

Investigation of Changes in Clay Minerals and Soil Manganese Status in the Surface and Subsurface of Paddy Soils with Long-term Rice Cultivation in Fars Province

SIROUS SHAKERI^{1*}, MAJID BAGHERNEJAD², ABDOLSAMAD GHOLAMI², ABOLFAZL AZADI³

2. Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

3. Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran.

(Received: Aug. 13, 2020- Revised: Oct. 6, 2020- Accepted: Dec. 26, 2020)

ABSTRACT

Waterlogging is an important factor, affecting soil properties. This research was conducted to evaluate the effect of waterlogging on secondary soil clay minerals, as well as manganese (Mn) of paddy soils with long-term rice cultivation in Fars province. In each region, two soil profiles in paddy and non-paddy fields were dugged on calcareous parent materials and the same landform in a pairwise manner. Analysis of the clay mineralogy indicated that the long-term rice cultivation seems to have an influence on the quantity of clay minerals, as indicated by higher smectite in paddy soils. But, higher chlorite, illite and palygorskite was found in non-paddy soils. Clay minerals were probably affected more by parent materials and less by the aquatic condition. Chlorite and illite were observed in both paddy and non-paddy soils and increased with depth due to their presence in parent rocks. Transformation of illite to smectite in the A horizon increased relative abundance of smectite but it decreased with depth. The results showed that the paddy soils have more available Fe and Mn (extracted by DTPA), total Fe and Mn (extracted by HNO₃), and poorly crystalline Fe and Mn oxides (extracted by Ammonium oxalate), compared to the non-paddy soils and the surface horizons of paddy soils showed the highest rates. Also, the long-term cultivation of rice decreased the content of pedogenic (extracted by Citrate-Bicarbonate-Dithionite) and crystalline Mn oxides.

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

بررسی تغییرات کانی‌های رسی و وضعیت منگنز خاک در افق‌های سطحی و عمقی تعدادی از خاک‌های شالیزاری استان فارس

سیروس شاکری^{۱*}، مجید باقرنژاد^۲، عبدالصمد غلامی^۲ و ابوالفضل آزادی^۲

۱. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

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

۳. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۶)

چکیده

شرایط غرقابی عامل مهمی است که بر روی خصوصیات خاک موثر است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر شرایط غرقاب بر کانی‌های رسی ثانویه خاک و همچنین عنصر منگنز در خاک‌های زیر کشت طولانی مدت برنج استان فارس بود. 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. نتایج کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها نشان داد که نوع کانی‌ها در هر دو کاربری مشابه، اما مقدار نسبی آنها متفاوت است. به نظر می‌رسد که کشت طولانی مدت برنج فقط بر کمیت کانی‌های رسی تاثیرگذار بوده است به نحوی که در خاک‌های شالیزاری مقدار اسمکتیت زیاد بود. اما در اراضی بکر غیرشالیزاری مقادیر کانی‌های ایلیت، کلریت و پالیگورسکیت افزایش داشتند. ایلیت و کلریت در هر دو نوع کاربری مشاهده شد و با افزایش عمق، مقدار آنها نیز به علت حضورشان در مواد مادری افزایش نشان داد. تبدیل ایلیت به اسمکتیت در افق‌های سطحی خاک‌های شالیزار منجر به افزایش مقدار نسبی اسمکتیت شد اما مقدار اسمکتیت با افزایش عمق کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در اراضی شالیزار مقادیر منگنز قابل استفاده (Mn_{ex})، شبه کل (Mn_t) و اکسید منگنز با تبلور ضعیف (Mn_o) بیشتر از اراضی غیرشالیزاری بوده و در افق‌های سطحی شالیزارها بیشترین میزان را نشان می‌دهد. کشت طولانی مدت برنج همچنین موجب کاهش مقدار اکسید منگنز پدوژنیک (Mn_d) و شکل‌های متبلور (Mn_{oxy}) آنها نسبت به خاک‌های بکر مجاور شد.

واژه‌های کلیدی: کانی‌های رسی، شکل‌های منگنز، خاک‌های شالیزاری و غیرشالیزاری.

مقدمه

رطوبتی خاک‌های شالیزار تاثیر بسزایی بر بازگشت مواد آلی خاک، دینامیک عناصر غذایی، نگهداشت کربن و حاصلخیزی خاک دارد. شیمی خاک‌های غرقاب کاملاً متفاوت از خاک‌های غیرغرقاب است. مهمترین اثر غرقاب کردن خاک، کاهش ورود اکسیژن به خاک و افزایش غلظت گاز دی اکسید کربن می‌باشد. کمبود اکسیژن آزاد یا شرایط بی هوازی باعث احیای خاک و انجام یک سری فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌شود. مهمترین تغییرات الکتروشیمیایی که بر شیمی و حاصلخیزی خاک‌های غرقاب و رشد محصول تأثیر می‌گذارد عبارتند از، تغییرات پ‌هاش، پتانسیل ریداکس، هدایت الکتریکی، تبادل یونی و غیره، که تمام این عوامل قابلیت جذب عناصر غذایی، جذب و مصرف آنها توسط گیاه برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sahrawat, 2005). معمولاً، بعد از غرقاب پ‌هاش خاک آهکی کاهش و پ‌هاش خاک اسیدی افزایش می‌یابد (Najafi, 2013).

شالیزارها وسیع‌ترین اراضی غرقاب در سطح جهان می‌باشند که تحت تاثیر فعالیت‌های انسان قرار گرفته‌اند (Kogel-Knabner, 2010). خاک‌های شالیزاری خاک‌هایی هستند که با روش ویژه‌ای برای کشت آبی برنج مدیریت می‌شوند. عملیات مدیریتی بر روی این خاک‌ها شامل تسطیح اراضی، پادلینگ (گل خرابی)، نگهداری ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر آب طی ۴ الی ۵ ماه کشت برنج، زهکشی و خشک کردن اراضی در هنگام برداشت، و غرقاب مجدد بعد از وقفه‌ی چند هفته‌ای تا هشت ماهه می‌باشد. (Ponnamperuma, 1978). عملیات بالا به همراه تراوش اکسیژن از طریق ریشه گیاه برنج و منفذهای موجود در خاک سبب تکامل پدیده‌های خاص در خاک‌های شالیزار می‌شود. وجود چنین شرایطی در این خاک‌ها باعث تغییر در مورفولوژی خاک می‌شود و عوارضی را ایجاد می‌نماید (Wilding and Ahrens, 2005). تغییرات متناوب در شرایط

کردند که رژیم رطوبتی اکوییک، بیشتر بر کمیت کانی‌های رسی موثر است به طوری که در آف‌های با وضعیت زهکشی نامطلوب مقدار اسمکتیت افزایش می‌یابد.

یکی از مهمترین محصولات زراعی استان فارس شلتوک (برنج) است. در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱، سطح انواع واریته‌های شلتوک در کشور حدود ۵۶۵ هزار هکتار برآورد شده که معادل ۴/۷ درصد کل سطح برداشت محصولات زراعی و ۶/۴ درصد از کل سطح برداشت غلات می‌باشد. استان مازندران با دارا بودن سهم ۳۸/۸ درصدی از سطح برداشت اراضی زیرکشت برنج مقام نخست کشور را به خود اختصاص داده است و استان فارس با ۴/۱ درصد از کل سطح برداشت اراضی شالیکاری کشور رتبه پنجم را دارا می‌باشد. از آنجاییکه کانی‌های رسی نقش مهمی در حاصلخیزی خاک‌ها و توصیه کودی داشته و همچنین تاثیرپذیری عنصر منگنز از شرایط اکسید و احیا، ولی تا کنون تحقیقات جامعی در مورد تاثیر شرایط غرقاب بر کانی‌های رسی ثانویه خاک و همچنین عنصر منگنز در شالیزارهای استان فارس که دارای خاک آهکی هستند انجام نگرفته است. لذا در این تحقیق سعی شده است که این عوامل بررسی شوند.

مواد و روش‌ها

موقعیت و وسعت استان

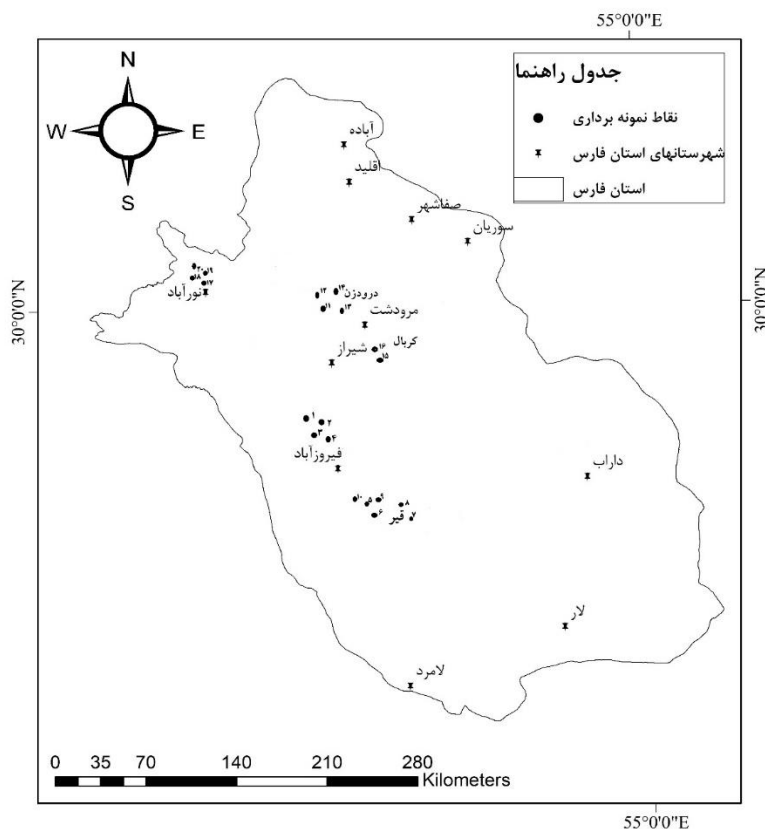
استان فارس با وسعت ۱۳/۲ میلیون هکتار در بخش جنوبی ایران در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۲ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان از شمال با استان اصفهان، از جنوب با استان‌های هرمزگان و بوشهر، از غرب با استان کهگیلویه و بویراحمد 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 تریاس تا پلیستوسن می‌باشد. طبق نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک ایران (Banaei, 1998)، استان فارس دارای رژیم‌های رطوبتی خاک زریک، یوستیک و اریدیک و رژیم‌های حرارتی خاک مزیک، ترمیک و هایپرترمیک می‌باشد. در نواحی کوهستانی شمال غرب، رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی مزیک غالب بوده که این در مرکز استان به زریک-ترمیک و به طرف جنوب و جنوب شرق استان ابتدا به یوستیک-هایپرترمیک و سپس به اریدیک-هایپرترمیک تبدیل می‌شود. این در حالی است که قسمت‌های شمالی استان دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی مزیک می‌باشند.

