

## اثر عملیات زراعی بلند مدت بر تغییر شکل‌های اکسید آهن و کانی‌های خاک در ورته‌سل‌های منطقه پیرانشهر

سالار رضاپور<sup>۱\*</sup> - حنیفه آژاه<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

### چکیده

تغییرپذیری و رفتار شکل‌های اکسید آهن و کانی‌های خاک در میزان توسعه و تکامل خاک اثرات قابل توجهی دارند و عملیات زراعی طولانی مدت می‌تواند این فرایند را تحت تاثیر قرار دهد. به منظور بررسی تاثیر عملیات زراعی طولانی مدت بر رفتار کانی‌های رسی و شکل‌های مختلف اکسید آهن، شش خاک از خاک‌های ورته سل زراعی و غیر زراعی همجوار در منطقه پیرانشهر تشریح، نمونه برداری و تجزیه شدند. شکل‌های مختلف اکسید آهن شامل آهن پدوژنیک ( $Fe_d$ )، آهن کریستالی ( $Fe_{crist}$ )، آهن کریستالی ضعیف ( $Fe_o$ ) و آهن کمپلکس با مواد آلی ( $Fe_p$ ) مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین مطالعات کانی شناسی خاک نیز به روش پراش اشعه ایکس (XRD) انجام شد. نتایج نشان داد که عملیات زراعی مستمر و طولانی مدت باعث تغییرات قابل توجهی در مقدار شکل‌های اکسید آهن نسبت به اراضی غیر زراعی همجوار شده است. بطوریکه مقدار آهن پدوژنیک در خاک‌های زراعی از ۱ تا ۶۴ درصد و آهن کریستالی نیز از ۴۴ تا ۹۰ درصد روند افزایشی نسبت به خاک‌های غیر زراعی نشان دادند که می‌تواند بیانگر تاثیر عملیات زراعی در تسریع فرایند هوازدگی باشد. همچنین نتایج کانی شناسی نشان داد که عملیات زراعی تغییری در نوع (کیفیت) کانی‌ها ایجاد نکرده ولی در شدت و موقعیت پیک کانی‌ها بویژه در کانی‌های ایلیت، اسمکتایت و کلرایت، تغییرات قابل توجهی ایجاد شده است.

واژه‌های کلیدی: آهن پدوژنیک، آهن کریستالی، خاک زراعی، کانی‌شناسی

### مقدمه

اگرزلات آمونیوم اسیدی و بی‌کربنات سیترات دی‌تیونات همبستگی قابل توجه و مثبتی با کربن آلی نشان می‌دهند که بیانگر اینست که مواد آلی بر حلالیت و فراهمی آهن تاثیر می‌گذارد و منجر به اکسیداسیون و رسوب از شکل‌های غیر قابل دسترس آهن و تبدیل به شکل‌های در دسترس می‌شوند (۹). به عقیده بلومه و شورتمن (۴) در شرایط حضور ترکیبات آلی اکسیدهای آهن با تبلور ضعیف تشکیل می‌شوند، چرا که ترکیبات آلی از تبلور اکسیدهای آهن جلوگیری می‌نمایند. برا و همکاران (۳) در خاک‌های هند گزارش دادند که ترتیب مقادیر شکل‌های آهن به صورت توالی  $Fe_p > Fe_d > Fe_o \geq Fe_c$  است و این شکل‌های آهن می‌توانند تحت تاثیر خصوصیات خاک، فرایندهای خاکساز و خصوصیات محیطی مانند آب گرفتگی، نوسانات سطح ایستابی و اقلیم تغییر کنند. در واقع اکسیدهای آهن تحت تاثیر فرایندهای خاکساز و خصوصیات خاک و واکنش‌هایی مانند جذب سطحی، انحلال و رسوب، نقل و انتقال در داخل پروفیل خاک تغییرات قابل توجهی نشان می‌دهد. رضاپور و همکاران (۲۷) در خاک‌های ایران نشان دادند که هوازدگی شیمیایی به همراه چرخه‌های خشک و مرطوب شدن مهمترین عوامل در توزیع اکسیدهای آهن

آهن حدود ۵ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. فازهای مختلفی از آهن در خاک وجود دارند که از جمله آنها میتوان به آهن موجود در کانی‌های سیلیکاتی اولیه، اکسیدها و اکسی هیدروکسیدهای آهن با درجه تبلور متفاوت و آهن پیوند شده با مواد آلی اشاره نمود. اکسی هیدروکسیدهای آهن در دامنه‌ای از ترکیبات بی شکل تا بلورین وجود دارند که توسط عصاره‌گیرهای مختلف قابل جدا سازی هستند (۲۹). آهن متصل به ترکیبات آلی توسط پیروفسفات اندازه‌گیری می‌شود. اکسید آهن غیر بلورین تا بلور ضعیف توسط اگرزلات آمونیوم اسیدی و آهن پدوژنیک توسط سیترات-دی تیونات-بی‌کربنات استخراج می‌شود. تفاضل این دو شکل آهن و همچنین نسبت آنها در بررسی تشکیل و تکامل خاک‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند (۱۰ و ۱۴). هر سه عصاره‌گیر پیروفسفات سدیم،

۱ و ۲- دانشیار و کارشناس ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

\*- نویسنده مسئول: (Email: S.Rezapour@urmia.ac.ir)

بشمار میروند.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در منطقه‌ای پسته از شهرستان پیرانشهر به مساحت تقریبی ۲۲۵۹ کیلومتر مربع و در محدوده ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، واقع در استان آذربایجان غربی انجام شد. این منطقه در حد فاصل ۴۵ درجه و ۹ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. متوسط درجه حرارت سالانه این منطقه ۱۲/۲ درجه سانتیگراد و میانگین بارندگی سالانه حدود ۷۰۰ میلی‌متر است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مطالعاتی، به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشند. پس از بررسی نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی منطقه، موقعیت ۶ خاکرخ از رده غالب ورتی سول در خاک‌های زراعی و غیر زراعی همجوار تعیین، تشریح و نمونه برداری شدند (شکل ۱). موقعیت خاکرخ‌های مطالعه شده به صورت زیر بود:

خاکرخ های ۱ و ۲ - زراعی (36°47'03"N و 45°15'36"E)،  
 ۲- غیر زراعی (36°46'45"N و 45°15'30"E)، خاکرخ های ۳  
 ۳- ۴ (36°48'43"N و 45°14'07"E) - غیر زراعی  
 (36°48'40"N و 45°15'06"E) و خاکرخ های ۵ و ۶ (36°50'20"N و 45°13'13"E)،  
 ۶- غیر زراعی (36°50'19"N و 45°13'12"E).

