

بررسی اشکال مختلف آهن و برخی خواص فیزیکی-شیمیایی به عنوان شاخصی از تکامل خاک در یک ردیف زمانی روی پادگانه‌های رودخانه کرج در منطقه حسن‌آباد، جنوب تهران

حسین ترابی گل سفیدی^{۱*} و وحید مرادی نسب^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱)

چکیده

پادگانه‌ها سطوح ژئومورفولوژیکی قدیمی هستند که با جریان‌های فعلی ارتباطی ندارند و بهترین مکان جهت مطالعه تأثیر زمان بر تشکیل خاک (ردیف زمانی) هستند. این تحقیق جهت بررسی برخی شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، مخصوصاً اشکال مختلف آهن در تعیین تکامل خاک در پادگانه‌های رودخانه کرج در منطقه حسن‌آباد در جنوب تهران انجام شده است. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و اشکال مختلف آهن شامل اکسیدهای آهن آزاد (Fe_d)، اکسیدهای آهن آمورف (Fe_o) و آهن کمپلکس شده با مواد آلی (Fe_p) و همچنین آلومینیم، سیلیس و منگنز در ۴ پروفیل خاک روی چهار پادگانه رودخانه کرج به منظور بررسی شاخص‌های تکامل خاک مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مقدار رس، نسبت رس ریز به کل رس، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC)، درجه قرمزی رنگ و میزان شستشو و تجمع آهک در افق B از پادگانه اول به سمت پادگانه بالایی افزایش یافته و در افق‌های تجمع رس (آرجلیک) به حداکثر رسید. مقدار (Fe_d) از پادگانه اول به سمت پادگانه بالا افزایش یافته و مقدار آلومینیم و سیلیس نیز از چنین روندی برخوردار است. افزایش تفاضل آهن آمورف (فعال) از آهن آزاد (Fe_d-Fe_o) و کاهش نسبت Fe_o/Fe_d ، به عنوان پارامترهای مهم بررسی تکامل خاک، از پادگانه پایینی به سمت پادگانه بالایی، نشان‌دهنده افزایش درجه تبلور اکسیدهای آهن و تکامل بیشتر خاک است. مقدار Fe_d-Fe_o در افق‌های B از پادگانه اول تا پادگانه چهارم به ترتیب ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. محاسبه مقدار اکسی-هیدروکسیدهای آهن از قبیل گئوتیت و هماتیت و فری هیدرات نشان داد که این ترکیبات نیز از پادگانه اول به طرف پادگانه چهارم در حال افزایش بوده و تأیید کننده شاخص‌های (Fe_d-Fe_o)، (Fe_o/Fe_d)، (Fe_d-Fe_p) می‌باشند.

کلمات کلیدی: اکسیدهای آهن آزاد و آمورف، اکسی-هیدروکسیدهای آهن، تفاضل آهن آمورف از آهن آزاد، نسبت آهن آمورف به آهن آزاد.

۱. گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: htorabi@shahed.ac.ir

مقدمه

پادگانه‌ها سطوح ژئومورفولوژیکی قدیمی هستند که با جریان‌های فعلی ارتباطی ندارند و بهترین مکان جهت مطالعه تأثیر زمان بر تشکیل خاک (ردیف زمانی) هستند (۱۳). خاک‌های تشکیل شده بر روی پادگانه‌ها برای مطالعه تأثیر زمان بر تکامل خاک بسیار مناسب بوده و اطلاعات ارزشمندی در مورد تغییرات اقلیمی ارائه داده و دوران‌های پایدار و ناپایدار را در رژیم رطوبتی گذشته مشخص می‌نمایند (۱۳). از دیدگاه هوگت (۱۴) ردیف زمانی خاک ابزار ارزشمندی برای تحقیق نرخ و شدت تغییرات پدوژنیکی است. تشخیص درجه تکامل خاک و میزان آن روی خاک‌های پادگانه‌ها همیشه به راحتی امکان پذیر نیست، چراکه به دلیل تحول و تکامل زیاد خاک‌ها، بررسی میزان تکامل خاک نیاز به آنالیزهای فیزیکی، شیمیایی و حتی مینرالوژیکی دقیق و میکرومورفولوژیکی دارد. از گذشته تاکنون تکامل خاک، براساس معیارهایی نظیر بهبود ساختمان و تجمع کربنات کلسیم (۵)، ریزترشدن بافت خاک، پوسته رسی و افزایش رنگ قرمز در خاک (۱۲) و نسبت رس ریز به کل رس (۳۳)، مطالعه شده است.

ویدیک و لوبینک (۴۰) شدت تکامل خاک یک ردیف زمانی را در دشت جوبجانا اسلونی مورد مطالعه قرار دادند. براساس نقطه نظرات این محققین، رابطه افزایش تکامل خاک با سن آن لگاریتمی با نمایی بوده است. ضمن این که تکامل خاک می‌تواند از دیگر فاکتورهای خاکساز به غیر از زمان تأثیر پذیرفته و در طی زمان به حالت ایستا و پایداری نرسد. در این تحقیق، چهار خصوصیتی که بیشترین وابستگی را به زمان از خود نشان دادند شامل: قهوه ای شدن، بافت، کاهش pH و پوسته‌های رسی بوده است. ساویر و همکاران (۳۰) در مطالعه یک ردیف زمانی خاک در منطقه نیمه خشک پاتاگونیا آرژانتین نشان دادند که، مهم‌ترین فرایند پدوژنیکی صورت گرفته در این

تحقیق تجمع مواد آلی و شستشوی کربنات بوده است.

درجه تبلور اکسیدهای آهن پدوژنیک نیز به عنوان یکی از فاکتورهای مهم تکامل خاک توسط بسیاری از خاکشناسان مورد استفاده قرار گرفته است (۱، ۶، ۱۸، ۲۰، ۳۷ و ۳۸). با اندازه‌گیری اشکال مختلف آهن می‌توان تا حدود زیادی به سن نسبی خاک‌ها پی برد. بدین منظور از پیروفسفات سدیم به عنوان عصاره‌گیر انتخابی آهنی که به صورت کمپلکس با مواد آلی وجود دارد استفاده می‌گردد (۱۹ و ۲۰). از اکسالات آمونیم برای اندازه‌گیری آهن آمورف (بی شکل) استفاده می‌گردد (۱۹). همچنین برای استخراج آهن متبلور پدوژنیک از سیترات بی کربنات دی تیونیت استفاده می‌شود که علاوه بر این فرم آهن، قادر است آهن آمورف و کمپلکس با مواد آلی را نیز استخراج نماید (۱۹ و ۳۴). بنابراین تفاضل آهن استخراج شده به وسیله آمونیم اکسالات از آهن استخراج شده به وسیله سیترات بی کربنات دی تیونیت (Fe_d-Fe_o) نشان دهنده اکسیدهای آهن متبلور آزادی است که به صورت پدوژنیک در خاک تشکیل شده و با افزایش سن خاک، افزایش می‌یابد. همچنین نسبت (Fe_o/Fe_d) نیز با افزایش سن خاک، کاهش می‌یابد (۶، ۳۷ و ۳۸). همچنین از تفاضل آهن استخراج شده به وسیله اکسالات آمونیم از آهن استخراج شده به وسیله پیروفسفات سدیم (Fe_o-Fe_p) می‌توان به مقدار آهن موجود به شکل آمورف یا غیربلوری پی برد (۶، ۱۹ و ۲۰).