منگنز یکی از مهمترین عناصر غذایی کم مصرف ضروری در تغذیه گیاه محسوب می‌شود، که در فعال نمودن آنزیم‌های مختلفی در گیاه و همچنین در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، آمینو اسیدها و پدیده‌های نور شیمیایی نقش مهمی را ایفا می‌کند. غلظت این عنصر در پوسته زمین و خاک، به ترتیب برابر با ۱۰۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Havlin et al., 2016). برخلاف آهن که قسمت اعظم شکل محلول آن به صورت کمپلکس پایدار است، منگنز محلول عمدتاً به صورت یونی می‌باشد که به علت مقادیر ذاتا پایین منگنز در غالب خاک‌ها، دانش ما از شکل‌های منگنز غالباً به اکسیدهای منگنز موجود در گرهک‌ها و پوشش‌ها واقع بر سطوح حفرات و ذرات خاک‌های هیدرومورفیک، محدود شده است (McKenzie, 1989). میزان قابلیت دسترسی این عنصر در خاک، نه تنها به غلظت کل در خاک، بلکه به خصوصیات فیزیکی-شیمیایی و کانی‌شناسی خاک که متاثر از عوامل خاکساز و نوع خاک مبتنی بر نوع رژیم‌های رطوبتی، حرارتی و به طور کلی، رسته‌های خاکی می‌باشد بستگی دارد. (Bell and Dell, 2008). کانی‌شناسی خاک‌ها یکی از مهمترین روش‌های تعیین حاصلخیزی خاک‌های شالیزار است. تفاوت نوع کانی‌های رسی در حاصلخیزی خاک‌ها زمانی مشخص می‌شود که برنج بدون اضافه کردن عناصر غذایی با سطح مدیریت پایین رشد کند (Kawaguchi and Kyuma, 1977). عواملی همچون غلظت و تعادل یونی سیستم خاک، محصولات ناشی از انحلال، شرایط اکسایش-احیاء محیط و سرعت هوادهی در تشکیل کانی‌های خاک موثرند (Buol et al., 2003). نوع کانی‌های موجود در خاک گاهی بیانگر مرحله هوادهی خاک می‌باشند. بدین معنی که اکسیدهای آهن و کائولینیت در خاک‌های با زهکشی خوب و کاملاً هوادهی در مناطق گرم و مرطوب دیده می‌شوند. (Kawaguchi and Kyuma, 1977) با مطالعه اراضی شالیزاری جنوب شرق آسیا، اسمکتایت را به عنوان کانی غالب آن منطقه معرفی نمودند. وجود این کانی در شرایط با زهکشی ضعیف و سطح آب زیرزمینی بالا توسط Khormali and Abtahi, (2003) و Azadi et al., (2016) نیز اثبات شد. ترکیب کانی‌های رسی شالیزارهای استان گیلان، بوسیله Torabi gelsefidi et al. (2001) و در استان مازندران توسط Hassannezhad et al. (2008) مطالعه و کانی‌های اسمکتایت، کائولینیت، ایلیت، ورمی-کولایت و کوارتز و همچنین کلریت در آن‌ها مشاهده شد. نتایج مطالعات Hassannezhad et al. (2008) بر روی اراضی شالیزاری منطقه آمل واقع در استان مازندران نشان می‌دهد که رژیم رطوبتی اکوییک مصنوعی و طبیعی روی کیفیت (نوع) کانی‌های رسی تاثیر نداشته و بیشتر متاثر از مواد مادری می‌باشد. آنها اعلام

نمونه برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

برای انجام این مطالعه، ابتدا مناطق عمده برنج کاری در استان فارس شامل فیروزآباد، قیر، درودزن، کربال و نورآباد شناسایی شدند (شکل ۱). سپس در هر منطقه، اراضی که سال‌های طولانی زیر کشت برنج بودند انتخاب و در آن‌ها اقدام به حفر ۱۰ عدد خاکرخ شد. سپس در نزدیک‌ترین اراضی بکر با فیزیوگرافی و لندفرم یکسان هم تعدادی خاکرخ حفر و پس از تشریح، یکی از آن‌ها به عنوان خاکرخ شاهد انتخاب شد. سپس، نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از افق‌های مختلف هر خاکرخ پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986)، پهاش در گل اشباع به وسیله دستگاه پهاش‌متر، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از استات سدیم یک نرمال (Sumner and Miller, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (Loppert and Suarez, 1996)، اندازه‌گیری کربن آلی به روش سوزاندن تر (Nelson and Sommers, 1996) انجام شد. برای آماده‌سازی نمونه‌ها جهت شناسایی کانی‌های رسی، از بین بردن عوامل شیمیایی سیمانی‌کننده و جدا شدن ذرات رس از یکدیگر، مبنای عمل قرار گرفت. (Mehra and Jackson, 1960; Kittrick

Jackson, M.L. 1975 and Hope, 1963). نمونه‌های خالص شده با منیزیم و پتاسیم اشباع و به ترتیب با گلیسرول و دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تیمار شدند. این نمونه‌ها بوسیله دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Philips pw1130 با استفاده از یک تک فام کننده و تشعشع $cu\text{-}ka$ تحت جریانی با شدت ۴۰ میلی آمپر، ولتاژی برابر ۴۰ کیلو ولت و طول موج ۱/۵۴ انگسترم مورد مطالعه قرار گرفتند. اسکن نمونه‌ها با سرعت ۰/۵ درجه (θ) در دقیقه، در زوایای ۲ تا ۳۵ درجه انجام شد. فراوانی نسبی کانی‌های رسی طبق روش (Johns et al., 1954) انجام شد. شکل‌های مختلف منگنز شامل شکل قابل استفاده منگنز (Mn_{ex}) با DTPA (Lindsay and Norvel, 1978)، ترکیبات بی‌شکل و آلی منگنز (Mn_o) بوسیله آمونیوم اگزالات اسیدی (McKeague and Day, 1966)، اکسیدهای منگنز آزاد با سترات-بی کربنات-دی‌تیونات (CBD) (Mn_d) (Mehra and Jackson, 1960)، و منگنز شبه کل (Mn_t) بوسیله اسید نیتریک ۴ نرمال (Sposito et al., 1982)، عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. به منظور توصیف و مقایسه آماری و همبستگی بین فاکتورهای مختلف خاک و غلظت اشکال مختلف منگنز، آزمون تی‌تست مستقل (independent sample T test) با استفاده از نرم افزار SPSS 16.0 انجام شد.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری در استان فارس

نتایج و بحث

خصوصیات خاک

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین رده‌بندی خاک‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های شالیزاری و غیرشالیزاری مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطوریکه مشاهده می‌شود خاک‌های غیرشالیزاری مناطق مورد مطالعه همگی در راسته اینسپتی‌سولز و گروه‌های بزرگ Haploxerepts, Calcixerepts, Calcustepts, Haplustepts قرار گرفتند. اینسپتی‌سول‌ها در رژیم‌های رطوبتی زیریک و یوستیک و یوستیک-اریدیک در مناطق فیروزآباد، کوشک، کردبال، نورآباد، ریکان، شلدان، و فتح‌آباد واقع شده‌اند. مهم‌ترین افق‌های زیرسطحی تشکیل یافته در خاک‌های اینسپتی‌سولز، افق‌های کلسیک و کمبیک می‌باشند. همچنین خاک‌های شالیزاری مناطق مطالعه شده در راسته‌های اینسپتی‌سولز و آلفی‌سولز و گروه‌های بزرگ Epiaquepts, Epiaqualfs و Haplaquepts قرار گرفتند. الگوی رنگ خاک (محتوی رنگ با کرومای مرطوب ۲ یا کمتر) و وجود عوارض اکسید و احیایی در حفرات و خاکدانه‌ها از مهمترین مشخصات افق‌های خاک‌های شالیزاری است. در صورتی که دیگر خاک‌های غیرشالیزار عمدتاً دارای دامنه رنگ قهوه‌ای با کرومای ۳ تا ۴ می‌باشند. زمینه این خاک‌ها با رنگ کرومای پایین نتیجه فراوانی عوارض تخلیه اکسیدهای آهن و منگنز می‌باشد که مقدار و فراوانی آن‌ها با افزایش درجه اشباع و احیای خاک‌ها افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که ساختمان خاک در افق‌های سطحی عمدتاً دانه‌ای ضعیف و در افق‌های زیرسطحی توده‌ای یا مکعبی بدون زاویه است. به دلیل پدیده گل‌خرابی و وجود شرایط غرقاب ساختمان از بین رفته و در طول دوره رشد با رشد و نمو ریشه‌های برنج، خروج زه آب و ایجاد شرایط خشک، تجمع ماده آلی تولید شده از بقایای گیاه برنج، و وجود مقدار زیاد رس و اکسیدها؛ به تدریج ساختمان دانه‌ای ضعیفی در افق‌های سطحی تشکیل می‌گردد. مقایسه گروهی دو خاک نشان می‌دهد که مقدار کربن آلی خاک‌های سطحی و زیرسطحی شالیزار و غیرشالیزار با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته و در خاک‌های شالیزار بیشتر از غیرشالیزار است. میانگین مقدار رس در خاک‌های سطحی شالیزار بیشتر از خاک‌های سطحی غیرشالیزار بوده اما اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. در حالی که مقدار رس خاک‌های زیرسطحی شالیزار به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار رس در خاک‌های زیرسطحی غیرشالیزار بود. خاک‌های شالیزار دارای

میانگین ۴۶ درصد رس در سالوم بالای (تا ۴۰ سانتی متری زیرسطح) بود که می‌تواند نتیجه تجمع مواد ریز تخریب یافته از سطح باشد. مقدار سیلت و شن در خاک‌های شالیزار و غیرشالیزار نیز با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. میانگین پ‌هاش در خاک‌های سطحی و زیرسطحی شالیزار در مقایسه با خاک‌های غیرشالیزار به طور معنی‌داری کمتر بود. اگرچه اختلاف مقادیر کربنات کلسیم معادل بین خاک‌های غیرشالیزار و شالیزار معنی‌دار نبود اما کشت و کار برنج باعث افزایش آهک زدایی از خاک‌های سطحی و زیرسطحی شالیزارها نسبت به غیرشالیزارها شده است. ممکن است یکی از دلایل معنی‌دار نشدن اختلاف آهک زدایی در خاک‌ها، مقدار زیاد کربنات کلسیم معادل در مواد مادری این خاک‌ها باشد. میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های سطحی خاک‌های شالیزار به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار میانگین آن در خاک‌های غیرشالیزار می‌باشد. همچنین میانگین CEC در خاک‌های زیرسطحی خاک‌های شالیزار نیز بیشتر از مقدار آن در خاک‌های غیرشالیزار بود، اما اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود. مقدار بیشتر CEC در خاک‌های شالیزار نسبت به غیرشالیزار را می‌توان به مقادیر زیادتر ماده آلی نسبت داد. مقادیر بیشتر رس؛ بویژه رس‌های با CEC زیادتر (اسمکتیت) می‌تواند منعکس‌کننده 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 رس‌های ۲:۱ مونت‌موریلونایت در خاک‌های شالیزاری می‌باشد. مطالعات انجام گرفته در ژاپن و اکثر کشورهای جنوب شرقی نشان می‌دهد که خاک‌های شالیزاری دارای رس‌های مونت‌موریلونایت بیشتر، پتانسیل حاصلخیزی بالاتری نسبت به خاک‌های دارای کائولینایت و رس‌های آلوپان دارند (Kawaguchi, 1969). نتایج به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات صحرائی بر روی رس‌های خاک و رس‌های خالص نشان داد که احیای آهن فریک لایه هشت وجهی در اسمکتایت‌ها، بار لایه‌ای و ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد (Favre et al., 2002). در سطوح جزئی و کم احیای آهن، افزایش مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی معادل مقدار آهن احیا شده است.

