



دانشگاه گواران، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره ششم، ۱۳۹۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

مطالعه مورفولوژی و منشاء خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های آهکی در منطقه آق‌امام (شمال شرق استان گلستان)

* حسین تازیکه^۱، عباس پاشایی‌اول^۲، فرهاد خرمالی^۲ و شمس‌ا... ایوبی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد گروه علوم خاک،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

به منظور مطالعه منشأ و فرایندهای پدوژنیک خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های آهکی، خاک‌هایی با درصد شیب و موقعیت توپوگرافی متفاوت در ناحیه آق‌امام انتخاب گردیدند. نتایج حاصله از بررسی مقاطع نازک و پارامترهای ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که خاک‌های تشکیل شده تحت تأثیر شیب زیاد در موقعیت بالای شیب دارای تکامل اندک در حد تشکیل افق کمبیک بوده در حالی که خاک‌های موقعیت میانی شیب به علت پایداری بیشتر شیب ناشی از پوشش جنگلی، با تشکیل افق آرچلیک تحول و تکامل بیشتری را نشان می‌دهند. استفاده از شاخص ژئوشیمیایی نسبت Ti/Zr و نیز آنالیز توازن جرم نشان می‌دهد که خاک‌های بالای شیب به لحاظ منشا پلی ژنتیک می‌باشند به گونه‌ای که علاوه بر سنگ آهک زیرین، اضافه شدن رسوبات لسی به سطح خاک نیز در تشکیل این خاک‌ها دخالت نموده است. در حالی که خاک‌های موقعیت میانی شیب به لحاظ ماهیت ژنتیکی تحت تأثیر شدید لس‌ها تکامل یافته‌اند زیرا شیب کمتر این اراضی امکان استقرار مواد لسی را به خوبی فراهم نموده است. در همین راستا تکامل خاک‌های مناطق پست پای شیب تحت تأثیر فرایندهای ژئومورفیک بوده و فرآیندهای فرسایش و رسوب متناوب سبب تشکیل سه پروفیل بر روی هم در دوره‌های

* مسئول مکاتبه: htazikeh@yahoo.com

گوناگون گردیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل در جای خاک از سنگ‌های آهکی به‌ویژه زمانی که انواع تکامل یافته با سولوم عمیق آن بلافاصله بر روی براین سنگ‌ها قرار دارد، مورد تردید بوده و در این مواقع باید سایر مکانیسم‌ها از جمله اضافه شدن مواد به خاک از طریق فرایندهای ژئومورفیک و رسوبات بادی را نیز مورد توجه قرار داد.

واژه‌های کلیدی: تشکیل خاک، سنگ آهک، شاخص‌های ژئوشیمیایی، آنالیز توازن جرم، میکرومورفولوژی

مقدمه

یکی از جنبه‌های اساسی مطالعه خاک، بررسی چگونگی تشکیل آن از مواد مادری است. در میان سنگ مادرهای گوناگون، سنگ‌های آهکی از فراوان‌ترین سنگ‌های مادری تشکیل دهنده خاک می‌باشند زیرا بیش از سه‌چهارم سنگ‌هایی که در سطح زمین رخمون دارند و از آن‌ها خاک تشکیل می‌شود از نوع رسوبی بوده و سنگ‌های آهکی نیز از مهم‌ترین دسته از سنگ‌های رسوبی می‌باشند. تاکنون تئوری‌های گوناگونی درباره منشأ و ماهیت ژنتیکی خاک‌های تکامل یافته بر روی سنگ مادر آهکی توسط بسیاری از پژوهش‌گران ارائه شده است. مطابق نظریه مواد برجای مانده^۱ که توسط تعدادی از پژوهش‌گران پیشنهاد شده است، منشأ این خاک‌ها همان ناخالصی‌های موجود در سنگ آهک است (برونگر و همکاران، ۱۹۸۸). به عبارت دیگر این ناخالصی‌ها پس از تجزیه و انحلال سنگ آهک اسکلت غیرآهکی خاک را تشکیل می‌دهند (منشأ تشکیل برجا)^۲. با رسیدن به این واقعیت تاکنون گزارش‌های زیادی مبنی بر تشکیل خاک از ناخالصی‌های موجود در سنگ آهک ارائه شده است (برونگر و همکاران، ۱۹۸۸؛ برونگر و لاین، ۱۹۹۷؛ موری و مانگلی، ۱۹۸۸). اما ایراد اساسی که به این نظریه وارد می‌باشد این است که در بسیاری از موارد کمیت ناخالصی‌های موجود در سنگ آهک برای تشکیل چنین خاک‌هایی با بافت سنگین و ضخامت زیاد ناکافی است بر پایه همین اصل بسیاری از پژوهش‌گران پیدایش خاک براین باروند که غیر از ناخالصی‌های سنگ آهک مواد دیگری

1- Residual theory

2- Autochthonous origin

به صورت‌های مختلف در تکوین و تکامل این خاک‌ها مشارکت داشته‌اند (منشأ تشکیل نابرجا)^۱ (ماکلنود، ۱۹۸۰؛ اولسن و همکاران، ۱۹۸۰).

