	۴۰/۰	۴۴/۱
				زیر سطحی	۵۲/۲	۰/۲۵	۱۳/۶	۳/۵۸	۸/۳۵	۲۴/۵	۳۷/۵	۳۸/۰
۱۶		شالیزار	Typic Halaquepts	سطحی	۴۵/۱	۰/۹۱	۱۸/۳	۳/۵۷	۷/۱۰	۱۲/۶	۳۸/۰	۴۹/۴
				زیر سطحی	۴۵/۲	۰/۸۹	۱۸/۳	۳/۵۲	۷/۱۱	۱۲/۹	۳۷/۷	۴۹/۴
۱۷	نورآباد ۱	بکر	Typic Calciustepts	سطحی	۵۹/۴	۰/۴۶	۱۶/۴	۱/۰۱	۷/۷۲	۱۵/۳	۴۴/۵	۴۰/۲
				زیر سطحی	۶۰/۶	۰/۲۷	۱۵/۱	۰/۷۸	۸/۲۱	۲۳/۳	۴۳/۸	۳۲/۹
۱۸		شالیزار	Typic Epiaquepts	سطحی	۵۶/۷	۰/۹۶	۱۹/۲	۱/۴۰	۷/۰۲	۸/۶	۴۳/۲	۴۸/۲
				زیر سطحی	۵۳/۷	۰/۳۸	۱۸/۳	۰/۸۵	۷/۵۵	۱۰/۶	۲۸/۵	۶۰/۹
۱۹	نورآباد ۲	بکر	Typic Haplustepts	سطحی	۵۶/۰	۰/۹۶	۱۷/۸	۰/۹۳	۷/۹۲	۹/۵	۴۹/۹	۴۰/۶
				زیر سطحی	۵۹/۴	۰/۲۷	۱۵/۱	۰/۳۴	۸/۰۸	۱۵/۰	۴۴/۶	۴۰/۴
۲۰		شالیزار	Typic Epiaqualfs	سطحی	۵۵/۲	۱/۶۰	۱۹/۲	۲/۱۷	۷/۳۵	۱۱/۳	۴۴/۵	۴۴/۲
				زیر سطحی	۵۷/۴	۰/۴۸	۱۷/۸	۰/۷۸	۷/۲۲	۹/۳	۴۲/۶	۴۸/۱
	میانگین	شالیزار		سطحی	۵۵b	۱/۱۰a	۱۶/۰a	۱/۵۴a	۷/۴۲b	۲۲b	۳۵ab	۴۳b
				زیر سطحی	۵۵b	۰/۷۰b	۱۴/۷b	۱/۰۲b	۷/۵۶b	۲۱b	۳۰b	۴۸a
		بکر		سطحی	۵۹a	۰/۸۰b	۱۳/۴c	۱/۱۰b	۷/۸۵a	۲۷a	۳۸a	۳۵c
				زیر سطحی	۶۰a	۰/۵۰c	۱۲/۳d	۰/۹۰b	۷/۹۰a	۳۱a	۳۲ab	۳۷c

*CCE: کربنات کلسیم معادل، OC : کربن آلی، EC : قابلیت هدایت الکتریکی وCEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

جدول ۲- نتایج نیمه کمی کانی‌شناسی رس برخی افق‌های خاک در کاربری‌های مورد مطالعه

شماره خاکرخ	کاربری	افق	اسمکتیت	ایلیت	کلریت	ورمی -کولیت	پالیگورسکیت	مخلوط	کائولینیت
۱	بکر	سطحی	+++	+++	+++	-	+++	+	-
		زیر سطحی	+++	+++	+++	-	+++	+	-
۲	شالیزار	سطحی	++++	+++	+++	-	-	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	+++	-	-	-	-
۳	بکر	سطحی	++	++++	+++	+	+	-	-
		زیر سطحی	++	+++	+++	+	++	-	-
۴	شالیزار	سطحی	+++	+++	+++	-	-	+	-
		زیر سطحی	+++	+++	++++	-	-	+	-
۵	بکر	سطحی	++	+++	++++	+	++	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	+++	-	++	-	-
۶	شالیزار	سطحی	++++	++	+++	-	-	+	-
		زیر سطحی	+++	+++	++++	-	-	+	-
۷	بکر	سطحی	++	+++	++++	-	++	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	+++	-	+	+	-
۸	شالیزار	سطحی	++++	+++	+++	-	-	+	-
		زیر سطحی	+++	+++	+++	-	-	+	-
۹	بکر	سطحی	++	++++	+++	+	++	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	++++	-	++	-	-
۱۰	شالیزار	سطحی	++++	+++	+++	-	-	+	-
		زیر سطحی	+++	++++	++++	-	-	-	-
۱۱	بکر	سطحی	++	+++	++++	-	++	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	++++	-	+	-	-
۱۲	شالیزار	سطحی	++++	++	+++	-	-	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	++++	-	-	-	-
۱۳	بکر	سطحی	++	+++	++++	-	++	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	++++	-	+	-	-
۱۴	شالیزار	سطحی	+++	++	+++	-	-	-	-
		زیر سطحی	+++	+++	+++	-	-	+	-
۱۵	بکر	سطحی	+	+++	+++	-	+++	-	-
		زیر سطحی	+	++++	++++	-	+	-	-
۱۶	شالیزار	سطحی	++++	+++	+++	-	-	+	-
		زیر سطحی	+	++++	++++	-	-	-	-
۱۷	بکر	سطحی	+++	+++	+++	-	+++	-	-
		زیر سطحی	+++	++++	++++	-	+	-	-
۱۸	شالیزار	سطحی	++++	+++	+++	-	-	+	-
		زیر سطحی	+++	++++	+++	-	-	+	+
۱۹	بکر	سطحی	+++	+++	++	-	++	-	+
		زیر سطحی	+++	+++	++	-	++	-	-
۲۰	شالیزار	سطحی	++++	+++	+++	-	-	+	+
		زیر سطحی	+++	++++	+++	-	-	-	+

- : جزئی یا وجود ندارد، + : ۵ تا ۱۰ درصد، ++ : ۱۰-۲۰ درصد، +++ :۲۰-۳۵ درصد، +++ :۳۵ تا ۶۰ درصد

میانگین مقدار رس در خاک‌های سطحی شالیزار ۴۳/۴ درصد اندازه‌گیری شد که بیشتر از خاک‌های سطحی غیرشالیزار بوده (۳۵/۴ درصد) که اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود داشت (جدول ۱). مقدار رس خاک‌های زیرسطحی شالیزار (۴۸/۴ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار رس در خاک‌های زیرسطحی غیرشالیزار (۳۷/۳ درصد) بود. خاک‌های شالیزار دارای ۶۵-۳۰ درصد رس (میانگین ۴۶ درصد) در افق‌های زیر سطحی بالایی (تا ۴۰ سانتی‌متری زیرسطح) بود که می‌تواند نتیجه تجمع مواد ریز تخریب یافته از سطح باشد. نتایج (Owliaie and Najafi, 2013) نشان می‌دهد که کشت برنج موجب افزایش ۵/۷ درصدی میزان رس در کل پروفیل و افزایش ۸ درصدی در خاک‌های سطحی خاک‌های شالیزار شده است. چنگ و

همکاران (2009) Cheng *et al.*, نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند. میانگین مقدار سیلت و شن در خاک‌های سطحی شالیزار به‌ترتیب ۳۴/۹ و ۲۱/۶ درصد بود که با مقادیر آن‌ها در خاک‌های سطحی غیرشالیزار (به‌ترتیب ۳۷/۶ و ۲۶/۹ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین مقدار سیلت و شن در خاک‌های زیرسطحی شالیزار و غیرشالیزار نیز با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. میانگین مقدار کربنات کلسیم معادل (CCE) در خاک‌های سطحی و زیر سطحی شالیزار به‌ترتیب ۵۴/۵ و ۵۴/۸ درصد بوده و اختلاف بین آنها معنی دار نبود. همچنین میانگین CCE برای خاک‌های سطحی و زیرسطحی غیرشالیزار نیز به‌ترتیب ۵۸/۸ و ۵۹/۹ درصد بود و مانند خاک‌های سطحی، اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که به‌طور کلی میزان کربنات کلسیم معادل در خاک‌های غیر شالیزار بیشتر از خاک‌های شالیزار می‌باشد که کشت و کار برنج باعث افزایش آهک‌زدایی در خاک‌های سطحی و زیر سطحی شالیزارها نسبت به غیرشالیزارها شده است. همچنین نتایج ثابت کرد که اگرچه کاهش مقدار کربنات کلسیم در خاک‌های سطحی مزارع برنج بیشتر و سریع‌تر رخ داده است اما آهک‌زدایی در خاک‌های زیرسطحی این مزارع نیز کمی انجام شده است. (Kalbitz *et al.*, 2013) نیز نشان دادند که مدیریت کشت و کار برنج آهک زدایی را نسبت به مزارع دیگر محصولات کشاورزی افزایش می‌دهد. با افزایش زمان کاشت برنج (در سال‌های طولانی) مقدار CCE به تدریج کاهش پیدا می‌کند زیرا در سیستم کشت برنج در نتیجه آبیاری مصنوعی دوره‌ای و زهکشی متوالی طولانی مدت، کربنات کلسیم شسته می‌شود. فشار جزیی زیاد گاز دی اکسید کربن در خاک در زمان غرقاب نیز ممکن است زمینه مناسبی برای انحلال کربنات کلسیم و خروج آن را از پروفیل فراهم کند (Van den Berg and Loch, 2000). وقتی که خاک غیراشباع غرقاب می‌شود تأثیر کلی غرقاب شدن، افزایش پ هاش خاک های اسیدی و کاهش پ هاش خاک های قلیایی و آهکی است (Goto *et al.*, 2003; Najafi and Towfighi, 2008; Azadi *et al.*, 2021). افزایش در پ‌هاش خاک‌های اسیدی به دلیل مصرف پروتون‌ها و کاهش در پ هاش خاک‌های قلیایی به دلیل افزایش فشار نسبی دی‌اکسید کربن گزارش شده است. پ‌هاش در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به علت غرقاب شدن عمدتا نزدیک ۷ می‌باشد.