کانی‌های رسی

نتایج نیمه‌کمی کانی‌شناسی بخش رس برخی افق‌های مطالعه شده در جدول (۲) آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که اسمکتیت، کلریت، و ایلیتکانی‌های عمده و غالب کل خاک‌های

مطالعه شده است. همچنین پالیگورسکیت، ورمی کولیت، کاتولینیت و کانی‌های مخلوط ساپیرکانی‌های خاک‌های غیرشالیزاری مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. همچنین در خاک‌های اراضی شالیزاری کانی‌های اسمکتیت، کلریت، و ایلیت، کانی‌های عمده و غالب و بعد از آن کاتولینیت و کانی‌های مخلوط، قرار دارند.

مطالعه شده است. همچنین پالیگورسکیت، ورمی کولیت، کاتولینیت و کانی‌های مخلوط ساپیرکانی‌های خاک‌های مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که در خاک‌های بکر غیرشالیزار کانی‌های کلریت و ایلیت کانی‌های غالب و اسمکتیت و پالیگورسکیت در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه (خاک‌رخ‌های با شماره فرد: غیر شالیزار و خاک‌رخ‌های زوج: شالیزار)

شماره خاک‌رخ	افق	عمق	رده‌بندی	منطقه	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	پ‌هاش	EC (dS m ⁻¹)	CEC (cmol(c) kg ⁻¹)	کربن آلی (g kg ⁻¹)	CCE (%)
۱	A	۲۰-۰	Calcixerepts Typic	فیروزآباد	۳۷/۱	۳۹/۵	۲۳/۴	۷/۹۴	۰/۴۲	۱۲/۷	۸/۶۶	۵۷/۴
	AB	۲۰-۵۵			۳۸/۲	۱۲/۶	۴۹/۲	۷/۸۵	۰/۵۷	۱۲/۵	۳/۸۵	۵۸/۹
۲	Apg	۲۰-۰	Epiaquepts Typic	فیروزآباد	۳۹/۴	۴۷/۸	۱۲/۸	۷/۷۵	۰/۸۵	۱۴/۹	۱۱/۳۶	۵۴/۷
	Bg1	۲۰-۵۰			۴۷	۴۰	۱۳	۷/۷۶	۰/۶۴	۱۳/۸	۷/۷	۵۶/۷
۳	A	۲۰-۰	Haplustepts Typic	فیروزآباد	۲۳	۳۲	۴۵	۷/۸۳	۰/۴	۱۰	۱۰/۹۷	۷۰/۳
	Bw	۲۰-۴۵			۳۳/۲	۲۹/۳	۳۷/۵	۷/۹۵	۰/۲۶	۹/۶	۴/۲۴	۷۰/۶
۴	Apg	۲۵-۰	Epiaquepts Typic	فیروزآباد	۳۴/۶	۳۳/۸	۳۱/۶	۷/۶۵	۰/۴۸	۱۳/۹	۱۱/۵۵	۵۸/۷
	Bg1	۲۵-۵۰			۳۷/۱	۲۹/۸	۳۳/۱	۷/۹۳	۰/۳۳	۱۳/۸	۶/۷۴	۵۷
۵	A	۲۰-۰	Haplustepts Typic	قیر	۱۹/۳	۲۶/۷	۵۴	۷/۸۷	۰/۴	۱۱/۳	۱۰/۷۸	۷۴/۵
	Bw	۲۰-۴۰			۲۹/۱	۲۳	۴۷/۹	۷/۶۴	۰/۴۵	۱۰	۷/۱۲	۷۴/۸
۶	Apg	۱۵-۰	Epiaquepts Typic	قیر	۲۹/۸	۲۹/۲	۴۱	۷/۵۸	۰/۸۵	۱۳/۹	۱۳/۸۶	۶۷/۶
	Bg1	۱۵-۴۵			۳۳/۵	۲۰/۱	۴۶/۴	۷/۶	۰/۴۳	۱۱/۳	۱۰/۴	۶۴/۹
۷	A	۱۵-۰	Haplustepts Typic	قیر	۲۴	۳۷/۵	۳۸/۵	۷/۶۲	۲/۶	۱۰	۸/۸۵	۵۴
	Bw1	۱۵-۴۵			۲۷/۴	۳۴	۳۸/۶	۷/۴۳	۱/۲۴	۸/۸	۷/۵۱	۵۶
۸	Apg	۲۵-۰	Epiaquepts Typic	قیر	۳۴/۹	۳۷	۲۸/۱	۷/۱۷	۳/۶	۱۳/۵	۱۰/۵۹	۵۱
	Bg	۲۵-۵۵			۴۹	۲۹/۹	۲۱/۱	۷/۳۲	۱/۸۶	۱۱/۳	۸/۶۶	۵۳
۹	A	۰-۱۵	Haplustepts Typic	قیر	۲۳/۴	۳۹/۸	۳۶/۸	۷/۶۶	۰/۵۵	۱۰/۵	۵/۵۸	۷۰
	Bw	۱۵-۴۰			۲۷/۴	۳۶/۶	۳۶	۷/۶	۰/۸۵	۸/۸	۴/۰۴	۶۷/۴
۱۰	Apg	۰-۱۵	Epiaquepts Typic	قیر	۳۷/۴	۱۶/۶	۴۶	۷/۴۹	۰/۸۵	۱۴/۲	۱۱/۳۶	۶۴/۹
	Bg1	۱۵-۴۰			۳۹/۴	۱۴/۶	۴۶	۷/۵۳	۰/۷۹	۱۲	۵/۵۸	۶۳/۴
۱۱	A	۰-۱۵	Haploxerepts Typic	درودزن	۵۰/۷	۳۱/۲	۱۸/۱	۷/۸	۰/۶۳	۱۵/۱	۱۰/۵۹	۴۷/۳
	Bw1	۱۵-۴۰			۵۲/۷	۲۱/۳	۲۶	۸	۰/۵	۱۳/۸	۸/۴۷	۴۹/۹
۱۲	Apg	۰-۲۰	Epiaquepts Typic	درودزن	۵۵/۹	۲۹/۱	۱۵	۷/۳۷	۰/۹۳	۱۶/۴	۱۲/۱۳	۴۵/۳
	Bg1	۲۰-۴۵			۶۳/۱	۲۶/۴	۱۰/۵	۷/۶۹	۰/۵۳	۱۵/۱	۹/۴۳	۴۷/۵
۱۳	A	۰-۲۰	Calcixerepts Typic	درودزن	۵۲/۴	۳۵	۱۲/۶	۷/۸۴	۰/۵۴	۱۴/۸	۶/۱	۴۸/۵
	Bk	۲۰-۳۵			۵۴	۳۴	۱۲	۷/۹۱	۰/۴	۱۵	۴/۸	۴۹/۲
۱۴	Apg	۰-۱۵	Epiaquepts Typic	درودزن	۶۰/۳	۳۰/۷	۹	۷/۷۳	۰/۶۶	۱۶/۵	۸/۶۶	۴۶/۵
	Bkg1	۱۵-۳۵			۵۷/۱	۳۲/۶	۱۰/۳	۷/۸۶	۰/۴۷	۱۵/۵	۶/۱۶	۵۰
۱۵	A	۰-۱۵	Typic Calcixerepts	کربال	۴۴/۱	۴۰	۱۵/۹	۸/۳	۳/۵	۱۵/۲	۴/۲۴	۵۱
	Bk	۱۵-۳۰			۳۸	۳۷/۵	۲۴/۵	۸/۳۵	۳/۵۸	۱۳/۶	۲/۵	۵۲/۲
۱۶	Apg	۰-۲۰	Halaquepts Typic	کربال	۴۹/۴	۳۸	۱۲/۶	۷/۱	۳/۵۷	۱۸/۳	۹/۰۵	۴۵/۱
	Bkg	۲۰-۴۵			۴۹/۴	۳۷/۷	۱۲/۹	۷/۱۱	۳/۵۲	۱۸/۳	۸/۹۹	۴۵/۲
۱۷	A	۰-۲۵	Calciustepts Typic	نورآباد	۴۰/۲	۴۴/۵	۱۵/۳	۷/۷۲	۱/۰۱	۱۶/۴	۴/۶۲	۵۹/۴
	Bw	۲۵-۵۵			۳۲/۹	۴۲/۸	۲۳/۳	۸/۲۱	۰/۷۸	۱۵/۱	۲/۷	۶۰/۶
۱۸	Apg	۰-۲۵	Epiaquepts Typic	نورآباد	۴۸/۲	۴۳/۲	۸/۶	۷/۰۲	۱/۴	۱۹/۲	۹/۶۳	۵۶/۷
	Bkg1	۲۵-۵۵			۶۰/۹	۲۸/۵	۱۰/۶	۷/۵۵	۰/۸۵	۱۸/۳	۳/۸۵	۵۳/۷
۱۹	Ap	۰-۲۰	Haplustepts Typic	نورآباد	۴۰/۶	۴۹/۹	۹/۵	۷/۹۲	۰/۹۳	۱۷/۸	۹/۶۳	۵۶
	Bw	۲۰-۵۵			۴۰/۴	۴۴/۶	۱۵	۸/۰۸	۰/۳۴	۱۵/۱	۲/۷	۵۹/۴
۲۰	Apg	۰-۲۵	Epiaqualfs Typic	نورآباد	۴۴/۲	۴۴/۵	۱۱/۳	۷/۳۵	۲/۱۷	۱۹/۲	۱۵/۹۸	۵۵/۲
	Bkg1	۲۵-۵۰			۴۸/۱	۴۲/۶	۹/۳	۷/۲۲	۰/۷۸	۱۷/۸	۴/۸۱	۵۷/۴

جدول ۲- مقادیر نسبی کانی‌های موجود در بخش رس خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاکرخ	وضعیت	افق	اسمکتیت	ایلیت	کلریت	ورمی کولیت	پالیگورسکیت	مخلوط	کائولینیت
۱	غیرشالیزار	A	***	***	***	-	***	*	-
	غیرشالیزار	AB	***	***	***	-	***	*	-
۲	شالیزار	Apg	****	***	***	-	-	-	-
	شالیزار	Bg1	***	***	***	-	-	-	-
	غیرشالیزار	A	**	****	***	*	*	-	-
۳	غیرشالیزار	Bw	**	***	***	*	**	-	-
	غیرشالیزار	C1	*	***	****	*	**	-	-
	شالیزار	Apg	****	***	***	-	-	*	-
۴	شالیزار	Bg1	***	***	****	-	-	*	-
	غیرشالیزار	A	**	***	****	*	**	-	-
۵	غیرشالیزار	Bw	***	***	***	-	**	-	-
	غیرشالیزار	C2	*	****	****	-	**	-	-
	شالیزار	Apg	****	**	***	-	-	*	-
۶	شالیزار	Bg1	***	***	****	-	-	*	-
	غیرشالیزار	A	**	***	****	-	**	-	-
۷	غیرشالیزار	Bw1	***	***	***	-	*	*	-
	غیرشالیزار	C	*	****	****	-	-	-	-
	شالیزار	Apg	****	***	***	-	-	*	-
۸	شالیزار	Bg	***	***	***	-	-	*	-
	غیرشالیزار	A	**	****	***	*	**	-	-
۹	غیرشالیزار	Bw	***	***	****	-	**	-	-
	شالیزار	Apg	****	***	***	-	-	*	-
۱۰	شالیزار	Bg1	***	****	****	-	-	-	-
	غیرشالیزار	A	**	***	****	-	**	-	-
۱۱	غیرشالیزار	Bw1	***	***	****	-	*	-	-
	غیرشالیزار	C	*	****	****	-	*	-	-
	شالیزار	Apg	****	**	***	-	-	-	-
۱۲	شالیزار	Bg1	***	***	****	-	-	-	-
	غیرشالیزار	A	**	***	****	-	**	-	-
۱۳	غیرشالیزار	Bk	***	***	****	-	*	-	-
	شالیزار	Apg	***	**	***	-	-	-	-
۱۴	شالیزار	Bkg1	***	***	***	-	-	*	-
	غیرشالیزار	A	*	***	***	-	***	-	-
۱۵	غیرشالیزار	Bkg	*	****	****	-	*	-	-
	شالیزار	Apg	****	***	***	-	-	*	-
۱۶	شالیزار	Cg	*	****	****	-	-	-	-
	غیرشالیزار	A	***	***	***	-	***	-	-
۱۷	غیرشالیزار	Bg	***	****	****	-	*	-	-
	شالیزار	Apg	****	***	***	-	-	*	-
۱۸	شالیزار	Bg	***	****	***	-	-	*	*
	غیرشالیزار	AP	***	***	**	-	**	-	*
۱۹	غیرشالیزار	Bg1	***	***	**	-	**	-	-
	شالیزار	Apg	****	***	***	-	-	*	*
۲۰	شالیزار	Btkg	***	****	***	-	-	-	*