بررسی تأثیر زمان بر تشکیل خاک روی پادگانه‌های رودخانه‌ی پاکوا در مرکز تایلند نشان داده است که درجه پدیده‌های پدوژنیکی شدیداً وابسته به سطح پادگانه و زمان تشکیل آن می‌باشد. در این تحقیق آهن و آلومینیم قابل استخراج به وسیله سیترات بی کربنات دی تیونیت (Fe_d) و آمونیم اکسالات (Fe_o) و (Fe_d-Fe_o) و نسبت (Fe_o/Fe_d) به عنوان معیارهایی برای سنجش تحول و تکامل خاک مورد استفاده قرار گرفتند (۳۷ و ۳۸). در مطالعه خاک پادگانه‌های دریایی جنوب

محاسبه غلظت آلفان استفاده نمودند و از رابطه پیشنهادی داهلگرین (۹)، $Allophane = f * Si_0$ ، مقدار نسبی سیلت و رس ۲- نسبت کوارتز به فلدسپار و ۳- مقدار آهن و آلومینیم قابل استخراج به وسیله سترات بی کربنات دی تیونیت و فرم‌های آهن متبلور در خاکرخ (۷).

الکساندر و همکاران (۶) در مطالعه خاک‌های پادگانه‌ای رودخانه کوکو در کلمبیا نشان دادند که مقدار آهن قابل استخراج به وسیله سترات بی کربنات دی تیونیت و اکسیدهای آهن پدوژنیک (Fe_d-Fe_0) از دشت سیلابی رودخانه به سمت پادگانه بالایی افزایش یافته و نسبت Fe_0/Fe_d به سمت پادگانه بالایی کاهش یافته است که همگی نشان‌دهنده افزایش تکامل خاک از پادگانه پایین به سمت پادگانه بالایی است. ترابی و کریمیان اقبال (۱) در مطالعه بررسی تکامل خاک در یک ردیف زمانی روی پادگانه‌های رودخانه سفیدرود در استان گیلان که دارای ۳ پادگانه مشخص بوده از شاخص‌های Fe_0-Fe_d و Fe_0/Fe_d برای بررسی تکامل خاک استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده افزایش Fe_d-Fe_0 و کاهش Fe_0/Fe_d از پادگانه اول به سمت پادگانه بالایی بوده و مقدار این دو پارامتر در نیمرخ عمودی خاک نیز در افق‌های تکامل یافته تری مانند آرجلیک به ترتیب افزایش و کاهش یافته بود. تفاضل مقدار Fe_0 از Fe_d از حدود ۹ در پادگانه اول به ۲۷ گرم بر کیلوگرم خاک در افق آرجلیک پادگانه بالایی افزایش یافته که این افزایش نشان‌دهنده تبلور بیشتر اکسیدهای آهن آزاد به طرف پادگانه بالایی است (۱).

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

موقعیت منطقه - منطقه حسن‌آباد در جنوب غرب استان تهران و شمال شرق استان قم و بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه و ۳۵ درجه ۳۵ دقیقه شمالی و بین طول‌های ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی واقع می‌باشد. اراضی منطقه حسن‌آباد عمدتاً روی رسوبات آبرفتی رودخانه کرج و رسوبات آبرفتی دامنه‌ای و واریزه‌های کوه آراد قرار گرفته است (شکل ۱). از شرق به ورامین، شمال به شهر ری، از غرب به منطقه رباط کریم و از جنوب به استان قم متصل می‌باشد. منطقه مورد مطالعه حدود ۱۰۰۰-۸۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

آب و هوا - به استناد آمار ایستگاه سینوپتیک فرودگاه امام و شهرستان ورامین در مجاورت منطقه مورد مطالعه، میانگین بارندگی سالانه ۲۳۲ میلی‌متر بوده و بیشترین بارندگی معمولاً در فصل زمستان در اسفند ماه و حداقل آن در تابستان است و متوسط دمای سالیانه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دی ماه با میانگین درجه حرارت ۳/۶ درجه و تیرماه با میانگین ۳۰/۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال هستند. براساس منحنی آمبروترمیک، تعداد روزهای خشک

غرب اورگان نشان داده شد که در این ردیف زمانی با افزایش سن، موارد ذیل افزایش نشان می‌دهند: ۱- مقدار نسبی سیلت و رس ۲- نسبت کوارتز به فلدسپار و ۳- مقدار آهن و آلومینیم قابل استخراج به وسیله سترات بی کربنات دی تیونیت و فرم‌های آهن متبلور در خاکرخ (۷).

الکساندر و همکاران (۶) در مطالعه خاک‌های پادگانه‌ای رودخانه کوکو در کلمبیا نشان دادند که مقدار آهن قابل استخراج به وسیله سترات بی کربنات دی تیونیت و اکسیدهای آهن پدوژنیک (Fe_d-Fe_0) از دشت سیلابی رودخانه به سمت پادگانه بالایی افزایش یافته و نسبت Fe_0/Fe_d به سمت پادگانه بالایی کاهش یافته است که همگی نشان‌دهنده افزایش تکامل خاک از پادگانه پایین به سمت پادگانه بالایی است. ترابی و کریمیان اقبال (۱) در مطالعه بررسی تکامل خاک در یک ردیف زمانی روی پادگانه‌های رودخانه سفیدرود در استان گیلان که دارای ۳ پادگانه مشخص بوده از شاخص‌های Fe_0-Fe_d و Fe_0/Fe_d برای بررسی تکامل خاک استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده افزایش Fe_d-Fe_0 و کاهش Fe_0/Fe_d از پادگانه اول به سمت پادگانه بالایی بوده و مقدار این دو پارامتر در نیمرخ عمودی خاک نیز در افق‌های تکامل یافته تری مانند آرجلیک به ترتیب افزایش و کاهش یافته بود. تفاضل مقدار Fe_0 از Fe_d از حدود ۹ در پادگانه اول به ۲۷ گرم بر کیلوگرم خاک در افق آرجلیک پادگانه بالایی افزایش یافته که این افزایش نشان‌دهنده تبلور بیشتر اکسیدهای آهن آزاد به طرف پادگانه بالایی است (۱).