پ‌هاش خاک شاید مهم‌ترین ویژگی شیمیایی خاک باشد که منعکس کننده وضعیت کلی شیمیایی خاک بوده و بسیاری از فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی رخ داده در خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل دانستن مقدار واقعی و تغییرات پ‌هاش مهم و ضروری است (Jaillard *et al.*, 2003). میانگین پ هاش در خاک‌های سطحی شالیزار (۷/۴۲) در مقایسه با خاک‌های غیرشالیزار (۷/۸۵) به طور معنی‌داری کمتر بود. مقایسه بین خاک‌های زیرسطحی شالیزار و غیرشالیزار نشان داد که مقادیر پ‌هاش به‌طور معنی‌داری با یکدیگر اختلاف داشتند. میانگین پ‌هاش در خاک‌های زیرسطحی شالیزار و غیرشالیزار به ترتیب ۷/۵۵ و ۷/۹۰ بود (جدول ۱). شرایط غرقاب و احیائی باعث کاهش پ‌هاش خاک، کاهش کربنات کلسیم معادل، افزایش کربن آلی، مقدار رس، و ظرفیت تبادل کاتیونی شده است. کاهش پ هاش خاک های قلیایی نیز نتیجه افزایش نسبی گاز دی‌اکسید-کربن در خاک‌های غرقاب است که با تشکیل اسید کربنیک باعث خنثی شدن پ هاش قلیایی خاک می‌شود. بنابراین، احیای آهن و غلظت دی اکسید کربن نقش مهمی در کنترل پ‌هاش خاک-های غرقـاب دارند (Kirk, 2004).

بر اساس نتایج این تحقیق قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌های شالیزار بیشتر از غیرشالیزار بود. میانگین EC خاک‌های سطحی شالیزار و غیرشالیزار به‌ترتیب ۱/۵۳ و ۱/۰۹ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین میانگین آن در خاک‌های زیرسطحی شالیزارها (۱/۰۱ دسی زیمنس بر متر) نیز بیشتر از خاک های زیرسطحی غیرشالیزار (۰/۸۹ دسی زیمنس بر متر) بود اما اختلاف معنی‌داری بین خاک‌های زیرسطحی شالیزار و غیرشالیزار مشاهده نشد. (Sahrawat and Narteh, 1999) دریافتند که EC بیشتر خاک‌ها پس از غرقاب کردن ابتدا افزایش یافته و به مقدار بیشینه رسیده و سپس کاهش یافته و به مقدار نسبتا ثابت و پایداری می‌رسد. تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک منعکس کننده توازن بین واکنش‌های تولید کننده یون و واکنش‌هایی است که این یون ها را غیرفعال کرده و یا با سایر یون‌ها جایگزین می‌کند (Ponnamperuma, 1972). Seyedmohammadi *et al.*, (2011) نیز افزایش در مقدار EC خاک های شالیزاری استان گیلان را گزارش کردند. میانگین CEC در خاک‌های سطحی پروفیل‌های شالیزار ۱۶ $cmol_c\ kg^{-1}$ بود که به طور معنی‌داری بزرگتر از مقدار میانگین آن در پروفیل‌های غیرشالیزار (۱۳/۴ $cmol_c\ kg^{-1}$) می باشد. همچنین میانگین CEC در خاک‌های زیرسطحی پروفیل‌های شالیزار ۱۴/۷ $cmol_c\ kg^{-1}$ اندازه گیری شد که بزرگتر از مقدار آن در پروفیل‌های غیرشالیزار (۱۲/۳ $cmol_c\ kg^{-1}$) (جدول ۱). مقدار بیشتر CEC در افق‌های سطحی و همچنین خاک‌های شالیزار نسبت به غیرشالیزار را می‌توان به مقادیر زیادتر ماده آلی نسبت داد. مقادیر بیشتر رس؛ بویژه رس‌های با CEC زیادتر (اسمکتیت) می تواند منعکس کننده و مرتبط با مقدار بالای CEC در بخش

رس خاک باشد. وجود بافت سنگین، چسبندگی، خاصیت انبساط و جذب رطوبت زیاد (درصد رطوبت اشباع زیاد) ناشی از وجود رس های ۲:۱ مونت موریلونیت در خاک‌های شالیزاری می‌باشد. نتایج کانی‌شناسی منطقه (جدول ۲) نیز نشان می‌دهد که رس عمده در خاکرخ‌ها، اسمکتیت می‌باشدکه همین عامل نیز منجر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در سطح خاک و بویژه خاک های شالیزاری شده است.

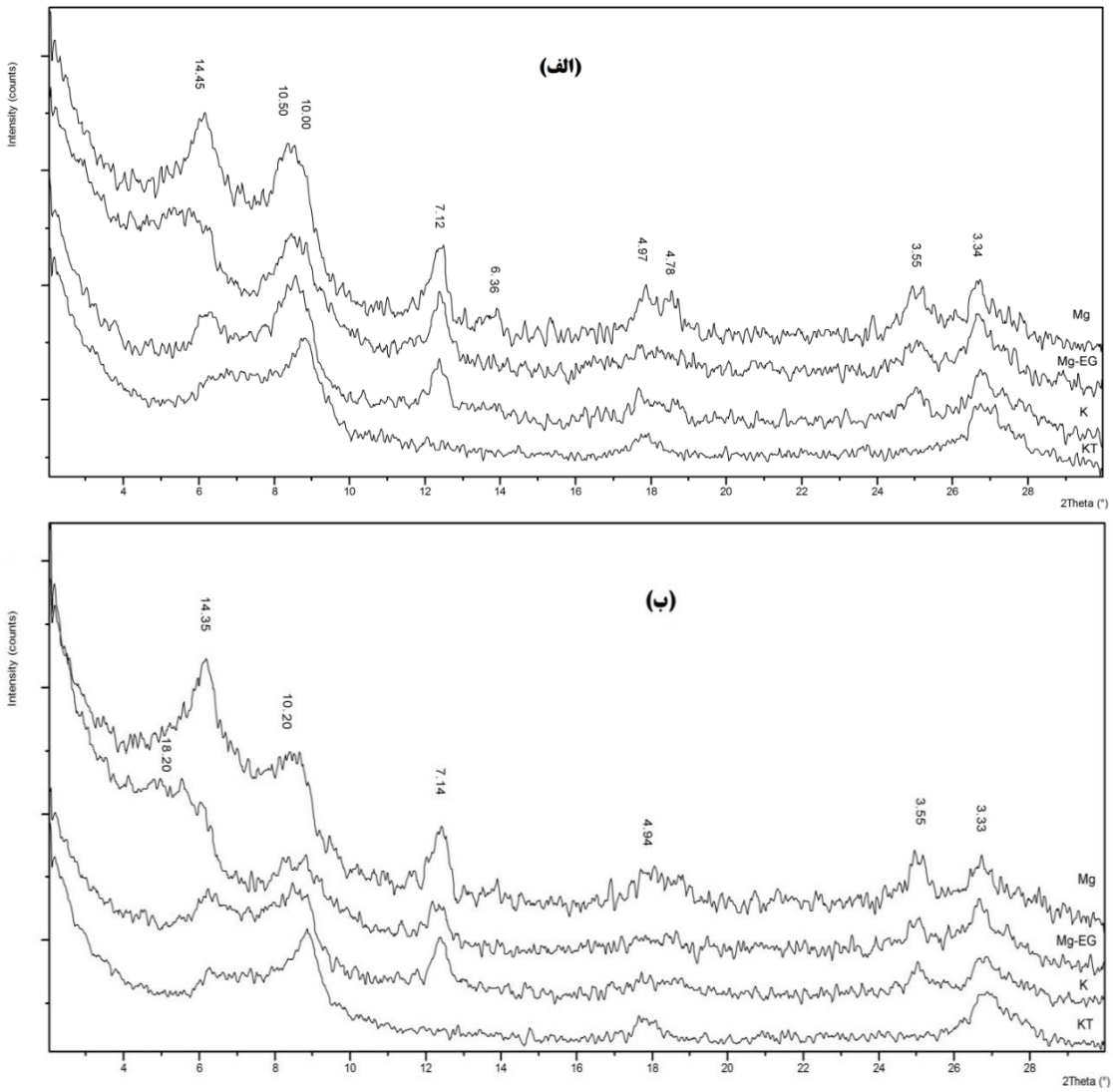
کانی‌شناسی خاکرخ‌های مورد مطالعه

نتایج نیمه‌کمی کانی‌شناسی بخش رس برخی افق‌های مطالعه-شده در جدول (۲) و برخی منحنی‌های پراش پرتو ایکس نیز در شکل (۲) آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که اسمکتیت، کلریت، و ایلیت به ترتیب کانی‌های عمده و غالب کل خاک‌های مطالعه شده است. همچنین پالیگورسکیت، ورمی‌کولیت، کائولینیت و کانی‌های مخلوط از لحاظ فراوانی نسبی به مقدار کمتری در خاک‌های مورد مطالعه وجود داشتند. این در حالی است که در خاک‌های بکر غیرشالیزار کانی‌های کلریت و ایلیت از لحاظ درصد فراوانی کانی‌های غالب و اسمکتیت و پالیگورسکیت در رتبه‌های بعدی قرار دارند. کانی‌های ورمی‌کولیت، کائولینیت و کانی‌های مخلوط نیز به مقادیر کمتر در خاک‌های غیرشالیزاری وجود داشتند. همچنین در خاک‌های اراضی شالیزاری کانی‌های اسمکتیت، کلریت، و ایلیت کانی‌های عمده و غالب و بعد از آن کائولینیت و کانی‌های مخلوط مهمترین کانی‌های خاک را تشکیل می‌دهند. در نهایت نتایج کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها نشان داد که نوع کانی‌ها در هر دو کاربری مشابه و عمدتاً شامل اسمکتایت، ایلیت، کلریت، پالیگورسکیت، ورمی کولیت و کائولینیت بوده اما مقدار نسبی آنها متفاوت می‌باشد. به‌نظر می-رسد که کشت طولانی مدت برنج فقط بر کمیت کانی‌های رسی تاثیرگذار بوده است به نحوی که در خاک‌های شالیزاری مقدار اسمکتایت زیاد بوده اما در اراضی بکر غیرشالیزاری مقادیر کانی های ایلیت، کلریت و پالیگورسکیت افزایش نشان داد. کانی‌های رسی شاید بیشتر تحت تاثیر مواد مادری بوده و شرایط اکوییک تاثیر کمی بر آنها داشته باشد. ایلیت و کلریت در هر دو نوع خاک، مشاهده شد و با افزایش عمق، مقدار آنها نیز به علت حضورشان در مواد مادری افزایش نشان داد. تبدیل ایلیت به اسمکتایت در افق‌های سطحی خاک‌های شالیزار منجر به افزایش مقدار نسبی اسمکتایت شد اما مقدار اسمکتایت با افزایش عمق کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که که حالت غرقاب در شالیزارها شرایط را برای پایدار ماندن ورمیکولیت فراهم کرده است. در رابطه با منشا کانی‌ها نیز کانی‌های کلریت، ایلیت، کائولینیت و پالیگورسکیت کاملا دارای منشاء موروثی بودند و منشاء اسمکتیت همچنین می‌تواند در اثر تبدیل و تغییر ایلیت و پالیگورسکیت و منشا نوتشکیلی باشد. به‌طور کلی می‌توان استنباط کرد که کاربری شالیزار و شرایط غرقاب بر نوع کانی‌های رسی تاثیر زیادی نداشته و لذا میزان درصد نسبی آنها دسخوش تغییراتی شده است. Torabi Golsefidi *et al.*, (2001) در بخش جلگه‌ای خاک‌های اراضی شالی‌کاری، به علت بالا بودن سطح سفره آب زیرزمینی و همچنین اشباع از سطح و در نهایت ایجاد وضعیت زهکشی نامطلوب، بعد از اسمکتیت کانی غالب این خاکها را کائولینیت گزارش دادند. ایشان همچنین گزارش دادند که در شرایط نامساعد زهکشی در خاک‌های شالیزاری، اسمکتیت پایدارتر بوده ولی در شرایط مناسب‌تر زهکشی که خاک از وضعیت هوازی‌تری برخوردار است، کانی ورمیکولیت نسبت به اسمکتیت بیشتر است. Zhang and Gong, (2003)، در بررسی‌های خود گزارش کردند که کشت برنج در یک دوره سی تا هشت ساله منجر به کاهش کانی‌های حاوی پتاسیم (ایلیت و کانی مخلوط لایه شامل میکا) و افزایش کلریت منیزیم‌دار و آهن‌دار به صورت برگشت ناپذیر شده است.