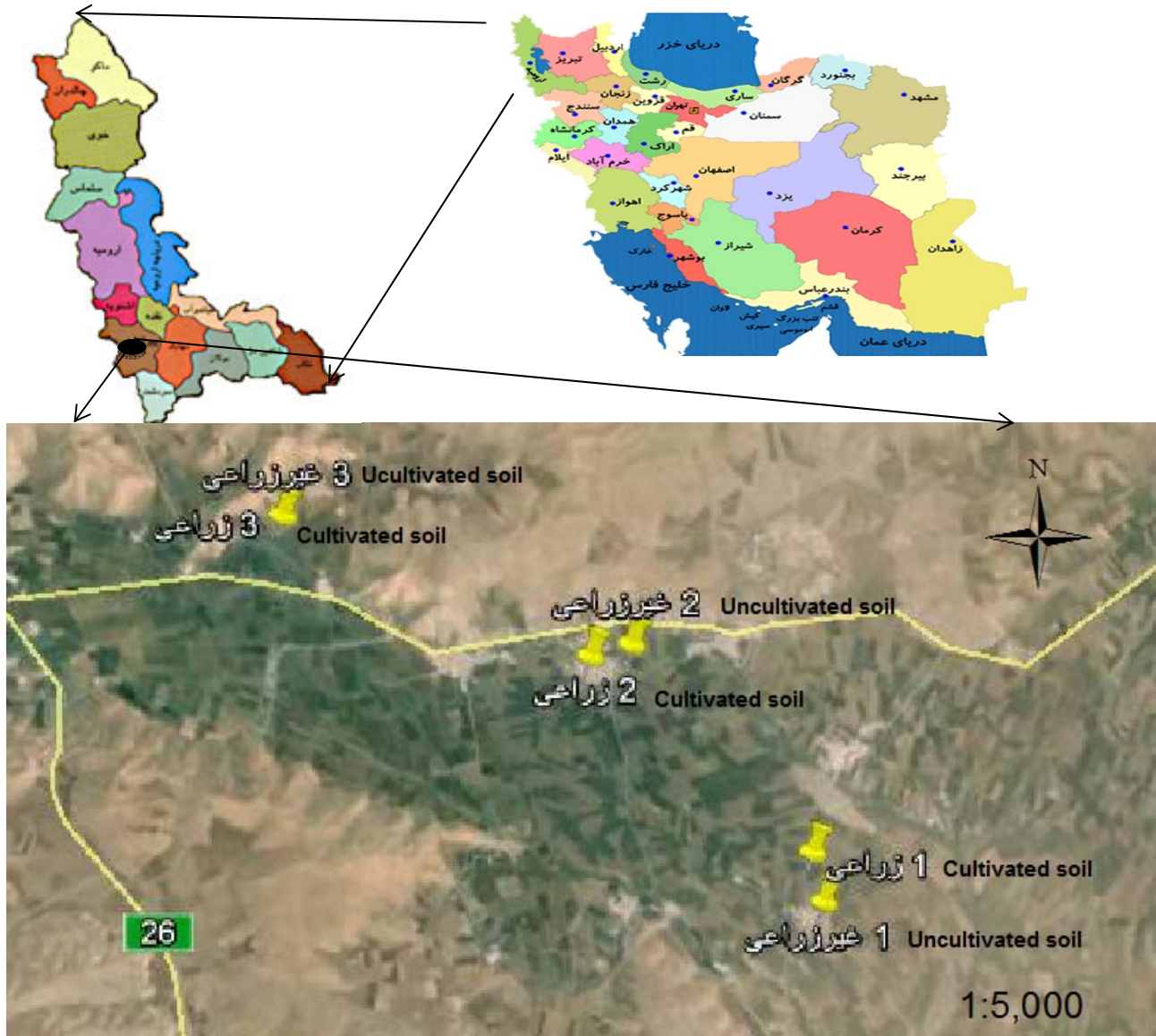
این منطقه برای بیش از ۵ دهه است که تحت کشت متناوب چغندر قند و گندم قرار دارد. خاک‌های منطقه مورد مطالعه همگی در واحدهای فیزیوگرافی فلات‌ها و تراس‌های فوقانی قرار داشته و شب عمومی آن‌ها حدود ۸-۵ درصد است. در هر موقعیت، پروفیل‌های زراعی و غیر زراعی همجوار به گونه‌ای انتخاب شدند که از شرایط یکسانی از لحاظ مواد مادری، شیب و جهت شیب و زهکشی برخوردار باشند. قسمت اصلی و اعظم سنگ‌های اطراف محدوده مطالعاتی که منشا مواد اولیه خاک‌های محدوده می‌باشد از تشکیلات کرتاسه بالایی و میانی است که سنگ‌های آن عمدتاً از آهک و دولومیت و همچنین از شیل، کنگلومرا، فیلیت و آهک‌های متامورفیک تشکیل یافته است.

جهت انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و آزمایش‌های لازم شامل اندازه‌گیری pH گل اشباع، بافت خاک به روش هیدرومتری (۶)، کربن آلی به روش والکی بلک (۲۳)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون (۲۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم نرمال انجام گردید. از سیترات-بی-کربنات - دی تیونات (CBD) جهت اندازه‌گیری اکسید آهن پدوژنیک (۱۲)، از اگزالات آمونیوم برای اندازه‌گیری اکسید آهن بی‌شکل و با تبلور ضعیف (۲۲) و از پیروفسفات برای اندازه‌گیری آهن کمپلکس شده با مواد آلی (۲۰) استفاده گردید. غلظت شکل‌های مختلف آهن

بطور کلی اکسیدهای آهن مانند هماتیت ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )، هیدروکسیدها مانند فری هیدراتها ( $\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )، و اکسی هیدروکسیدها مانند گئوتیت ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) همگی بعنوان اکسیدهای آهن در نظر گرفته می‌شوند (۲۹). منشا اولیه اکثر اکسیدهای آهن خاک کانی‌های اولیه حاوی آهن هستند و کانی‌های اولیه حاوی آهن مانند بیوتیت، فلدسپار، آمفیبول، پیروکسن و پیریت منبع اصلی اکسیدهای آهن خاک هستند (۲۴). آهن از عناصری است که میزان کل آن در خاک وابسته به کانی‌های به ارث رسیده از مواد مادری خاک است، اما مقدار و نسبت شکل‌های مختلف آن بستگی به میزان هوادیدگی و تحول خاک دارد. در مطالعه تحول خاک، اندازه‌گیری شکل‌های مختلف آهن موجود در خاک روش متداولی است. این شکل‌ها برای درک بیشتر فرایندهای پدوژنیک و درجه هوازدگی خاک مورد بررسی قرار می‌گیرند (۷). از سوی دیگر، تقریباً کلیه خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها به نوعی از کانی‌های رسی تشکیل دهنده آن‌ها سرچشمه می‌گیرند و عوامل اصلی خاکسازي شامل: مواد مادری، اقلیم، پستی و بلندی، پوشش گیاهی که در طی زمان عمل می‌نماید، نوع و فراوانی کانی‌های رسی را مشخص می‌کند. اثرات کشت‌های طولانی مدت بر روی کانی‌شناسی خاک نتایج یکسانی را نشان نداده است بعضی محققان نشان دادند که کشت‌های طولانی مدت (مخصوصاً در مورد گیاهان پتاس دوست) می‌تواند با تاثیر بر دینامیک پتاسیم و منیزیم تغییراتی را در کانی‌های رسی ایجاد کند. در مقابل بعضی تحقیقات نیز عدم تاثیر پذیری کانی‌های خاک مخصوصاً بخش رس را به دنبال کشت‌های مستمر اعلام کردند. به عنوان مثال سینگ و گلدینگ (۳۰) طی تحقیقات خود اعلام کردند که کشت‌های طولانی مدت تغییراتی را در شکل و شدت پیک‌های ناشی از XRD ایجاد نکرده است. در مقابل رضاپور و صمدی (۲۸) پس از مطالعه اثر بیش از ۴ دهه کشت چغندر قند به این نتیجه رسیدند که اگرچه کشت‌های متمرکز اثری روی کمیت کانی‌های بخش رس نداشته، اما تغییراتی را در شکل و شدت پیک‌های ابلایت و اسمکتایت ایجاد کرده است. بر خلاف اینکه در ارتباط با تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تاثیر عملیات زراعی مستمر تحقیقات قابل توجهی صورت گرفته است، اما در ارتباط با تاثیر عملیات زراعی طولانی مدت بر تغییرات احتمالی کانی‌های رسی و شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن مطالعات شایان توجهی به ویژه در ایران انجام نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش (۱) اثر کشت‌های طولانی مدت بر روی شکل‌ها و توزیع خاکرخی اکسیدهای آهن و (۲) بررسی ارتباط توزیع شکل‌های اکسید آهن با کانی‌های رسی در خاک‌های ورتی سول منطقه پیرانشهر می‌باشد.

