

تغییرات خاک در ردیف ارضی-زمانی دو منطقه اقلیمی در زاگرس مرکزی

حسن رمضانپور^۱ و احمد جلالیان^۲

چکیده

تغییر خواص و تکامل خاک‌ها در واحدهای مختلف فیزیوگرافی، در دو ناحیه اقلیمی شهرکرد و چلگرد، به ترتیب با میانگین بارندگی سالانه ۳۱۴ و ۱۲۲۴ میلی‌متر، بررسی گردید. در ناحیه اقلیمی شهرکرد، میزان Fe_0 (آهن بی‌شکل + آهن در ترکیبات آلی) در افق سطحی تمام واحدها بیشتر از افق زیرین بوده، ولی Fe_d (آهن بلوری + آهن بی‌شکل + آهن در ترکیبات آلی) در خاک‌های با زه‌کشی بهتر عمدتاً در سطح، و در خاک‌های با سطح ایستابی بالا در افق زیرین متمرکز است. افزایش اسمکتیت، کاهش کلریت و پالیگورسکیت در سطح خاک، احتمالاً به آثار موضعی اسیدهای آلی، تناوب اکسید و احیا و یا شدت هیدرولیز در اقلیم گذشته مرطوب‌تر مربوط می‌شود. حضور افق آرجیلیک و پتروکلسیک با کلسیت اسپاریتی و فابریک اسفرولیتیک، نشان دهنده آب‌شویی و رسوب‌گذاری مرحله‌ای و متناوب در اقلیم شهرکرد است. افزون بر این، کاهش میزان سنگ‌ریزه و شستن از کوه به دشت را می‌توان به حل شدن ذرات درشت کربنات‌ها و رسوب‌گذاری مواد آبرفتی نسبت داد. در ناحیه اقلیمی چلگرد، کاهش pH و کربنات، و افزایش آهن پدوژنیک در افق سطحی نسبت به شهرکرد آشکار بود. همچنین، وجود کانی‌های مخلوط کلریت-اسمکتیت، کاهش کلریت آهن‌دار در بخش رس ریز همراه با افزایش اسمکتیت، CEC بالا و فقدان افق پتروکلسیک نشان دهنده هوادیدگی و آب‌شویی بیشتر است. در این ناحیه، وجود بقایای آرجیلان با فابریک دایره‌ای (پاپیول)، افزایش Fe_d-Fe_0 و قرمزی در افق مدفون، دلیل بر منشأ پلی‌ژنتیک خاک‌ها است. تغییر اقلیم در دو منطقه وجود داشته، ولی در ناحیه شهرکرد عامل زمان مهم‌تر بوده است. در ناحیه چلگرد، به دلیل فعال‌تر بودن حرکات تکتونیک زمین و ناپایداری واحدهای فیزیوگرافی، عامل توپوگرافی اهمیت بیشتری داشته، و ممکن است در تشکیل افق‌های مدفون و خاک‌های پالتوسول (تشکیل شده در اقلیم گذشته) نقش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، هوادیدگی، پتروکلسیک، آرجیلان

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

بالا روی زاگرس از اواخر دوره پلیوسن، به طور شدید آغاز شده و زمین‌های با توپوگرافی متفاوت را به وجود آورده است (۲ و ۱)، به گونه‌ای که میزان مواد آلی، رطوبت، عمق سولوم و رنگ خاک تحت تأثیر توپوگرافی تغییر می‌نماید. ولی اقلیم، عامل فعال در پدیده خاک‌سازی است، و تغییر آن موجب می‌شود که ویژگی‌های خاک و دیگر اجزای اکوسیستم، بیشتر تغییر کند و در سرعت تکاملی خاک اثر بگذارد (۶). بیرکلند (۳) معتقد است که سرعت تشکیل رس با افزایش رطوبت زیاد شده، و بیشترین میزان رس در محیط مرطوب و گرم به دست می‌آید.

در واقع افق‌های مدفون بیانگر نوعی تغییر اقلیم است (۱۰). از مشخصاتی مانند ناگهانی بودن مرز افق و ویژگی‌های کانی شناسی (مینرالوژیک) می‌توان در تشخیص آنها کمک گرفت (۳). افزایش قرمزی رنگ خاک با افزایش سن خاک (۳)، در دو حالت قابل بررسی است:

۱. رنگ تحت تأثیر مواد مادری است.
۲. تغییرات قرمزی خاک‌های قدیمی ممکن است به خاطر تغییر اقلیم باشد.

حالت دوم نشان دهنده یک فاصله یا وقفه در پدیده خاک‌سازی است، به گونه‌ای که دو مرحله رسوب‌گذاری و تشکیل خاک را به همراه دارد (۳). به سخن دیگر، خاک‌های مدفون حاصله از تغییر اقلیم بیانگر آن است که تشکیل خاک با دوره‌های متناوب رسوب‌گذاری فرسایش همراه بوده است (۱۱). عامل مؤثر دیگر بر تکامل خاک‌ها، وجود کربنات است، و مقدار آن تحت تأثیر توپوگرافی، مواد مادری و اقلیم تغییر می‌نماید. زمان نیز نقش جداگانه در تغییر خواص دارد، به طوری که برخی از ویژگی‌های خاک، شامل رنگ و pH، با گذشت زمان تغییر می‌کند (۱۹). مثلاً مک‌فادن و ولدون (۱۴) گزارش نمودند که ضخامت و قرمزی افق آرچلیک در تراس‌ها را می‌توان به دوره قدیمی‌تر پلیستوسن نسبت داد. تشکیل خاک، نتیجه تأثیر متقابل فرایندهای مختلف

پدولوژیک و ژئومورفولوژیک است (۱۰). در مورد تراس‌های رودخانه‌ای و تشکیل خاک، باید روابط میان خاک و زمین‌نما (Landscape) مجموعه‌ای از واحدهای ژئومورفولوژی) را در نظر گرفت. برای مثال، آیا شیب ناگهانی تراس رودخانه‌ای در نتیجه حرکات تکتونیک بالا آمدن (Uplift) و تغییرات اقلیمی به وجود آمده؟ یا در اثر تغییر برخی عوامل در داخل منطقه صورت گرفته است؟ در مناطقی که بالا روی تکتونیک زمین‌نما وجود دارد، سطوح تراس‌های رودخانه‌ای ممکن است دارای ارتفاع بیش از پنج متر باشد. در حالی که اختلاف ارتفاع تراس‌ها، در مناطقی که فاقد حرکات تکتونیک است، کمتر از پنج متر است (۱۰). تشکیل تراس‌ها معمولاً در اثر کم و زیاد شدن آب رودخانه‌ها در اثر اقلیم (۶)، و یا توسط حرکات تکتونیک زمین از طریق گسل، که موجب تغییر شیب می‌شود، صورت می‌گیرد (۶ و ۲۲). در مناطق دارای حرکات تکتونیک نیز، معمولاً خاک‌های قدیمی (Paleosol) و مدفون وجود دارد (۱۰ و ۲۰).

در ارزیابی فرایندهای ژنتیکی (پیدایش خاک) و تعیین درجه تکامل پروفیلی خاک از نسبت $\frac{Fe_o}{Fe_d}$ استفاده می‌شود. این نسبت معمولاً با عمق کاهش می‌یابد (۴ و ۲۱)، و کاهش آن با عمق، به کند شدن سرعت آزاد شدن آهن از کانی‌های سیلیکاته مربوط می‌شود (۲۱). افزایش این نسبت در افق‌های سطحی خاک‌های احیایی را در سه مورد می‌توان ذکر کرد (۱۷):

۱. حالت ماندابی دایمی موجب عقب انداختن آب‌زدایی و بلوری شدن آهن می‌گردد.
۲. یون‌های متحرک جذب کلویید می‌شوند.
۳. آهن فریک بی‌شکل در شرایط اکسید و احیایی کوتاه مدت غالب می‌شود.

در خاک‌های با اقلیم مدیترانه‌ای (Xeric) در افق‌های زیرین، این نسبت به میزان کمتر از ۰/۰۵ گزارش شده است (۲۳). برخی از گزارش‌ها مقدار $\frac{Fe_o}{Fe_d} < ۰/۳۵$ را برای خاک‌های با زه‌کشی خوب و قدیمی‌تر، و $\frac{Fe_o}{Fe_d} > ۰/۳۵$ را برای خاک‌های

اراضی حوزه آبخیز و نقشه اقلیمی پیشنهاد شده (۲) به مقیاس $\frac{1}{250,000}$ ، یک مسیر پیمایش (Transect) از واحدهای فیزیوگرافی غالب در هر ناحیه انتخاب گردید. در مسیر بررسی شهرکرد که از یک کیلومتری شمال شرقی فرخ شهر تا دو کیلومتری شمال غربی هفشجان امتداد داشت پنج پروفیل، و در مسیر بررسی چلگرد که از بازفت در جنوب زردکوه تا شهریار و چشمه دیمه در شمال شرقی زردکوه امتداد داشت شش پروفیل شاهد انتخاب گردید، و از افق‌های ژنتیکی آنها نمونه‌برداری انجام شد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).