لینفین و همکاران (۱۷) تشکیل خاک و افزایش مواد آلی در یک ردیف زمانی روی آندزیت‌های جوان در کالیفرنیا را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. این محققین نیز غلظت آهن متبلور را از رابطه $Fe_{cryst.} = Fe_d - Fe_0$ محاسبه نمودند.

نیوین هویز و همکاران (۲۵) در مطالعه ردیف زمانی روی آندزیت‌های کاستاریکا از اندازه‌گیری اشکال مختلف آهن جهت

قابل تشخیص می‌باشد. اختلاف ارتفاع مسیر فعلی رودخانه تا سطح پادگانه اول در حال حاضر حدود ۲ تا ۴ متر است، به همین دلیل طغیان‌های رودخانه در سال‌های اخیر سطح پادگانه پایینی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد.

نمونه برداری

در این مرحله در محل‌های تعیین شده، خاک‌رخی‌هایی با ابعاد ۱ متر (عرض) در ۱/۵ متر (طول) و ۱/۵ متر عمق حفر گردید و خاک‌رخی‌ها به روش شوینبرگر (۳۱) و روش اداره خاک‌شناسی امریکا (۳۵) تشریح گردید. افق‌های مختلف هر خاک‌رخی شناسایی و خصوصیت هر افق از قبیل ضخامت، مرز افق، رنگ، ساختمان، پایداری خاکدانه‌ها، وضعیت ریشه‌ها، جوشش خاک با اسید کلریدریک بررسی گردیده و از افق‌های مختلف هر خاک‌رخی نمونه خاک تهیه و جهت مطالعات دقیق‌تر به آزمایشگاه منتقل گردید. در این مطالعه در هر پادگانه یک خاک‌رخی به‌عنوان شاهد انتخاب و تجزیه‌های دقیق فیزیکی و شیمیایی روی آنها انجام گردید. شماره‌گذاری خاک‌رخی‌های مورد مطالعه به شرح ذیل می‌باشد:

خاک‌رخی شماره ۱: در فاصله کمتر از ۵۰ متری رودخانه کرج روی پادگانه پایینی، خاک‌رخی شماره ۲: روی بخش پادگانه دوم، در فاصله ۱/۵ کیلومتری رودخانه، خاک‌رخی شماره ۳: روی پادگانه سوم، در فاصله ۲/۵ کیلومتری رودخانه، خاک‌رخی شماره ۴: روی پادگانه بالایی (چهارم)، در فاصله حدود ۳/۵ کیلومتری رودخانه. شکل (۱) نقشه توپوگرافی، مکان تقریبی خاک‌رخی‌ها و مقطع عرضی منطقه را نشان می‌دهد.

مطالعات آزمایشگاهی

نمونه‌ها در آزمایشگاه در هوای آزاد خشک و پس از کوبیدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و برای انجام تجزیه‌های فیزیکی، شیمیایی مورد استفاده قرار گرفتند. بر روی نمونه‌های

سال ۲۳۳۳ روز است که در تابستان به همراه گرمای زیاد سبب پتانسیل تبخیر و تعرق فراوان و نیاز آبی شدید در گیاهان می‌شود. براساس فرمول آمبرژه، منطقه مورد مطالعه جزء مناطق بیابانی (کویری) و براساس تقسیم بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته جزء اقلیم خیلی خشک و خشک بیابانی می‌باشد. (۴).

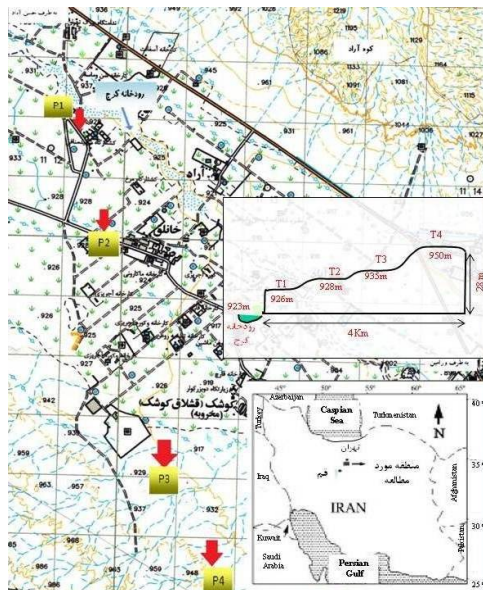
زمین‌شناسی - در منطقه مورد مطالعه، تمام تشکیلات مربوط به دوران سنوزوئیک بوده و بیشترین وسعت چینه‌ها مربوط به دوره کواترنر می‌باشد. از چینه‌ها و تشکیلات موجود در منطقه به ترتیب غالبیت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

دوره کواترنر - پهنه‌های رسی (Cenozoic-Clay flat): عمدتاً شامل رس و سیلت، تراس‌های جوان و اراضی بادبزی سنگریزه‌دار (دشت)، پهنه‌های گلی (Cenozoic-Mud flat): عمدتاً دارای رس سیلتی شور

دوره میوسن - تشکیلات قرمز بالایی (Cenozoic-Upper Red Formation): که دارای مارن فرمز با لایه‌های داخلی سیلت سنگ، ماسه سنگ، شیل، کنگلومرا و گچ می‌باشند. دوره پلیوسن - تشکیلات هزار دره: که دارای کنگلومرا بوده که در آن ماسه سنگ و رس موجود می‌باشد.

دوره ائوسن - چینه‌های این دوره دارای مواد پیروکلاستیک خاکستری تیره تا قرمز با بافت و ترکیب متفاوت، مواد آتشفشانی آندزیت و بازالتیک و توف‌های نومولیتیک می‌باشد (۲).

زمین‌نما - با ورود رودخانه کرج به دشت حسن‌آباد، حاشیه این رودخانه به شدت تحت تأثیر رسوب‌گذاری این رودخانه قرار گرفته است به طوری که ۴ پادگانه با پهنای ۲ تا ۴ کیلومتر در سمت جنوبی آن و در مجاورت روستای خانلق قابل تشخیص است. به علت فعالیت‌های کشاورزی از گذشته‌های بسیار دور و هم‌چنین فرسایش، مرز پلکانی پادگانه‌ها به‌طور واضح مشخص نبوده و تنها در محل پادگانه بالایی در برخی مناطق به راحتی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه، نقشه توپوگرافی و پروفیل های شاهد (P)

آلومینیم، منگنز و سیلیس با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Analytikjena, Aspects 1.5.1 اندازه گیری شد. تفکیک اجزاء مختلف رس ریز از رس درشت به روش سانتریفوژ انجام شد (۱۶).