بررسی وضعیت شکل‌های پتاسیم

پتاسیم محلول و تبادلی

نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم محلول در خاکرخ‌های منطقه متفاوت بوده به طوری که مقدار آن در میانگین کل افق‌های خاک‌های غیرشالیزاری از ۰/۲۲تا ۱۲/ ۹۷ (میانگین ۳/۵۰) و در خاک‌های شالیزاری از ۰/۲۷ تا ۱۰/۰۷ (میانگین ۲/۵۱) میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. تغییرات و مقدار میانگین این شکل از پتاسیم در خاک‌های سطحی نسبت به خاک‌های زیرسطحی خاک‌های مورد مطالعه بیشتر بوده؛ اما مقدار آن در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیرسطحی است. بیشترین میزان تغییرات در پتاسیم محلول دیده می‌شود که به علت وجود عوامل بسیار متعددی است که می‌تواند روی مقدار این شکل پتاسیم در مدت زمان کوتاه اثر داشته باشد. سطوح پتاسیم محلول به‌وسیله واکنش‌های تعادلی و سینتیکی که بین شکل‌های مختلف پتاسیم اتفاق می‌افتد، مقدار رطوبت خاک، غلظت کاتیون‌های دوظرفیتی و فاز تبادلی تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Sparks, 2000). این تغییرات در خاک‌های سطحی شالیزارها و غیرشالیزارها به‌ترتیب در دامنه ۱۰/۰۷- ۱/۷۱ (میانگین۴/۳۹) و ۱۲/۹۷- ۲/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۷/۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در خاک‌های زیر سطحی شالیزارها و غیرشالیزارها به ترتیب در دامنه ۵/۴۴- ۰/۲۷ (میانگین ۲/۳۸) و ۵/۸۱ – ۰/۵۷ میلی‌گرم بر



شکل ۲- دیفرکتوگرام‌های پرتو پراش ایکس افق سطحی غیر شالیزار (الف) و شالیزار (ب) در منطقه فیروزآباد.

کیلوگرم (میانگین ۲/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. مقادیر بیشتر پتاسیم محلول در خاک‌های سطحی احتمالا می‌تواند به‌علت هوادیدگی بیشتر کانی‌های پتاسیم‌دار و آزاد شدن پتاسیم به محلول خاک، بازگرداندن بقایای گیاهی و انتقال پتاسیم موجود در محلول خاک از اعماق به سطح به علت تبخیر زیاد در سطح باشد (Najafi *et al*., 2019). این شکل از پتاسیم بخش بسیار کوچکی از کل پتاسیم خاک را در خاک‌های مطالعه شده تشکیل می‌دهد به طوری که در خاک‌های غیرشالیزار و شالیزار به طور میانگین ۰/۰۶ و ۰/۰۴ درصد از کل پتاسیم را شامل می‌شود. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد (شکل ۳) خاک‌های شالیزاری نسبت به خاک‌های غیرشالیزاری دارای مقادیر کمتری از پتاسیم محلول هستند. این افزایش مقدار پتاسیم محلول در افق‌های سطحی، زیرسطحی و کل افق‌های غیرشالیزار نسبت به شالیزار بیشتر می باشد. مقدار پتاسیمی که در محلول خاک وجود دارد، بسته به طبیعت گیاه، ساختار خاک، سطح کودی و مقدار رطوبت متغیر است. عوامل مهم تاثیرگذار در تعیین مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های مورد مطالعه، مقدار آبشویی و کاربرد کود پتاسیم می‌باشد. هر چه مقدار آبشویی در خاک‌ها کمتر باشد غلظت پتاسیم محلول افزایش می‌یابد. آبشویی کم را در مناطق خشک‌تر می‌توان انتظار داشت. دلیل مقادیر پتاسیم محلول بیشتر در خاک‌های بکر غیرشالیزار نسبت به اراضی شالیزار را می‌توان به قرار گرفتن این خاک‌ها (غیرشالیزار) در محیط‌های خشک و بدون آبشویی کافی در پروفیل خاک نسبت داد که این شرایط سبب تجمع یون‌های حاصل از تجزیه کانی‌ها در پروفیل این خاک‌ها شده است. در صورتی که در اراضی شالیزاری به‌علت غرقاب بودن خاک امکان شستشو و آبشویی پتاسیم و سایر یون‌های حاصل از تجزیه کانی ها وجود دارد. همچنین در این خاک، به علت عدم استفاده کشاورزان مناطق مورد مطالعه از کودهای پتاسیمی، گیاه

برنج پتاسیم مورد نیاز خود را از شکل‌های محلول و تبادلی خاک تامین کرده و غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد. همانگونه که قبلا ذکر شده است عملیات آماده سازی زمین جهت کشت برنج و تخریب ذرات درشت تر خاک موجب افزایش مقدار رس در خاک‌های شالیزاری بویژه در افق‌های سطحی و زیرسطحی می‌شود. در حالی که اراضی غیرشالیزاری دارای مقادیر کمتر رس و مقادیر زیادتر سیلت و شن هستند. شاید بتوان بیشتر بودن پتاسیم محلول در خاک‌های بکر را به بالا بودن درصد سیلت و شن نسبت به رس مرتبط دانست. جدول (۴) ضریب‌های همبستگی ساده خطی بین شکل‌های مختلف پتاسیم و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. همبستگی مثبت و معنی دار (در سطح یک درصد) مقدار پتاسیم محلول خاک و مقدار سیلت (**۰/۳۱۷) و ارتباط منفی و معنی‌دار آن (در سطح یک درصد) با رس(**۰/۳۴۴-) می‌تواند موید این مطلب باشد. (, Fotyma 2007) با مطالعه خاک‌های جنوب هلند نشان داد میانگین پتاسیم محلول در خاک‌های با بافت سبک و خیلی سبک دو برابر بیشتر از خاک های با بافت متوسط و سه برابر بیشتر از خاک‌های سنگین بافت بود. در خاک‌های رسی، غلظت پتاسیم محلول با افزایش پتاسیم تبادلی، به کندی افزایش می‌یابد، در حالی‌که در خاک های شنی، با افزایش پتاسیم تبادلی، پتاسیم محلول با سرعت بیشتری صورت افزایش می‌یابد (Ningapa and Vanuld.,1989). به‌علت حساسیت پتاسیم محلول به تغییر عوامل محیطی مختلف، این شکل پتاسیم فقط با شکل تبادلی ارتباط مثبت و معنی‌دار (در سطح یک درصد) داشته (**۰/۳۸۸) و با پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی و کل همبستگی نشان نمی‌دهد. همچنین پتاسیم محلول با مقدار کربن آلی و سیلت خاک ارتباط مثبت و معنی داری در سطح یک درصد (به ترتیب با ضریب (**۰/۵۶۱ و **۰/۳۱۷) و با مقدار رس خاک ارتباط منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد دارد (**۰/۳۴۴-). نتایج مشابهی بوسیله Azadi et al., (2016) گزارش شده است.