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

Kyuma, Hassannezhad *et al.*, 2008; gelsefidi *et al.*, 2001 Torabi gelsefidi *et al.*, (2001). 1985). شالیزاری استان گیلان گزارش داد که در شرایط نامساعد زهکشی در شرایط خاک های شالیزاری، اسمکتیت پایدارتر بوده ولی در شرایط مناسبتر زهکشی که خاک از وضعیت هوای تری برخوردار است، کانی ورمیکولایت نسبت به اسمکتیت بیشتر است. هر دو فرایند تشکیل پدوژنیک (شامل نوتشکلی و تغییر شکل) برای حضور زیاد اسمکتیت در خاک های شالیزاری نسبت به غیر شالیزاری محتمل است. مقادیر کم اسمکتیت در مواد مادری خاکرخی های مطالعه شده بیانگر منشأ عمدتاً پدوژنیک این کانی در خاک های مطالعه شده می باشد. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می شود، مقدار این کانی عموماً از سطح به عمق کاهش می یابد. این کاهش که همراه با افزایش کانی ایلیت و کلریت است، منشأ توارثی بخش زیادی از کانی اسمکتیت را رد می کند. رطوبت لازم در خاک های اراضی شالیزاری برای هوادیدگی و تغییر شکل میکا به اسمکتیت کافی به نظر می رسد که خروج محصولات هوادیدگی مانند K^+ احتمال تشکیل اسمکتیت را از این طریق ممکن می سازد. در خاک های شالیزاری مورد مطالعه، عدم استفاده از کودهای پتاسیمی در طول سالیان طولانی و استفاده گیاه از پتاسیم موجود در خاک، و همچنین فرایند پتاسیم زدایی و آبشویی منجر به خروج یون های پتاسیم از درون شبکه رس ها و تخریب ایلیت و تشکیل کانی های قابل انبساط شده است. ظرفیت تبادل کاتیونی خوب خاک های شالیزار که گاهی تا حدود ۲۰ سانتی مول بار بر کیلوگرم می رسد نیز نشان از تبدیل میکا به کانی های ۲:۱ قابل انبساط و ایجاد مکان های جدید تبادل که سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شده است؛ دارد. مطالعات انجام گرفته در ژاپن و اکثر کشورهای جنوب شرقی نشان می دهد که خاک های شالیزارها دارای رس های مونت موریلونیت بیشتری هستند و این کانی ها پتانسیل حاصلخیزی بالاتری نسبت به خاک های دارای کائولینیت و رس های آلو فان دارند (Kawaguchi, Shakeri and Abtahi, (2018). 1969). بیشترین مقدار اسمکتیت در مناطق مطالعه شده استان کهگیلویه و بویراحمد را در رژیم رطوبتی زریک اعلام کرده و منشأ عمده آن را ارثی و همچنین تبدیل ایلیت و پالیگورسکیت به اسمکتیت می دانند. Nabiollahy *et al.*, (2006) بیان می کنند که وضعیت زهکشی ضعیف، شرایط مناسبی برای تشکیل اسمکتیت از تغییر شکل ایلیت یا نوتشکلی آن از محلول خاک را فراهم می کند. تشکیل اسمکتیت علاوه بر میکا از طریق کلریت نیز امکان پذیر است. در طبیعت عمل تبدیل کلریت به سایر کانی ها بوسیله دی هیدروکسیلاسیون و اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی صورت می گیرد. Hassannezhad

اسمکتیت مانند سایر کانی های رسی سیلیکاتی می تواند دارای سه منشأ باشد. (۱) نوتشکلی از محلول خاک، (۲) منشأ تخریبی یا توارثی و (۳) تبدیل سایر کانی ها به اسمکتیت (Khormali and Abtahi, 2003). با توجه به شرایط آب و هوایی، مواد مادری و فیزیوگرافی در بخش های مختلف استان، منشأ این کانی می تواند متفاوت باشد. نوتشکلی این کانی در خاک ها نیازمند شرایط ویژه مانند وضعیت زهکشی ضعیف، پهاش بالا، فعالیت بالای یون سیلیسیم در محلول خاک و فراوانی کاتیون های بازی می باشد (Borchardt, 1989). یکی از ویژگی های قابل ملاحظه در بین خاک های مورد مطالعه تفاوت در مقدار اسمکتیت در این خاک ها است. نتایج نشان می دهد که مقدار اسمکتیت در خاک های شالیزاری به علت شرایط اشباع از سطح و وضعیت زهکشی نامطلوب در این خاک ها به مراتب بیشتر از خاک های غیرشالیزاری بوده است. این کانی مهم ترین و فراوان ترین کانی موجود در خاک های شالیزاری استان فارس می باشد (Naidu *et al.*, 1994). دریافتند که خاک های با سطح آب زیرزمینی عمیق دارای کلریت و ایلیت بیشتری می باشند، در حالی که کانی غالب خاک های با زهکشی ضعیف، مونت موریلونیت می باشد. با توجه به پایین بودن سطح ایستایی در تمامی خاک های شالیزاری مطالعه شده، افق های سطحی به میزان بیشتری شرایط اکوییک را نشان دادند و این مسئله موجب اختلاف بیشتری در مقدار نسبی کانی های رسی در افق های سطحی (به ویژه در مورد اسمکتیت) در خاک های شالیزاری و غیرشالیزاری شده است. گرچه نقش افزایش رسوبات رسی بوسیله آب آبیاری به افق های سطحی خاک های شالیزاری را نمی توان از نظر دور داشت. خاک های غیرشالیزاری مورد مطالعه نیز افزایش مقدار اسمکتیت را در افق های A و B در مقایسه با مواد مادری نشان دادند، اما مقدار این افزایش به اندازه خاک های شالیزاری نبوده است. در خاک های غیرشالیزاری حداکثر مقدار اسمکتیت در افق B مشاهده شد که احتمالاً به دو عامل انتقال فیزیکی از سطح و یا تشکیل در جای این کانی مرتبط است. همچنین تغییر شکل کانی های میکایی در نتیجه خروج پتاسیم از بین لایه ها و تبدیل آنها به اسمکتیت نیز محتمل می باشد. Torabi gelsefidi *et al.*, (2001) در مطالعه اراضی شالیزاری و غیرشالیزاری استان گیلان نشان دادند که نوع رس غالب و کانی شناسی در دو کاربری تفاوت چندانی نشان نمی دهد و بیشتر متأثر از مواد مادری است، اما شرایط نامساعد زهکشی بر کمیت و میزان نسبی کانی های رس تاثیر دارد. غالبیت رس های اسمکتیت در شرایط نامساعد زهکشی و آبشویی ضعیف در شرایط غرقاب خاک های شالیزاری در مناطق مختلف جهان و ایران گزارش شده است (Torabi

جنوب غرب ایران، گزارش دادند که مهمترین فرآیند تشکیل کانی‌های رسی در خاک‌های مناطق خشک، به ارث رسیدن آنها از مواد مادری و تبدیل کانی‌های اولیه به ثانویه است. بررسی کانی‌های رسی خاک‌های گچی شرق اصفهان نیز نشان داد که مواد مادری خاستگاه اصلی کانی‌های کلریت، کائولینیت، میکا و کوارتز در این خاک‌ها هستند (Khademi and Mermut, 1998). Fanning and Fanning, (1989)، عقیده دارند که کانی‌های کلریت اولیه در خاک‌ها معمولاً از سنگ‌های با درجه کم تا متوسط دگرگونی یا سنگ‌های آذرین به ارث می‌رسند.