پژوهش‌های بسیاری نشان می‌دهد که رسوب‌گذاری بادی به‌ویژه رسوبات لسی به‌طور معنی‌داری در فرایند تشکیل این خاک‌ها نقش داشته است. (نیهلن و اولسن، ۱۹۹۵؛ یالون، ۱۹۹۷). (یالون و گانور، ۱۹۷۳) در بررسی تأثیر رسوبات بادی بر روند تکامل خاک‌ها با ارائه مثال‌های فراوانی از نقاط مختلف جهان اظهار داشتند که این تأثیر در گستره وسیعی از نواحی اقلیمی در دوره کواترنری رخ داده و ویژگی‌های بسیاری از خاک‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. مطالعه دیگری توسط یالون (۱۹۹۷) نشان می‌دهد که تقریباً تمامی خاک‌ها در ناحیه مدیترانه‌ای دارای تأثیری از رسوبات بادی در خاک‌رخ خود می‌باشند که می‌تواند حتی تا ۵۰ درصد بخش ریز آن‌ها را شامل شود.

(دلگادو و همکاران، ۲۰۰۳) در مطالعه نحوه تشکیل خاک‌های سرخ مدیترانه‌ای (ردوزرالف)^۲ منطقه سیراگادور در اسپانیا به مطالعه کانی‌شناسی این خاک‌ها و مواد مادری سنگ آهک و سایر مواد مادری محتمل در تشکیل این خاک‌ها از جمله رسوبات بادی اطراف پرداختند. آن‌ها با مطالعه مورفولوژی کوارتز (به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی SEM) و همچنین مطالعه پارامترهای کریستالوشیمیایی ناخالصی‌های سنگ آهک، خاک و رسوبات بادی نشان دادند که موادی به‌غیر از سنگ آهک نیز در تشکیل و تحول این خاک‌ها نقش داشته است که در این ناحیه رسوبات بادی صحراهای اطراف و نواحی ساحلی می‌باشند.

(دوران و همکاران، ۱۹۹۹) در بررسی منشأ خاک‌های سرخ مدیترانه‌ای در ناحیه استیریا در کرواسی با مطالعه کانی‌شناسی و آنالیز اندازه ذرات ناخالصی‌های سنگ آهک و خاک‌های حاصل و مقایسه آن‌ها با یکدیگر اظهار داشتند که در جزء رس خاک کانی‌هایی مانند ورمی‌کولیت و کائولینیت وجود دارد که در سنگ آهک موجود نیستند. از طرفی شرایط شیمیایی محلول خاک امکان تشکیل پدوژنیک این کانی‌ها را رد می‌کند. همچنین مطالعات ژئوشیمیایی و مقایسه اندازه ذرات خاک و ناخالصی‌های سنگ آهک نیز عدم شباهت بین خاک و سنگ آهک را تأیید می‌کند. آنان این نتایج را دلیلی بر دخالت سایر تشکیلات زمین‌شناسی موجود در منطقه مانند رسوبات لسی در تشکیل این خاک‌ها و بنابراین پلی‌ژنتیک بودن آن‌ها دانستند.

1- Allochthonous origin

2- Terra rossa, red mediterranean soils, Rodoxeralfs

(می و همکاران، ۲۰۰۴) در بررسی مشابهی در ایالت کاناوارا در جنوب استرالیا از روش‌های متعددی شامل آنالیز اندازه ذرات، تعیین نسبت ایزوتوپ‌های ۸۷ به ۸۶ عنصر استرانسیم و همچنین تعیین سن به روش OSL بهره جستند. آنان با مطالعه افق‌های مختلف این خاک‌ها و سنگ آهک زیرین و سایر مواد مادری دیگر موجود در منطقه که احتمال دخالت آن‌ها در تشکیل و تکامل این خاک‌ها وجود دارد و مقایسه آن‌ها با یکدیگر دریافتند که موادی غیر از سنگ آهک تا حد زیادی در تشکیل و تکامل این خاک‌ها دخالت داشته است.

(اولسن و همکاران، ۱۹۸۰) اظهار داشتند که مقدار ناخالصی‌های موجود در سنگ مادر آهکی خاک‌های تراروزا در ایالت ایندیانا ایالات متحده برای تشکیل چنین خاک‌های ضخیمی (متجاوز از ۵ متر) کافی نیست. آن‌ها در توضیح این مطلب منشاء این خاک‌ها را مواد کوه‌رفتی دانستند که از سطوح ژئومورفیک بالاتر حمل شده‌اند.