پتاسیم تبادلی پتاسیمی است که توسط بارهای منفی کلوئیدهای آلی و معدنی نگهداری شده و دارای پیوند الکتروستاتیکی با سطوح کانی‌های رسی و مواد آلی می‌باشد (Hosseinpur and Safari Sinegani, 2007). مقدار پتاسیمی که در کمپلکس تبادلی نگهداری می‌شود به نوع و مقدار رس، موادآلی و پ هاش خاک بستگی دارد (Richards *et al*., 1988). تغییرات شکل تبادلی پتاسیم در خاک‌های سطحی شالیزارها و غیرشالیزارها به ترتیب در دامنه ۱۴۱/۳ تا ۲۶۷/۴ (با میانگین ۱۹۹/۶) و ۱۷۳/۱ تا ۳۵۱/۵ (با میانگین ۲۶۷/۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های زیر سطحی شالیزارها و غیرشالیزارها به‌ترتیب در دامنه ۱۱۸/۵ تا ۱۹۹/۶ (با میانگین ۱۵۷/۲) و ۱۲۴/۱ تا ۳۲۰/۸ (با میانگین ۲۰۵/۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. همچنین مقدار آن در میانگین کل افق های خاک‌های غیرشالیزاری از ۱۰۵/۴ تا ۳۵۱/۵ (با میانگین ۱۹۸/۶) و در خاک‌های شالیزاری از ۱۰۳/۷ تا ۲۷۶/۴ (با میانگین ۱۶۳/۷) میلی گرم در کیلوگرم متغیر است. همانگونه که مشاهده می‌شود خاک‌های سطحی شالیزار و غیرشالیزار دارای مقادیر بیشتری از پتاسیم تبادلی نسبت به خاک‌های زیرسطحی می‌باشند (جدول ۳ و شکل۳). در خاک‌های مطالعه شده، این شکل از پتاسیم حدود ۱/۸ تا ۷/۷ (با میانگین ۳/۷ درصد) از کل پتاسیم خاک‌های غیرشالیزار و ۱/۶ تا ۴/۴ (با میانگین ۲/۷ درصد) از کل پتاسیم خاک‌های شالیزار را تشکیل داده که بخش کوچکی از کل پتاسیم خاک را شامل می‌شود. عوامل متعددی می‌توانند روی مقدار پتاسیم تبادلی اثر بگذارند مانند: مقدار و نوع کانی‌ها، آبشویی، توزیع اندازه ذرات، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، پ‌هاش خاک، عمق لایه و وجود ترکیبات فسفات در خاک ها (Igwe *et al*., 2008). Bhonsle *et al*., (1992)، نتیجه گرفتند که بالاترین مقدار پتاسیم تبادلی در خاک‌های با رس غالب اسمکتیت وجود دارد. شاید دلیل بیشتر بودن پتاسیم تبادلی در خاک های سطحی نسبت به زیرسطحی مناطق مطالعه شده، بیشتر بودن اسمکتیت و مواد آلی در سطح خاک باشد. درصد اشباع پتاسیم که عبارت است از درصدی از ظرفیت تبادل کاتیونی خاک که توسط پتاسیم اشغال شده در خاک های غیرشالیزاری در محدوده ۲ تا ۷/۱ و به طور میانگین ۴/۴ درصد می‌باشد. این مقدار در خاک‌های شالیزاری کمی متفاوت بوده و در محدوده ۱/۶ تا ۵/۷ و میانگین ۳/۵ درصد برآورد شد. نتایج ذکر شده نشان می‌دهد خاک‌های شالیزاری نسبت به خاک‌های غیرشالیزاری دارای مقادیر کمتری از پتاسیم تبادلی هستند. این افزایش مقدار پتاسیم تبادلی در افق های سطحی و میانگین کل افق‌های غیرشالیزار نسبت به شالیزار معنی‌دار بوده اما درخاک‌های زیرسطحی معنی دار نیست. مقدار پتاسیم تبادلی خاک می‌تواند از جذب بوسیله گیاه، جایگزین شدن بوسیله شکل‌های دیگر پتاسیم تاثیرپذیر باشد. شکل تبادلی و محلول پتاسیم به عنوان پتاسیم قابل استفاده گیاه در نظر گرفته شده و به‌راحتی جذب می‌شود. شاید بتوان کاهش مقادیر پتاسیم تبادلی در اراضی شالیزاری نسبت به اراضی بکر را اینگونه توجیه کرد که در مناطق مورد مطالعه، به علت عدم استفاده کافی و به موقع کودهای پتاسیمی در شالیزارها، گیاه برنج پتاسیم مورد نیاز خود را از شکل های محلول و تبادلی خاک تامین کرده و غلظت آن‌ها کاهش می یابد. همچنین آبشویی و پتاسیم زدایی از شالیزارها در نتیجه غرقاب مصنوعی، جذب بیشتر پتاسیم در شالیزارها به دلیل تراکم بیشتر ریشه برنج، غالبیت کانی اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد در خاک‌های شالیزاری که سبب تثبیت پتاسیم

می‌شوند نیز از دلایل کاهش مقدار پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم می‌تواند باشد. Bruckert *et al*., (1992) معتقدند که در محیط‌های آب‌گرفته و بی‌هوازی پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی کمتر از خاک‌های با زهکشی مناسب می‌باشد. Uostan,(1994) پس از بررسی ۵۲ خاک شالیزاری شمال کشور نشان داد که پتاسیم محلول و تبادلی و پتاسیم غیرقابل تبادل خاک‌های شالیزاری کاهش معنی‌داری نسبت به خاک های غیرشالیزاری مشابه داشته است. Towfighi (1998) برآورد کرد که نزدیک به یکصد هزار هکتار از شالیزارهای زیرکشت ارقام پرمحصول در شمال کشور دارای پتاسیم سهل الوصول نسبتا کم و زیر سطح بحرانی هستند. همانگونه که در جدول (۴) مشاهده می‌شود پتاسیم تبادلی با مقدار کربن آلی، پتاسیم محلول و پتاسیم غیرتبادلی ارتباط مثبت و معنی‌داری (به‌ترتیب **۰/۳۶۹،**۰/۳۸۸ و **۰/۴۲۵) دارد. همچنین پتاسیم تبادلی ارتباط منفی اما بدون معنی داری با کربنات کلسیم، گچ و درصد شن دارد. ارتباط مثبت و بدون معنی‌داری بین مقدار رس خاک و مقدار این شکل از پتاسیم مشاهده شد که رابطه مثبت و معنی‌دار کربن آلی با مقدار پتاسیم تبادلی نشان دهنده این موضوع است که نقش ماده آلی از مقدار رس بیشتر است. همبستگی منفی شکل‌های مختلف پتاسیم با کربنات کلسیم و گچ با توجه به خنثی بودن این دو جزء و اثر رقت آن قابل انتظار می‌باشد (Azadi and Shakeri, 2020) و Raheb and Heidari , (2012)، ارتباط مثبت و معنی داری بین پتاسیم تبادلی با مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی را گزارش کردند. نتایج بررسی Davatgar *et al*., (2006) بر وضعیت پتاسیم شالیزارهای استان گیلان نشان داد که پتاسیم محلول متاثر از مقدار شن، پ هاش، کربن آلی و پتاسیم تبادلی بوده و پتاسیم تبادلی تحت تاثیر پتاسیم محلول، پتاسیم غیرتبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی قرار داشت.

پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی

مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های شالیزاری و غیرشالیزاری و همچنین در افق‌های مختلف متغیر بود. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۳) تغییرات شکل پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های سطحی شالیزارها و غیرشالیزارها به ترتیب در دامنه ۳۵۸/۹ تا ۱۲۵۵/۱ (با میانگین ۶۳۸/۱) و ۴۶۰/۷ تا ۱۵۹۵/۹ (با میانگین ۷۷۱/۳) میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های زیرسطحی شالیزارها و غیرشالیزارها به‌ترتیب در محدوده ۳۷۶/۷ تا ۹۵۴/۱ (با میانگین ۵۹۰/۷) و ۴۴۴/۲ تا ۱۲۹۴/۰ (با میانگین ۷۰۷/۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. همچنین مقدار آن در میانگین کل افق‌های خاک‌های غیرشالیزاری از ۳۰۲/۴ تا ۱۵۹۵/۹ (با میانگین ۶۶۶/۸) و در خاک‌های شالیزاری از ۱۵۷/۴ تا ۱۲۵۵/۱ (با میانگین ۵۷۱/۲) میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. همانگونه که مشاهده می‌شود خاک‌های سطحی شالیزار و غیرشالیزار دارای مقادیر بیشتری از پتاسیم غیرتبادلی نسبت به خاک‌های زیرسطحی می‌باشند. Raheb and Heidari, (2012) دریافتند که به دلیل شرایط حرارتی و رطوبتی که برای هوادیدگی کانی‌های اولیه مناسب تر است، مقدار پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی در سطح خاک نسبت به عمق بیشتر است. Smith *et al*., (1994) و Steffen and Sparks, (1997) مشاهده کردند که وجود میکاهای هوادیده در خاک‌های سطحی سبب آزادسازی بیشتر آمونیوم غیرتبادلی نسبت به خاک های زیرسطحی که دارای میکاهای غیرهوادیده هستند می‌شود. در خاک های مطالعه شده، این شکل از پتاسیم حدود ۶/۶ تا ۲۴ (با میانگین ۱۲/۱ درصد) از کل پتاسیم خاک های غیرشالیزار و ۲/۴ تا ۲۰ (با میانگین ۹/۴ درصد) از کل پتاسیم خاک های شالیزار را تشکیل داده است. Srinivasarao *et al*., (2006)، نشان دادند که پتاسیم تجمعی خارج شده در سطح خاک ها بیشتر از افق های پایینی است. همچنین بیشترین مقدار پتاسیم غیرقابل تبادل به‌ترتیب در خاک‌های با کانی غالب اسمکتایت، ایلیت و کائولینیت بود. نقش پتاسیم غیرتبادلی خاک در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه به عوامل مختلفی مانند نوع، میزان پتاسیم در کانی و فراوانی و نوع کانی های پتاسیم دار و اندازه ذرات آنها، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک، غلظت پتاسیم در آب آبیاری، میزان پتاسیم آزاد شده از بقایای گیاهی و غیره بستگی دارد(Jalali, 2006).

نتایج ذکر شده جدول (۳) و شکل (۳) نشان می‌دهد خاک‌های شالیزاری نسبت به خاک‌های غیرشالیزاری دارای مقادیر کمتری از پتاسیم غیرتبادلی هستند. این افزایش مقدار پتاسیم غیرتبادلی در افق‌های سطحی، زیرسطحی و میانگین کل افق‌های غیرشالیزار نسبت به شالیزار معنی‌دار می باشد. مقدار پتاسیم تثبیت شده بستگی به عوامل گوناگونی مثل توزیع اندازه ذرات، نوع و مقدار کانی رسی و افزایش یا برداشته شدن پتاسیم از کانی دارد. ویژگی‌های خاک و فعالیت‌های انسانی و کاربری‌های مختلف تاثیر معنی‌داری بر پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده دارد (Papini *et al*., 2011). در خاک‌های شالیزاری مورد مطالعه به‌علت عدم استفاده از کودهای پتاسیمی و استفاده گیاه از پتاسیم محلول و تبادلی موجود در خاک، غلظت این شکل‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین کاهش پتاسیم خاک در شالیزارها از طریق آبشویی نیز محتمل است که نهایتا این کاهش پتاسیم خاک (به‌وسیله آبشویی یا جذب توسط گیاه) باعث آزادسازی پتاسیم از جایگاه های تثبیت شده یا غیر قابل تبادل شده و منجر به کاهش غلظت پتاسیم غیرتبادلی خاک می‌شود. این کاهش بویژه در خاک‌های سطحی و زیرسطحی که پراکنش ریشه و جذب پتاسیم بیشتر است محسوس تر مشاهده شد. Gassman, (1995)، با

مطالعه بر روی گیاه برنج به این نتیجه رسید که این گیاه بیشتر نیاز پتاسیمی خود را از طریق پتاسیم غیرتبادلی تأمین می کند و دلیل آن را تراکم بالای ریشه برنج و غلظت کم پتاسیم محلول بیان می‌کند.