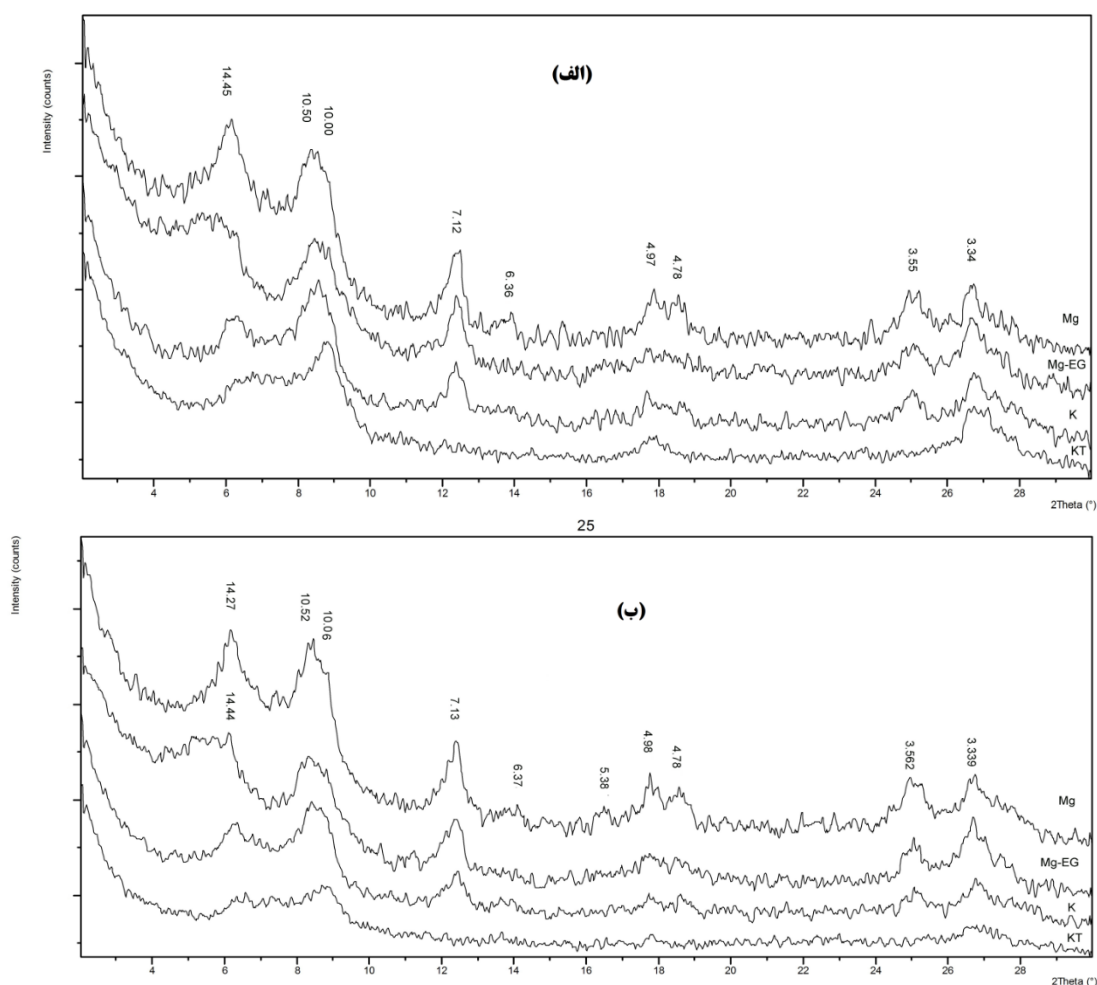
همانطوری که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، کانی پالیگورسکیت در همه افق‌های خاک‌های بکر غیرشالیزاری مورد مطالعه استان وجود دارد (شکل ۲). مقدار این کانی برخلاف اسمکتیت که دارای دامنه تغییرات زیادی است تغییرات کمتری را در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد. در خاک‌های مطالعه شده تفاوت معنی‌داری بین مقدار این کانی در افق‌های سطحی و زیرسطحی وجود نداشته و در بعضی خاک‌ها حتی روند معکوس وجود داشته و مقدار این کانی در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیرسطحی می‌باشد. این در حالی است که کاربری شالیزاری منجر به کاهش چشم‌گیر این کانی در خاک شده و مقدار آن تقریباً در تمام افق‌های سطحی و زیرسطحی اراضی شالیزار به صفر می‌رسد. به نظر می‌رسد که شرایط اکوییک منجر به تخریب شدید این کانی و تبدیل آن به اسمکتیت شده است. به طور کلی کاربری شالیزار منجر به کاهش شدید پالیگورسکیت و افزایش اسمکتیت می‌شود. کاهش نسبی مقدار کانی‌های ایلیت و به ویژه پالیگورسکیت در کاربری شالیزاری بیانگر تغییر شکل پدوژنیک این دو کانی به اسمکتیت می‌باشد. Suárez et al., (1994) تغییر شکل کانی‌های رسی ۲:۱ مخصوصاً اسمکتیت و ایلیت به پالیگورسکیت را در محلول‌های غنی از سیلیس و منیزیم و غلظت پایین آلومینیم و پتاسیم نیز از مکانیسم‌های احتمالی وجود پالیگورسکیت در خاک‌ها می‌دانند. پالیگورسکیت در شرایط مرطوب با بیش از ۳۰۰ میلی‌متر بارندگی سالیانه و یا نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق سالیانه بیش از ۰/۴ ناپایدار بوده و به اسمکتیت تبدیل می‌شود (Khademi and Shakeri et al., 2003; Shakeri and Abtahi, 2019; Shakeri et al., 2021). این در حالی است که در خاک‌های بسیار شور و سدیمی پالیگورسکیت می‌تواند از تخریب اسمکتیت و یا از طریق نو تشکیلی از محلول خاک به وجود آید (Singer; Abtahi, 1977) Singer and Norrish, 1974). (Khademi and Mermut, 1998) و Farpoor and Krouse, 2008 افزایش نسبت منیزیم به کلسیم در زمان تشکیل گچ در حوضه‌های مرکزی ایران را دلیل همراه بودن

(2008) et al. با بررسی ویژگی‌های مینرالوژیکی اراضی شالیزاری استان مازندران، غالبیت کانی اسمکتیت را گزارش کرده و منشأ آن را نوتشکیلی و تغییر میکا و کلریت به اسمکتیت می‌دانند. کلریت و ایلیت از دیگر کانی‌های مهمی هستند که در خاک‌های مورد مطالعه وجود داشته و پس از اسمکتیت فراوان ترین کانی‌ها خاک‌های شالیزاری مناطق مطالعه شده می‌باشند. بعضی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ایلیت می‌تواند به صورت پدوژنیک در خاک‌ها با تثبیت پتاسیم توسط اسمکتیت به وجود آید (Niederbudde and Kussmaul, 1978). همچنین بعضی پژوهش‌ها حاکی از تشکیل پدوژنیک این کانی در خاک‌های مناطق خشک می‌باشد (Nettleton et al., 1973). به طور کلی مطالعات نشان می‌دهد که منشأ بیشتر کلریت و ایلیت موجود در خاک‌ها موروثی بوده و از سنگ‌های مادر به خاک به ارث رسیده اند. این دو کانی به عنوان پیش ماده جهت تشکیل پدوژنیک بیشتر کانی‌ها در خاک‌های مناطق خشک در نظر گرفته می‌شود (Azadi and Shakeri, 2020) و (Khademi and Mermut, 1998). وجود مقادیر قابل توجهی از ایلیت حکایت از جوانی و مراحل اولیه تکامل خاک‌های منطقه دارد. ایلیت و کلریت در بیشتر خاک‌ها مشاهده شده و درصد نسبتاً زیادی را شامل می‌شود. همانگونه که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود، مقدار این کانی‌ها عموماً از سطح به عمق افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد منشأ این کانی ارثی می‌باشد. توارثی بودن ایلیت نیز توسط بسیاری از محققان از جمله (Wilson, 1999), (Azadi et al., 2014) و (Shakeri and Abtahi, 2020) گزارش شده است. به طور کلی حضور و مقدار کانی‌های ایلیت و کلریت در خاک‌های مطالعه شده وابسته به فراوانی آن در مواد مادری است. همان‌طور که قبلاً گفته شد کانی اسمکتیت در افق‌های سطحی و زیرسطحی شالیزارها زیاد است که یکی از دلایل آن می‌تواند تبدیل کانی‌های ایلیت و کلریت به اسمکتیت در نتیجه آبشویی و خروج پتاسیم باشد. افزایش نسبی اسمکتیت در خاک‌های شالیزاری موجب کاهش مقدار دو کانی ایلیت و کلریت شده اما در افق‌های زیرین مجدداً افزایش می‌یابد. در خاک‌های بکر غیرشالیزاری مقدار کانی‌های ایلیت و کلریت در افق‌های سطحی نیز بیشتر از شالیزاری بوده و با افزایش عمق مقدار آن بیشتر می‌شود. مقدار این کانی‌ها روند عکس با مقدار اسمکتیت دارد. یکی از دلایل مهم پایداری کلریت در خاک‌های کاملاً احیایی، پایداری آهن دو ظرفیتی موجود در این کانی تحت شرایط فوق می‌باشد. بر اساس نظر (Kyuma, 1985) تناوب میان شرایط کاهش و اکسایش منجر به کلریتی شدن کانی‌های انبساط-پذیر ۲:۱ و کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌شود. Shakeri and Abtahi, (2018) در بررسی‌های خود در خاک‌های آهکی

تغییر شکل ساده میکا تشکیل گردد. (Khormali and Abtahi, 2003) معتقدند که این کانی در شرایط پهاش کمتر از ۶ و فعالیت بالای آلومینیوم می‌تواند تشکیل شود که در این صورت در شرایط خاک‌های آهکی و گچی تشکیل این کانی غیر محتمل بوده و مقادیر کم مشاهده شده می‌تواند منشا موروثی داشته باشد. زیرا تشکیل پدوژنیک کائولینیت در این خاک‌ها امکان ندارد. زیرا شرایط مورد نیاز جهت تشکیل پدوژنیک این کانی که شامل شرایط اسیدی همرا با فعالیت متوسط سیلیس و کم بودن مقادیر کاتیون‌های بازی است در این خاک‌ها میسر نیست. به هر حال مقدار جزئی این کانی در بعضی خاک‌ها موروثی بوده و از سنگ‌های مادر به خاک به ارث رسیده است. کانی‌های مخلوط نیز که عمدتاً شامل مخلوط ایلیت-اسمکتیت و کلریت-اسمکتیت می‌باشند که در خاک‌های مورد مطالعه مقدار کمی از بخش رس خاک را به خود اختصاص دادند.

کانی پالیگورسکت با کریستال‌های گچ می‌دانند. محیط‌های تشکیل و پایداری کانی‌های رسی فیبری نیاز به شرایط قلیایی و فعالیت بالای H_4SiO_4 و Mg^{2+} دارد. سنگ‌های رسوبی مربوط به دوران ترشیاری و جوان‌تر دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ای پالیگورسکت بوده که می‌تواند به خاک‌های مجاور این تشکیلات به ارث برسد (Khormali et al., 2005).

کائولینیت و ورمیکولیت از کانی‌های دیگری هستند که به مقدار جزئی در بعضی از خاک‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شوند. به طور کلی میانگین فراوانی این کانی‌ها در خاک‌های مورد مطالعه کمتر از یک درصد می‌باشد. در شرایط زهکشی ضعیف‌تر ورمیکولیت ناپایدار بوده و به اسمکتیت با پایداری بیشتر تبدیل می‌شود. همچنین احتمال تشکیل ورمیکولیت به عنوان یک محصول حدواسط از میکا و سپس تبدیل آن به اسمکتیت تایید شده است (Khormali and Abtahi, 2003). این کانی می‌تواند از



شکل ۲- دیفرکتوگرام‌های پرتو پراش ایکس افق A منطقه‌های کربال (الف) و فیروزآباد (ب). پیک‌های قوی رده‌های اول و دوم پالیگورسکت مشاهده می‌شود.

شکل‌های مختلف منگنز خاک‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های شالیزار و غیرشالیزار مطالعه شده نشان می‌دهد. آنالیز آماری نشان داد که میانگین منگنز قابل استفاده در کل افق‌های شالیزاری (سطحی و زیر

شکل‌های مختلف منگنز جدول (۳) غلظت شکل‌های مختلف منگنز و نسبت آنها و جدول (۴) مقایسه گروهی شکل‌های مختلف این عنصر را در بین

(۴) نشان می‌دهد در خاک‌های زیرسطحی غیرشالیزار و شالیزار، میانگین منگنز قابل استفاده دارای اختلاف معنی داری است ($p=0/045$). به طور کلی مقدار منگنز قابل استفاده در شالیزار بیشتر از غیرشالیزار تعیین گردید که نشان می‌دهد شرایط غرقاب و احیایی باعث افزایش مقدار آن شده است.

سطحی) نسبت به غیرشالیزار دارای اختلاف معنی دار ($p=0/001$) بود. این در حالی است که میانگین آن در خاک‌های سطحی غیرشالیزار و شالیزار از ۱/۷۱ تا ۹/۲۱ (با میانگین ۵/۹۶) و ۱/۷۲ تا ۱۲/۹۴ (با میانگین ۸/۰۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده اما اختلاف معنی داری بین آنها وجود ندارد ($p=0/163$). نتایج جدول

جدول ۳- شکل‌های مختلف منگنز و نسبت میان آن‌ها در خاک‌های مورد مطالعه.