گردید، نمونه‌های رسی خاک پس از آماده سازی و همچنین نمونه‌های پودری خاک بوسیله دستگاه پراش اشعه ایکس (مدل شیمادزو ۶۰۰۰) مورد اسکن و مطالعه قرار گرفتند. برای نمونه‌های پودری ابتدا نمونه‌های خاک از غربال با مش ۲۷۰ عبور داده شدند و سپس در دامنه ۱۰ تا ۸۰ درجه ۲۰ اسکن شدند.

استخراج شده بوسیله دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل ۶۰۰۰ دانشگاه ارومیه قرائت شد. برای تعیین نوع کانی‌های رسی در خاک از روش کیتریک و هوپ (۱۹) برای حذف مواد سیمانی و جدا نمودن بخش رس استفاده گردید و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار حرارت ۵۵۰ درجه سانتیگراد بر روی هر یک از نمونه‌ها اعمال



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه  
Figure 1- The study area

خاک‌رخ‌های مطالعه شده را در خاک‌های زراعی و غیرزراعی نشان می‌دهند. مقدار ذرات سه گانه خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیرزراعی تغییراتی را نشان می‌دهند. در اکثر مناطق مطالعه شده در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیرزراعی مقدار رس روند

## نتایج و بحث

### خصوصیات خاکها

جدول‌های ۱ و ۲ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

میزان آهن بلورین بیشتر شده که باعث مقادیر بیشتر Fe نسبت به افق‌های سطحی می‌شود (۱۰).

۳) انتقال آهن پدوژنیک همراه با رس از افق‌های سطحی به افق B (۲۷).

بطور کل، آهن پدوژنیک در تمامی خاک‌های زراعی بیشتر از پروفیل‌های غیر زراعی است. که یکی از دلایل آن را می‌توان هوادیدگی بیشتر خاک‌های زراعی عنوان کرد و در واقع مجموعه یکسری از فرایندها مانند کشت مستمر و آبیاری غرقابی باعث شده‌اند که با افزایش دما و رطوبت، فرایند هوادیدگی در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی تسریع شود و مقدار آهن پدوژنیک را با افزایش عمق در خاک‌های زراعی افزایش دهد، که این نتایج و ارزیابی با نتایج تحقیقات برا و همکاران (۳) همخوانی دارد.

مقدار اکسید آهن آمورف ( $Fe_0$ ) در خاک‌های زراعی از حداقل ۰/۸۵ گرم بر کیلوگرم در افق Bkss2 خاک‌خ ۱ تا حداکثر ۱/۵۷ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Ap خاک‌خ ۳ متغیر بود ولی مقدار این نوع اکسید در خاک‌های غیر زراعی از حداقل ۰/۶۷ گرم بر کیلوگرم خاک در افق A خاک‌خ ۱ تا حداکثر ۱/۴۴ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss2 خاک‌خ ۳ متغیر بود (جدول ۳ و ۴) و این تغییرات نشان می‌دهد که عملیات زراعی باعث افزایش این شکل اکسید آهن از ۲/۷ تا ۱۳/۹ درصد شده است. میانگین وزنی آهن آمورف در خاک‌های زراعی بین ۱/۱۵ در خاک‌خ ۱ تا ۱/۴۷ گرم بر کیلوگرم در خاک‌خ ۲ بود، همچنین در خاک‌های غیر زراعی مقدار آهن آمورف بین ۰/۹۹ در خاک‌خ ۱ تا ۱/۱۷ گرم بر کیلوگرم در خاک‌خ ۳ بود.

بطور کلی مقدار تغییرات آهن بی‌شکل نسبت به عمق خاک، نامنظم بود. مقدار آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم در افق‌های سطحی اکثر خاک‌های زراعی بیشتر از خاک‌های غیر زراعی همجوار بوده است که این یافته با نتایج دالمولین و همکاران (۸) در خاک‌های برزیل مطابقت دارد. از دلایل این امر می‌توان به امکان هوادیدگی بیشتر کانی‌های اولیه و کانی‌های رس حاوی آهن در افق‌های سطحی و وجود ماده آلی زیاد (حضور مواد آلی سبب تأخیر در کریستالی شدن اکسیدهای آهن می‌گردد) اشاره نمود (۲۹). مقدار اکسید آهن کمپلکس با مواد آلی ( $Fe_p$ ) در خاک‌های زراعی از حداقل ۰/۵۱ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bw خاک‌خ ۳ تا حداکثر ۰/۹۳ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss1 خاک‌خ ۲ متغیر بود. مقدار این شکل آهن در خاک‌های غیر زراعی نیز از حداقل ۰/۲ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss2 خاک‌خ ۳ تا حداکثر ۰/۷۳ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss1 خاک‌خ ۱ می‌باشد (جدول ۳ و ۴). مقدار این شکل آهن نیز تحت تاثیر عملیات زراعی از ۱۹ تا ۶۰/۹ درصد افزایش یافته است.

افزایشی و مقدار شن روند کاهشی داشتند. این رویکرد نشان می‌دهد که عملیات زراعی و آبیاری طولانی مدت احتمالاً از طریق افزایش فرایند هوادیدگی باعث کاهش اندازه ذرات یعنی افزایش رس و سیلت شده است. دامنه pH محدوده خنثی را نشان داد. روند تغییرات کربن آلی در خاک‌های زراعی نسبت به غیر زراعی در افق سطحی همه خاک‌ها کاهش یافت، که با نتایج رضاپور و صمدی (۲۸) تطابق دارد. در اکثر خاک‌ها مخصوصاً در خاک‌های زراعی (بجز دو عمق تحتانی)، با افزایش عمق میزان کربنات کلسیم معادل بطور منظمی افزایش یافته است. در واقع چنین می‌توان گفت که تحت تأثیر عملیات زراعی (وجود میزان رطوبت و فشار گاز  $CO_2$  نسبتاً بالا) کربنات‌ها در افق‌های سطحی انحلال پیدا کرده و به لایه‌های پایین‌تر انتقال یافته است. مقدار CEC که تابع مقدار و نوع رس و همچنین مقدار مواد آلی است در خاک‌های زراعی بین ۲۵/۹ در افق Bkss2 تا ۴۴/۷ سانتی مول بر کیلوگرم در افق Bkss1 خاک‌خ ۱ متغیر بود و در خاک‌های غیر زراعی نیز بین ۲۴/۲ در افق Bkss3 خاک‌خ ۳ تا ۳۶/۵ سانتی مول بر کیلوگرم در افق Bkss1 خاک‌خ ۱ متغیر بود.