جدول ۳- وضعیت توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های سطحی و زیر سطحی دو کاربری شالیزار و غیر شالیزار(بکر)

خاکرخ	کاربری	عمق	توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)					درصد اشباع	توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم (٪)			
			محلول	تبادلی	غیرتبادلی	ساختمانی	کل	پتاسیم	محلول	تبادلی	غیرتبادلی	ساختمانی
۱	بکر	سطحی	۶/۷	۳۰۷/۱	۶۱۱/۸	۴۶۵۷/۲	۵۵۶۲/۸	۶/۲	۰/۱۲	۵/۵	۱۱	۸۳/۴
		زیر سطحی	۱/۹	۲۹۴	۶۶۳/۸	۵۴۹۳/۳	۶۴۵۳	۶	۰/۰۳	۴/۶	۱۰/۳	۸۵/۱
۲	شالیزار	سطحی	۵/۹	۲۱۲/۲	۴۳۲/۸	۵۴۹۹/۵	۶۱۵۰/۴	۳/۶	۰/۱۰	۳/۵	۷	۸۹/۴
		زیر سطحی	۵/۴	۱۷۱/۶	۵۵۱/۹	۵۶۰۲/۳	۶۳۳۱/۲	۳/۲	۰/۰۹	۲/۷	۸/۷	۸۸/۵
۳	بکر	سطحی	۶/۱	۲۱۵	۴۶۰/۷	۲۵۸۷/۲	۳۲۶۹	۵/۵	۰/۱۹	۶/۶	۱۴/۱	۷۹/۱
		زیر سطحی	۲/۵	۱۹۹	۴۴۴/۲	۱۹۲۶/۷	۲۵۷۲/۴	۵/۳	۰/۰۱	۷/۷	۱۷/۳	۷۴/۹
۴	شالیزار	سطحی	۱/۷	۱۵۱/۳	۴۰۷/۴	۴۶۱۳/۹	۵۱۷۴/۳	۲/۸	۰/۰۳	۲/۹	۷/۹	۸۹/۲
		زیر سطحی	۰/۹	۱۶۸/۱	۳۷۶/۷	۵۴۸۵/۳	۶۰۳۱	۳/۱	۰/۰۱	۲/۸	۶/۲	۹۱
۵	بکر	سطحی	۱۳	۲۷۵/۶	۵۲۰/۶	۳۱۳۱/۲	۳۹۴۰/۴	۶/۳	۰/۳۳	۷	۱۳/۲	۷۹/۵
		زیر سطحی	۴/۸	۲۵۶	۵۱۶/۱	۳۴۷۱/۲	۴۲۴۸	۶/۵	۰/۱۱	۶	۱۲/۱	۸۱/۷
۶	شالیزار	سطحی	۱۰/۱	۱۹۱/۴	۳۵۸/۹	۳۷۹۲	۴۳۵۲/۵	۳/۵	۰/۲۳	۴/۴	۸/۲	۸۷/۱
		زیر سطحی	۰/۹	۱۲۸/۷	۴۱۶/۱	۳۳۴۴/۳	۳۸۹۰	۲/۹	۰/۰۲	۳/۳	۱۰/۷	۸۶
۷	بکر	سطحی	۱۲	۱۷۳/۱	۵۱۲/۳	۴۸۶۵/۴	۵۵۶۲/۸	۴/۴	۰/۲۲	۳/۱	۹/۲	۸۷/۵
		زیر سطحی	۵/۸	۱۴۷/۲	۵۳۳/۸	۴۴۲۲/۷	۵۱۰۹/۶	۴/۳	۰/۱۱	۲/۹	۱۰/۴	۸۶/۶
۸	شالیزار	سطحی	۸/۲	۱۶۸/۸	۴۷۳/۹	۵۰۷۰/۵	۵۷۲۱/۵	۳/۲	۰/۱۴	۳	۸/۳	۸۸/۶
		زیر سطحی	۲/۸	۱۵۸/۲	۴۵۹/۴	۵۵۳۰	۶۱۵۰/۴	۳/۶	۰/۰۴	۲/۶	۷/۵	۸۹/۹
۹	بکر	سطحی	۴	۱۹۷/۵	۴۸۰/۳	۳۱۰۷/۹	۳۷۸۹/۸	۴/۸	۰/۱۱	۵/۲	۱۲/۷	۸۲
		زیر سطحی	۲/۳	۱۳۵/۱	۴۶۷/۹	۳۵۳۹/۳	۴۱۴۴/۶	۳/۹	۰/۰۵	۳/۳	۱۱/۳	۸۵/۴
۱۰	شالیزار	سطحی	۳/۹	۱۴۱/۳	۴۹۰/۴	۴۴۱۸/۳	۵۰۵۴	۲/۵	۰/۰۸	۲/۸	۹/۷	۸۷/۴
		زیر سطحی	۱/۶	۱۲۸	۵۲۱/۳	۴۰۲۰/۴	۴۶۷۱/۳	۲/۷	۰/۰۳	۲/۷	۱۱/۲	۸۶/۱
۱۱	بکر	سطحی	۸/۱	۳۵۱/۵	۱۵۹۵/۹	۴۷۰۶	۶۶۶۱/۴	۶	۰/۱۲	۳/۵	۲۴	۷۰/۶
		زیر سطحی	۲	۳۲۰/۸	۱۲۹۴	۴۴۷۳/۸	۶۰۹۰/۶	۶	۰/۰۳	۵/۳	۲۱/۲	۷۳/۵
۱۲	شالیزار	سطحی	۲/۶	۲۲۴	۹۲۷/۳	۵۶۴۵/۴	۶۷۹۹/۲	۳/۵	۰/۰۴	۳/۳	۱۳/۶	۸۳
		زیر سطحی	۴/۳	۱۴۰/۸	۹۰۱/۳	۵۱۰۳/۹	۶۱۵۰/۴	۲/۴	۰/۰۷	۲/۳	۱۴/۷	۸۳
۱۳	بکر	سطحی	۲/۴	۳۰۶	۱۳۷۰/۱	۴۵۰۵/۹	۶۱۸۴/۴	۵/۳	۰/۰۴	۴/۹	۲۲/۲	۷۲/۹
		زیر سطحی	۰/۶	۱۸۳/۷	۱۱۱۷/۹	۴۹۳۲/۴	۶۲۳۴/۶	۳/۱	۰/۰۱	۲/۹	۱۷/۹	۷۹/۱
۱۴	شالیزار	سطحی	۲	۲۶۷/۴	۱۲۵۵/۱	۴۷۴۶/۲	۶۲۷۰/۷	۴/۱	۰/۰۳	۴/۳	۲۰	۷۵/۷
		زیر سطحی	۰/۳	۱۶۰/۷	۹۴۳	۵۲۲۷/۲	۶۳۳۱/۲	۲/۷	۰/۰۱	۲/۵	۱۴/۹	۸۲/۶
۱۵	بکر	سطحی	۲/۷	۳۴۲/۵	۱۱۱۴/۹	۵۳۰۱/۲	۶۷۶۱/۴	۵/۸	۰/۰۴	۵/۱	۱۶/۵	۷۸/۴
		زیر سطحی	۲/۸	۲۵۷/۹	۱۰۹۵	۵۰۹۷/۳	۶۴۵۳	۴/۹	۰/۰۴	۴	۱۷	۷۹
۱۶	شالیزار	سطحی	۲/۱	۲۰۷/۷	۱۰۱۷/۴	۶۱۶۴	۷۳۹۱/۳	۲/۹	۰/۰۳	۲/۸	۱۳/۸	۸۳/۴
		زیر سطحی	۲/۴	۱۹۸	۹۵۴/۱	۶۱۲۷/۳	۷۲۸۱/۸	۲/۸	۰/۰۳	۲/۷	۱۳/۱	۸۴/۱
۱۷	بکر	سطحی	۳/۴	۲۲۳/۵	۵۶۶/۱	۵۷۶۹/۸	۶۵۶۲/۸	۳/۵	۰/۰۵	۳/۴	۸/۶	۸۷/۹
		زیر سطحی	۲/۷	۱۲۴/۱	۴۹۳/۶	۵۴۳۵/۴	۶۰۵۵/۸	۲/۱	۰/۰۴	۲	۸/۲	۸۹/۸
۱۸	شالیزار	سطحی	۲/۲	۱۷۶/۶	۵۶۶	۶۲۶۷/۶	۷۰۱۲/۳	۲/۴	۰/۰۳	۲/۵	۸/۱	۸۹/۴
		زیر سطحی	۱/۹	۱۹۹/۶	۴۰۳/۸	۶۶۶۱/۸	۷۲۶۷	۲/۸	۰/۰۳	۲/۷	۵/۶	۹۱/۷
۱۹	بکر	سطحی	۱۱/۶	۲۸۴/۲	۴۸۰/۹	۵۳۷۳/۶	۶۱۵۰/۴	۴/۱	۰/۱۹	۴/۶	۷/۸	۸۷/۴
		زیر سطحی	۴/۵	۱۴۰/۷	۴۴۵/۱	۵۵۷۱/۱	۶۱۶۲/۴	۲/۴	۰/۰۷	۲/۳	۷/۲	۹۰/۴
۲۰	شالیزار	سطحی	۵/۳	۲۵۵/۴	۴۵۲/۴	۵۸۰۱/۱	۶۵۱۴/۲	۳/۴	۰/۰۸	۳/۹	۶/۹	۸۹/۱
		زیر سطحی	۳/۴	۱۱۸/۵	۳۸۰/۱	۵۹۵۰/۹	۶۴۵۳	۱/۷	۰/۰۵	۱/۸	۵/۹	۹۲/۲
میانگین	بکر	سطحی	۷/۰a	۲۶۸a	۷۷۱a	۴۳۹۹b	۵۴۴۵b	۵/۲a	۰/۱۴a	۵/۱a	۱۳/۹a	۸۱c
		زیر سطحی	۳/۰b	۲۰۶bc	۷۰۷a	۴۴۳۶b	۵۳۵۲b	۴/۴b	۰/۰۶b	۴/۱b	۱۳/۳a	۸۳bc
	شالیزار	سطحی	۴/۴b	۲۰۰b	۶۳۸b	۵۲۰۲a	۶۰۴۴a	۳/۲c	۰/۰۸b	۳/۳b	۱۰/۴b	۸۶ab
		زیر سطحی	۲/۴b	۱۵۷c	۵۹۱b	۵۳۰۵a	۶۰۵۶ab	۲/۸c	۰/۰۴b	۲/۶c	۹/۸b	۸۷a