نتایج و بحث

نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود، مقدار رس از پادگانه اول به سمت پادگانه بالایی افزایش یافته و در افق های تجمع رس (آرجلیک) به حداکثر مقدار خود می رسد. این افزایش مقدار رس نشان دهنده هوادیدگی و تکامل بیشتر خاک به سمت پادگانه بالایی است، ضمن این که افزایش مقدار رس در نیمرخ عمودی خاک از پادگانه اول به سمت پادگانه بالایی نیز نشان دهنده افزایش تکامل و تأثیر بیشتر شستشو در انتقال و تجمع آن در افق B به سمت پادگانه بالایی است. هم چنین رنگ خاک نیز از پادگانه پایین به سمت پادگانه بالایی از هیو 10YR

خاک تهیه شده از افق های شناسایی شده آزمایش های زیر انجام گرفت: تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری و برای خاک های گچی استفاده از روش سولفات باریم (۳)، اندازه گیری pH در گل اشباع به وسیله الکتروود شیشه ای، اندازه گیری میزان شوری خاک (ECe) در عصاره اشباع، اندازه گیری آهک با روش تیتراسیون برگشتی (۲۳)، اندازه گیری درصد کربن آلی با استفاده از روش والکلی و بلاک (۲۴)، اندازه گیری گنجایش تبادل کاتیونی خاک (CEC) با استفاده از روش استات سدیم در pH ۸/۲ و اندازه گیری مقدار گچ با استفاده از روش استن انجام گرفت (۲۳).

با استفاده از آمونیم اکسالات و اسیداکسالیک (pH ۳/۵) در تاریکی فرم آهن، آلومینیم، منگنز و سیلیس بی شکل (آمورف) استخراج گردید (۳۲ و ۳۴). آهن، آلومینیم، منگنز و سیلیس پدوژنیک (آزاد) به وسیله سترات بی کربنات دی تیونیت (۲۲) استخراج گردید. آهن، آلومینیم و سیلیس کمپلکس با مواد آلی به وسیله سدیم پیروفسفات استخراج گردید (۱۹). غلظت آهن،

جدول ۱. نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در پادگانه‌های مختلف

افق	عمق (cm)	رنگ	درصد اجزاء خاک			کلاس	نسبت رس ریز به کل رس	ECe (dS/m)	pHs	درصد کربن آلی	گنجایش تبادل کاتیونی (Cmol (+)/Kg)	درصد گچ	درصد مواد خنثی شونده (T.N.V)
			مرطوب خاک	شن	سیلت رس								
خاک‌رخ ۱ روی پادگانه اول - Coarse silty superactive mixed thermic Fluventic Haplocambids													
Ap	۰-۱۵	10YR4/3	۱۲	۲۵	۶۳	SL	۰/۶	۱/۷	۷/۸	۰/۶	۱۸/۳	trace	۱۰
Bw	۱۵-۵۵	10YR3/4	۱۰	۲۵	۶۵	SL	۰/۶	۷/۶	۷/۴	۰/۶	۱۶/۴	trace	۲۳
C	۵۵-۹۰	10YR3/2	۲	۹	۸۹	S	-	۷/۳	۷/۴	۰/۱	۳/۳	trace	۱۶
2BC	۹۰-۱۵۰	10YR4/4	۶	۳۵	۵۹	SL	۰/۷	۵/۳	۷/۵	۰/۹	۵/۸	trace	۱۰
خاک‌رخ ۲ روی پادگانه دوم - Coarse loamy superactive mixed thermic Typic Haplocalcids													
Ap	۰-۱۵	10YR3/4	۱۹	۱۲	۶۹	SL	۰/۵	۱/۷	۷/۹	۰/۷	۲۲	trace	۱۶
Bw	۱۵-۵۰	10YR4/4	۱۸	۲۵	۵۷	SL	۰/۵	۱۳/۰	۷/۷	۰/۷	۲۱	trace	۲۱
Bk	۵۰-۷۵	7.5YR4/2	۱۴	۱۴	۷۲	SL	۰/۶	۱۱/۶	۸/۰	۰/۱	۱۲	trace	۲۵
C	۷۵-۱۲۰	10YR3/2	۵	۱۰	۸۵	LS	-	۱۱/۰	۸/۵	۰/۱	۵/۴	trace	۲۵
2Bkb	۱۲۰-۱۵۰	7.5YR4/3	۲۰	۱۸	۶۲	SCL	۰/۷	۵/۹	۸/۱	۰/۴	-	trace	۲۵
خاک‌رخ ۳ روی پادگانه سوم - Fine silty carbonatic superactive thermic Typic Calcargids													
Ap	۰-۲۰	7.5YR4/3	۱۳	۲۴	۶۰	SL	۰/۲	۱/۵	۷/۷	۰/۴	۱۵/۵	trace	۳۵
Bw	۲۰-۵۵	10YR3/4	۲۲	۲۳	۵۵	SCL	۰/۵	۵/۱	۷/۷	۰/۳	۱۳/۶	trace	۴۱
Bk	۵۵-۹۰	7.5YR4/3	۲۶	۲۱	۵۱	SCL	۰/۷	۲/۹	۷/۸	۰/۱	۱۸/۶	trace	۴۱
Btk	۹۰-۱۵۰	7.5YR4/3	۳۲	۱۳	۵۵	SCL	۰/۸	۲/۴	۷/۸	۰/۲	۲۰/۴	trace	۴۰
خاک‌رخ ۴ روی پادگانه چهارم - Fine silty superactive mixed thermic Calcic Argigypids													
A	۰-۱۰	10YR4/4	۳۲	۳۴	۳۴	CL	۰/۴	۱/۹	۷/۷	۰/۷	۲۴/۵	trace	۲۵
By	۱۰-۳۵	7.5YR4/3	۲۴	۲۵	۵۱	SCL	۰/۴	۴/۶	۷/۸	۰/۷	۱۸/۲	۱۵/۰	۱۵
Btky	۳۵-۶۵	7.5YR3/3	۳۲	۲۴	۴۴	CL	۰/۷	۱۶/۸	۸/۲	۱/۱	۲۳/۸	۵/۲	۲۷
2Bkb	۶۵-۹۰	7.5YR5/4	۱۴	۲۵	۶۱	SL	۰/۴	۹/۷	۸/۱	۰/۶	۱۱/۰	۱/۹	۲۲
2Btkb	۹۰-۱۵۰	7.5YR4/4	۳۲	۳۱	۳۷	CL	۰/۷	۹/۲	۸/۲	۰/۸	۲۴/۲	trace	۲۳

*: S= Sand, C= Clay, Si= Silt, L= Loam

شستشوی آهک و تجمع آن در افق B نیز از پادگانه اول به سمت پادگانه بالایی نیز افزایش یافته که این فرایند با افزایش تجمع رس نیز در افق B همراه می‌باشد. مهدی و همکاران (۲۱) در بررسی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی سه سری خاک آبرفتی لیالپور (تراس قدیمی رودخانه) در یک ردیف زمانی در پاکستان نشان دادند که با افزایش سن خاک

به 7.5YR تغییر یافته و به قرمزترین رنگ در افق آرچلیک پادگانه سوم و چهارم می‌رسد. ساوتارد و وینتر (۳۶) در مطالعه تکامل و حاصلخیزی خاک در یک ردیف زمانی روی آبرفت‌های جنوب غربی دره ساکرامنتو، تغییر در مقدار رس و رنگ خاک را شاخص خوبی برای بیان تأثیر زمان بر فرایند تشکیل خاک‌های این منطقه معرفی کردند.