#### اثر عملیات زراعی بر شکل‌های اکسید آهن

عملیات زراعی مدت باعث تغییرات قابل توجهی در مقدار اکسیدهای آهن شده است. جدول ۳ نشان می‌دهد که مقدار اکسید آهن پدوژنیک ( $Fe_h$ ) در خاک‌های زراعی از حداقل ۱/۶۷ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Ap خاک‌خ ۳ تا حداکثر ۴/۴۱ گرم بر کیلوگرم در افق Bkss2 خاک‌خ ۱ متغیر بود، در حالی‌که مقدار این شکل آهن در خاک‌های غیر زراعی از حداقل ۱/۱۶ گرم بر کیلوگرم در افق Bw خاک‌خ ۱ تا حداکثر ۲/۹۶ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss2 خاک‌خ ۲ متغیر بود (جدول ۴) و این نشان می‌دهد که عملیات زراعی باعث افزایش ۰/۱۴ تا ۶۳/۷ درصدی شکل آهن پدوژنیک شده است. مقدار آهن پدوژنیک در خاک‌های زراعی (بجز در خاک‌خ ۲) با افزایش عمق، افزایش یافته است. عبارتی دیگر در افق‌های زیر سطحی، آهن پدوژنیک مقادیر بیشتری را نسبت به افق‌های سطحی نشان داد (جدول ۳). میانگین وزنی آهن پدوژنیک در خاک‌های زراعی در دامنه ۲ در خاک‌خ ۳ تا ۳/۷ گرم بر کیلوگرم در خاک‌خ ۱ قرار داشت، همچنین در خاک‌های غیر زراعی نیز مقدار آن در دامنه ۱/۵ در خاک‌خ ۳ تا ۲/۹ گرم بر کیلوگرم در خاک‌خ ۲ قرار داشت. افزایش آهن پدوژنیک همراه با افزایش عمق می‌تواند ناشی از فرایندهای احتمالی زیر باشد:

- ۱) دامنه بالای هوادیدگی درجا در افق B تحت تاثیر چرخه تر و خشک شدن و فعالیت ریشه‌ها.
- ۲) با افزایش عمق از مقدار مواد آلی کاسته شده و در نتیجه

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های زراعی

Table 1- Selected physicochemical properties of the cultivated profiles

افق	عمق (cm)	شن (g kg <sup>-1</sup> )	سیلت (g kg <sup>-1</sup> )	رس (g kg <sup>-1</sup> )	pH	OC (g kg <sup>-1</sup> )	CCE (g kg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
خاک‌رخ ۱: Fine, mixed, superactive, mesic, Chromic Calcixererts								
Ap	0-20	180	340	480	6.9	8.4	105	38.2
Bw	20-40	140	340	520	6.9	4.9	150	35.7
Bkss1	40-100	160	310	530	7.1	4.9	160	44.7
Bkss2	100-140	150	310	540	7	2.7	220	37.4
خاک‌رخ ۲: Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Haploxererts								
Ap	0-30	310	300	390	6.8	7.9	25	33.8
Bw	30-80	238	362	400	7	6	65	35.6
Bss1	80-110	232	300	468	7	5	30	29.4
Bss2	110-150	252	340	408	7.2	5.1	35	31.2
خاک‌رخ ۳: Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Calcixererts								
Ap	0-30	164	456	380	6.9	9.9	135	34.7
Bkss1	30-70	124	396	480	7.3	6.3	205	34.7
Bkss2	70-110	104	376	520	7.5	1.5	215	31.2
Bkss3	110-160	104	336	560	7.6	2.2	230	25.99

OC: کربن آلی، CCE: کربنات کلسیم کل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های غیر زراعی

Table 2- Selected physicochemical properties of the uncultivated profiles

افق	عمق (cm)	شن (g kg <sup>-1</sup> )	سیلت (g kg <sup>-1</sup> )	رس (g kg <sup>-1</sup> )	pH	OC (g kg <sup>-1</sup> )	CCE (g kg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
خاک‌رخ ۱: Fine, mixed, superactive, mesic, Chromic Calcixererts								
A	0-20	192	456	352	6.8	16.4	170	34.7
Bw	20-50	232	436	332	6.9	10.4	195	30.3
Bkss1	50-100	312	396	292	7	16.1	235	36.5
Bkss2	100-150	352	336	312	7.1	15.3	245	31.2
خاک‌رخ ۲: Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Haploxererts								
A	0-20	320	300	380	7	17.9	45	35.6
Bw	20-60	180	300	520	7	5.5	35	35.6
Bss1	60-100	180	280	540	6.9	3.3	80	35.2
Bss2	100-150	170	290	540	7	4.5	160	34.3
خاک‌رخ ۳: Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Calcixererts								
A	0-20	184	396	420	6.9	15.9	100	31.2
Bkss1	20-60	164	356	480	7.1	6.2	145	33.8
Bkss2	60-100	124	356	520	7.6	2.2	155	32.5
Bkss3	100-150	204	316	480	8	2.8	215	24.2
میانگین وزنی زراعی		167.4	359.6	478.1	7.4	5.1	142.9	36
میانگین وزنی زراعی		219.3	343.8	436.9	7.2	8.7	158.9	32.7

OC: کربن آلی، CCE: کربنات کلسیم کل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

جدول ۳- مقادیر شکل‌های اکسید آهن در خاک‌های زراعی  
Table 3- The amounts of iron oxide forms in the cultivated profiles

افق	عمق (cm)	$Fe_d$ $Fe_o$ $Fe_p$ $Fe_{cryst}$ $Fe_o/Fe_d$				
		$(g\ kg^{-1})$				
خاکرخ ۱: Fine, mixed, superactive, mesic, Chromic Calcixererts (Profile 1)						
Ap	0-20	2.16	0.86	0.79	1.31	0.39
Bw	20-40	3.24	1.23	0.74	2.01	0.38
Bkss1	40-100	3.93	1.42	0.74	2.51	0.36
Bkss2	100-140	4.41	0.85	0.78	3.56	0.19
خاکرخ ۲: Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Haploxererts (Profile 2)						
Ap	0-30	3.82	1.22	0.76	2.6	0.32
Bw	30-80	3.04	1.16	0.73	1.88	0.38
Bss1	80-110	2.82	1.18	0.93	1.64	0.42
Bss2	110-150	2.14	1.08	0.7	1.06	0.51
خاکرخ ۳: Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Calcixererts (Profile 3)						
Ap	0-30	1.67	1.57	0.67	0.1	0.94
Bkss1	30-70	1.76	1.4	0.51	0.36	0.79
Bkss2	70-110	1.2	1.16	0.54	0.83	0.58
Bkss3	110-160	2.04	0.89	0.54	1.15	0.43

$Fe_d$ : اکسید آهن پدوژنیک،  $Fe_o$ : اکسید آهن بی‌شکل،  $Fe_p$ : اکسید آهن کمپلکس با مواد آلی،  $Fe_{cryst}$ : اکسید آهن کریستالی،  $Fe_o/Fe_d$ : نسبت آهن فعال

افق Bkss2 خاکرخ ۳ تا حداکثر ۱/۹۲ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss2 خاکرخ ۲ متغیر بود. این شکل اکسید آهن در خاک‌های زراعی نسبت به غیر زراعی در خاک‌های ۱ و ۳ از ۴۳/۶ تا ۹۰/۲ درصد افزایش و در خاکرخ ۲ روند کاهشی ۱/۶ درصدی داشت. میانگین وزنی آهن کریستالی در خاک‌های زراعی بین ۰/۷۵ در خاکرخ ۳ تا ۲/۵۷ گرم بر کیلوگرم در خاکرخ ۱ بود، در خاک‌های غیر زراعی نیز از بین ۰/۲۵ در خاکرخ ۱ تا ۱/۷۸ گرم بر کیلوگرم در خاکرخ ۲ بود.