در آزمایش‌های فیزیکی - شیمیایی، افزون بر انجام آزمایش‌های متداول، آهن پدوژنیک با دو نوع محلول عصاره‌گیر، یکی سترات-بیکربنات-دیتینونات (Fe_d) که آهن بی‌شکل + آهن بلوری + آهن در ترکیبات آلی را استخراج می‌نماید (۱۲)، و دیگری اکسالات آمونیوم اسیدی (Fe_o) که آهن بی‌شکل + آهن در ترکیبات آلی را عصاره‌گیری می‌نماید (۱۷)، اندازه‌گیری شد. برای آزمایش میکرومورفولوژی، کلوخه‌های دست‌نخورده از افق‌ها تهیه گردید. برخی با رزین پتروپاکسی ۱۵۴ (نمونه را ابتدا در دمای ۷۰-۶۰ درجه در آن خشک کرده، آن را گرم نموده، سپس رزین و ماده سخت‌کننده را به نسبت ۱۰:۱ مخلوط و کلوخه را با آن اشباع نموده و بعد در دمای 135°C به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده تا سخت گردد. با استفاده از کانادا بالزام جامد، نمونه را در سطح لام چسبانده و با پودر کوراندوم با مش‌های ۶۰۰ تا ۱۰۰ عمل سایش را انجام تا ضخامت مقطع به ۳۰ میکرون برسد) و تعدادی بارزین‌های معمولی اشباع شده، سپس تفسیر میکروسکوپی مقاطع نازک بر پایه روش بروور (۵) صورت گرفت.

برای کانی‌شناسی رس، با استفاده از روش کیتریک و هوپ (۱۳) مراحل زیر انجام شد:

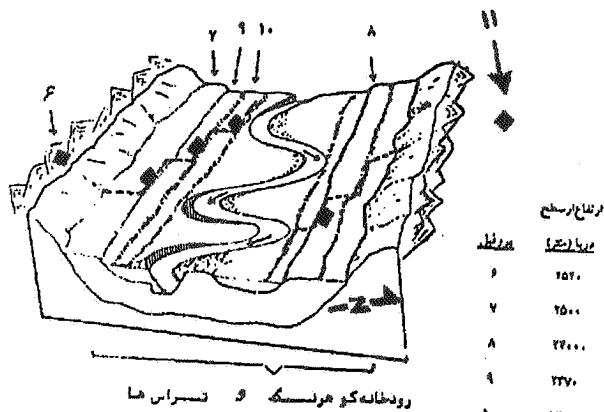
مراحل جداسازی: برای کربنات‌زدایی ۲۰ گرم خاک، استات سدیم در $\text{pH} = 5$ و دمای 80°C ، و برای اکسیداسیون مواد آلی، آب اکسیژنه ۳۰٪ در چند مرحله استفاده شد. به نمونه فوق ۱۰۰ میلی‌متر بافر سترات، چهار گرم دی‌تیونات در دمای 80°C

با زه‌کشی ضعیف و جوان‌تر نسبت داده‌اند (۱۷). پژوهش نشان داده است که در مراحل اولیه هوادیدگی و تکامل خاک، آزاد سازی آهن غیر بلوری از کانی‌های خاک، ممکن است از میزان فرایند تشکیل بلور (Crystallization) بیشتر گردد، و موجب شود که نسبت $\frac{\text{Fe}_o}{\text{Fe}_d}$ افزایش یابد. ولی با افزایش سن و تکامل پروفیلی خاک، مقدار Fe_d بیشتر شده، و این نسبت کاهش می‌یابد (۲۱). در خاک‌های آهکی با زه‌کشی خوب، تشکیل اکسیدهای آهن پدوژنیک خیلی کند است، زیرا میزان حل شدن کانی‌های آهن‌دار یا کانی‌های ثانویه خاک در تعادل با CaCO_3 کم است. به سخن دیگر، در pH قلیایی (خاک آهکی) و شرایط تهویه خوب، آهن به شکل Fe^{3+} و رسوب وجود دارد نه Fe^{2+} ؛ در نتیجه حلالیت و حرکت آهن خیلی کم است. بنابراین، غلظت اکسیدهای آهن پدوژنیک در این شرایط کاملاً پایین است (۲۳). هدف از انجام این پژوهش عبارت‌است از:

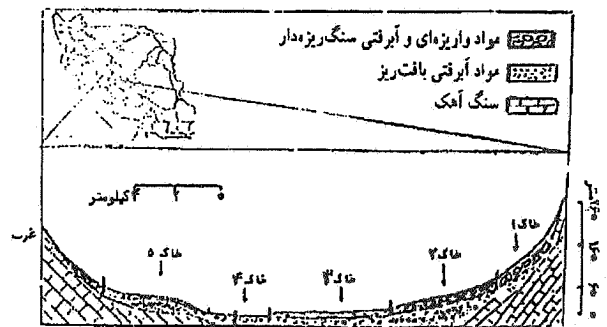
۱. بررسی نقش اقلیم در پیدایش ویژگی‌های متفاوت خاک‌ها.
۲. بررسی هم‌بستگی میان خاک و لندفرم (شکل اراضی) یا واحد فیزیوگرافی.
۳. به دست آوردن اطلاعات درباره وضع آب و هوای گذشته در زاگرس.

مواد و روش‌ها

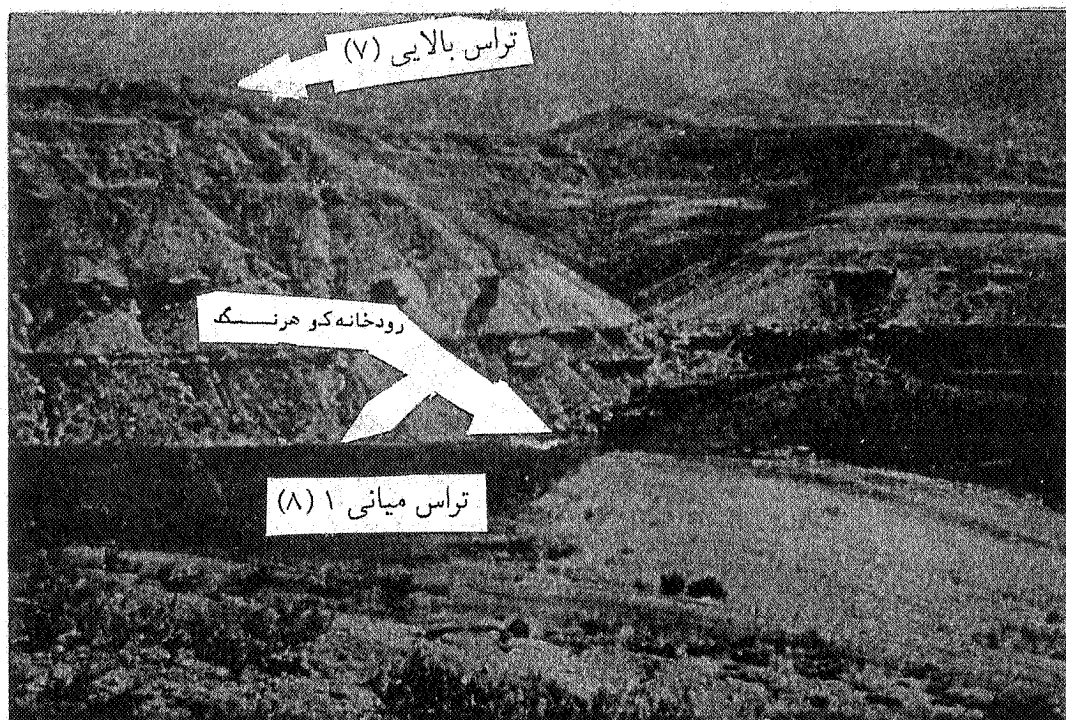
وسعت منطقه مورد بررسی ۱۴۴۷۶۰۰ هکتار، و بخشی از حوزه آبخیز شمال رود کارون است (۲). ناحیه اقلیمی شهرکرد به مساحت ۵۹۳۸۰۰ هکتار، با میانگین بارندگی و دمای سالیانه به ترتیب ۳۱۴/۵ میلی‌متر و $12/2^\circ\text{C}$ است، و شامل بخش‌های فرخ‌شهر، گندمان، جونقان، هفشجان، بروجن، فارسان و شهرکرد است. ناحیه اقلیمی چلگرد به مساحت ۲۲۰۷۰۰ هکتار، با میانگین بارندگی و دمای سالیانه به ترتیب ۱۲۲۴ میلی‌متر و $9/5^\circ\text{C}$ است، و شامل بخش‌های شوراب، بازفت، شهریار، دشتک، چشمه دیمه و چلگرد است. با استفاده از اطلاعات مربوط به ۳۹ نقشه توپوگرافی به مقیاس $\frac{1}{50,000}$ ، نقشه منابع



شکل ۲. نمایش شماتیکی محل حفر پروفیل‌ها (۶ تا ۱۱) در ناحیه اقلیمی چلگرد



شکل ۱. نمایش شماتیکی محل حفر پروفیل‌ها (۱ تا ۵) در ناحیه اقلیمی شهرکرد



شکل ۳. نمایشی از وضع زمین‌نمای تراس‌ها در اطراف رود کوه رنگ (ناحیه اقلیمی چلگرد)

مراحل آماده‌سازی: به ۵۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون نمونه، چند قطره کلرور منیزیم نرمال افزوده شد و به مدت پنج دقیقه با دور زیاد سانتریفوژ گردید. سپس دوباره ۵۰ میلی‌لیتر کلرور منیزیم نرمال افزوده شد و پس از تکان مکانیکی به مدت ۱۰ دقیقه و سانتریفوژ کردن، مایع رویی دور ریخته شد و پس از سه بار تکرار و انجام شست‌وشو با الکل یا آب، عمل سانتریفوژ صورت گرفت. اسلاید نمونه اشباع با منیزیم پس از تجزیه با

افزوده شد. پس از سانتریفوژ کردن و شست‌وشو با ۵۰ میلی‌لیتر بافر سترات و سانتریفوژ، اکسید آهن آزاد در محلول رویی جمع‌آوری گردید. آن گاه به نمونه آب مقطر افزوده شده، رس ریز (کمتر از ۰/۲ میکرون) در ۲۷۰۰ دور در دقیقه به مدت ۴۱/۲ دقیقه و پنج مرتبه تکرار، و رس درشت (۰/۲-۲ میکرون) در ۷۵۰ دور در دقیقه به مدت ۵/۳ دقیقه و سه مرتبه تکرار جدا گردید.