نیز به سمت افق‌های زیر سطحی تکامل یافته تر مثل Btk در خاکرخ پادگانه سوم و Btky، 2Bk و 2Btk در خاکرخ پادگانه چهارم بیشتر از سایر افق‌هاست، همین روند در خصوص سایر عناصر از جمله آلومینیم و سیلیس قابل مشاهده است. در نیمرخ خاک نیز به سمت افق‌های زیر سطحی تکامل یافته تر مثل Btk در خاکرخ پادگانه سوم و Btky، 2Bk و 2Btk در خاکرخ پادگانه چهارم بیشتر از سایر افق‌هاست.

تغییرات آهن، آلومینیم و سیلیس آمورف (بی شکل) استخراج شده به وسیله آمونیم اکسلات نیز از روندی مشابه آهن برخوردار است (جدول ۲). تفاضل آهن آمورف از آهن آزاد (Fe_d-Fe_o) نیز نشان دهنده افزایش نسبی این پارامتر از پادگانه پایین به سمت پادگانه بالایی است. افزایش این پارامتر با افزایش عمق خاک در هر پادگانه به سمت افق‌های تکامل یافته نیز قابل مشاهده می‌باشد. هر چه اختلاف آهن آمورف از آهن آزاد بیشتر باشد، نشان دهنده افزایش تکامل پروفیلی خاک است. همان‌طور که در جدول ۳ نیز نشان داده شده این پارامتر در پادگانه بالایی بیشتر از پادگانه پایینی بوده و در افق‌های زیر سطحی تکامل یافته مثل آرچلیک و یا کلسیک در پادگانه سوم و چهارم نیز بیشتر از سایر افق‌هاست، به طوری که مقدار آن (Fe_d-Fe_o) در افق B از پادگانه اول تا پادگانه چهارم به ترتیب ۸۰۰، ۱۰۰۰، و ۱۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (جدول ۳).

نسبت آهن آمورف به آهن آزاد نیز که پارامتری جهت بررسی افزایش تکامل خاک است، از پادگانه پایینی به سمت پادگانه بالایی کاهش یافته و تا حدود زیادی منطبق با افزایش پارامتر (Fe_d-Fe_o) می‌باشد. کاهش نسبت (Fe_o/Fe_d) نشان دهنده افزایش تکامل خاک است. تغییرات عمودی این پارامتر نیز بر روی هر پادگانه از افق سطحی به سمت افق‌های زیر سطحی تکامل یافته کاهش می‌یابد. نتایج حاصله منطبق با نتایج بسیاری از محققین دیگر در مطالعات تأثیر ردیف زمانی بر تحول و

مقدار رس و اکسید کلسیم از خاک سطحی به خاک زیر سطحی افزایش یافته، در حالی که اکسیدهای آهن و آلومینیم روند نامشخصی داشته است.

گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) از پادگانه اول به سمت پادگانه بالایی مخصوصاً در افق‌های تجمع رس (افق آرچلیک) افزایش یافته است. فرانزمیر و وایت ساید (به نقل از منبع شماره ۵) از خاک‌شناسان قدیمی در تحقیقات خود نشان دادند که با افزایش سن خاک CEC افزایش می‌یابد. برخلاف نتایج محققین قدیمی مثل دیکسون و کروکر که عنوان کردند در اغلب ردیف‌های زمانی، مقدار مواد آلی افزایش و نمک‌های محلول، کاتیون‌های بازی، درصد اشباع بازی و pH کاهش می‌یابند (۱۰)، در پادگانه‌های منطقه حسن‌آباد چنین تغییری مشاهده نشده است که مهم‌ترین علل آن عبارتند از: ۱. بارندگی نسبتاً کم و کافی نبودن شستشو جهت کاهش کاتیون‌های بازی و pH و ۲. شارژ مجدد خاک‌ها از کاتیون‌های بازی ناشی از رواناب‌های عبوری از مواد مادری غنی از کاتیون‌های بازی تپه‌های گچی مجاور. علت عدم مشاهده افزایش مواد آلی به سمت پادگانه بالایی، تأثیر فعالیت کشاورزی متراکم‌تر در پادگانه اول و دوم و بایر بودن اراضی پادگانه سوم و مخصوصاً چهارم به علت کم آبی در چند دهه اخیر می‌باشد. نسبت رس ریز به کل رس نیز که یکی از شاخص‌های فیزیکی تشخیص تکامل خاک و نشان دهنده شستشوی رس از افق‌های فوقانی به افق‌های زیرین است، به بیشترین مقدار خود در افق‌های آرچلیک پادگانه سوم و چهارم می‌رسد (جدول ۱). اسمیت و بیول (۳۳)، افزایش نسبت رس ریز به کل رس را نشان دهنده افزایش تکامل خاک معرفی کردند.

نتایج تجزیه شیمیایی فرم‌های مختلف آهن، آلومینیم و سیلیس در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار آهن آزاد استخراج شده به وسیله سیترات بی‌کربنات دی‌تیونیت (CBD) از پادگانه اول به سمت پادگانه بالا افزایش یافته و در نیمرخ خاک