یکی از شاخص‌های تکامل خاک نسبت آهن حاصل از اگزالات به آهن حاصل از دی‌تیونات ( $Fe_o/Fe_d$ ) می‌باشد که نشانگر مقدار تکامل و سن در خاک است بطوریکه با کاهش این نسبت می‌توان به افزایش تکامل خاک پی برد (۲۱). نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد با افزایش درجه توسعه و تکامل خاک در طول زمان، میزان اکسیدهای پدوژنیک آهن و درجه بلوری آنها افزایش یافته و در نتیجه آن نسبت آهن فعال کاهش می‌یابد. مقدار نسبت اکسید آهن فعال ( $Fe_o/Fe_d$ ) در خاک‌های زراعی از حداقل ۰/۱۹ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss2 خاکرخ ۱ تا حداکثر ۰/۹۴ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Ap خاکرخ ۳ متغیر بود و مقدار این نسبت در خاک‌های غیر زراعی نیز از حداقل ۰/۳۴ گرم بر کیلوگرم خاک در افق A خاکرخ ۲

میانگین وزنی آهن کمپلکس با مواد آلی در خاک‌های زراعی ما بین ۰/۵۹ در خاکرخ ۱ تا ۰/۸۱ گرم بر کیلوگرم در خاکرخ ۲ قرار داشت، در خاک‌های غیر زراعی نیز مقدار آهن کمپلکس با مواد آلی ما بین ۰/۲۴ در خاکرخ ۳ تا ۰/۶۱ گرم بر کیلوگرم در خاکرخ ۱ قرار داشت. تغییرات میزان آهن کمپلکس شده با مواد آلی در خاک‌های زراعی به موازات افزایش مواد آلی می‌باشد. بعلاوه اینک مواد آلی نقش مهمی در حلالیت و قابل دسترس بودن آهن دارد و هر چقدر مقدار مواد آلی بیشتر باشد، مقدار  $Fe_p$  بیشتر خواهد شد. تحلیل‌های مشابهی توسط ایگو و همکاران (۱۳) در خاک‌های نیجریه و پراستيو و گیلکس (۲۵) در خاک‌های غرب منطقه Java گزارش شده است. آهن کریستالی از تفاوت بین آهن پدوژنیک ( $Fe_d$ ) و آهن آمورف ( $Fe_o$ ) بدست می‌آید. تغییرات میزان آهن بلورین ( $Fe_d-Fe_o$ ) همانند روند تغییرات آهن پدوژنیک بوده که در این ارتباط عواملی مانند فرایندهای خاکسازي، اقلیم، مواد آلی، میزان هوادیدگی و درجه توسعه خاک دخالت عمده‌ای می‌توانند داشته باشند (۱). مقدار اکسید آهن کریستالی ( $Fe_{cryst}$ ) در خاک‌های زراعی از حداقل ۰/۱ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Ap خاکرخ ۳ تا حداکثر ۳/۵۶ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss2 خاکرخ ۱ متغیر بود مقدار این نوع اکسید در خاک‌های غیر زراعی نیز از حداقل ۰/۰۷ گرم بر کیلوگرم خاک در

حاوی آهن در خاک‌های زراعی و به دنبال آن کریستالی شدن بیشتر اکسیدهای آهن می‌تواند از دلایل اصلی این رفتار باشد. نسبت آهن فعال در تمامی افق‌های خاک‌های زراعی کمتر از خاک‌های غیر زراعی بود، که می‌تواند نشان دهنده روند تکاملی بیشتر خاک‌های زراعی باشد (جدول‌های ۳ و ۴). در واقع این روند نشان می‌دهد که زراعت مستمر و افزایش هوادیدگی بیشتر در خاک‌های زراعی احتمالاً باعث تسریع روند تکاملی آنها نسبت به خاک‌های غیر زراعی شده است.

تا حداکثر ۰/۹۵ گرم بر کیلوگرم خاک در افق Bkss2 خاک‌خ ۳ متغیر بود (جدول ۳ و ۴). میانگین وزنی آهن فعال در خاک‌های زراعی ما بین ۰/۳۲ در خاک‌خ ۱ تا ۰/۶۸ گرم بر کیلوگرم در خاک‌خ ۳ قرار داشت، همچنین در خاک‌های غیر زراعی نیز از ۰/۳۹ در خاک‌خ ۲ تا ۰/۷۹ گرم بر کیلوگرم در خاک‌خ ۱ قرار داشت. درصد تغییرات این نوع اکسید آهن در خاک‌های زراعی نسبت به غیر زراعی همجوار در خاک‌های ۱ و ۳ از ۱۴/۱ تا ۱۴۸/۳ کاهش و در خاک‌خ ۲ روند افزایشی ۵/۵۹ درصدی نشان داد. وجود چرخه خیزی و خشکی متناوب و به دنبال آن هوادیدگی درجای اکسیدهای آهن و کانی‌های

جدول ۴-مقادیر شکل‌های اکسید آهن در خاک‌های غیر زراعی  
Table 4- The amounts of iron oxide forms in the uncultivated profiles

افق	عمق (cm)	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>cryst</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
		(g kg <sup>-1</sup> )				
خاک‌خ ۱: (Profile 1) Fine, mixed, superactive, mesic, Chromic Calcixererts						
A	0-20	1.19	0.67	0.59	0.52	0.56
Bw	20-50	1.16	0.81	0.69	0.35	0.69
Bkss1	50-100	1.2	1.11	0.73	0.09	0.92
Bkss2	100-150	1.34	1.1	0.46	0.24	0.82
خاک‌خ ۲: (Profile 2) Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Haploxererts						
A	0-20	2.82	0.97	0.23	1.86	0.34
Bw	20-60	2.87	1.26	0.23	1.61	0.44
Bss1	60-100	2.92	1.17	0.29	1.75	0.4
Bss2	100-150	2.96	1.04	0.38	1.92	0.35
خاک‌خ ۳: (Profile 3) Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Calcixererts						
A	0-30	1.75	1.13	0.39	0.61	0.65
Bkss1	30-70	1.73	1.38	0.24	0.35	0.79
Bkss2	70-110	1.5	1.44	0.2	0.07	0.95
Bkss3	110-160	1.37	0.8	0.22	0.56	0.59
	میانگین وزنی زراعی	2.88	1.28	0.72	1.71	0.48
	میانگین وزنی غیر زراعی	1.9	1.09	0.38	0.8	0.64

Fe<sub>d</sub>: اکسید آهن پدوژنیک، Fe<sub>o</sub>: اکسید آهن بی‌شکل، Fe<sub>p</sub>: اکسید آهن کمپلکس با مواد آلی، Fe<sub>cryst</sub>: اکسید آهن کریستالی، Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>: آهن فعال

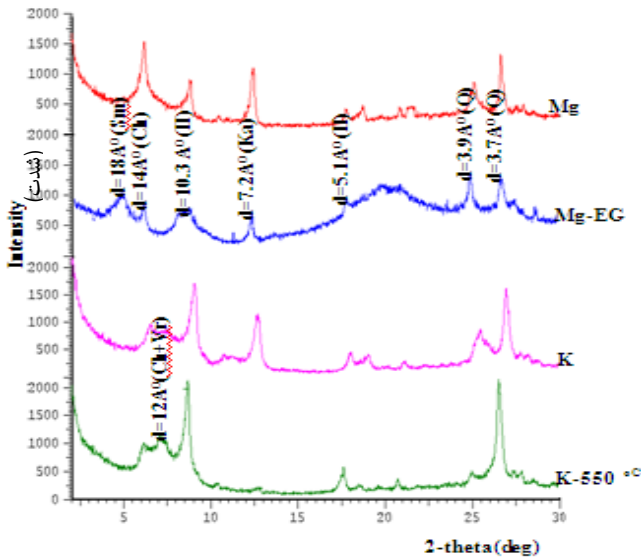
نمونه‌های پودری پراش (X) مشاهده شد. مقایسه نتایج XRD پودری خاک‌های زراعی و غیر زراعی همجوار نشان داد که عملیات زراعی مستمر باعث کاهش شدت و پهن شدن پیک‌های کانی‌های حاوی آهن (مانند آمفیبول، فلدسپار و پیروکسن) شده است که نشان می‌دهد عملیات زراعی طولانی مدت باعث تسریع هوادیدگی کانی‌های فوق شده است. از طرف دیگر مقایسه خاک‌های زراعی و غیر زراعی نشان داد که برخلاف کانی‌های اولیه حاوی آهن، عملیات زراعی باعث افزایش نسبی شدت پیک‌های اکسیدهای آهن کریستالی مخصوصاً