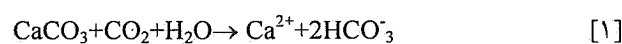
اشعه ایکس به مدت یک روز در دسیکاتور حاوی اتیلن گلیکول در دمای 70°C گذاشته شد. اشباع نمونه‌ها با کلرور پتاسیم یک نرمال نیز همانند اشباع با منیزیم بوده، و پس از تجزیه با اشعه ایکس، در دمای مختلف کوره الکتریکی به مدت دو ساعت قرار گرفت، و هر بار نیز عمل تجزیه انجام گردید. نمونه‌ها از زاویه صفر تا 30° درجه 2θ در معرض اشعه ایکس دستگاه پراش سنج نوع شیمادزو مدل XD-610 و جریان 40 میلی‌آمپر و ولتاژ 40 کیلووات قرار گرفت.

نتایج و بحث

ناحیه اقلیمی شهرکرد

از آن‌جا که شیب در واحد فیزیوگرافی کوه زیاد است، سطوح ژئومورفیک آن پایدار نبوده، و به دلیل مواد مادری آهکی، خاک‌ها تکامل ندارند (جدول ۱). در واحد واریزه‌های بادبزی شکل، خاک بدون تکامل (Xerorthents) روی خاک تکامل یافته‌ای با ساختمان بلوکی و افق‌های کلسیک و آرجیلیک قرار گرفته است (جدول ۱). به تدریج که شیب واحدها کمتر می‌شود (پروفیل ۳ و ۴) میزان سیلت و رس به دلیل خرد شدن و حل شدن سنگ‌ریزه‌های آهکی، بیشتر شده (۷ و ۲۶)، و زه‌کشی خاک ضعیف‌تر می‌گردد، به گونه‌ای که ساختمان بلوکی (تجمع رس) در افق زیرین، تجمع مواد آلی در سطح، و رنگین دانه‌ها در عمق را می‌توان مشاهده نمود.

در اراضی پست، کم بودن عمق آب زیرزمینی، تشکیل افق کلسیک را تحت تأثیر قرار داده، به طوری که بخشی از کربنات کلسیم ثانویه انتقال یافته از سطح (Illuvial) دارای منشأ از افق رویی است. ولی بخشی از کربنات کلسیم دارای منشأ آب زیرزمینی است، و با تبخیر آب در شرایط گرم و یا کاهش فشار CO_2 در اطراف شکاف سطحی (جدول ۱)، واکنش به سمت چپ تمایل یافته (رابطه ۱)، کربنات کلسیم به صورت رسوب در حاشیه شکاف انباشته می‌شود.



پژوهش رابین‌هورست و همکاران (۱۸) نیز گویای این است که

رسوب کربنات کلسیم ثانویه در نقاطی مانند شکاف داخل خاک، که تبادل گازی سریع‌تر است، می‌تواند انجام گیرد. در حالی که سوبیکی و وایلدینگ (۲۴)، تشکیل افق کلسیک و تجمع آهک ثانویه در خاک‌های کلسی‌اکوالز (Calciaquolls) را نتیجه رسوب کربنات و بیکربنات محلول، از طریق حرکت رو به بالای جریان آب زیرزمینی تا نزدیک سطح خاک می‌دانند.

شرایط قلیایی و زه‌کشی ضعیف میزان هیدرولیز و تخریب کانی‌ها را محدود می‌نماید (۲۶). با این حال، تجمع اسیدهای آلی و تناوب اکسید و احیا موجب تغییر در کانی‌شناسی افق سطحی خاک پروفیل ۳ و ۴ شده، به گونه‌ای که کاهش کلریت در بخش رس ریز، با افزایش اسمکتیت همراه بوده است. مورفولوژی پروفیل ۴ (جدول ۱) حضور رس انبساط‌پذیر (ایجاد شکاف) را تأیید می‌کند. با افزایش شیب از واحد اراضی پست به طرف فلات قدیمی، زه‌کشی بهتر می‌شود و رنگ خاک‌ها روشن‌تر می‌گردد. با پیدایش افق‌های آرجیلیک (شکل ۷) و پتروکلسیک (شکل ۸) در فلات قدیمی، خاک‌های تکامل یافته‌تر تشکیل می‌شود. کاهش نسبت $\frac{\text{Fe}_d}{\text{رس}}$ در عمق زیرین و توزیع نامنظم آن (شکل ۴) در خاک‌های با زه‌کشی بهتر، دلیل بر این است که حرکت رس، مستقل از Fe_d بوده و هم‌بستگی میان آنها ضعیف است (۴ و ۱۲). به سخن دیگر، افزایش رس در آرجیلیک، موجب کاهش این نسبت می‌گردد، در حالی که ثابت شدن این نسبت در عمق زیرین (پروفیل ۴) به دلیل نوسان آب (شکل ۴)، نشان می‌دهد که زمان لازم برای تشکیل آهن بلوری فراهم نبوده ($\frac{\text{Fe}_o}{\text{Fe}_d}$ در پروفیل ۴ نسبتاً بیشتر از پروفیل ۵ می‌باشد) و مهاجرت هم‌زمان رس و آهن به وسیله نوسان آب زیرزمینی صورت می‌گیرد (۴).

شواهد زیر نشان می‌دهد که اقلیم گذشته در ناحیه اقلیمی شهرکرد، مرطوب‌تر از زمان حال بوده است: الف) وجود افق مدفون 2Btkb در پروفیل ۲. در این حالت واریزه‌ها از نقاط پرشیب بالادست کوه به سمت پایین کوه و اراضی بادبزی شکل سرازیر شده، و به دلایل زیر

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، مورفولوژیک و طبقه‌بندی نیم‌رخ خاک‌های شاهد (ناحیه اقلیمی شهرکرد)

واحد فیزیوگرافی	نیم‌رخ (پروفیل) خاک	افق	عمق (سانتی‌متر)	رنگ مرطوب	ساختمان	کربنات ثانویه	کلسیم معادل (%)	رس (%)	کربنات
کوه دارای		A	۰-۱۲	10YR 4/4	m	—	۲۷	۶۶	
سنگ‌های	۱	C1	۱۲-۴۰	7.5YR 4/4	m	—	۳۳	۵۹	
آهکی		C2	۴۰-۶۰	7.5YR 4/4	m	—	۴۱	۶۷	
		C3	۶۰-۱۱۰	7.5YR 6/4	m	—	۶۳	۶۴	
واریزه‌های		A	۰-۱۵	10YR 4/3	1fgr-m	—	۲۳	۲۷	
بادبزی		C1	۱۵-۴۵	10YR 4/4	m	—	۳۸	۳۲	
شکل با	۲	C2	۴۵-۶۵	10YR 4/4	m	—	۴۸	۳۸	
شیب		2Btkb	۶۵-۱۰۰	7.5YR 4/4	2mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۵۳	۶۲	
۸-۵٪		2BCkb	۱۰۰-۱۴۰	7.5YR 4/4	1fsbk-m	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۵۳	۳۹	
دشت‌های		Ap	۰-۱۸	10YR 4/3	1fgr-m	—	۳۱	۵۷	
آبرفتی		Btk1	۱۸-۴۶	10YR 5/3	1fsbk	آهک پودری به مقدار کم	۴۷	۶۶	
دامنه‌ای با	۳	Btk2	۴۶-۸۵	10YR 5/3	2mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۵۱	۵۹	
شیب		Btkg1	۸۵-۱۲۵	10YR 5/2	3mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۴۱	۶۱	
۱-۰٪		Btkg2	۱۲۵-۱۵۰	10YR 5/2	2mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۴۷	۶۱	
اراضی		A	۰-۲۵	10YR 4/2	1mgr	—	۴۱	۶۷	
پست ^۱	۴	BK	۲۵-۵۰	10YR 4/2	1fsbk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۴۵	۵۹	
		Bkg1	۵۰-۷۲	10YR 5/2	1mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۴۲	۶۰	
		Bkg2	۷۲-۹۵	10YR 5/2	1msbk	دارای آهک ثانویه زیر میکروسکوپ	۵۲	۶۰	
		Bkg3	۹۵-۱۵۰	10YR 5/1	1fsbk	دارای آهک ثانویه زیر میکروسکوپ	۵۷	۶۵	
فلات‌های		Ap	۰-۲۴	7.5YR 5/4	1fgr	—	۱۱	۴۷	
قدیمی		Btk1	۲۴-۵۲	7.5YR 4/4	2mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۳۵	۵۶	
فرسایش	۵	Btk2	۵۲-۶۷	7.5YR 4/5	2msbk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۴۲	۴۹	
یافته		Btk3	۶۷-۹۰	7.5YR 5/5	2csbk-abk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۳۵	۵۰	
		2bkm	>۹۰	—	m	آهک سخت شده با پوشش لامینار	۹۰	—	