جدول ۲. فرم‌های مختلف آهن، آلومینیم، سیلیس و منگنز در خاک‌های مختلف

نام افق	ضخامت (cm)	Fe _d (mg/kg)	Fe _o (mg/kg)	Fe _p (mg/kg)	Al _d (mg/kg)	Al _o (mg/kg)	Al _p (mg/kg)	Si _d (mg/kg)	Si _o (mg/kg)	Mn _d (mg/kg)	Mn _o (mg/kg)
خاک‌رخ شماره ۱ (پادگانه اول)											
A	۰-۱۵	۱۰۰۰	۴۰۰	۲۷۰	۸۶	۳۷	۱۶	۳۵۶	۳۵۳	۴۴	۴۰
Bw	۱۵-۵۵	۱۰۵۰	۳۸۵	۲۴۰	۸۳	۳۴	۹	۲۹۶	۲۸۶	۳۹	۳۵
C	۵۵-۹۰	۸۰۰	۳۶۰	۱۷۰	۱۲۴	۳۷	۷	۳۱۱	۳۱۲	۲۰	۱۸
2BC	۹۰-۱۵۰	۷۵۰	۳۵۰	۱۳۵	۱۴۸	۹۳	۷	۳۴۶	۳۴۶	۵۹	۵۱
خاک‌رخ شماره ۲ (پادگانه دوم)											
Ap	۰-۱۵	۱۱۶۰	۴۸۰	۴۰۰	۱۲۲	۳۷	۱۳	۳۴۰	۳۳۴	۷۹	۴۰
Bw	۱۵-۵۰	۱۱۶۸	۴۱۰	۲۵۰	۹۲	۲۸	۱۱	۳۱۰	۳۰۴	۷۲	۳۱
Bk	۵۰-۷۵	۱۳۱۷	۴۸۰	۲۵۱	۶۷	۳۶	۸	۵۲۶	۵۲۱	۵۸	۲۱
C	۷۵-۱۲۰	۸۲۰	۴۰۰	۲۰۵	۵۰	۳۵	۸	۴۸۸	۴۹۰	۳۲	۲۳
2Bkb	۱۲۰-۱۵۰	۱۱۹۵	۵۶۰	۲۰۰	۸۹	۶۳	۱۱	۷۲۹	۷۳۳	۷۲	۲۰
خاک‌رخ شماره ۳ (پادگانه سوم)											
Ap	۰-۲۰	۱۱۱۶	۶۰۰	۴۳۰	۱۳۷	۸۷	۲۲	۳۲۷	۳۲۵	۸۵	۶۰
Bw	۲۰-۵۵	۱۲۵۴	۴۳۰	۲۶۲	۹۸	۳۰	۱۱	۲۴۶	۲۴۲	۸۸	۵۰
Bk	۵۵-۹۰	۱۶۹۱	۵۰۰	۲۵۰	۶۷	۵۷	۱۴	۲۱۴	۲۱۱	۱۵۹	۷۰
Btk	۹۰-۱۵۰	۱۴۰۶	۴۳۲	۱۶۸	۱۵۶	۶۳	۱۵	۲۶۷	۲۶۳	۹۵	۴۴
خاک‌رخ شماره ۴ (پادگانه بالایی - چهارم)											
A	۰-۱۰	۱۶۵۰	۱۰۰۰	۶۵۰	۱۱۴	۷۹	۲۶	۴۰۵	۴۰۰	۱۹۳	۵۹
By	۱۰-۳۵	۱۴۴۳	۷۰۰	۴۵۰	۱۲۶	۴۹	۱۶	۳۰۰	۲۹۸	۱۲۰	۳۳
Btky	۳۵-۶۵	۱۵۶۶	۴۸۰	۲۴۰	۹۳	۲۱	۸	۲۶۰	۲۵۲	۱۳۳	۳۳
2Bk	۶۵-۹۰	۱۹۲۶	۵۰۰	۲۶۰	۱۱۹	۵۳	۱۳	۴۷۹	۴۷۳	۱۷۶	۴۰
2Btk	۹۰-۱۵۰	۱۴۳۵	۵۲۰	۲۶۰	۱۵۴	۴۳	۱۱	۲۲۵	۲۲۰	۲۰	۱۲

Fe_d, Al_d, Si_d, Mn_d آهن، آلومینیم، سیلیس و منگنز آزاد پدوژنیک استخراج شده به وسیله سیترات بی کربنات دی تیونیت

Fe_o, Al_o, Si_o, Mn_o آهن، آلومینیم، سیلیس و منگنز آمورف (فعال) استخراج شده به وسیله آمونیم اکسلات

Fe_p, Al_p آهن و آلومینیم کمپلکس با مواد آلی استخراج شده به وسیله سدیم پیروفسفات

جدول ۳. شاخص های تشخیص تکامل خاک با استفاده از اشکال مختلف آهن

نام افق	ضخامت (cm)	Fe-cryst. (Fe _d -Fe _o) (mg/kg)	Fe _o /Fe _d (mg/kg)	Fe _o -Fe _p (mg/kg)	f= (Al _o -Al _p)/Si _o (mg/kg)	Allophan (mg/kg) *	Ferrihydrate (mg/kg) **	Ferrihydrate (mg/kg) ***	Fe- hydr(oxide) (mg/kg) ****
خاکریخ شماره ۱ (پادگانه اول)									
A	۰-۱۵	۶۰۰	۴۰۰	۱۳۰	۶۲	۲۲	۶۸۰	۲۲۱	۹۰۰
Bw	۱۵-۵۵	۶۶۵	۳۶۷	۱۵۰	۹۲	۲۶	۶۵۰	۲۴۶	۱۰۰۰
C	۵۵-۹۰	۴۴۰	۴۵۰	۱۹۰	۱۰۱	۳۲	۶۱۲	۳۲۳	۶۶۰
2BC	۹۰-۱۵۰	۴۰۰	۴۶۷	۲۲۰	۲۶۰	۹۰	۵۹۵	۳۶۵	۶۰۰
خاکریخ شماره ۲ (پادگانه دوم)									
Ap	۰-۱۵	۶۸۰	۴۱۴	۸۰	۷۴	۲۵	۸۱۶	۱۳۶	۱۰۲۰
Bw	۱۵-۵۰	۷۵۸	۳۵۱	۱۶۰	۶۰	۱۸	۶۹۷	۲۷۲	۱۱۴۰
Bk	۵۰-۷۵	۸۳۷	۳۶۴	۲۳۰	۵۵	۲۹	۸۱۶	۳۸۹	۱۲۶۰
C	۷۵-۱۲۰	۴۲۰	۴۸۸	۲۰۰	۵۷	۲۸	۶۸۰	۳۳۲	۶۳۰
2Bkb	۱۲۰-۱۵۰	۶۳۵	۴۶۹	۳۶۰	۷۴	۵۴	۹۵۲	۶۱۲	۹۵۰
خاکریخ شماره ۳ (پادگانه سوم)									
Ap	۰-۲۰	۵۱۶	۵۳۸	۱۷۰	۲۰۶	۶۷	۱۰۲۰	۲۸۹	۷۷۰
Bw	۲۰-۵۵	۸۲۴	۳۴۳	۱۷۰	۸۲	۲۰	۷۳۱	۲۸۶	۱۲۴۰
Bk	۵۵-۹۰	۱۱۹۱	۲۹۶	۲۵۰	۲۱۲	۴۵	۸۵۰	۴۲۵	۱۷۹۰
Btk	۹۰-۱۵۰	۹۷۴	۳۰۷	۲۶۰	۱۹۰	۵۰	۷۳۴	۴۴۹	۱۴۶۰
خاکریخ شماره ۴ (پادگانه بالایی - چهارم)									
A	۰-۱۰	۶۵۰	۶۰۶	۳۵۰	۱۴۰	۵۶	۱۷۰۰	۵۹۵	۹۸۰
By	۱۰-۳۵	۷۴۳	۴۸۵	۲۵۰	۱۱۵	۳۴	۱۱۹۰	۴۲۵	۱۱۱۰
Btky	۳۵-۶۵	۱۰۸۶	۳۰۷	۲۴۰	۵۶	۱۴	۸۱۶	۴۰۸	۱۶۳۰
2Bk	۶۵-۹۰	۱۴۲۶	۲۶۰	۲۴۰	۸۸	۴۲	۸۵۰	۴۰۸	۲۱۴۰
2Btk	۹۰-۱۵۰	۹۱۵	۳۶۲	۲۶۰	۱۵۱	۳۳	۸۸۴	۴۴۲	۱۳۷۰

$$\begin{aligned} \text{Allophan} &= f * \text{Si}_o^* \\ \text{Ferrihydrate} &= 1.7 * \text{Fe}_o^{**} \\ \text{Ferrihydrate} &= 1.7 * (\text{Fe}_o - \text{Fe}_p)^{***} \\ \text{Fe-hydr(oxide)} &= 1.5 (\text{Fe}_d - \text{Fe}_o)^{****} \end{aligned}$$