### اثر عملیات زراعی بر کانی‌های خاک

نتایج آزمایشات XRD نمونه‌های پودری (شکل ۲) نشان داد که کانی‌های غالب حاوی آهن در این مطالعه شامل گنویت و هماتیت و به میزان کمتری فری‌هیدریت و مگهمیت و دیگر کانی‌های آهن می‌باشند. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و خاکی منطقه مورد مطالعه، حضور کانی گنویت و هماتیت در منطقه می‌تواند عمدتاً منشأ توارثی داشته باشد. علاوه بر این‌ها مقدار زیادی کانی‌های حاوی آهن (-Fe bearing mineral) مانند آمفیبول، پیروکسن، فلدسپار و بیوتیت (در

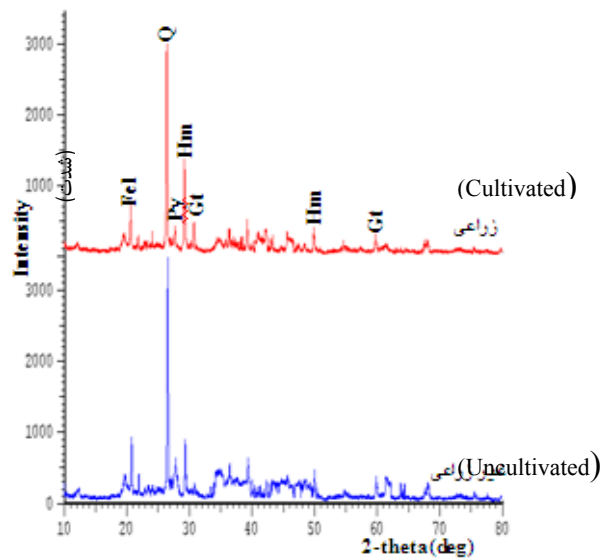
شده است.

گویتیت و هماتیت شده است (شکل ۲). این رفتار نشان می‌دهد که عملیات زراعی مستمر باعث افزایش مقدار اکسیدهای آهن کریستالی



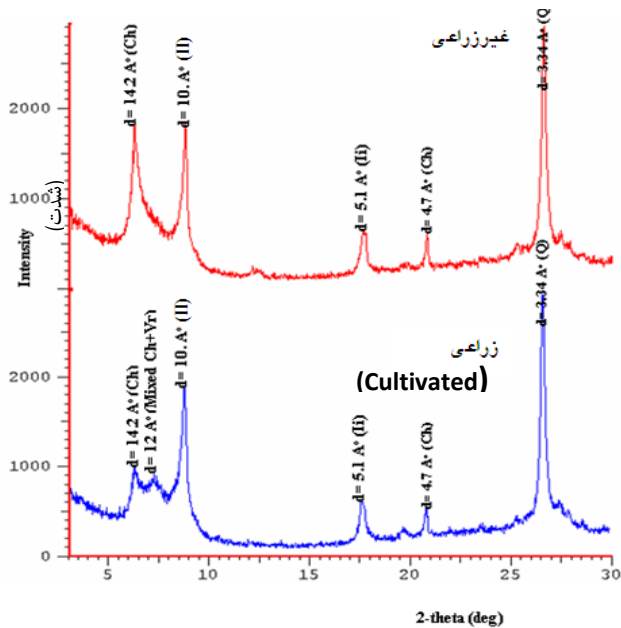
شکل ۳: پراش نگار بخش رس خاک سطحی پروفیل ۱ زراعی (Sm: اسمکتایت، Ch: کلرایت، II: ایلایت، Vr: ورمیکولیت، Ka: کائولینایت، Q: کوآرتز)

Figure 3- X-ray diffraction pattern of clay fraction from the cultivated surface soil of profile 1



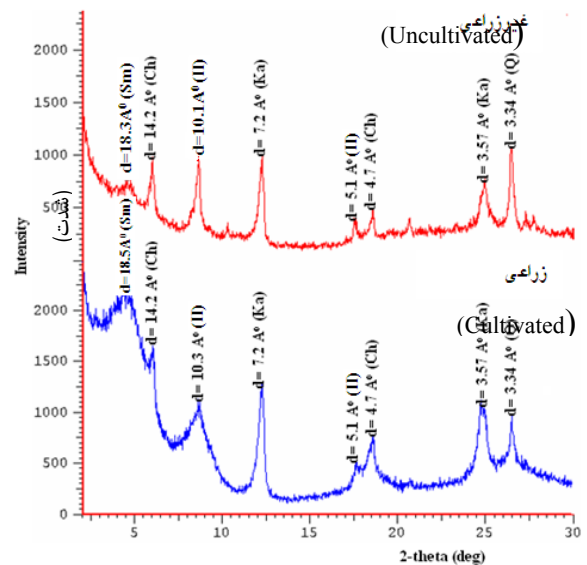
شکل ۲: مقایسه پراش نگار پودری خاک سطحی زراعی و غیر زراعی پروفیل ۳ (Py: پیروکسن، FeI: فلدسپار، Hm: هماتیت، Gt: گئوتیت)

Figure 2- The comparison of X-ray diffraction pattern of non-oriented from the surface soil of profile 3 for the cultivated and uncultivated soils



شکل ۵: مقایسه پراش نگار بخش رس خاک سطحی زراعی و غیر زراعی پروفیل ۲ در تیمار اشباع با پتاسیم و حرارت

Figure 5- The comparison of X-ray diffraction pattern of clay fraction from the surface soil of profile 2 for the cultivated and uncultivated soils in the treatment of K plus heat



شکل ۴: مقایسه پراش نگار بخش رس خاک سطحی زراعی و غیر زراعی پروفیل ۳ در تیمار اشباع با منیزیم و گلیسرول

Figure 4- The comparison of X-ray diffraction pattern of clay fraction from the surface soil of profile 3 for the cultivated and uncultivated soils in the treatment of Mg plus glycerol



موقعیت و شدت پیک‌های کانی اسمکتایت نیز در خاک‌های زراعی نسبت به غیرزراعی هم‌جوار متفاوت بود. پیک کانی اسمکتایت از شدت ۸۰۰ در خاک غیر زراعی به ۲۳۰۰ همراه با پهن شدن قابل توجه پیک ۱۸ آنگستروم در خاک زراعی تغییر کرده است، که دلیل آن می‌تواند ناشی از تغییر شکل کانیهای ایلیت و کلرایت به اسمکتایت باشد. چون چغندر قند یک گیاه پتاس دوست می‌باشد احتمال دارد آزاد سازی پتاسیم را از لایه‌های داخلی تشویق کرده باشد، و در نتیجه با آزادسازی پتاسیم از لایه‌های ایلیت، انبساط لایه‌های ایلیت از ۱۰ آنگستروم به ۱۴ آنگستروم ورمیکولیت یا ۱۸ آنگستروم اسمکتایت را افزایش داده باشد. در خاک‌های ۲ خاک‌های زراعی یک کانی مخلوط کلرایت-ورمیکولیت از تیپ نامنظم (*interstratified chlorite/vermiculite randomly*) در تیمار اشباع با پتاسیم و تیمار ۵۵۰ درجه سانتیگراد بوجود آمده (همراه با کاهش قابل توجه شدت پیک کلرایت) که در خاک غیر زراعی هم‌جوار دیده نمی‌شود (شکل ۵). وجود این شرایط نشان می‌دهد که عملیات زراعی تغییراتی را در کانی کلرایت ایجاد کرده است. در واقع به نظر می‌رسد شرایط اقلیمی (بارندگی حدود ۷۰۰ میلی‌متر) و عملیات آبیاری همراه با فعالیت ریشه گیاهان شرایط نسبی برای تغییر شکل لایه‌هایی از کلرایت را مهیا کرده است و بخشی از کلرایت تبدیل به ورمیکولیت شده است. چنین تفسیر و نتیجه‌گیری توسط سایر محققین در خاک‌های با اقلیم مشابه نیز گزارش شده است (۱۸).