شماره پروفیل	افق	شکل‌های مختلف منگنز				نسبت میان شکل‌های مختلف منگنز		
		Mn _{ex} (mg kg ⁻¹)	Mn _d (g kg ⁻¹)	Mn _o (g kg ⁻¹)	Mn _i (g kg ⁻¹)	Mn _{cr} (g kg ⁻¹)	Mn _o /Mn _d	Mn _d /Fe _d
۱	A	۵/۰۶	۰/۳۹	۰/۱۴	۲/۲۴	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۱۱
	AB	۸/۴۷	۰/۳۵	۰/۰۷	۲/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۰۶
۲	Ap _g	۵/۴۸	۰/۳۱	۰/۱۷	۲/۴۵	۰/۱۵	۰/۵۳	۰/۱۳
	B _{g1}	۷/۸۴	۰/۲۶	۰/۱۴	۲/۳۵	۰/۱۲	۰/۵۴	۰/۰۸
۳	A	۴/۰۵	۰/۲۸	۰/۰۶	۰/۹۱	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۵
	B _w	۳/۳۷	۰/۲۶	۰/۰۵	۱/۰۴	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۰۴
۴	Ap _g	۴/۷۹	۰/۲۷	۰/۱۸	۱/۲۴	۰/۰۹	۰/۶۷	۰/۰۶
	B _{g1}	۳/۶	۰/۲۶	۰/۱۷	۱/۱۴	۰/۰۹	۰/۶۵	۰/۰۵
۵	A	۴/۵۱	۰/۲۷	۰/۰۶	۱/۰۷	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۰۸
	B _w	۴	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۹۵	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۰۵
۶	Ap _g	۴/۹	۰/۱۹	۰/۰۷	۱/۴۸	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۰۸
	B _{g1}	۵/۲۱	۰/۱۹	۰/۰۶	۱/۳۵	۰/۱۳	۰/۳۴	۰/۰۷
۷	A	۲/۰۵	۰/۲۷	۰/۰۷	۲/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۰۶
	B _{w1}	۲/۶۳	۰/۱۸	۰/۰۳	۱/۸۶	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۰۴
۸	Ap _g	۹/۳۴	۰/۱۹	۰/۱	۲/۴۱	۰/۰۹	۰/۵۴	۰/۰۵
	B _g	۴/۵۷	۰/۱	۰/۰۸	۲/۲۵	۰/۰۱	۰/۸۵	۰/۰۲
۹	A	۱/۷۱	۰/۱۵	۰/۰۳	۱/۱۸	۰/۱۲	۰/۲	۰/۰۴
	B _w	۲/۸۴	۰/۰۹	۰/۰۲	۱/۲۶	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۰۲
۱۰	Ap _g	۱/۷۲	۰/۰۸	۰/۰۴	۱/۸۷	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۰۷
	B _{g1}	۴/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۱/۵۱	۰/۰۲	۰/۶	۰/۰۳
۱۱	A	۹/۱۱	۰/۴۵	۰/۰۶	۳/۰۱	۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۰۸
	B _{w1}	۵/۱۹	۰/۴۵	۰/۰۵	۳/۰۹	۰/۳۹	۰/۱۲	۰/۰۸
۱۲	Ap _g	۱۰/۶۸	۰/۳۴	۰/۰۹	۳/۴	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۰۸
	B _{g1}	۱۰/۲	۰/۳۲	۰/۰۷	۳/۱۴	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۰۸
۱۳	A	۸/۶۵	۰/۴۵	۰/۰۳	۲/۲۸	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۱
	B _k	۵/۸۳	۰/۴۷	۰/۰۳	۲/۰۴	۰/۴۳	۰/۰۷	۰/۱
۱۴	Ap _g	۱۲/۹۵	۰/۳۵	۰/۰۶	۲/۵۹	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱
	B _{k_{g1}}	۶/۲۹	۰/۳۶	۰/۰۶	۲/۳۸	۰/۳	۰/۱۶	۰/۱۱
۱۵	A	۷/۶۶	۰/۴۱	۰/۰۸	۲/۶۸	۰/۳۳	۰/۲	۰/۰۷
	B _k	۳/۵۳	۰/۳۵	۰/۰۶	۲/۵۱	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۰۷
۱۶	Ap _g	۱۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۰۷	۳/۸۱	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۰۷
	B _{k_g}	۹/۷۶	۰/۲۴	۰/۰۵	۳/۶	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۰۷
۱۷	A	۷/۶۱	۰/۴۴	۰/۰۹	۱/۸۶	۰/۳۵	۰/۲	۰/۱۱
	B _w	۳/۶۳	۰/۳۳	۰/۰۹	۱/۷۴	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۰۷
۱۸	Ap _g	۹/۹۸	۰/۲۴	۰/۱۵	۲/۳۶	۰/۰۹	۰/۶۲	۰/۰۸
	B _{k_{g1}}	۶/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۲	۲/۲۸	۰/۱	۰/۵۴	۰/۰۷
۱۹	Ap	۹/۲۱	۰/۴۷	۰/۱	۱/۹۱	۰/۳۷	۰/۲۱	۰/۰۸
	B _w	۳/۶۹	۰/۴	۰/۰۸	۲/۰۲	۰/۳۲	۰/۲	۰/۰۶
۲۰	Ap _g	۱۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۱۲	۲/۲۱	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۰۹
	B _{k_{g1}}	۵/۱۱	۰/۳۵	۰/۱۱	۲/۰۸	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۰۸

جدول ۴- مقایسه گروهی شکل‌های مختلف منگنز بین خاک‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های شالیزار و غیرشالیزار مطالعه شده.

خاک‌های زیرسطحی			خاک‌های سطحی			وضعیت	شکل‌های مختلف منگنز
کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین		
۲/۶۳	۸/۴۷	۴/۳۱	۱/۷۱	۹/۲۱	۵/۹۶	غیرشالیزار	منگنز قابل استفاده (Mn _{ex}) (mg kg ⁻¹)
۳/۶	۱۰/۲	۶/۲۸	۱/۷۲	۱۲/۹۴	۸/۰۶	شالیزار	
۰/۰۹	۰/۴۶	۰/۳	۰/۱۴	۰/۴۶	۰/۳۵	غیرشالیزار	منگنز پدوژنیک (Mn _d) (g kg ⁻¹)
۰/۰۵	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۳۸	۰/۲۳	شالیزار	
۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۲۹	۰/۱۴	۰/۰۷	غیرشالیزار	منگنز با تبلور ضعیف (Mn _o) (g kg ⁻¹)
۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۱۲	شالیزار	
۰/۹۵	۳/۰۹	۱/۸۷	۰/۹	۳	۱/۹۲	غیرشالیزار	منگنز شبه کل (Mn _t) (g kg ⁻¹)
۱/۱۴	۳/۶	۲/۲	۱/۲۴	۳/۸۱	۲/۳۸	شالیزار	
۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۴۱	۰/۲۸	غیرشالیزار	منگنز متبلور (Mn _{ty}) (g kg ⁻¹)
۰/۰۱	۰/۳	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۲۹	۰/۱۵	شالیزار	

مانند ملات و سیترات از کمپلکس کننده‌های قوی عناصری مانند آهن و منگنز در خاک می‌باشند که سبب تجزیه هیدروکسیدهای نامحلول و غیر قابل دسترس این عناصر می‌شوند. اسیدهای آلی سیتریک و اگزالیک در شرایط کمبود پتاسیم به مقدار نسبتاً زیادی از ریشه گیاهان آزاد شده و در افزایش حلالیت عناصری مانند مس، روی، منگنز، آهن و فسفر در ریزوسفر شرکت می‌نماید (Song and Huang, 1998). در شرایط احیاء نسبت به شرایط هوازی، مقادیر بیشتری از عناصر کم مصرف در شکل تبدالی بر روی کلوئیدهای خاک قرار می‌گیرند. نتایج تحقیق Gotoh and Patrick, (1974) نشان می‌دهد که با تداوم شرایط احیاء و کاهش پهاش، هم آهن و منگنز محلول و هم آهن و منگنز تبدالی افزایش می‌یابند. ایجاد پیوند بین مواد آلی و عناصر کم مصرف سبب افزایش قابلیت دسترسی به عناصر کم مصرف در خاک ها می‌گردد. کربن آلی، توزیع عناصر کم مصرف در خاک را کنترل می‌کند. شکل قابل عصاره‌گیری عناصر کم مصرف با DTPA، با افزایش مقدار مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش و با افزایش پهاش، کاهش می‌یابد (Frank et al., 1976). مقدار منگنز محلول بیشتر در افق‌های سطحی و زیرسطحی همانند آهن می‌تواند به مقادیر بالای ماده آلی افق‌های سطحی و همچنین تأثیر پهاش و Eh مربوط می‌شود به طوری که کاهش پهاش و پتانسیل ریداکس سبب افزایش غلظت منگنز محلول در آب می‌شود، زیرا که فعالیت منگنز در فاز محلول همزمان توسط پهاش و Eh کنترل می‌شود (Moraghan and Mascagni, 1991). Lindsay, (1972) نیز اظهار نمود که با کاهش یک واحد پهاش، مقدار منگنز محلول حدود ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. Meek et al., (1968) نیز نشان دادند که غرقاب کردن خاک با و بدون افزایش ماده آلی سبب افزایش ۱۰ تا ۱۵ برابری Mn²⁺ محلول، در مجاورت ماده آلی شده است.

مقدار این عنصر در افق‌های سطحی بسیاری از خاک‌های شالیزار کمتر از افق‌های زیرسطحی بود. بنا بر اظهارات (Moraghan and Mascagni, 1991) دامنه پایداری pH و Eh، برای Mn²⁺ در خاک بیشتر و وسیع تر از Fe²⁺ است. پتانسیل احیاء استاندارد (Eh) سیستم منگنز به طور معمول بیشتر از آهن (۱/۲۳) در برابر ۰/۷۷ (ولت) است. بنابراین منگنز سریع تر از آهن به فرم کاهشی درآمده و دشوارتر از آهن اکسید می‌گردد. در نتیجه منگنز سریع تر تحت تأثیر شرایط کاهشی قرار می‌گیرد و این ویژگی منگنز باعث می‌شود تحرک بیشتری در خاک داشته و قادر به طی مسافت بیشتری در طول نیمرخ باشد که این امر می‌تواند روند افزایشی آن را در افق‌های زیرین توجیه کند. در شرایط هوازی، اکسیژن به عنوان گیرنده نهایی الکترون در خاک عمل می‌کند، در حالی که در شرایط بی‌هوازی، سایر الکترون گیرنده‌ها در صورت تداوم اکسایش ترکیبات آلی بوسیله باکتری-ها وارد عمل می‌شوند. سایر الکترون گیرنده‌های اصلی در شرایط بی‌هوازی به ترتیب NO₃⁻، MnO₂، Fe(OH)₃، SO₄²⁻ و CO₂ هستند. Mn²⁺ به دلیل پتانسیل اکسایش بالاتر نسبت به Fe²⁺ دارای تحرک بیشتری در خاک است. براین اساس احیاء منگنز پس از آن صورت می‌گیرد که مقدار عمده نیترات موجود در خاک کاهش یابد. (Tisdale et al., 1995) بیان کردند که غرقاب کردن خاک باعث کاهش اکسیژن و کمتر شدن پتانسیل ریداکس شده و نهایتاً این عوامل غلظت Mn²⁺ را به ویژه در خاک‌های اسیدی افزایش می‌دهد. همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود منگنز قابل استفاده دارای ارتباط مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد با مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی (به ترتیب با ضریب ^{**}۰/۴۲۹، ^{**}۰/۶۶۱ و ^{**}۰/۴۸۵) و ارتباط منفی و معنی‌دار در سطح یک درصد با پهاش خاک و کربنات کلسیم معادل (به ترتیب با ضریب ^{**}-۰/۳۷۲ و ^{**}-۰/۵۸۷) می‌باشد. اسیدهای آلی

جدول ۵- ضریب‌های همبستگی ساده (پیرسون) (r) بین شکل‌های مختلف منگنز و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