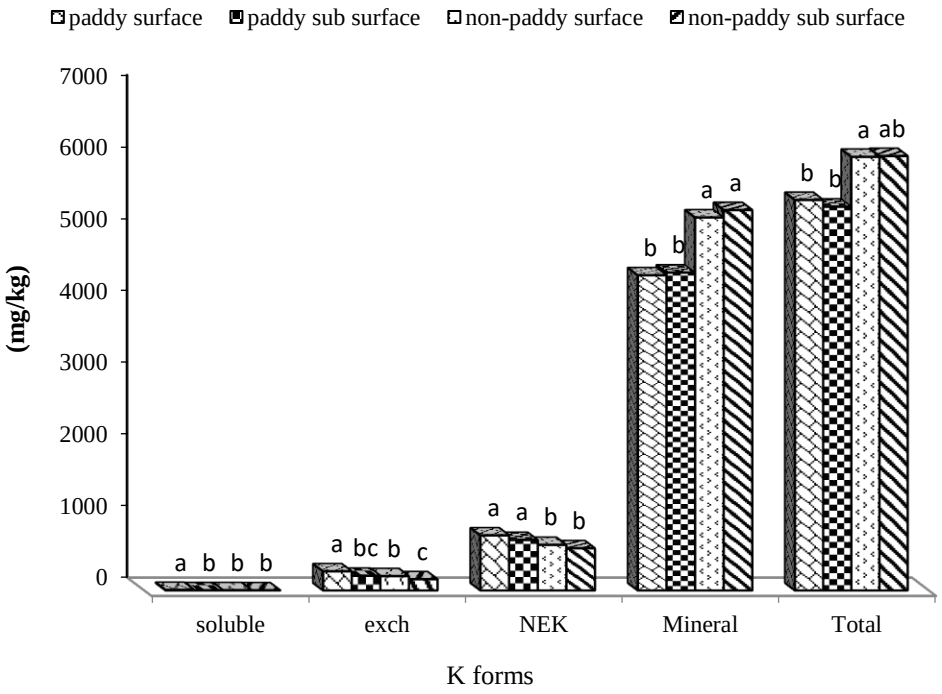
جدول ۴- ضریب‌های همبستگی ساده (r) بین شکل‌های مختلف پتاسیم و برخی خصوصیات خاک

	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیر تبادلی	پتاسیم ساختمانی	پ هاش	شوری	رس	سیلت	شن	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربن آلی
تبادلی	۰/۳۸۸**										
غیر تبادلی	-۰/۰۷۴	۰/۴۲۵**									
ساختمانی	-۰/۱۳۲	۰/۰۲۵	۰/۱۰۹								
پ هاش	-۰/۲۲۱*	-۰/۰۷۱	۰/۱۵۵	۰/۰۵۸							
شوری	۰/۱۶	۰/۰۶۴	۰/۲۸۸**	۰/۳۷۴**	-۰/۱۳						
رس	-۰/۳۴۴**	۰/۰۴۲	۰/۵۲۸**	۰/۴۹۳**	۰/۱۳۷	۰/۰۰۶					
سیلت	۰/۳۱۷**	۰/۰۶۶	-۰/۰۰۲	۰/۲۶۲*	-۰/۰۲۱	۰/۳۲۸**	-۰/۰۲۵				
شن	۰/۰۸۵	-۰/۰۷۴	-۰/۴۲۵**	-۰/۵۵۸**	-۰/۰۹۸	-۰/۲۰۵	-۰/۷۹۳**	-۰/۵۸۹**			
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۰۵۳	۰/۲۰۷	۰/۳۳۲**	۰/۵۴۲**	-۰/۱۱۴	۰/۲	۰/۶۰۳**	۰/۴۲۰**	۰/۳۱۱**		
کربن آلی	۰/۵۶۱**	۰/۳۶۹**	۰/۰۹۲	-۰/۱۴۹	-۰/۵۸۶**	۰/۰۲۴	-۰/۰۳۱	۰/۱۳۶	۰/۰۱۷	-۰/۱۰۶	
کربنات کلسیم معادل	۰/۰۹۳	-۰/۱۸۸	-۰/۶۵۸**	-۰/۶۲۳**	-۰/۰۰۷	-۰/۴۱۹**	-۰/۶۹۶**	-۰/۱۳۶	۰/۶۴۵**	-۰/۵۶۸**	-۰/۱۴۷

هرچند شکل غیرتبادلی پتاسیم به سرعت در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرد اما مشاهده شده است که با برداشت محصول، از مقدار این شکل پتاسیم در خاک کاسته می‌شود (Srinivasarao *et al*., 2000). غلظت پتاسیم محلول در خاک عامل کلیدی تعیین پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده از کانی های خاک است. یک آستانه غلظت پتاسیم در محلول خاک وجود دارد که مانع آزادسازی بیشتر پتاسیم غیر تبادلی از کانی های خاک می‌شود. این آستانه بستگی به نوع کانی‌های خاک دارد. Hosseinpur *et al*., (2014) و Martin and Sparks (1983) در پژوهش‌های خود گزارش کردند که اگر غلظت پتاسیم در محلول از حدود ۰/۱ مول بر لیتر بیشتر شود از آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی جلوگیری خواهد کرد. Doberman and Fairhurst., (2000) نشان دادند که در شرایط کشت غرقاب برنج، آهن و منگنز احیاء شده، با پتاسیم برسر مکان‌های تبادلی رقابت می کنند و باعث ورود پتاسیم به محلول خاک شده که در خاک‌های شنی ممکن است باعث آبشویی پتاسیم از خاک شود. همچنین Wang *et al*.,(2011) بیان می کنند که ریشه برنج به درون محلول خاک یون هیدروژن و مولکول اکسیژن آزاد می‌کند که یون‌های هیدروژن آزاد شده می تواند جایگزین پتاسیم تبادلی شده و نیز باعث آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی خاک شود. طبق جدول (۴) مقدار پتاسیم غیرتبادلی ارتباط مثبت و معنی‌داری با شکل تبادلی پتاسیم (۰/۴۲۵**) و همچنین مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (به ترتیب با ضریب (۰/۵۲۸** و ۰/۳۳۲**) و ارتباط منفی و معنی‌داری با مقدار شن و کربنات کلسیم خاک ها (به ترتیب با ضریب (-۰/۴۲۵** و -۰/۶۵۸**) دارد. ارتباط مثبت و معنی‌دار مقدار رس با پتاسیم در خاک ها و همچنین ارتباط منفی و معنی دار مقدار شن نشان دهنده اهمیت مقدار رس بر مقدار این شکل از پتاسیم است. نتایج پژوهش (Hosseinpur and Motaghian., 2013) نشان داد پتاسیم غیرتبادلی بخش رس این خاک‌ها از پتاسیم غیرتبادلی بخش سیلت بیشتر است. (Farshadirad *et al*., 2011) در تحقیقاتشان نتیجه‌گیری کردند خاک‌های دارای کانی غالب ایلیت دارای بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی هستند. خاک‌هایی که مقدار زیادی میکا دارند، پتاسیم را با قدرت بیشتری جذب می کنند، که به راحتی قابل تبادل نبوده و می تواند مقدار بیشتری پتاسیم را با اسید نیتریک استخراج کند. (Nabiollahy *et al*., 2006)، با مطالعه خاک‌های غرب ایران نشان دادند که پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی و مقدار رس در خاک‌هایی که دارای مقدار رس ایلیت کمتر (۳۰-۱۰ درصد) بودند کمتر از خاک‌های با رس ایلیت بیشتر (۵۰ - ۳۰ درصد) می‌باشد. (Hosseinpur and Motaghian, 2013) نشان دادند که خاک‌هایی با بافت سنگین (دارای رس بیشتر) و خاک‌های با کانی غالب اسمکتیت، مقدار بیشتری پتاسیم غیرتبادلی دارند.

پتاسیم ساختمانی یا معدنی به عنوان پتاسیم بومی، ذخیره، زمینه، غیر هوادیده و یا خنثی نیز در نظر گرفته می‌شود. این شکل از پتاسیم بسیار به آرامی و کند برای گیاه قابل دسترس می‌شوند و این قابلیت دسترسی بستگی به سطح شکل‌های دیگر کانی و درجه هوادیدگی کانی حاوی پتاسیم مثل میکا و فلدسپارها دارد (Sparks, 2000). همانطور که مشاهده می‌شود مقدار پتاسیم ساختمانی در افق‌های سطحی شالیزار و غیر شالیزار کمتر از افق‌های پایینی است. شرایط محیطی سطح خاک (اختلاف دمای فصلی و شب و روز، رطوبت بیشتر در سطح به دلیل بارندگی و آبیاری و همچنین فعالیت ریزجانداران) باعث ناپایداری و هوادیدگی بیشتر کانی‌ها در سطح خاک شده در نتیجه پتاسیم بیشتری از کانی‌های اولیه و ثانویه خارج شده است. این شرایط باعث شده است که تبدیل شکل ساختمانی پتاسیم به شکل‌های غیرتبادلی و تبادلی در افق‌های سطحی بیشتر شود.

خاک‌های سطحی شالیزارها و غیرشالیزارهای مورد مطالعه به‌ترتیب دارای میانگین پتاسیم ساختمانی ۵۲۰۱/۸ (در دامنه ۳۷۹۲ تا ۶۲۶۷/۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۴۳۹۸/۵ (در دامنه ۲۵۸۷/۲ تا ۵۷۶۹/۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. میانگین این شکل از پتاسیم در خاک‌های زیرسطحی شالیزارها و غیرشالیزارها به ترتیب ۵۳۰۵/۳ (دامنه ۳۳۴۴/۳ تا ۶۶۶۱/۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۴۴۳۶/۴ (دامنه ۱۹۲۶/۷ تا ۵۵۷۲/۱) به‌دست آمد (جدول ۲). همانگونه که در شکل (۳) ارائه شده است به‌نظر می رسد اختلاف مقدار پتاسیم ساختمانی بین خاک‌های سطحی و زیر سطحی خاک‌های شالیزاری و غیرشالیزاری نامحسوس‌تر از شکل‌های دیگر پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه باشد و تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین خاکهای سطحی و زیر سطحی وجود ندارد. مقدار پتاسیم ساختمانی در میانگین کل افق‌های خاک های غیرشالیزاری از ۱۹۲۶/۷ تا ۶۴۷۲/۹ (با میانگین ۴۶۳۵/۱) و در خاک‌های شالیزاری از ۲۸۷۷/۱ تا ۸۱۸۲/۰ (با میانگین ۵۳۴۵/۶) میلی گرم در کیلوگرم متغیر است. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد خاک‌های شالیزاری نسبت به خاک‌های غیرشالیزاری دارای مقادیر بیشتری از پتاسیم ساختمانی و کل هستند. این افزایش مقدار پتاسیم ساختمانی در افق‌های سطحی و زیرسطحی نسبت به غیرشالیزار معنی‌دار است(شکل ۳). در خاک‌های مورد مطالعه، این شکل از پتاسیم حدود ۷۰/۶ تا ۹۹/۱ (با میانگین ۸۴/۰ درصد) از کل پتاسیم خاک‌های غیرشالیزار و ۷۵/۷ تا ۹۴/۷ (با میانگین ۸۷/۶ درصد) از کل پتاسیم خاک‌های شالیزار را تشکیل داده که درصد بالایی از پتاسیم کل خاک را شامل می‌شود. همانگونه که در جدول (۴) نشان داده شده است، پتاسیم ساختمانی همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقدار رس (**۰/۴۹۳) ، ظرفیت تبادل کاتیونی (**۰/۵۴۲) و ارتباط منفی و معنی‌دار با مقدار شن (**۰/۵۸۸-) و مقدار کربنات کلسیم (**۰/۶۲۳-) دارد همبستگی منفی و معنی‌دار این شکل از پتاسیم با مقدار کربنات کلسیم به‌علت اثر رقت می باشد. (Shakeri and Abtahi , 2018) نیز ارتباط مستقیم و معنی‌دار شکل‌های مختلف پتاسیم با مقدار رس خاک گزارش نمودند.