### نتیجه‌گیری کلی

زراعت مستمر و افزایش هوادیدگی بیشتر، در خاک‌های زراعی احتمالاً باعث تسریع روند تکاملی آن‌ها نسبت به خاک‌های غیر زراعی شده است و از این طریق باعث افزایش مقدار آهن پدوژنیک در خاک‌های زراعی شده است. توزیع شکل‌های آهن علاوه بر فرایندها و خصوصیات خاک تابع تغییرات کانی‌های رسی خاک مخصوصاً میکا (ایلیت) و کلرایت نیز می‌باشد. در واقع وجود این کانی‌ها و تغییرات قابل توجه آن‌ها در خاک‌های این مطالعه نشان می‌دهد که احتمالاً یکی از منابع اصلی اکسیدهای آهن این خاک‌ها چنین کانی‌هایی هستند و احتمالاً عملیات طولانی مدت زراعی از طریق تسریع هوادیدگی به فرایند آزاد سازی آهن از این کانی‌ها کمک کرده است. عملیات زراعی تغییری در تیپ خاک یا نوع کانی‌ها رسی ایجاد نکرده است ولی تغییرات قابل توجهی را در شکل، شدت و موقعیت پیک کانی ایلیت، اسمکتایت و کلرایت ایجاد کرده است.

افزایش میزان آهن آزاد خاک طی یک توالی زمانی، در نتیجه هوادیدگی و تغییر شکل پیشرفته کانی‌های سیلیکاته حاوی آهن توسط آنیکو و سینگر (۲) گزارش شده است. گابرو و همکاران (۱۱) نیز به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار آهن پدوژنیک ناشی از آزاد شدن آهن از فیلوسیلیکات‌ها (بطور عمده شامل کانی‌های گروه میکا) و بدون تخریب کامل ساختمان کانی می‌باشد.

### اثر عملیات زراعی مستمر و طولانی مدت بر کانی‌های رسی خاک

ترکیبات کانی‌شناسی اساس پتانسیل تولید را در تمام خاک‌های موجود در جهان تشکیل می‌دهند. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که شرایط محیطی مانند واحدهای فیزیوگرافی، عملیات زراعی، فعالیت‌های مدیریتی انسان و فرایندهای خاکسازي نقش بسیار مهمی در تغییر و تحول کانی‌های رسی دارند (۱۵، ۱۶ و ۲۶). کانی‌های رسی غالب خاک‌های مطالعه شده عبارت بودند از: کلرایت، ایلیت، ورمیکولیت، اسمکتایت (شکل ۳). با توجه به شرایط تشکیل کانی‌های ایلیت و کلرایت، منشا توارث برای این کانی‌ها در خاک‌های منطقه مورد انتظار است (۱۷ و ۲۸). کانی ایلیت و اسمکتایت در همه خاک‌های این مطالعه مشاهده شدند اگر چه شدت انعکاس پیک‌های آنها در خاک‌های مختلف زراعی و غیرزراعی متفاوت بود. در این مطالعه، به نظر می‌رسد منشا تغییر شکل برای کانی اسمکتایت نسبت به سایر جهت‌ها محتمل‌تر باشد و احتمالاً ایلیت همراه با فرایندهای پتاسیم زدایی، آلومینیوم زدایی و سیلیس زایی منشا اصلی تشکیل اسمکتایت بوده است (۱۵). مقایسه پراش پرتو ایکس خاک‌های زراعی و غیرزراعی نشان داد که عملیات زراعی به طور چشمگیری شکل پیک کانی‌های کلرایت، ایلیت و اسمکتایت را تحت تأثیر قرار داده است. به طوری که در خاک‌های غیر زراعی، قله‌های تیز و مشخص ۱۰ آنگستروم ایلیت که بیان کننده ایلیت با درجه کریستالی قوی (*Well-crystallized*) می‌باشد به قله‌های ۱۰/۳ آنگستروم که بیان کننده ایلیت با درجه کریستالی ضعیف (*poor-crystallized*) می‌باشد، در خاک‌های زراعی، تبدیل شده است و این تغییر شکل یا پهن شدن پیک‌ها با کاهش شدت پیک هم همراه بوده است (شکل ۴). وجود دوره‌های طولانی رطوبت خاک به همراه فعالیت ریشه‌های چغندر قند که یک گیاه پتاس دوست است، در خاک‌های زراعی ممکن است با تسریع هوادیدگی شیمیایی، شرایط مناسبی را برای هوادیدگی ایلیت ایجاد کرده باشد (۲۶). همچنین با توجه به تغییرات قابل توجه روزانه و فصلی درجه حرارت و رطوبت و یا چرخه‌های خشک و مرطوب شدن تحت تاثیر آبیاری غرقابی، احتمالاً هوادیدگی ایلیت در قسمت زراعی در مقایسه با غیرزراعی تسریع شده است (۵). شکل،

## منابع

1. Allen C.E. 2005. Physical and chemical characteristics of soil forming on Boulder Tops, Karkevagge, Sweden, Soil Science Society of American Journal, 69: 148-158.
2. Aniku J.R.F., and Singer M.J. 1990. Pedogenic iron oxide trends in a marine terrace chronosequence, Soil Science Society of American Journal, 54:147-142.
3. Bera R., Seal A., Banerjee M., and Dolui A.K. 2005. Nature and profile distribution of iron and aluminium in relation to pedogenic processes in some soils developed under tropical environment in India, Environmental Geology, 47:241-245.
4. Blume H.P., and Schwertmann U. 1969. Genetic evolution of profile distribution of aluminum, iron and manganese oxides, Soil Science Society of American Proceeding, 33:438-444.
5. Boettinger J.L., and Southard R.J. 1995. Phyllosilicate distribution and origin in Aridisols on a granitic pediment, Western Mojave Desert, Soil Science Society of American Journal, 59:1189-1198.
6. Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils, Agronomy Journal, 54:464-465.
7. Costantinia E.A.C., Lessovaiab S., and Vodyanitskiic Y. 2006. Using the analysis of iron and iron oxides in paleosols LTEM, geochemistry and iron forms for the assessment of present and past pedogenesis, Quaternary International, 156-157: 200-211.
8. Dalmolin R.S.D., Dick D.P., Klamt E., Couto E.G., and Rosa A.S. 2010. Mineralogical assemblage and iron oxides of soils of the Pantanal biome, Brazil. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Australia. Pp: 52-55.
9. Dolui A.K., and Bera R. 2001. Relation between forms of iron and aluminium and pedogenic processes in some Alfisols of Bihar and West Bengal, Crop Research, 25: 69-77.
10. Fiedler S., and Sommer M. 2004. Water and redox conditions in wetland soils-their influence on pedogenic oxides and morphology, Soil Science Society of American Journal, 68: 326-335.
11. Ghabru S.K., Arnaud S.T., and Mermut A.R. 1990. Association of DCB-extractable iron with minerals in coarse soil clay, Soil Science, 149:112-120.
12. Holmgren G.G. 1976. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure, Soil Science Society of American Proceeding, 31:210-211.
13. Igwe C.A., Zarei M., and Stahr K. 2010. Fe and Al oxides distribution in some Ultisols and Inceptisols of southeastern Nigeria in relation to soil total phosphorus, Environment Earth Science, 60:1103-1111.
14. Jahns M.G., and McBride M.B. 1989. Mineralogical and chemical characteristics of Adirondack Spodosols evidence for para and noncrystalline aluminosilicate minerals, Soil Science Society of American Journal, 53:482-490.
15. Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semiarid soils of Fars provinces, Southern Iran, Clay Minerals, 38:511-527.
16. Khormali F., and Abtahi A. 2003. Soil genesis and mineralogy of three selected regions of Fars, Bushehr and Khuzestan provinces of Iran, formed under highly calcareous conditions, Iran Agricultural Research, 20:67-82.
17. Khormali F., Abtahi A., and Owliaei H.R. 2005. Late Mesozoic Cenozoic clay mineral succession of southern of Iran and its paleo climatic implications, Clay minerals, 40: 191-203.
18. Khormali F., and Ajami M. 2011. Pedogenetic investigation of soil degradation on a deforested loess hillslope of Golestan Province, Northern Iran, Geoderma, 167-168:274-283.
19. Kittrick J.A., and Hope E.W. 1971. A procedure for particle size separation of soil for X-ray diffraction, Soil Science Society of American Journal, 35: 621-626.
20. Loveland P.J., and Digby P. 1984. The extraction of Fe and Al by 0.1 M pyrophosphate solutions: A comparison of some techniques, Soil Science, 35:243-250.
21. Mahoney W.C., Hancock R.G.V., and Sanmugadas K. 1991. Extractable Fe-Al and geochemistry of late Pleistocene Paleosol in the Dalijia shan, Western China, Journal of Asian Earth Science, 6:75-82.
22. McKeague J.A., and Day J.H. 1966. Dithionite-and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils, Canadian Journal of Soil Science, 46:13-23.
23. Nelson R.E., and Sommers L.E. 1982. Total carbon. Organic carbon and organic matter. In A. L. Page et al. (ed) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp: 539-579.
24. Owliaei H.R., Heck R.H., and Abtahi A. 2005. The magnetic susceptibility of soil in Kohgilouye, Iran, Canadian Journal of Soil Science, 86:97-107.
25. Prasetyo B.H., and Gilkes R.J. 1994. Properties of iron oxides from red soils derived from volcanic tuff in West Java, Australian Journal of Soil Research, 32:781-794.
26. Rezapour S., Jafarzadeh A.A., Samadi A., and Oustan Sh. 2009. Impacts of clay mineralogy and physiographic