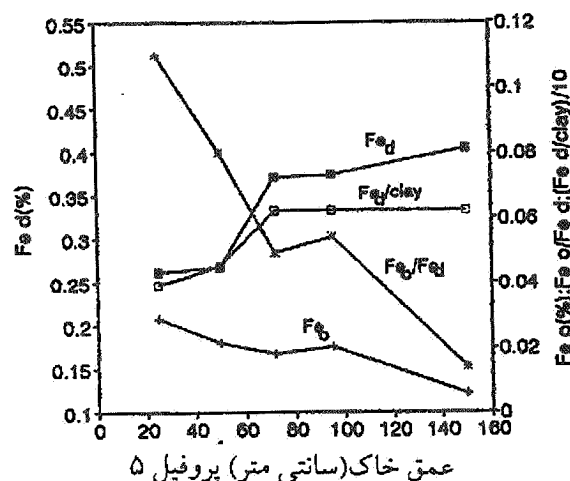
۱. سطح ایستابی گاهی نزدیک به سطح، دارای زه‌کشی ضعیف، رنگین دانه‌های اکسید و احیایی و شکاف در تابستان است.

ادامه جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، مورفولوژیک و طبقه‌بندی نیم‌رخ خاک‌های شاهد (ناحیه اقلیمی شهرکرد)

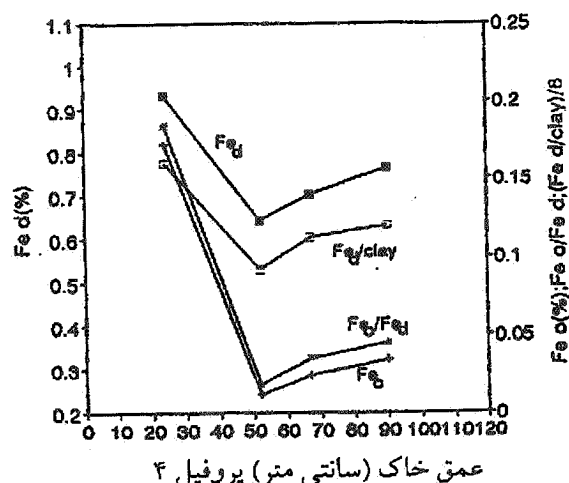
واحد فیزیوگرافی	نیم‌رخ (پروفیل) خاک	کربن آلی (%)	Fe _d -Fe _o (%)	pH گل اشباع	CEC cmol (+)kg ⁻¹	رس ریز کل رس	سیستم طبقه‌بندی ۱۹۹۸ (۲۵)
کوه دارای سنگ‌های آهکی	۱	۰/۶۹	۰/۷	۷/۹	۲۸/۵	—	Typic Xerorthents
		۰/۴۵	۰/۵۳	۷/۹	۲۹/۹	—	
		۰/۳۵	۰/۵۴	۸	۲۶/۸	—	
		۰/۲۳	۰/۲۶	۸/۲	۱۶/۶	—	
واریزه‌های بادبزنی شکل با شیب ۵-۸٪	۲	۰/۸۸	۰/۶۳	۷/۸	۲۱	۰/۳۱	Typic Xerorthents
		۰/۵۷	۰/۵۷	۷/۷	۱۹	۰/۳۴	
		۰/۳۴	۰/۴۹	۷/۸	۱۸	۰/۴۵	
		۰/۲۳	۰/۴۶	۷/۸	۱۷/۷	۰/۴۱	
		۰/۲۹	۰/۶۴	۷/۶	۱۷/۶	۰/۳۴	
دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای با شیب ۰-۱٪	۳	۱/۴۵	۰/۴۲	۸	۲۷/۹	۰/۳	Calcic Haploxeralfs
		۱	۰/۲۲	۸/۱	۲۴	۰/۴۱	
		۰/۳۷	۰/۱۵	۸/۲	۲۰	۰/۳۷	
		۰/۳	۰/۳۳	۷/۸	۲۲	۰/۳۹	
		۰/۱۸	۰/۴۲	۷/۹	۱۹	۰/۵۷	
اراضی پست ^۱	۴	۲/۷۳	۰/۲۳	۷/۸	۳۰/۹	۰/۶۱	Aeric Calciaquolls
		۰/۵۹	۰/۲۵	۷/۸	۲۲/۶	۰/۵۱	
		۰/۵	۰/۳۵	۸	۲۴/۸	۰/۶۲	
		۰/۳۵	۰/۳۵	۷/۸	۲۱/۹	۰/۶۳	
		۰/۲	۰/۴	۸	۱۸/۴	۰/۶۹	
فلات‌های قدیمی فرسایش یافته	۵	۰/۵۲	۰/۷۶	۷/۷	۲۴	۰/۲۹	Petrocalcic Palexeralfs
		۰/۴۳	۰/۶۳	۷/۴	۲۴/۵	۰/۵۳	
		۰/۳۱	۰/۶۸	۷/۷	۲۳	۰/۵۵	
		۰/۲۸	۰/۷۳	۷/۶	۲۵	۰/۵۹	
		—	—	۷/۹	—	—	

۱. سطح ایستابی گاهی نزدیک به سطح، دارای زه‌کشی ضعیف، رنگین دانه‌های اکسید و احیایی و شکاف در تابستان است.

- خاک‌های تکامل یافته زیرین را به وجود می‌آورد:
۱. شواهد مورفولوژی، شامل تغییر هیوی رنگ از 10YR در افق C2 به 7.5YR در افق 2Btkb و نیز مشاهده پوسته
- رسی مجزا و پیوسته در صحرا در افق 2Btkb
۲. شواهد فیزیکی، شامل افزایش رس از ۳۷٪ در افق C2 به ۶۱٪ در افق 2Btkb



شکل ۴. توزیع آهن پدوژنیک (Fed, FeO) و کل رس / Fed با عمق



است تا پوسته رسی جهت دار تخریب گردد (۹)؛ و یا مخلوط شدن کربنات‌ها با رس انتقال یافته از سطح ممکن است موجب شود تا در زیر میکروسکوپ، پوسته رسی از نظر پنهان شود (۹).

ج) تشکیل افق پتروکلیسیک همراه با پوشش لایه‌های مطابق (Laminar capping) و خطی (شکل ۸)، نشان دهنده آبشویی و رسوب‌گذاری متناوب در اقلیم مرطوب‌تر گذشته است (۸).

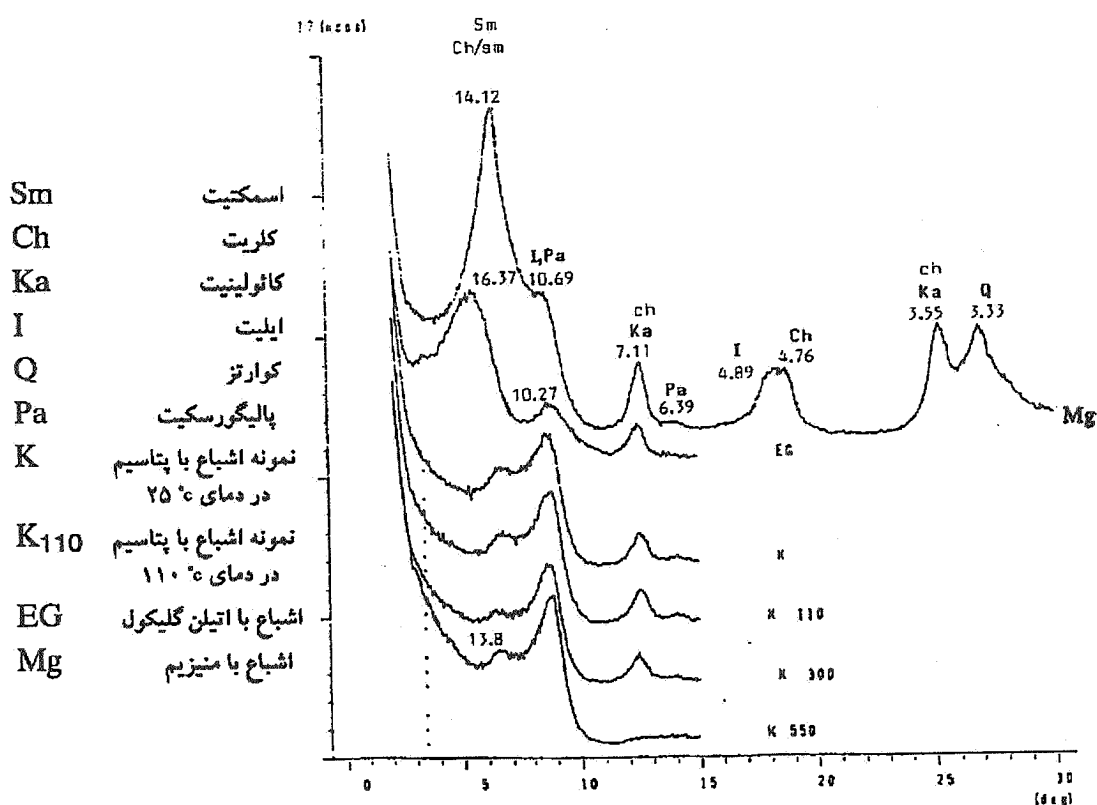
بررسی‌های مقطع نازک نشان داد که بخش لایه‌های مطابق خطی (شکل ۸) دارای مخلوطی از صور پدوژنیک کریستالاریا و نوکلیسیاتان از کربنات خالص بوده، که عمدتاً در اندازه‌های اسپاریت (بزرگ‌تر از ۵۰ میکرون) است. گرچه برخی از گزارش‌ها، عامل بیولوژیک را در تشکیل قسمت مطابق (لامینار) مسئول دانسته‌اند (۱۶)، ولی به طور کلی، پوشش‌های لامینار، آخرین مرحله تشکیل افق پتروکلیسیک است، و چون بلورهای اندازه اسپاریت، رسوب مرحله‌ای و تدریجی کلسیت را نشان می‌دهد (۷) و (۱۶)، از این رو، تشکیل لامینار، محصول فرایند افزایش متوالی کربنات‌ها است، که با تغییر رژیم رطوبتی، حرارتی و محلول شیمیایی در زمان طولانی‌تر شکل گرفته است، و خود معرف تغییر شرایط اقلیمی است (۷ و ۱۶).