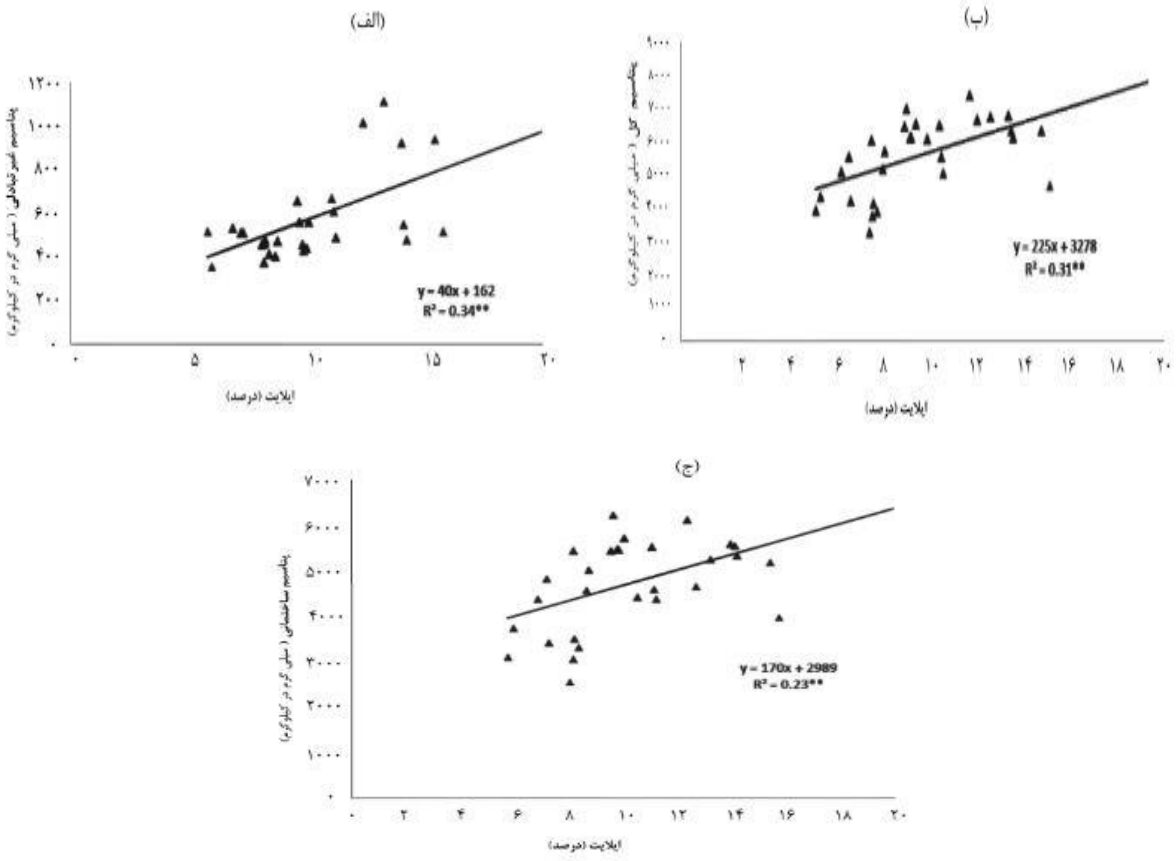


شکل ۳- توزیع شکل‌های پتاسیم در خاک‌های سطحی و زیر سطحی دو کاربری مورد مطالعه

درنهایت همانگونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، مطالعه کانی‌شناسی رس و روابط آن با شکل‌های مختلف پتاسیم نشان داد که میزان پتاسم غیر تبادلی(**۰/۳۴)، ساختمانی(**۰/۲۳) و کل (**۰/۳۱) به طور معنی‌داری با مقادیر کانی ایلیت در بخش رس خاک بدون در نظر گرفتن کاربری زمین و عمق خاک ارتباط دارد. ایلیت یک ماده معدنی حاوی پتاسیم در خاکهای آهکی جنوب ایران است و یون‌های پتاسیم ممکن است به دلیل کاهش غلظت پتاسیم محلول در آن از مایع آزاد شوند روابط بین شکل‌های پتاسیم و ایلیت قبلاً توسط برخی از محققان برای خاک‌های آهکی گزارش شده است (Nabiollahy et al., 2006 ؛ Najafi-Ghiri et al., 2011؛Azadi et al., 2015).

Najafi-Ghiri et al., (2011) بیان کردند که عواملی مانند تکامل خاک، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی و وضعیت فیزیوگرافی خاک، راسته‌های خاک، عمق ، فعالیت‌های کشاورزی، آبشویی و

برخی از خصوصیات خاک مانند توزیع اندازه ذرات، شوری خاک، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی بر توزیع شکل های پتاسیم اثر دارند. هیچ ارتباطی بین پتاسیم محلول و قابل تبادل با کانی‌شناسی رس مشاهده نشد. در حقیقت، بسیاری از فرآیندهای مختلف ممکن است پتاسیم محلول و قابل تبادل در خاک را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین، کانی شناسی رس نمی تواند محتویات این اشکال پتاسیم را پیش‌بینی کند.



شکل ۴- ارتباط بین شکل‌های پتاسیم (غیر تبادلی، ساختمانی و کل) و مقدار ایلیت

نتیجه‌گیری کلی

بهطور کلی نتایج نشان داد که غرقاب شدن تأثیر زیادی بر تشکیل خاک داشته به طوری که تحت شرایط کشت برنج غرقاب، پویایی و تحول خاک‌های شالیزاری سریع تر شده؛ که منجر به تسریع تشکیل خاک‌ها در این مناطق شده است. کشت برنج منجر به تجمع کربن آلی در افق‌های سطحی خاک، افزایش مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی، و کاهش پ‌هاش خاک‌های اراضی شالیزاری مورد مطالعه شد نتایج کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها نشان داد که نوع کانی‌ها در هر دو کاربری مشابه و عمدتاً شامل اسمکتایت، ایلیت، کلریت، پالیگورسکیت، ورمی کولیت و کائولینیت بوده اما مقدار نسبی آنها متفاوت می‌باشد. به نظر می‌رسد که کشت طولانی مدت برنج فقط بر کمیت کانی‌های رسی تاثیرگذار بوده است به طوریکه ایجاد شرایط غرقاب در منطقه به مدت طولانی موجب ناپایدار شدن ایلیت و پالیگورسکییت و تبدیل آن به کانی اسمکتیت شده است. میزان پتاسیم محلول، تبادلی و غیر تبادلی در خاکهای غیر شالیزار نسبت به شالیزار بیشتر بود. به طوری که خاک‌های سطحی شالیزاری و غیرشالیزاری دارای مقادیر بیشتری از پتاسیم تبادلی نسبت به خاک‌های زیرسطحی می‌باشند. آبشویی و پتاسیم زدایی از شالیزارها در نتیجه غرقاب مصنوعی، جذب بیشتر پتاسیم در شالیزارها به دلیل تراکم بیشتر ریشه برنج، غالبیت کانی اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد در خاک‌های شالیزاری که سبب تثبیت پتاسیم می‌شوند، می‌تواند از دلایل کاهش مقدار پتاسیم محلول و تبادلی در این خاک‌ها باشد. هرچند شکل غیرتبادلی پتاسیم به سرعت در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرد اما با برداشت محصول، از مقدار این شکل پتاسیم در خاک کاسته می‌شود که می‌تواند از دلایل کاهش مقدار آن در اراضی شالیزاری نسبت به اراضی بکر باشد. بررسی کلی بیانگر این موضوع است که عواملی

مانند کانی‌شناسی خاک به‌خصوص مقدار ایلیت، تکامل، شوری و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را در توزیع پتاسیم مختلف شکل‌های مختلف در خاک‌های شالیزاری و غیرشالیزاری دخیل می‌باشند، و یکی از مهمترین عوامل خاکساز مؤثر برتوزیع شکل‌های پتاسیم در خاک‌های شالیزاری خاک می‌تواند اقلیم منطقه(رژیم رطوبتی اکوئیک) باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که کشت برنج با توجه به اینکه این محصول نیاز بیشتری به عناصر غذایی از جمله پتاسیم دارند، باعث کاهش شکل‌های قابل دسترس پتاسیم و در نتیجه منجر به تخلیه تدریجی پتاسیم خاک شده و در نتیجه درصد قابل ملاحظه‌ای از اراضی شالیزاری از نظر تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه دچار کمبود شده است. بنابراین توصیه می‌شود جهت حفظ توازن عناصر غذایی در شالیزار، مصرف کودهای پتاسم با دقت بیشتری انجام شده و با کاربرد مناسب کودهای آلی و شیمیایی و میزان کمبود جبران و با اعمال تناوب کشت کیفیت خاک بهبود یابد.

سپاس‌گزاری

این تحقیق بخشی از رساله دکتری بوده و بدین‌وسیله از دانشگاه شیراز که امکانات انجام آن را مهیا کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Azadi, A., Baghernejad, M., Karimian, N., and Abtahi, S. A. (2016). Sequential Extraction of Non-Exchangeable Potassium and Its Relationship with Soil Properties, Mineralogy and Soil Taxonomy in Some Calcareous Soils of Fars Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 30, 187-199.

Azadi, A., Baghernejad, M., and Abtahi, A. (2015). Kinetics of potassium desorption from some calcareous soil (Fars Province, Southern Iran). *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, *5*(2), 46-51.

Azadi, A., and Shakeri, S. (2020). Effect of different land use on Potassium forms and some soil properties in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Southwest Iran. *Iran Agricultural Research*, 39(1) 121-133.

Azadi, A., Baghernejad, M., Gholami, A., and Shakeri, S. (2021). Forms and distribution pattern of soil Fe (Iron) and Mn (Manganese) oxides due to long-term rice cultivation in fars Province Southern Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-18.

Banaei, M. H. (1998). 'Soil moisture and temperature regime map of Iran.' (Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture: Tehran, Iran).