کربن آلی	ظرفیت تبادل کاتیونی	شن	رس	قابلیت هدایت الکتریکی	پ هاش	Mn _d /Mn _o	Mn _t	Mn _o	Mn _d	Mn _{ex}	
										۰/۳۵۱**	Mn _d
										۰/۳۰۲**	Mn _o
								۰/۰۴۳	۰/۴۱۶**	۰/۵۷۵**	Mn _t
							-۰/۱۲۸	۰/۸۶۶**	-۰/۴۶۵**	۰/۱۰۷	Mn _o /Mn _d
						-۰/۲۱	۰/۰۰۷	-۰/۱۴۱	۰/۳۳۰**	-۰/۳۷۲**	پ هاش
					-۰/۱۳	-۰/۱۳۸	۰/۴۷۵**	-۰/۱۲۶	-۰/۰۵	۰/۲۱	EC
				۰/۰۰۶	۰/۱۳۷	-۰/۰۷۱	۰/۶۳۸**	۰/۰۹۵	۰/۴۹۱**	۰/۴۲۹**	رس
			-۰/۷۹۳**	-۰/۲۰۵	-۰/۰۹۸	۰/۰۰۵	-۰/۶۳۷**	-۰/۲۶۶*	-۰/۵۴۳**	-۰/۴۹۰**	شن
	-۰/۷۴۳**	۰/۶۰۳**	۰/۲	-۰/۱۱۴	۰/۰۱۲	۰/۵۵۴**	۰/۳۳۷**	۰/۵۴۹**	۰/۶۶۱**	۰/۶۶۱**	CEC
۰/۳۱۱**	-۰/۰۵۸	-۰/۰۳۱	۰/۰۲۴	-۰/۵۸۶**	۰/۱۸۵	۰/۱۵۳	۰/۳۱۸**	۰/۰۹۳	۰/۴۸۵**	۰/۴۸۵**	کربن آلی
-۰/۱۴۷	-۰/۵۶۸**	۰/۶۴۵**	-۰/۶۹۶**	-۰/۴۱۹**	-۰/۰۰۷	-۰/۸۳۸**	-۰/۱۶۸	-۰/۴۳۴**	-۰/۵۸۷**	-۰/۵۸۷**	CCE

Mn_{ex}: منگنز قابل استفاده، Mn_d: منگنز پدوژنیک، Mn_o: منگنز با تبلور ضعیف، Mn_t: منگنز شبه کل ** معنی دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد

پنج درصد

مقادیر زیادی از آهن قابل احیاء به صورت پوشش‌هایی بر روی سطح رس‌ها قرار گرفته‌اند که در زمان احیاء خاک، به صورت محلول در می‌آیند. جایی که بارهای مثبت، بارهای منفی هیدروکسیدها را خنثی کرده‌اند، انحلال این پوشش‌ها باعث ایجاد بارهای منفی خالص روی سطح ذره شده و CEC را افزایش می‌دهد (Kirk, 2004). نتایج به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات صحرایی بر روی رس‌های خاک و رس‌های خالص نشان داد که احیاء آهن فریک لایه هشت وجهی در اسمکتیت‌ها، بار لایه‌ای و ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد (Favre et al., 2002). (Owliaie, 2013) نیز رابطه مثبت و معنی‌داری بین میزان منگنز شبه کل با مقدار رس خاک بدست آورد. به طور کلی، مقدار کل ترکیبات پدوژنیک در خاک، شامل منگنز بی شکل، آلی و بلورین (Mn_d) به وسیله سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات (CBD) عصاره‌گیری می‌شود. میانگین غلظت اکسید منگنز عصاره‌گیری شده با سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات (Mn_d) در خاک‌های سطحی و زیرسطحی اراضی شالیزار ۰/۲۳ و ۰/۲۱ گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد که کمتر از میانگین مقادیر آنها در اراضی غیرشالیزار (به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۳۰ گرم بر کیلوگرم) برآورد شده اما اختلاف بین آنها معنی دار نبود. غلظت Mn_d در خاک‌های سطحی پروفیل‌های شالیزار از ۰/۰۸ تا ۰/۳۸ و در پروفیل‌های غیرشالیزار از ۰/۷۵ تا ۲/۱۶ گرم بر کیلوگرم متغیر بود. همچنین مقدار این شکل از منگنز در خاک‌های زیرسطحی پروفیل‌های شالیزار و غیرشالیزار به ترتیب در محدوده ۰/۰۵ تا ۰/۳۶ و ۰/۰۹ تا ۰/۴۶ گرم بر کیلوگرم برآورد شد. مقایسه میانگین کل افق‌ها نیز نمایان‌گر مقدار بیشتر و معنی‌دار (p=0/001) منگنز پدوژنیک خاک‌های غیرشالیزار نسبت به

دامنه تغییرات منگنز شبه کل استخراج شده با اسید نیتریک نیز در خاک‌های سطحی شالیزار و غیرشالیزار به ترتیب از ۱/۲۴ تا ۳/۸۱ (با میانگین ۲/۳۸) و ۰/۹۰ تا ۳/۰۰ (با میانگین ۱/۹۲) گرم بر کیلوگرم می‌باشد. افزایش غلظت منگنز شبه کل در خاک‌های سطحی شالیزار نسبت به غیرشالیزار معنی دار (p=0/18۰) برآورد شد. روند افزایشی منگنز شبه کل در خاک‌های زیرسطحی شالیزار نسبت به غیرشالیزار نیز مشاهده گردید اما اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود (p=0/314). مقایسه گروهی بین مقدار منگنز شبه کل خاک‌های شالیزار (با میانگین ۲/۱۹) و غیرشالیزار (با میانگین ۱/۸۶) در میانگین کل افق‌ها حاکی از افزایش معنی دار آن (p=0/036) در خاک‌های شالیزار می‌باشد. تحقیقات انجام شده بوسیله Owliaie and Najai Ghiri, (2013) در شالیزارهای استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد که کشت طولانی مدت برنج موجب افزایش ۲۳ درصدی مقدار آهن شبه کل نسبت به خاک‌های بکر مجاور شد. (Cheng et al., 2009) و Azadi et al (2021) نیز در بررسی ویژگی‌های خاک‌های شالیزاری و اراضی غیرشالیزاری مجاور آن، مقدار بیشتر آهن شبه کل، درصد رس و مواد آلی و مقدار کمتر منگنز شبه کل در اراضی شالیزاری را گزارش نمودند. مقدار منگنز شبه کل همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی (به ترتیب با ضریب ۰/۶۳۸**، ۰/۵۵۴** و منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با مقدار شن و کربنات کلسیم معادل (به ترتیب با ضریب ۰/۶۳۷**، -۰/۸۳۸**) داشت (جدول ۵). احیاء آهن ساختمانی باعث افزایش بار منفی لایه‌ای رس شده و نهایتاً CEC را افزایش می‌دهد (Stucki, et al., 1997). در خاک‌هایی که در معرض اکسیداسیون و احیاء متوالی و متناوب هستند،

تغییرات کاهشی مقدار ماده آلی خاک همخوانی دارد. منگنز قابل استخراج با اگزالات آمونیوم شامل منگنز در پیوند با ماده آلی و منگنز غیر بلورین است و با کاهش مقدار ماده آلی از مقدار آن کاسته می‌شود. کمبود مقدار ماده آلی به همراه کمبود فعالیت میکروبی در عمق خاک از دلایل کاهش میزان احیاء منگنز می‌باشد (Bouma, 1990). مقدار Mn_0 خاک‌های مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد با مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی، و کربن آلی (به ترتیب با ضریب $0/337^{**}$ و $0/318^{**}$) و ارتباط منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با مقدار شن خاک ($0/266^*$) داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج نیمه‌کمی کانی‌شناسی بخش رس نشان داد که کلریت، اسمکتیت، و ایلیت کانی‌های عمده و غالب کل خاک‌های مطالعه شده است. همچنین پالیگورسکیت، کانی‌های مخلوط، ورمی-کولیت، و کائولینیت نیز بخشی از کانی‌های خاک‌های مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که در خاک‌های بکر غیرشالیزار کانی‌های کلریت و ایلیت کانی‌های غالب و اسمکتیت و پالیگورسکیت در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین در خاک‌های اراضی شالیزاری کانی‌های اسمکتیت، کلریت، و ایلیت کانی‌های عمده و غالب و بعد از آن کانی‌های مخلوط و کائولینیت نسبت کمی از کانی‌های خاک را تشکیل می‌دهند. نتایج نشان داد که شرایط اکسایش و احیاء متناوب در اراضی شالیزاری در مقایسه با اراضی غیرشالیزاری بر شکل‌های عناصر کم مصرف تاثیر گذاشته و باعث تغییر در مقدار آنها بویژه در افق‌های سطحی و زیرسطحی شده است. در خاک‌های زیرسطحی شالیزار، میانگین منگنز قابل استفاده بیشتر از غیرشالیزار بوده و این اختلاف معنی‌دار است. همچنین مقدار آن در خاک‌های سطحی شالیزار نیز بیشتر بوده، اما اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. میانگین غلظت منگنز پدوژنیک در خاک‌های سطحی و زیرسطحی اراضی شالیزار کمتر از میانگین مقادیر آنها در اراضی غیرشالیزار تعیین شد. مقایسه بین خاک‌های شالیزار و غیرشالیزار نیز نشان داد که غلظت منگنز با تبلور ضعیف (Mn_0) در خاک‌های سطحی و زیرسطحی اراضی شالیزار کمتر از اراضی غیرشالیزار بوده اما اختلاف بین آنها فقط در خاک‌های سطحی معنی‌دار است.

سپاس‌گزاری

این تحقیق بخشی از رساله دکتری نویسنده سوم بوده و بدین-وسیله از دانشگاه شیراز که امکانات انجام آن را مهیا کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

شالیزار می‌باشد. میانگین غلظت این شکل از منگنز در کل افق های خاک‌های شالیزار و غیرشالیزار به ترتیب $0/20$ و $1/20$ گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد. (Khan and Fenton, 1996) گزارش نمودند که میزان Mn_d در حالت اشباع دائمی کاهش در حالی که مقدار Mn_d در شرایط اشباع تناوبی افزایش یافته است. نتایج تحقیقات (Owliaie, 2013) نشان داد که شرایط اکوییک موجب کاهش حدود 20 درصدی در مقدار Mn_d گردیده است. در مراحل اولیه هوادیدگی و تکامل خاک، سرعت رها شدن منگنز غیربلورین از کانی‌ها، بیشتر از شدت فرایند تشکیل بلور است که این امر موجب افزایش مقدار Mn_d شده، ولی با افزایش سن و تکامل خاک، مقدار Mn_d بیشتر شده و نسبت Mn_0/Mn_d کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار منگنز پدوژنیک خاک‌های مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقدار پهاش، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی (به ترتیب با ضریب $0/330^{**}$ ، $0/491^{**}$ و $0/549^{**}$) و ارتباط منفی و معنی‌داری با مقدار شن و کربنات کلسیم معادل (به ترتیب با ضریب $0/543^{**}$ و $0/434^{**}$) داشت.