قابل مشاهده می باشد. ضمن این که این نوع آهن با مواد آلی موجود در افقها نیز بستگی دارد. با فرض این که Fe_p حاوی کمپلکس های حاوی آهن باشد و آمونیم اکسالات همه آهن

تکامل خاک است (۱، ۶، ۱۱، ۲۰ و ۳۹). چنین روند افزایشی در خصوص آهن پیوند شده با مواد آلی استخراج شده به وسیله پیروفسفات سدیم نیز از پادگانه پایینی به سمت پادگانه بالایی

سمت پادگانه بالایی عمق سولوم خاک افزایش یافته و ساختمان خاک از تکامل بیشتری برخوردار است. براساس برخی شواهد فیزیکی، شیمیایی و اندازه‌گیری اشکال مختلف آهن، آلومینیم و سیلیس، تکامل خاک‌های حاشیه رودخانه کرج در منطقه حسن‌آباد از پادگانه پایین به سمت پادگانه بالا افزایش می‌یابد. مقدار رس، گنجایش تبادل کاتیونی، شستشو و تجمع آهک ثانویه از پادگانه اول به سمت پادگانه چهارم افزایش و در پادگانه‌های سوم و چهارم افق‌های تجمع رس (آرجلیک) و در پادگانه‌های دوم، سوم و چهارم افق کلسیک تشکیل شده است. درجه قرمزی رنگ خاک نیز به سمت پادگانه بالایی افزایش یافته و به 7.5YR در پادگانه سوم و چهارم رسیده است. مقدار آهن آزاد (پدوژنیک) استخراج شده به وسیله سیترات بی‌کربنات دی‌تیونیت (CBD) از پادگانه اول به سمت پادگانه بالا افزایش یافته و مقدار سیلیس، آلومینیم و منگنز نیز از چنین روندی برخوردار است. اختلاف آهن آمورف (فعال) استخراج شده با آمونیم اکسالات از آهن آزاد استخراج شده با سیترات بی‌کربنات دی‌تیونیت (Fe_d-Fe_o) از پادگانه اول به سمت پادگانه چهارم افزایش و در افق‌های تکامل یافته تر پادگانه سوم و چهارم دارای بیشترین مقدار است. نسبت Fe_o/Fe_d نیز که یکی دیگر از پارامترهای بررسی تکامل خاک است از پادگانه پایین به سمت پادگانه بالایی کاهش نشان می‌دهد، که این کاهش نیز نشان‌دهنده افزایش تکامل خاک به سمت پادگانه بالایی می‌باشد. اختلاف آهن آلی استخراج شده با پیروفسفات سدیم از آهن آمورف (فعال) استخراج شده با اکسالات آمونیم (Fe_o-Fe_p) از پادگانه اول به سمت پادگانه چهارم افزایش یافته، که نشان دهنده تکامل بیشتر خاک است. ترکیبات مختلف اکسی هیدروکسیدهای آهن نظیر فری‌هیدرات و اکسی هیدروکسیدهای آهن نیز از پادگانه اول به طرف پادگانه چهارم در حال افزایش بوده و با افزایش Fe_d-Fe_o کاهش Fe_o/Fe_d و افزایش Fe_o-Fe_p هم‌خوانی دارد.

آمورف یا غیر کریستاله و آهن همراه هوموس را در خود حل نماید، بنابراین تفاضل آهن استخراج شده به وسیله سدیم پیروفسفات از آهن استخراج شده به وسیله آمونیم اکسالات (Fe_o-Fe_p) نشان‌دهنده میزان آهن آمورف است که این پارامتر نیز با افزایش سن خاک به سمت پادگانه بالایی افزایش یافته است (جدول ۳). از جمله عللی که می‌توان برای آن برشمرد، افزایش هوادیدگی کانی‌های اولیه و ثانویه دارای آهن ساختمانی و افزایش مقدار آهن آمورف (فعال) در محیط خاک می‌باشد، از آنجایی که گنجایش ترکیبات آلی برای کلات کردن آهن، محدود و مشخص می‌باشد، لذا با افزایش شدت هوادیدگی، نرخ افزایش آهن آمورف بیشتر از آهن آلی خواهد بود، ضمن این‌که تبدیل آهن آمورف به آهن متبلور نیاز به زمان طولانی‌تری دارد.

مقدار فری‌هیدرات براساس رابطه پیشنهادی پارفیت و چایلند (۲۶) ($Ferrihydrate = 1.7 * Fe_o$) محاسبه گردید، با فرض این‌که Fe_p کمپلکس‌های حاوی آهن باشد، در این صورت مقدار فری‌هیدرات براساس فرمول پیشنهادی (۸، ۹ و ۱۵) داده شده است. هم‌چنین مقدار اکسی-هیدروکسیدهای آهن از قبیل گئوتیت و هماتیت براساس رابطه پیشنهادی نیوین هویس و همکاران (۲۵) ($Fe-hydr(oxide) = 1.5(Fe_d-Fe_o)$) محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات مختلف اکسی هیدروکسیدهای آهن نیز از پادگانه اول به طرف پادگانه چهارم در حال افزایش بوده و تأییدکننده شاخص‌های Fe_d-Fe_o ، Fe_o-Fe_p ، Fe_o/Fe_d می‌باشد. همه شاخص‌های مورد بررسی تأییدکننده افزایش تکامل خاک از پادگانه اول به سمت پادگانه چهارم در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج مشاهدات صحرائی نشان می‌دهد که از پادگانه پایینی به