Bhonsle, N. S., Pal, S. K., and Sekhon, G. S. (1992). Relationship of K forms and release characteristics with clay mineralogy. *Geoderma*, *54*, 285-293.

Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.

Britzke, D., Da Silva, L.S., Moterle, D.F., Rheinheimer, D.S., and Bortoluzzi, E.C. (2012). A study of potassium dynamics and mineralogy in soils from subtropical Brazilian lowlands. *Journal of Soils and Sediments*, 12: 185-197.

Bruckert, S., Villemin, P., and Kubler, B. (1992). Potassium forms in aerated and anoxic soils of different management and potassium fertilizer history. *Plant Soil*, 147, 225-233.

Cheng, Y.Q., Yang, L.Z., Cao, Z.H., Ci, E., and Yin, Sh. (2009). Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils. *Geoderma*, 151, 31-41.

Constantini, E.A.C., Pellegrini, S., Vignozzi, N., and Barbetti, R. (2006). Micromorphological characterization and monitoring of internal drainage in soils of vineyard and olive groves in central Italy, *Geoderma*, 131, 388-403.

Davatgar, N. (2003). Investigation of Potassium Status in Paddy Fields of Guilan Province, Rice Research Institute, Final Report 1124.82.

Davatgar, N., Kavoosi, M., Alinia, M. H., and Paykan, M. (2006). Study of Potassiun Status and Effect of Physical and Chemical Properties of Soil on it in Paddy Soils of Guilan Province. *Journal of Water and Soil Science*, 9, 71-89.

Doberman, A., and Fairhurst, T. (2000). *Rice nutrient disorders and nutrient management.* Potash and Phosphate Institute (PPI) and International Rice Research Institute (IRRI). Makati city, Singapore, 190p.

Farshadirad, A., Dordipour, E., Khormali, F., & Kiani, F. (2011). Potassium forms in soil and its separates in some loess and loess-like soils of Golestan providence. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18, 1-17.

Fotyma, M. (2007). Content of potassium in different forms in the soils of southeast Poland. *Polish Journal of Soil Science*, 1, 19-31.

Gassman, K. G. (1995). The influence of moisture regime, organic matter, and root-eco-physiology on the availability and acquisition of potassium: implications for tropical lowland rice. *Agro-Chemicals News in Brief (ESCAP/FAO/UNIDO)*.

Goto, E., Miura, S., and Nomura, M. (2003). The present .condition of chemical properties of paddy soils in hokkaido-Japanese. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 74, 475–483.

Helmeke, P.A., and Sparks, D.L. (1996). Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Hosseinpur, A. R., and Motaghian, H. R. (2013). Application of kinetic models in describing soil potassium release characteristics and their correlations with potassium extracted by chemical methods. *Pedosphere*, *23*, 482-492.

Hosseinpur, A. R., and Safari Sinegani, A. A. (2007). Soil potassium-release characteristics and the correlation of its parameters with Garlic plant indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38*, 107-118.

Hosseinpur, A. R., Raisi, T., Kiani, S., and Motaghian, H. R. (2014). Potassium-release characteristics and their correlation with bean (Phaseolus vulgaris) plant indices in some calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45*, 726-740.

Igwe, C. A., Zarei, M., and Stahr, K. (2008). Factors affecting potassium status of flood plain soils, eastern Nigeria. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54, 309-319.

Jaillard, B., Plassard, C., and Hinsinger, P. (2003). Measurement of H^+ fluxes and concentrations in the rhizosphere. In: Rengel, Z. (Ed.), *Handbook of soil acidity*. New York: Marcel Dekker Inc.

Jalali, M. (2006). Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, *135*, 63-71.

Johns, W. D., Grim, R. E., and Bradley, W. F. (1954). Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods. *Journal of Sedimentary Research*, *24*(4), 242-251.

Kalbitz, K., Kaiser, K., Fiedler, S., Kölbl, A., Amelung, W., Bräuer, T., Cao, Z. H., Don, A., Grootes, P., Jahn, R., Schwark, L., Vogelsang, V., Wissing, L., and Kögel-Knabner, I .(2013). The carbon count of 2000 years of rice cultivation. *Global change biology*, 19, 1107–1113.

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (2nd ed.). Washington, DC: USDA, NRCS.

Khormali, F., Nabiollahy, K., Bazargan, K., and Eftekhari, K. (2008). Potassium status in different soil orders of Kharkeh research station Kurdestan. *Journal of Agriculture Science and Natural Resource*. 14(5). 1-9

Kirk, G. (2004). *The Biogeochemistry of Submerged Soils*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Kogel-Knabner, I., Amelung, W., Cao Z., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Ko¨lbl, A., and Schloter, M. (2010). Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*, 157, 1-14.

Kunze, G .W., and Dixon, J.B. (1986). Pretreatments for mineralogical analysis. In: Klute, A. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods (No. Ed. 2). American Society of Agronomy. Madison, WI, pp. 91-101.

Loppert, R. H., and Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. In Sparks, D.L. et al., (Eds.), *Methods of soil analysis, Part III*. 3rd ed. (pp. 437-474). Madison (WI): SSSA and ASA.

Malakouti, M.J., and Homaee, M. (2005). Soil fertility of arid and semi-arid regions. Difficulties and solutions. 2nd ed., Tarbiat Modares University Press, Tehran, 508p. (In Persian)

Martin, H. W., and Sparks, D. L. (1983). Kinetics of nonexchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Science Society of America Journal, 47*, 883-887.

Nabiollahy, K., Khorspi, F., Bazargan, K., and Ayoubi, S. (2006). Forms of K as a function of clay mineralogy and soil development. *Clay Minerals*, *41*, 739-749

Najafi, M., Owliaie, H., Boostani, H. (2019). Factors affecting potassium pools distribution in some calcareous soils of Kohgilouye and Boyerahmad province. *Applied Soil Research*, 7(2), 196-207.

Najafi-Ghiri M., Abtahi A., Owliaie H., Hashemi S.S., and Koohkan H. (2011). Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid land research and management*, 25(4): 313-327.

Najafi, N., and Towfighi, H. (2008). Changes in pH, EC and concentration of phosphorous in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of North of Iran. International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology P: 555- 567. Turkey.

Narteh, L. T., and Sahrawat, K. L. (1999). Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. *Geoderma*, 87, 179-207.

Nelson, D. W., and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. et al., (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part III*. 3rd ed (pp. 961-1010). Madison (WI): SSSA and ASA.

Ningapa, N., and Vanuld, N. (1989). Potassium fixation in acid soils in Karnataka. *Indian Society of Soil Sci*ence, 37, 391-393.

Owliaie, H.R., and Najafi, M. (2013). Effect of long-term rice cultivation on physico-chemical properties and clay mineralogy of soils of Yasouj region. *Journal of Water and Soil Science*, 65, 39-49.

Owliaie, H.R., Keshavarzi, M., and Adhami, E. (2015). Comparison between physicochemical properties and clay mineralogy of paddy soils of Noorabad (Fars Province) and adjacent virgin lands. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4, 105-125.

Papini, R., Valboa, G., Favilli, F., and L'Abate, G. (2011). Influence of land use on organic carbon pool and chemical properties of Vertic Cambisols in central and southern Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *140*, 68-79.

Ponnamperuma F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, 24: 29-96.

Raheb, A., and Heidari, A. (2012). Effects of clay mineralogy and Physico-chemical properties on potassium availability under soil aquic conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12, 747-761.

Richards, J. E., Bates, T. E., and Sheppard, S. C. (1988). Studies on the potassium-supplying capacities of Southern Ontario soils. I. Field and greenhouse experiments. *Canadian Journal of Soil Science*,

68, 183-197.

Seyedmohammadi Meresht, J., Akef, M., Eftekhari, K., Ramezanpour, H. (2011). Physical and chemical characteristics of paddy soils in a toposequence. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 99, 52-60.

Shakeri, S., and Abtahi, S.A. (2018). Potassium forms in calcareous soils as affected by clay minerals and soil development in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Southwest Iran. *Journal of Arid Land*, 10, 217–232.

Smith, S. J., Power, J. F., and Kemper, W, D. (1994). Fixed ammonium and nitrogen availability indexes. *Soil Science*, 158, 132–140.

Sparks, D. L. (2000). Bioavailability of soil potassium. *Handbook of Soil Science*. 38-52.

Sparks, D.L., and Huang, P.M. (1985). Physical chemistry of soil potassium. P 201-276, In: R. Munson, (Ed.), Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI. USA.

Srinivasarao, C., Rupa, T. R., Subba Rao, A., Ramesh, G., and Bansal, S. K. (2006). Release kinetics of nonexchangeable potassium by different extractants from soils of varying mineralogy & depth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *37*, 473-491.

Srinivasarao, C., Subba Rao, A., and Rupa, T. R. (2000). Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 165, 578-586.

Steffen D., and Sparks, D. L. (1997). Kinetics of nonexchangeable ammonium release from soils. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 455-462.

Sumner, M. E., and Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks D.L. et al., (Eds.), *Methods of soil analysis, Part III*. 3rd ed. (pp. 1201-1229). Madison (WI): SSSA and ASA.

Torabi Golsefidi, H., Karimian Eghbal, M., and Kalbasi, M. (2001). Clay mineral investigation of paddy soils of different landforms of Eastern Guilan province. *Journal of Water and Soil Science*, 15, 122-138.

Towfighi, H. (1998). Study of rice response to potassium fertilizer in paddy soils of northern Iran. *Iranian J. Agriculture Sci*ence, *29*, 869-883.

Tributh, H. V., Boguslawski, E. V., Lieres, A. V., Steffens, D., and Mengel, K. (1987). Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals. *Soil Science*, *143*(6), 404-409.

Uostan, Sh. (1994). Investigation of potassium depletion from paddy soils in the north of the country. Master Thesis in Soil Science, Faculty of Agriculture, Karaj, University of Tehran. (In Persian)

Van den Berg, G. A., and Loch, J. P. G. (2000). Decalcification of soils subject to periodic waterlogging. *European Journal of Soil Science*, *51*(1), 27-33.

Wang H. Y., Shen Q. H., Zhou J. M., Wang J., Du C. W., and Chen X. Q. (2011). Plants use alternative strategies to utilize nonexchangeable potassium in minerals. *Plant Soil*, *343*, 209-220.

Wissing, L., Kölbl, A., Häusler, W., Schad, P., Cao, Z. H., and Kögel-Knabner, I. (2013). Management-induced organic carbon accumulation in paddy soils: the role of organo-mineral associations. *Soil and Tillage Research*, *126*, 60-71.

Zhang, G. L., and Gong, Z. T. (2003). Pedogenic evolution of paddy soils in different soil landscapes. *Geoderma*, *115*(1-2), 15-29.