۳. شواهد میکرومورفولوژی، شامل ساختمان توده‌ای در افق C2، ساختمان بلوکی، و نیز کلسیت سوزنی شکل پدوژنیک در افق 2Btkb

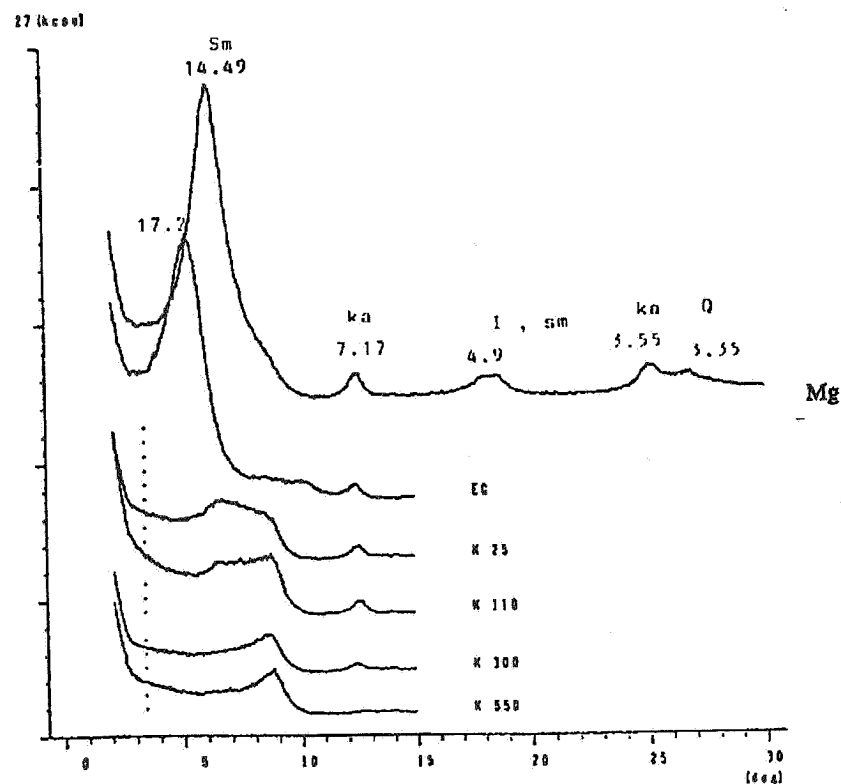
مکفادن و ولدون (۱۴)، افزایش ناگهانی رس و اکسید آهن را به تغییر اقلیم نسبت دادند. جساب (۱۱) نیز خاک‌های مدفون را در اثر تشکیل خاک با دوره‌های متناوب رسوب‌گذاری فرسایش و اقلیم مرطوب‌تر گذشته می‌داند.

ب) میزان بارندگی فعلی (۳۱۴ میلی‌متر) به حدی نیست که آبشویی کربنات‌ها از افق سطحی و تشکیل افق پتروکلیسیک در عمق زیرین را موجب گردد. هم‌چنین، حضور آرجیلان در افق Btk1 (شکل ۷)، و تجمع کانی‌های گروه اسمکتیت (شکل ۵)، و افزایش نسبت رس ریز به کل رس (جدول ۱) در افق Btk3 از خاک‌های فلات قدیمی، دلیل بر این است که آبشویی بیشتر در اقلیم گذشته این شرایط را فراهم آورده است.

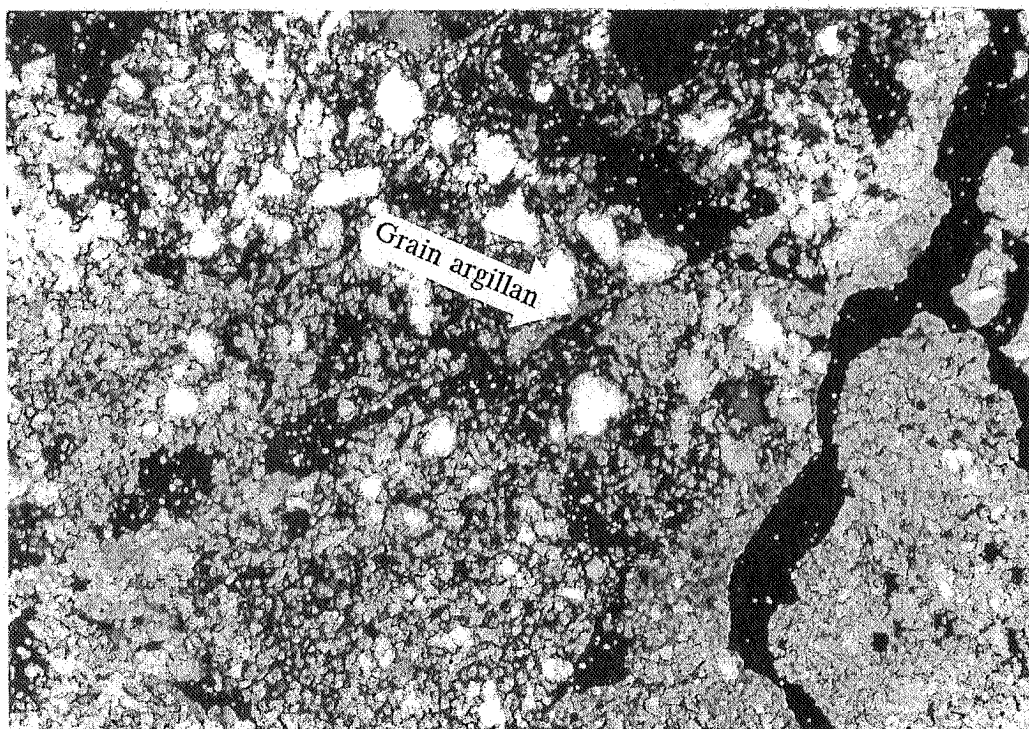
عدم مشاهده میکروسکوپی پوسته رسی (آرجیلان) در برخی خاک‌های این مناطق به دلیل آن است که بخشی از افزایش رس در اثر هوادیدگی در جا می‌باشد (۲۶)؛ و یا این که کربنات‌ها شدن و یا رشد بلورهای کلسیت ثانویه (۹)، یا فشار ناشی از انبساط کانی‌های اسمکتیت موجب شده