در خاک، مقدار اکسید منگنز بی شکل و آلی (غیربلورین) به وسیله اگزالات آمونیوم اسیدی عصاره گیری می‌شود (Mn_0). مقدار منگنز قابل استخراج با اگزالات (Mn_0) در خاک‌های سطحی شالیزارها در محدوده $0/03$ تا $0/31$ و میانگین $0/12$ گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های زیرسطحی در محدوده $0/03$ تا $0/26$ و میانگین $0/11$ گرم بر کیلوگرم برآورد شد. آنالیز آماری نشان داد که افزایش مقادیر در خاک‌های زیرسطحی شالیزارها نسبت غیرشالیزارها معنی‌دار بوده ($p=0/042$) در حالی که این افزایش در خاک‌های سطحی معنی‌دار ($p=0/092$) نیست. میانگین غلظت Mn_0 در خاک‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های غیرشالیزار به ترتیب $0/07$ و $0/05$ گرم بر کیلوگرم و بین $0/29$ تا $0/14$ و $0/02$ تا $0/08$ گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین غلظت این شکل از منگنز در کل افق‌های غیرشالیزار $0/05$ و در شالیزار $0/10$ گرم بر کیلوگرم تعیین شد. به طور کلی غلظت Mn_0 خاک‌های شالیزاری نسبت به غیرشالیزاری بیشتر برآورد گردید. پن و همکاران (۲۰۰۳) نیز مقادیر زیاده‌تر Mn_0 در خاک‌های شالیزار را به مقادیر بیشتر کربن آلی در شالیزارها و شرایط احیایی این اراضی نسبت دادند. (Owliaie, 2013) نشان داد که شرایط اکوییک موجب افزایش $5/5$ برابری مقدار Mn_0 گردیده و در مقابل این شرایط، موجب کاهش حدود 20 درصدی مقادیر Mn_d شده است. نتایج نشان داد که مقدار Mn_0 در اغلب خاک‌های مطالعه شده با افزایش عمق کاهش می‌یابد. این روند تقریباً با

REFERENCES

- Abtahi, A. (1977). Effect of a saline and alkaline ground water on soil genesis in semiarid southern Iran. *Soil Science Society of America Journal*, 41(3), 583-588.
- Azadi, A., Baghernejad, M., Karimian, N. and Abtahi, A. (2014). Investigation about potassium status and its relationship with mineralogy and soil properties in Kaftar region Fars Province. *Iranian Journal of Soil Management*, 2, 59-69 (in Farsi).
- Azadi, A., Baghernejad, M., Karimian, N. & Abtahi, A. (2016). Kinetics of nonexchangeable potassium release and relationship with soil properties, mineralogy and soil taxonomy in some calcareous soils of Fars province. *Soil and Water Science*, 30, 187-199(in Farsi).
- Azadi, A., Baghernejad, M., Gholami, A., and Shakeri, S. (2021). Forms and distribution pattern of soil Fe (Iron) and Mn (Manganese) oxides due to longterm rice cultivation in fars Province Southern Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-18.
- 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.
- Banaei, H. M. (1998). Soil moisture and temperature regimes map of Iran (1:2500000). *Soil and Water Research Institute*
- Bell, R. W., and Dell, B. (2008). *Micronutrients for sustainable food, feed, fibre and bioenergy production*. International Fertilizer Industry Association (IFA).
- Borchardt, G. (1989). *Smectites*. P 75-718, In: Dixon, J.B. and Weed, S.B. (eds.), *Minerals in Soil Environments*, Second edition. SSSA Book Ser., Vol. 1. SSSA, Madison, WI.
- Bouma, J. (1990). Classification and Management of Wet Soils. Report of ICOMAQ. Circular 10. In Eighth International Soil. Correlation Meeting, USDA, Soil Service, Soil Management Support Services, USDA, Washington.
- Buol, S. W., Hole, F. D., McCracken, R. J., and Southard, R. J. (2003). *Soil genesis and classification* (5th ed.). Iowa State Univ: Press, Ames.
- Cheng, Y. Q., Yang, L. Z., Cao, Z. H., Ci, E., and Yin, S. (2009). Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils. *Geoderma*, 151(1-2), 31-41.
- Fanning, D. S., and Fanning, M. C. B (1989). *Soil morphology, genesis and classification*. New York: John Wiley and Sons.
- Farpoor, M. H., and Krouse, H. R. (2008). Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, central Iran. *Geoderma*, 146(1-2), 283-290.
- Favre, F., Tessier, D., Abdelmoula, M., Génin, J. M., Gates, W. P., and Boivin, P. (2002). Iron reduction and changes in cation exchange capacity in intermittently waterlogged soil. *European Journal of Soil Science*, 53(2), 175-183.
- Frank, R., Ishida, K., and Suda, P. (1976). Metals in agricultural soils of Ontario. *Canadian journal of soil science*, 56(3), 181-196.
- Gee, G. W., and Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis, hydrometer method. In Klute, A. et al., (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part I*. (pp. 404-408). Madison (WI): SSSA and ASA.
- Gotoh, S., and Patrick Jr, W. H. (1974). Transformation of iron in a waterlogged soil as influenced by redox potential and pH. *Soil Science Society of America Journal*, 38(1), 66-71.
- Hassannezhad, H., Pashae, A., Khormali, F., and Mohammadian, M. (2008). Morphology and Micromorphology of Paddy Soils under Different Soil Moisture Regime and Ground Water Table in Mazandaran Province, Northern Iran, Amol. *International Journal of Soil Science*, 3(3), 149-156.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., and Beaton, J. D. (2016). *Soil fertility and fertilizers*. Pearson Education India.
- Jackson, M.L. (1975). *Soil Chemical Analysis Advanced Course. Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison, WI.*
- 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.
- Kawaguchi, K. (1969). *Lowland rice soils in Thailand*. Reports on research in southeast as: a. Natural science Ser., Kyoto University, Japan. PP270.
- Kawaguchi, K., and Kyuma, K. (1977). *Paddy soil in tropical Asia, their material nature and fertility*, Honolulu, Hawaii: University Press of Hawaii.
- Khademi, H., and Mermut, A. R. (1998). Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran. *Clay minerals*, 33(4), 561-578.
- Khan, F. A., and Fenton, T. E. (1996). Secondary iron and manganese distributions and aquic conditions in a Mollisol catena of central Iowa. *Soil Science Society of America Journal*, 60(2), 546-551.
- Khormali, F., and Abtahi, A. (2003). Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay minerals*, 38(4), 511-527.
- Khormali, F., Abtahi, A., and Owliaie, H. R. (2005). Late Mesozoic—Cenozoic clay mineral successions of southern Iran and their palaeoclimatic implications. *Clay minerals*, 40(2), 191-203.
- Kirk, G. (2004). *The Biogeochemistry of Submerged Soils*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Kittrick, J. A., and Hope, E. W. (1963). A procedure for the particle-size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96(5), 319-325.
- 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(1-2), 1-14.
- Kyuma, K. (1985). Fundamental characteristics of wetland soils. In: *Proceeding of a workshop held*, 26March to 5April, 1984., Manil, Philippines, IRRI, pp.191-206.
- Lindsay, W. L. (1972). Zinc in soils and plant nutrition. *Advances in Agronomy*, 24, 147-186.
- Loppert, R. H. & 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.
- Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
- McKeague, J., and Day, J. (1966). Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Canadian journal of soil science*, 46(1),

- 13-22.
- McKenzie, R. M. (1989). Manganese oxides and hydroxides, PP. 439-465. In: Dixon, J.B. and S. B. Weed, (Eds.), *Minerals in Soil Environments*, 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Meek, B. D., MacKenzie, A. J., and Grass, L. B. (1968). Effects of organic matter, flooding time, and temperature on the dissolution of iron and manganese from soil in situ. *Soil Science Society of America Journal*, 32(5), 634-638.
- Mehra, O. P. and Jackson, M. L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7, 317-327.
- Moraghan J. T., and Mascagni H. J. (1991). *Environmental and soil factor affecting micronutrient deficiencies and toxicities*. p. 371-425. In J.J. Mortvedt et al (ed.) *Micronutrients in agriculture*. 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Nabiollahy, K., Khormali, F., Bazargan, K., and Ayoubi, S. (2006). Forms of K as a function of clay mineralogy and soil development. *Clay Minerals*, 41(3), 739-749.
- Naidu, R., Mitchell, B. D., and Mackenzie, R. C. (1994). Effect of drainage on characteristics of some soils of the Orkney Islands. *Soil Research*, 32(3), 519-534.
- Najafi, N. (2013). Changes in pH, EC and concentration of phosphorus in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of north of Iran. *International Journal of Agriculture*, 3(2), 271.
- 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.
- Nettleton, W. D., Nelson, R. E., and Flach, K. W. (1973). Formation of mica in surface horizons of dryland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 37(3), 473-478.
- Niederbudde, E. A., and Kussmaul, H. (1978). Tonmineraleigenschaften und-umwandlungen in parabraunerde-profilpaaren unter acker und Wald in Süddeutschland. *Geoderma*, 20(3-4), 239-255.
- Owliaie, H. R. (2013). Study of chemical forms of Fe and Mn in a soil catena in Yasouj Region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 16(62), 217-226. (in Farsi).
- Owliaie, H. R., and Ghiri, M. N. (2013). Effect of long-term rice cultivation on physico-chemical properties and clay mineralogy of soils in Yasouj region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 17(65), 39-50 (in Farsi).
- Ponnamperuma, F. N. (1978). *Electrochemical change in submerged soil and the growth of rice*. (pp. 421-441). Philippines, Los Banos: IRRI.
- Sahrawat, K. L. (2005). Fertility and organic matter in submerged rice soils. *Current science*, 88(5), 735-739.
- Shakeri, S., and Abtahi, S. A. (2019). Origin and Clay Minerals Characteristics and their Relationship with Potassium Forms in the Calcareous Soils of Kakan Plain in East of Kohgiluyeh-va-Boyerahmad Province. *Journal of Water and Soil Science*, 22(4), 173-188. (in Farsi).
- Shakeri, S., and Abtahi, S.A. (2020) Potassium fixation capacity of some highly calcareous soils as a function of clay minerals and alternately wetting-drying, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(4), 445-457.
- 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(2), 217-232.
- Shakeri, S., Azadi, A. and, Saffari M. 2021. Effect of Climate and Soil Development on the Quantity and Chemical Forms Distribution of Iron, Copper, Zinc and Manganese Micronutrients in the Dominant Soil Orders of Kohgiluyeh and Boyerahmad Province. *Journal of Water and Soil Science*, 24 (4),273-293
- Singer, A., and Norrish, K. (1974). Pedogenic palygorskite occurrences in Australia. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 59(5-6), 508-517.
- Sposito, G., Lund, L. J., and Chang, A. C. (1982). Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*, 46(2), 260-264.
- Stucki, J. W., Auerswald, K., Stanjek, H., and Bigham, J. (1997). Redox processes in smectites: soil environmental significance. *Advances in GeoEcology*, 30, 395-406.
- Song, S. K., and Huang, P. M. (1988). Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society of America Journal*, 52(2), 383-390.
- Suárez, M., Pozas, J. M., Robert, M., and Elsass, F. (1994). Evidence of a precursor in the neoformation of palygorskite—New data by analytical electron microscopy. *Clay Minerals*, 29(2), 255-264.
- Sumner, M. E., & 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.
- Tisdale S. L., Nelson. W. L., Beaton. J. D. & Havlin J. L. (1995) *Soil fertility and fertilizers*. Prentice-Hall of India: New Delhi.
- Torabi Gelsefidi. H., Karimian Eghbal, M., Givi, M. J., and Khademi, H. (2001). Clay mineralogy of Paddy soils developed on different landforms in the East of Gilan province, Northem Iran. *Iranian Journal of Soil and Waters Sciences*, 15, 122-138 (in Farsi).
- Wilding, L. P., Ahrens, R. J., (2005). *Provision for Anthropogenically impacted soil*, European Bureau – Research, No. 7.
- Wilson, M. J. (1999). The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay minerals*, 34(1), 7-25.