منابع مورد استفاده

۱. ترابی گل سفیدی، ح. و م. کریمیان اقبال. ۱۳۸۱. بررسی تکامل خاک در یک ردیف زمانی روی پادگانه‌های حاشیه رودخانه سفیدرود در گیلان مرکزی، مجله خاک و آب، ۱۶ (۱): ۹۵-۱۱۱.
۲. سازمان زمین‌شناسی ایران. ۱۳۷۵. نقشه زمین‌شناسی استان قم. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدن.
۳. مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور. ۱۳۸۴. روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی خاک. نشریه فنی شماره ۴۷۹، مؤسسه تحقیقات کشور، انتشارات سنا.
۴. وزارت جهاد و کشاورزی - اداره کل منابع طبیعی استان قم. ۱۳۸۱. طرح اصلاحیه جنگل‌کاری حاشیه بزرگراه قم - تهران. اداره کل منابع طبیعی استان قم، واحد جنگل‌کاری.
5. Ahmad, M., J. Ryan and C. Paeth. 1977. Soil development as a function of time in the Punjab River plains of Pakistan. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 1162-1165.
6. Alexander, E. B. and N. Holywaychuk. 1983. Soil on terraces along the Cauca River Colombia : I. Chronosequence characteristics, II. The sand and clay fraction. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 47: 715-727.
7. Bockheim, J. G., J. G. Marshall and H. M. Kelsey. 1996. Soil-forming processes and rates on uplifted marine terrace in southwestern Oregon, USA. *Geoderma* 73:39-62.
8. Childs, C.W., N. Matsue and N. Yoshinaga. 1991. Ferrihydrite in volcanic ash soils of Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37: 299-311.
9. Dahlgren, R.A. 1994. Quantification of allophane and imogolite. *In: J. Ammonette and L.W. Zelazny (Eds.) Quantitative methods in soil mineralogy.* SSSA, Madison, WI, PP. 430-451.
10. Dickson, B. A., R. L. Crocker. 1954. A chronosequence of soils and vegetation near Mount Shasta, California: III. Some properties of the mineral soils. *J. Soil Sci.* 5: 173-191.
11. Eppes, M. C., R. Bierma, D. Vinson and F. Pazzaglia. 2008. A soil chronosequence study of the Reno valley, Italy: Insights into the relative role of climate versus anthropogenic forcing on hillslope processes during the mid Holocene. *Geoderma* 147: 97-107.
12. Foss, J. E. and R. H. Rust. 1962. Soil development in relation to loessial deposition in Southeastern Minnesota. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 270-274.
13. Gerrard, J. 1992. *Soil Geomorphology: An Integration of Pedology and Geomorphology*, published by Chapman & Hall, 2-6 Bondary Row, London SE1 8HN.
14. Hugget, R.J. 1998. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review. *Catena* 32: 155 - 172.
15. Kassim, J.K., S. N. Gafoor and W. A. Adams. 1984. Ferrihydrite in pyrophosphate extracts of podzol B horizons. *Clay Miner* 19: 99-106
16. Kittric, J. A. and E. W. Hope. 1971. A procedure for particle size separation of soils for x-ray diffraction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 621-626.
17. Lilienein, J., R. G. Qualls, S. M. Uselman, and S. D. Bridgham. 2003. Soil formation and organic matter accretion in a young andesitic chronosequence at Mt. Shasta, California. *Geoderma* 116:249 - 264.
18. Jiao, F., Z. M. Wen and S. S. An. 2011. Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China. *Catena* 86: 110-116
19. McKeague, J.A. 1967. An evaluation of 0.1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionate in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. *Can. J. Soil Sci.* 47,95-99.
20. McKeague, J.A., J. E. Braydon, and N. M. Miles. 1967. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 38-53.
21. Mehdi, S.M., A. M. Ranjah, S. Akhtar, M. K. Tanvir and G. Hassan. 2000. Morphological, Chemical and Mineralogical Characteristics of a Chronosequence of Soils on Alluvial Deposits in Pakistan *Int. J. Agri. Biol.* 4: 364-368.
22. Mehra, O.P. and M. L. Jackson. 1960. Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals* 7: 317-327.

23. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. *In*: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney, (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed.* Agron. Monogr., No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. PP. 181–197.
24. Nelson, D.W., Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In*: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney, (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed.*, Agron. Monog., No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, PP. 539–577.
25. Nieuwenhuysse, A., P. S. J. Verburg and A. G. Jongmans. 2000. Mineralogy of a soil chronosequence on andesitic lava in humid tropical Costa Rica *Geoderma* 98: 61–82
26. Parfitt, R.L., C. W. Childs. 1988. Estimation of forms of Fe and Al: A review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Mossbauer methods. *Aust. J. Soil Res.* 26: 121 – 144.
27. Parfitt, R.L. and J. M. Kimble. 1989. Conditions for formation of allophane in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 971–977.
28. Parfitt, R.L. 1990. Allophane in New Zealand—a review. *Aust. J. Soil Res.* 28: 343 –360.
29. Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. *In*: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney, (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed.*, Agron. Monog., No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. PP. 149–157.
30. Sauer, D., G. Schellmann and K. Stahr. 2007. A soil chronosequence in the semi-arid environment of Patagonia (Argentina). *Catena* 71: 382 – 393.
31. Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E. C. Benham and W. D. Broderson. 2002. Field book for describing and sampling soils. Version 2. National Soil Survey Center Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, Lincoln, NE.
32. Schwertmann, U. and R. M. Taylor. 1989. Iron oxides. *In*: Dixon, J.B., Weed, S.B. (Eds.), *Minerals in Soil Environment.* Soil Sci. Soc. of America, Madison, WI, USA. PP. 379–438.
33. Smith, B. R. and S. W. Buol. 1968. Genesis and relative weathering intensity studies in three soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 261-263.
34. Soil Survey Laboratory. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigation Report no. 42. Ver.3. USDA-NRCS. Soil Survey Laboratory Staff .U.S. Gov. Pr. Office, Washington, DC.
35. Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Eleventh Edition.
36. Southard, R. J. and S. S. Winters. 2010. Soil Development and Fertility in an Alluvial Chronosequence, Southwestern Sacramento Valley. 2006-2011 Mission, Kearney Foundation of Soil Science: Understanding and Managing Soil-Ecosystem Functions Across Spatial and Temporal Scales.
37. Tsai, H., W. S. Huang, Z. Y. Hseu and Z. S. Chen. 2006. A River Terrace Soil Chronosequence of the Pakua Tableland in Central Taiwan. *Soil Sci.* 171(2): 167-179.
38. Tsai, H., W. S. Huang, Z. Y. Hseu and Z. S. Chen. 2006. Soil genesis along a chronosequence on marine terraces in eastern Taiwan. *Catena* 71: 394-405.
39. Torrent, J., U. Schwertman and D. Z. Schulze. 1980. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terraces sequences in Spain. *Geoderma* 23: 191-208.
40. Vidic, N.J. and F. Lobnik. 1997. Rates of soil development of the chronosequence in the Ljubljana Basin, Slovenia. *Geoderma* 76: 35-64
41. Wada, K., 1989. Allophane and imogolite. *In*: J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.), *Minerals in Soil Environment.* Soil Sci. Soc. of America, Madison, WI. PP. 1051– 1087.