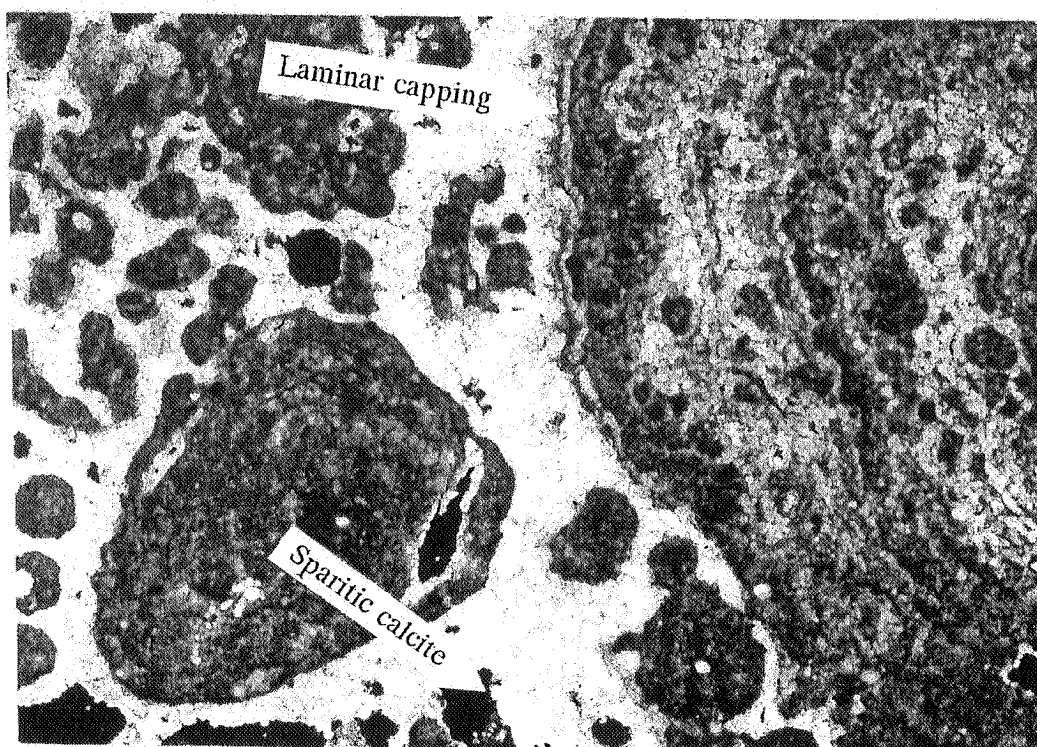
شکل ۵. دیفراکتوگرام اشعه ایکس رس ریز افق Btk3 پروفیل ۵ (اعداد روی نقاط فراز به آنگستروم)



شکل ۶. دیفراکتوگرام اشعه ایکس رس ریز افق Bk2 پروفیل ۱۱ (اعداد به آنگستروم)



شکل ۷. مقطع میکروسکوپی افق Btk1 پروفیل ۵، نور پلاریزه، طول عکس برابر ۲/۵ میلی متر (شکاف داخل ماسه سنگ از تخریب پوسته رسی یا آرجیلان جلوگیری نموده است).



شکل ۸. مقطع میکروسکوپی بخش مطبق (لامینار) افق Bkm پروفیل ۵، نور پلاریزه، طول عکس برابر ۲/۵ میلی متر [بخش لامینار (سمت راست)، توده های قهوه ای کروی و کلسیت اسپاریت با فابریک اسفرولیتیک را نشان می دهد].

ناحیه اقلیمی چلگرد

(فابریک اسکل سپیک).

خاک‌ها در واحد کوه (پروفل ۶) دارای افق آرچیلیک بوده، از تکامل خوبی برخوردارند (جدول ۲)، و به دلیل آب‌شویی زیاد، امکان تخریب کانی‌های کلریت و ایلیت و تشکیل کانی‌های مخلوط کلریت-اسمکتیت و ایلیت-اسمکتیت فراهم شده، موجب افزایش رس‌های گروه اسمکتیت و گنجایش تبادل کاتیونی خاک شده است. خاک‌های تراس بالایی (پروفل ۷)، به دلیل آهک زیاد، از تکامل ضعیف‌تر برخوردارند. گرچه وجود کربنات‌های ثانویه سوزنی شکل و کانی‌های رسی مخلوط در بخش رس، دلیل بر هوادیدگی این خاک‌ها است.

به تدریج که ارتفاع از تراس‌ها به سمت رودخانه کوه‌رنگ کمتر می‌شود، تجمع اسمکتیت بیشتر آشکار می‌شود، به گونه‌ای که در تراس میانی ۱، خاک ورتی‌سول تشکیل شده، و در تراس میانی ۲، پوسته رسی انتقال یافته از افق‌های رویی در سطح خاک‌دانه‌ها و به صورت پخش شده در متن (زمینه) خاک (Soil matrix) دیده می‌شود، و بیشتر به صورت پوسته‌های فشاری وجود دارد. در افق‌های مدفون زیرین، بقایای پوسته رسی، که منشأ رسوبی و انتقال یافته از محل دیگر را دارد، به صورت پاپول (Papule) است (شکل ۱۰). با افزایش فاصله از رودخانه کوه‌رنگ، در فلات قدیمی به دلیل تجمع رس‌های گروه اسمکتیت (شکل ۶)، خاک‌های ورتی‌سول تشکیل می‌شود (جدول ۲).

بررسی‌های مقطع نازک، نشان می‌دهد که پوسته‌های رسی اغلب تخریب یافته‌اند (در اثر رشد بلورهای کلسیت یا انقباض و انبساط رس‌ها)، به گونه‌ای که بقایای پوسته رسی به صورت پاپول ظاهر می‌گردد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در این خاک‌ها، آرچیلان عمدتاً به دلایل زیر دارای منشأ فشاری بوده و کمتر ایلوویال (انتقال یافته از سطح) هستند:

۱. ضخامت رس‌های انتقال یافته از سطح و جهت‌دار (آرچیلان ایلوویال) روی دیواره منافذ، کم بوده و یا در متن خاک پخش هستند (فابریک ماسپیک)، و یا به صورت لایه‌ای نازک، سطح ذرات درشت را احاطه کرده‌اند

۲. نسبت‌های رس ریز به کل رس در افق‌های رویی و زیرین، چندان اختلافی ندارند (جدول ۲).

۳. وقتی رس‌های انبساط‌پذیر در خاک زیاد است، در اثر خشک و مرطوب شدن، ذرات درشت چرخش نموده و کانی‌های رسی در اطراف ذرات درشت، جهت‌دار می‌شوند (۸).

بر پایه اطلاعات موجود، می‌توان گفت که احتمالاً تغییرات اقلیمی، زمان طولانی و پدیده بالاروی زمین‌نما در اثر فعالیت تکنونیک، بر تغییر خواص خاک تأثیر بسزایی داشته است. به عنوان مثال، وجود افق مدفون 2Btkb در پروفل ۹ (تراس میانی ۲) می‌تواند این آثار را منعکس کند. زیرا از یک سو، تغییر ناگهانی رنگ به سمت قرمز شدن (از 7.5YR به 2.5YR) و از سوی دیگر، افزایش میزان رس و آهن پدولوژیک (جدول ۲)، وجود کانی‌های رسی جهت‌دار با فابریک دایره‌ای و تغییر شکل یافته، که در متن خاک پخش می‌باشند، و وجود بقایای آرچیلان بنام پاپول (شکل ۱۰)، از شواهدی هستند که افق 2Btkb را مدفون نشان می‌دهند.

اسمک و همکاران (۲۳) در بررسی خاک‌های پالی زرال (Palexeralf) اسپانیا، وجود افق دارای هیوی قرمزتر از 10YR را در بخش زیرین سولوم خاک به هماتیت و منشأ پلی‌ژنتیک خاک‌ها نسبت دادند. این پژوهشگران، بخش زیرین را با دوره مرطوب‌تر پلیستوسن و بخش فوقانی را با اقلیم مدیترانه‌ای نیمه خشک زمان حاضر مرتبط دانستند. ری‌تالاک (۲۰) معتقد است که در خاک مدفون در پالئوسول‌ها، در اثر آب‌زدایی، فری‌هیدرات به گوتیت، و سپس به هماتیت تغییر می‌یابد. میکسنر و سینگر (۱۵) نیز در بررسی خاک‌های پالئوسول در کالیفرنیا با رژیم رطوبتی زیریک، نتیجه گرفته‌اند که در افق 2B2t، تغییر ناگهانی رنگ از 7.5YR به 2.5YR وجود داشته است، و نقش رسوب‌گذاری هم‌زمان را در این حالت مردود دانسته، ولی تغییر اقلیم را عامل مؤثر می‌دانند.

حال با توجه به این که اثر دراز مدت تشکیل خاک (زمان طولانی‌تر) نیز می‌تواند همانند نتایج پدولوژیک تغییر اقلیم

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، مورفولوژیک و طبقه‌بندی نیم‌رخ خاک‌های شاهد (ناحیه اقلیمی چلگرد)