- units on the distribution of potassium forms in calcareous soils in Iran, *Clay Minerals*, 44:329–339.
27. Rezapour S., Jafarzadeh A.A., Samadi A., and Oustan Sh. 2010. Distribution of iron oxides forms on a transect of calcareous soils, north-west of Iran, *Archive Agronomy and Soil Science*, 56:165-182.
  28. Rezapour S., and Samadi A. 2012. Assessment of Inceptisols soil quality following long-term cropping in a calcareous environment, *Environmental Monitoring and Assessment*, 184:1311–1323.
  29. Schwertmann U., Taylor R.M. 1989. Iron oxides. In: J.B. Dixon, and Weed S.B. (eds) *Minerals in soil environments*. American Society of Agronomy, Madison, pp: 379–438.
  30. Singh B., and Goulding, K.W.T. 1997. Changes with time in the potassium content and phyllosilicates in the soil of the Broadbalk continuous wheat experiment at Rothamsted, *European Journal of Soil Science*, 48: 651-659.

## Effect of Long-term Agricultural Practices on Soil Iron Oxides Forms and Mineralogy in the Vertisols of the Piranshahr Region

S. Rezapour<sup>1\*</sup> - H. Azhah<sup>2</sup>

Received: 07-08-2016

Accepted: 09-01-2017

**Introduction:** Human activities such as intensive cultivation and land use changes alter nutrients fluxes (mainly iron) and mineralogy in soil and terrestrial ecosystems. Iron is an essential element for plants and microorganisms and its solubility is controlled by stable hydroxides, oxyhydroxides, and oxides. In general, parent material, climate, and landscape position are the major factors that accelerate the weathering of the minerals and rocks containing Fe in the regional scale. However, long-term cultivation and intensified agriculture may be the dominant attributes of modifications in soil properties like Fe compounds mainly in arid and semiarid regions, where the irrigational and agricultural practice is current over long-term periods. Although substantial data is documented on Vertisols properties, few studies are available to assess the effects of long-term continuous cultivation on the characteristic and distribution of iron oxides and their mineralogy, mainly in calcareous environments.

**Materials and Methods:** This study was conducted in the Piranshahr - Pasvah area (36° 46 to 36° 50 N and 45° 09 to 45° 50 E, 1500 m above sea level), West Azarbaijan Province, northwest of Iran. Six soil profiles belonging to three subgroups of Vertisols order (Chromic Calcixererts, Typic Haploxererts, and Typic Calcixererts) were described and sampled from the cultivated soils and similar soils from the nearby uncultivated region as grassland. Soil samples were air-dried and passed through a 2-mm mesh sieve before the analysis. Soil analysis included particle-size distribution, pH and electrical conductivity (EC), soil organic carbon (SOC), calcium carbonate equivalent (CCE), cation exchange capacity (CEC), the determination of iron oxides forms and mineralogical composition. Free or pedogenic Fe oxides (Fed) including crystalline, poorly crystalline, and organically bound Fe were extracted by dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) method. Poorly crystalline and organically bound Fe (Feo) were extracted using 0.2 M ammonium oxalate (AO). Organic complex of Fe (Fep) was extracted by 0.1 M Na-pyrophosphate at pH 10. All Fe oxide forms were determined using atomic absorption spectrometry. The difference between DCB-Fe and AO-Fe was considered as an estimation of crystalline Fe oxides form.

**Results and Discussion:** The results showed that long-term cropping caused a considerable drop in organic carbon and calcium carbonates along with a noticeable rise in the values of clay and cation exchange capacity as a result of accelerated alteration by farming activities and interactions between the used irrigation water and soils receiving it. Long-term cultivation improved the amount of Fed and Fecry (crystalline Fe) from 1 to 64% and 44 to 90%, respectively, than those of uncultivated soils which can be explained in some pathways: (1) accelerated weathering of Fe-bearing minerals (such as biotite, chlorite, feldspars, amphibole, and pyroxene) in the cultivated soils and (2) the higher temperature condition and the more number of wetting-drying cycles in the cultivated soils compared to the uncultivated soils. Despite the fact that long-term cultivation caused a significant decrease in organic matter, a pronounced increase in organic complex of Fe with the range of 19 to 61% was recorded with farming practices. Such pattern can be contributed to the chemistry of organic matter and the presence of more stable fraction (passive fraction) of soil organic matter in the cultivated soils. The XRD patterns of primary Fe-bearing minerals (such as amphibole, pyroxene, and feldspar) had less intense in the cultivated soils compared to those of the adjacent uncultivated soils, indicating that probably cultivation promoted the instability and weatherability of Fe-bearing minerals as well as the loss of Fe from the minerals. In contrast, the X-ray reflections of secondary Fe-oxide minerals such goethite appeared to be higher, sharper and intense by long-term cropping, suggesting that agricultural practices also promoted the crystallization of the soil Fe oxides. Compared to the uncultivated soils, long-term agricultural practices caused some changes in X-ray reflections of chlorite, illite, and smectite.

**Conclusions:** The results showed that the weathering of Fe-bearing minerals and layer silicates, as well as the production of Fe oxide forms were promoted under long-term continuous cropping. Under cultivation, a pronounced increase in Fe-oxide forms, particularly Fed and Fecry, was recorded for the most of the examined

1 and 2- Associate Professor and MSc Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University  
(\*-Corresponding Author Email: s.rezapour@urmia.ac.ir)

soils which can be associated with the combined effects of increased soil temperature and moisture content from irrigation and farming practices. As emphasized, the combined effects of increased compounds from agricultural input (such as chemical and organic fertilizers, the compound of irrigation water, and moldboard tillage) as well as increased precipitation from irrigation interacted to create conditions for: (1) more intense the weathering of Fe-bearing minerals and (2) the more production of iron oxides forms in the cultivated soils.

**Keywords:** Crystalline iron, Cultivated soil, Mineralogy, Pedogenic iron