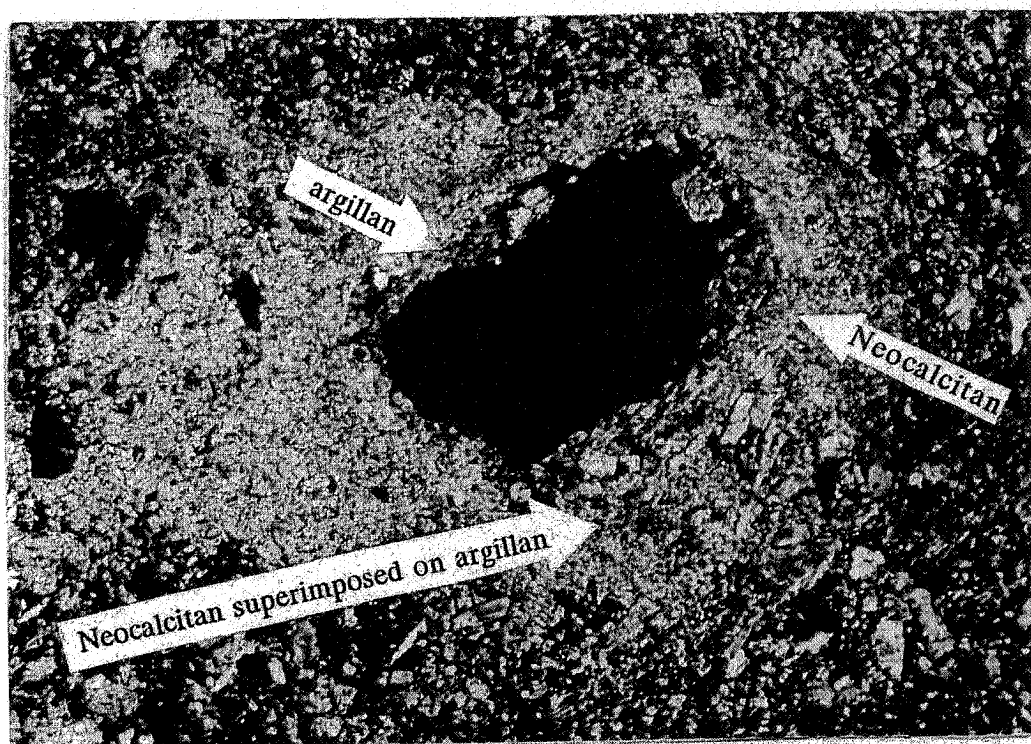
واحد فیزیوگرافی	نیم‌رخ خاک	افق	عمق (سانتی‌متر)	رنگ مرطوب	ساختمان	کربنات ثانویه	کربنات کلسیم معادل (%)	رس (%)
کوه	۶	A	۰-۲۲	10YR 3/3	2fgr	—	۳	۵۸
		Bw	۲۲-۴۰	10YR 4/3	2mabk	—	۱۲	۶۵
		B1	۴۰-۸۰	10YR 4/4	1(f-m)abk	—	۴	۷۳
		C	۸۰-۱۳۰	2.5YR 4/4	m	—	۲۰	۴۷
تراس بالایی	۷	Ap	۰-۱۸	7.5YR 3/4	1fgr	—	۲۱	۴۳
		Bk1	۱۸-۴۴	7.5YR 4/4	1fsbk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۵۲	۳۸
		Bk2	۴۴-۷۶	10YR 5/6	1fsbk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۶۰	۴۹
		Bk3	۷۶-۹۳	10YR 5.5/6	1fsbk-sbk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۵۸	۲۵
		2Bk4	۹۳-۱۰۱	7.5YR 5.5/6	1fsbk-m	آهک پودری و رشته‌ای به مقدار نسبتاً زیاد	۶۸	۹
		2BCK	۱۰۱-۱۳۰	10YR 5.5/4	1fsbk-m	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۶۵	۱۷
		2C	۱۳۰-۱۵۰	10YR 7/3	m	—	۷۵	۴
تراس میانی ^۱	۸	Ap	۰-۲۴	10YR 3/3	2fgr-sbk	—	۴	۵۳
		Bk	۲۴-۵۱	10YR 3/3	2mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۱۵	۴۹
		Btk	۵۱-۸۰	10YR 4/3	3mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۲۳	۴۲
		B'k	۸۰-۱۳۰	10YR 4/4	3mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۲۱	۴۵
تراس میانی	۹	Ap	۰-۱۸	10YR 3/4	1fgr-m	—	۳	۵۳
		Btk1	۱۸-۳۸	10YR 3/4	1(f-m)abk	آهک پودری خیلی کم	۱۸	۵۳
		Btk2	۳۸-۷۲	10YR 4/4	2mabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۲۵	۴۱
		Btk3	۷۲-۹۵	7.5YR 4/4	2mabk	آهک پودری و رشته‌ای به مقدار نسبتاً زیاد	۲۲	۴۵
		Btk4	۹۵-۱۲۴	7.5YR 4/4	2mabk	آهک پودری و رشته‌ای به مقدار نسبتاً زیاد	۲۴	۴۷
		2Btkb	۱۲۴-۱۵۰	2.5YR 3.5/6	2fabk-sbk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۲۶	۶۱
تراس پایینی	۱۰	A	۰-۲۵	10YR 3/4	1fsbk-m	—	۵۱	۲۲
		C1	۲۵-۷۴	10YR 5/4	m	—	۷۰	۹
		C2	۷۴-۱۰۰	10YR 5/4	m	—	۷۵	۱۰
فلات‌های قدیمی	۱۱	Ap	۰-۱۵	7.5YR 3/4	1vfgr	—	۱۲	۴۹
		Bk1	۱۵-۴۵	10YR 4/3.5	2fabk	آهک پودری به مقدار نسبتاً زیاد	۱۵	۴۷
		Bk2	۴۵-۸۵	10YR 3.5/4	2fabk	آهک پودری به مقدار زیاد	۲۰	۴۸
		Bk3	۸۵-۱۳۰	10YR 3.5/3	1vfabk	آهک پودری به مقدار زیاد	۲۰	۴۹
		Bk4	۱۳۰-۱۷۰	10YR 3.5/5	1vfabk	آهک پودری به مقدار زیاد	۲۱	۵۱/۵

۱. اسلیکنساید و خاک دانه‌های گوه‌ای شکل در عمق‌های ۹۰-۴۰ سانتی‌متری دیده شد.

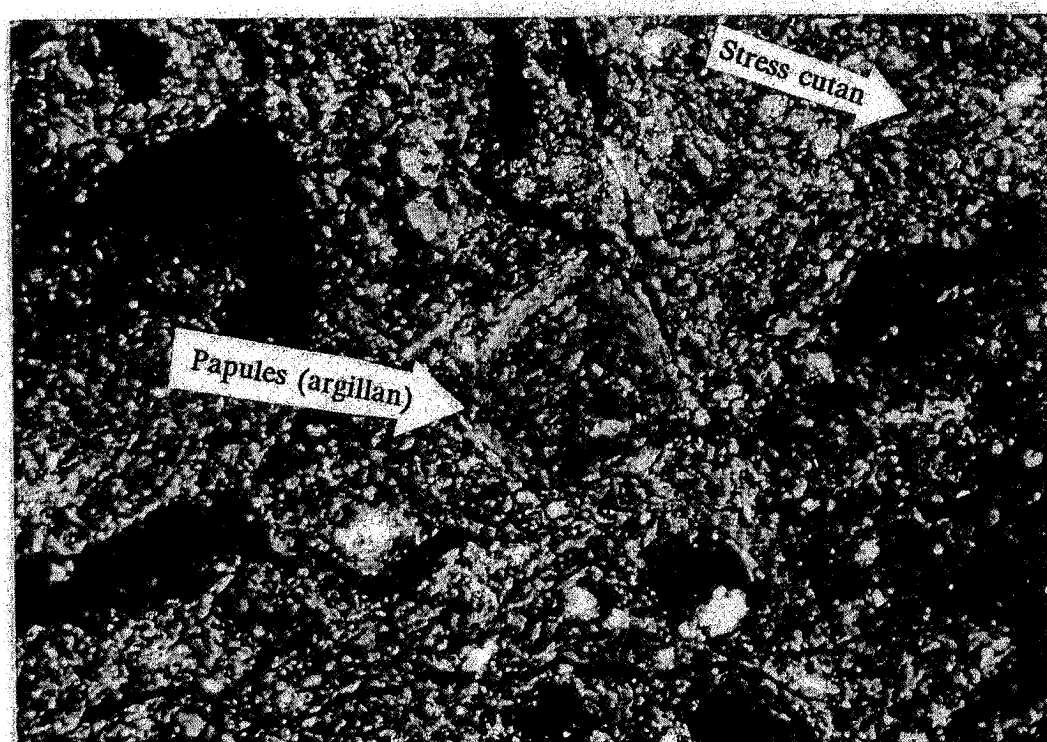
ادامه جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، مورفولوژیک و طبقه‌بندی نیم‌رخ خاک‌های شاهد (ناحیه اقلیمی چلگرد)

سیستم طبقه‌بندی (۱۹۹۸) (۲۵)	رس ریز کل رس	CEC cmol (+)kg ⁻¹	pH گل اشباع	Fe _d -Fe _o (%)	کربن آلی (%)	نیم‌رخ خاک	واحد فیزیوگرافی
Mollic Haploxeralfs	۰/۵۴	۴۶/۴	۷/۱	۲/۱۳	۳/۳	۶	کوه
	۰/۵۴	۴۵/۱	۷/۳	۱/۹	۱/۲		
	۰/۶	۴۹/۲	۷/۳	۱/۷۵	۱/۱۵		
	—	۴۳/۶	۷/۶	۱/۴۹	۰/۶۵		
Typic Calcixererts	—	۴۵/۴	۷/۵	۱/۱۶	۱/۵	۷	تراس بالایی
	—	۳۲/۷	۷/۶	۰/۷۷	۰/۸۸		
	—	۱۹/۳	۷/۹	۰/۴۵	۰/۵۶		
	—	۲۲/۲	۷/۸	۰/۴۳	۰/۳۸		
	—	۱۱/۶	۷/۹	۰/۴۳	۰/۰۷		
	—	۱۵/۸	۷/۹	۰/۴۲	۰/۰۶		
	—	۸/۴	۸	۰/۳۴	۰/۰۶		
Chromic Calcixererts	—	۴۵/۲	۷/۶	۱/۱	۱/۵۱	۸	تراس میانی ^۱
	—	۴۱/۷	۷/۶	۰/۸۲	۱/۵۱		
	—	۳۸/۶	۷/۷	۰/۶۱	۰/۳۹		
	—	۳۷/۶	۷/۶	۰/۴۴	۰/۳۴		
Calcic Haploxeralfs	۰/۶۴	۴۵/۳	۷/۶	۰/۹۳	۱/۳۹	۹	تراس میانی
	۰/۶۸	۴۱/۸	۷/۶	۰/۸۴	۰/۶		
	۰/۶۵	۳۶/۱	۷/۷	۰/۷۹	۰/۴۱		
	۰/۶۶	۴۲/۸	۷/۴	۰/۷۹	۰/۲۸		
	۰/۶۸	۴۰/۴	۷/۶	۰/۷۶	۰/۲۵		
	۰/۶۹	۵۱/۱	۷/۴	۱/۴۹	۰/۴۹		
Typic Xerorthents	—	۲۲/۹	۷/۴	۰/۶۲	۰/۷۸	۱۰	تراس پایینی
	—	۱۲/۲	۷/۷	۰/۱۵	۰/۲۷		
	—	۱۳/۸	۷/۷	۰/۱۵	۰/۲۶		
Chromic Calcixererts	—	۴۳	۷/۴	۰/۷۴	۰/۷	۱۱	فلات‌های قدیمی
	—	۴۲	۷/۵	۰/۶۸	۰/۳۲		
	—	۴۱/۵	۷/۵	۰/۶۶	۰/۲۶		
	—	۴۲	۷/۸	۰/۶۱	۰/۲		
	—	۴۶/۵	۷/۷	۰/۵۹	۰/۱۲		

۱. اسلیکنساید و خاک دانه‌های گوه‌ای شکل در عمق‌های ۴۰-۹۰ سانتی‌متری دیده شد.



شکل ۹. مقطع میکروسکوپی افق Btk پروفیل ۸، نور پلاریزه، طول عکس برابر ۰/۵ میلی متر
(نتوکلستیان روی آرجیلان و تخریب بخشی از آرجیلان را نشان می دهد.)



شکل ۱۰. مقطع میکروسکوپی افق 2Btkb پروفیل ۹، نور پلاریزه، طول عکس برابر ۰/۵ میلی متر
[آرجیلان با منشأ رسوبی (بایبول) و کوتان فشاری به صورت غالب را نشان می دهد.]

زردکوه، نشان می‌دهد که این منطقه از نظر تکتونیک فعال بوده است (۱۰). چون اختلاف ارتفاع تراس‌های بالایی و میانی، بیش از پنج متر است، تشکیل این تراس‌ها می‌تواند در اثر فعالیت تکتونیک نیز صورت گیرد (۱۰). گرچه بول (۶) معتقد است که گسل‌های موضعی ممکن است تراس‌هایی ایجاد نمایند که از نظر سن و خواص پدولوژیک مشابه، ولی از نظر خواص توپوگرافی متفاوت باشند، با وجود این، جرارد (۱۰) وجود خاک‌های پالئوسول را در مناطق فعال تکتونیک ممکن می‌داند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً تراس‌های منطقه مورد بررسی در ناحیه چلگرد، در اثر فعالیت تکتونیک و اقلیم گذشته مرطوب‌تر شکل گرفته، و با تغییر شیب از طریق فرسایش و رسوب‌گذاری، ویژگی‌های خاک‌ها تغییر نموده است.

باشد، این پرسش مطرح می‌شود که آیا تغییرات قرمزی افق 2Btkb در پروفیل ۹، در اثر زمان طولانی‌تر انجام شده، یا در اثر اقلیم، و یا هر دو؟ به نظر می‌رسد که هر دو عامل اقلیم و زمان در این‌جا نقش دارند. میزان Fe_0-Fe_2 (جدول ۲) در افق مدفون برابر $1/49$ ، ولی برای افق‌های Btk4 و Ap به ترتیب برابر $0/76$ و $0/93$ می‌باشد. مقدار Fe_0-Fe_2 آهن بلوری آزاد را نشان می‌دهد، و چون هرچه اکسید آهن بلوری در یک خاک بیشتر باشد سن آن خاک بیشتر است (۲۷)، می‌توان گفت که 2Btkb قدیمی‌تر است.

وجود تراس‌های رودخانه‌ای می‌تواند نظریه پیدایش خاک‌های پالئوسول در ناحیه اقلیمی چلگرد (تغییر اقلیم) و منشأ پلی‌زنتیک خاک‌ها را تقویت نماید. وجود تراس‌ها و بریدگی عمیق اطراف رودخانه و پیدایش گسل در اطراف

منابع مورد استفاده

۱. درویش‌زاده، ع. ۱۳۷۰. زمین‌شناسی ایران. نشر دانش‌آموز وابسته به مؤسسه انتشارات امیرکبیر، تهران.
۲. مهندسی مشاور یکم. ۱۳۶۷. مطالعات جامع احیا و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی حوزه آبخیز شمالی رود کارون. جلد‌های دوم، ششم، هشتم و چهارم. وزارت کشاورزی، معاونت طرح و برنامه، تهران.
3. Birkland, P. W. 1984. Soils and Geomorphology. Oxford University Press, New York.
4. Blume, H. P. and U. Schwertmann. 1969. Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe and Mn oxides. Soil Sci. Am. Proc. 33: 438-444.
5. Brewer, R. 1976. Fabric and Mineral Analysis of Soils. Krieger Publ. Co., Huntington, New York.
6. Bull, W. B. 1991. Geomorphic Response to Climatic Change. Oxford University Press, New York.
7. Buol, S. W. and S. B. Weed. 1991. Saprolite soil transformations in the piedmont and mountains of North Carolina. Geoderma 51: 15-28.
8. Drees, L. R. and L. D. Wilcing. 1987. Micromorphic record and interpretations of carbonate forms in the rolling plains of Texas. Geoderma 40: 157-175.
9. Ducloux, J., J. P. Delhoume, S. Petit and A. Decarreau. 1995. Clay differentiation in Aridisols of northern Mexico. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 269-276.
10. Gerrard, J. 1992. Soil Geomorphology. An integration of pedology and geomorphology. Chapman and Hall, London.
11. Jessup, R. W. 1960. Identification and significance of buried soils of Quaternary age in the southeastern portion of the Australian arid zone. J. Soil Sci. 11: 197-205.
12. Khan, F. A. and T. E. Fenton. 1996. Secondary iron and manganese distributions and aquic conditions in a Mollisol catena of central Iowa. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 546-551.
13. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1971. A procedure for particle size separations of soil for X-ray diffraction. Soil Sci. Am. J. 35: 621-626.

14. McFadden, L. D. and R. J. Weldon. 1987. Rates and processes of soil development on Quaternary terraces in Cajon Pass, California. *Geol. Soc. Am. Bull.* 98: 280-293.
15. Meixner, R. E. and M. J. Singer. 1981. Use of a field morphology rating system to evaluate soil formation and discontinuities. *Soil Sci.* 131: 114-123.
16. Monger, H. C. and H. P. Adams. 1996. Micromorphology of calcite-silica deposits, Yucca Mountain, Nevada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 519-530.
17. Moore, T. R. 1973. The distribution of Fe, Mn, and Al in some soils from northeast Scotland. *J. Soil Sci.* 24: 162-171.
18. Rabenhorst, M. C., L. T. West and L. P. Wilding. 1991. Genesis of calcic and petrocalcic horizons in soils over carbonate rocks. *In: Occurrence, Characteristics, and Genesis of Carbonate, Gypsum, and Silica Accumulations in Soils.* SSSA. Special Pub. N. 26, Madison, WI.
19. Reheis, M. C., J. M. Sowers, E. M. Taylor, L. D. McFadden and J. W. Harden. 1992. Morphology and genesis of carbonate soils on the Kyle canyon fan. *Geoderma* 52: 303-342.
20. Rettalack, G. J. 1990. *Soils of the Past. An introduction to paleopedology.* Boston, Unwin Hyman, London.
21. Rhodes, E. R. and P. M. Sutton. 1987. Active iron ratio of some soils from three physiographic units in Sierraleone. *Soil Sci.* 125: 326-327.
22. Ruhe, R. V. 1956. Geomorphic surfaces and the mature of soils. *Soil Sci.* 84: 441-455.
23. Smeck, N. E., J. Torrent and V. Barron. 1994. Interactions and weathering losses of iron and phosphorus in Palexeralfs of southern Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1723-1729.
24. Sobecki, T. M. and L. P. Willding. 1982. Calcic horizon distribution and soil classification in selected soils of the Texas Coast Prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1222-1227.
25. Soil Survey Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy.* 8th ed., USDA-NRCS, Washington, DC.
26. Timpson, M. E., S. Y. Lee, J. T. Ammons and J. E. Foss. 1996. Mineralogical investigation of soils formed in calcareous gravelly alluvium, Eastern Crete, Greece. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 299-308.
27. Walker, A. L. 1983. The effects of magnetite on oxalate and dithionite extractable iron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 1022-1026.