(بالاگ و رانگ، ۱۹۷۰) در ایالات متحده برای پی بردن به این موضوع که افق غنی از رس که بر روی سنگ آهک قرار گرفته است منشاء ته‌نشستی^۱ دارد یا این که رس‌ها مستقیماً در اثر هوازدگی سنگ بستر زیرین آزاد شده و تجمع یافته‌اند، از آزمایش‌های کانی‌شناسی رس و تعیین سن با رادیوکربن استفاده کردند. آن‌ها با مشاهده شباهت کانی‌شناسی زیادتر بین این افق و افق بالایی نسبت به سنگ آهک این شباهت را دلیلی بر ته‌نشستی بودن این رس‌ها دانستند. همچنین در تعیین سن کربن ۱۴ مرتبط با رس افق ته‌نشستی و آب‌شسته^۲ مشخص گردید که رس‌های موجود در افق غنی از رس نسبت به افق بالایی خود زودتر با مواد آلی کمپلکس شده‌اند که بیانگر آن است که این رس‌ها در افق سطحی خاک قرار داشته‌اند که بعد از کمپلکس شدن با مواد آلی شسته شده و به افق زیرین خود انتقال یافته‌اند.

(خرمالی و همکاران، ۲۰۰۳) در بررسی درجه تکامل افق‌های آرچیلیک در خاک‌های آهکی جنوب ایران با مطالعه مقاطع نازک بیان داشتند که در خاک‌هایی با درجه بالای تکامل آرچیلیک، در مقاطع نازک آن‌ها نواحی تهی شده از آهک فراوان است. در صورتی که در خاک‌هایی با درجه ضعیف تکامل افق آرچیلیک، مناطق تهی شده از آهک خیلی کم و یا اصلاً وجود ندارد. آن‌ها در مطالعه بر روی تعدادی دیگر از خاک‌ها با افق آرچیلیک ابتدایی بیان داشتند که در این خاک‌ها نیز با وجود کلسیم

1- Illuvial
2- Elluvial

کربنات قابل توجه به دلیل بافت سبک تر انتقال رس با سهولت زیادتر صورت پذیرفته است. همچنین بافت سبک تر اسکلت پایداری برای حفظ پوشش های رسی در این خاک ها ایجاد می کند.

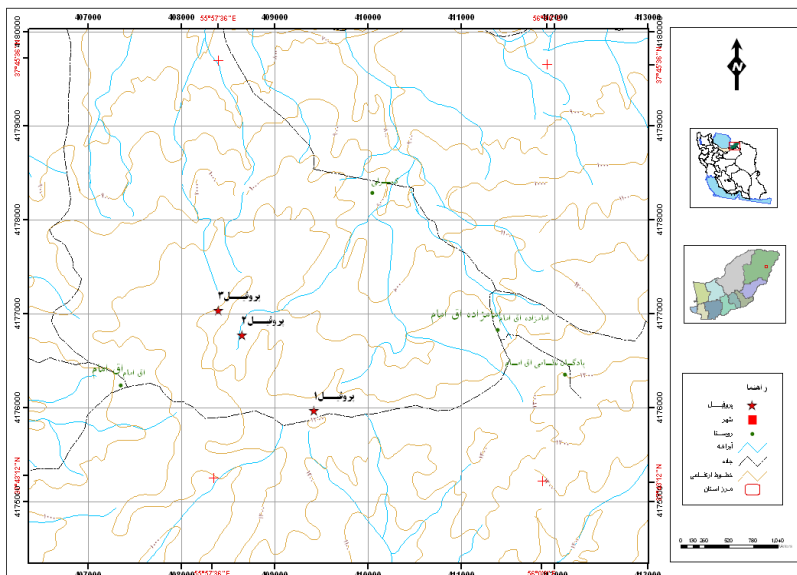
یکی دیگر از عواملی که بر سهولت تشکیل خاک از سنگ های آهکی اثر ویژه ای می گذارد نوع سنگ های آهکی است. هرچه یک سنگ آهک خالص تر، سخت و متبلورتر باشد فرآیند تخریب و تشکیل خاک از آن محدودتر است. در این میان ماسه سنگ های آهکی مساعدترین مواد برای آهک زدایی بوده و مارن ها نیز به دلیل آبیگری و آماس کردن مواد رسی خود با تخریب مکانیکی سریعی مشخص شده اند.

شناخت ویژگی های خاک برای مدیریت بهینه خاک ضروری بوده و از آن جایی که مواد مادری خاک مهم ترین عامل مؤثر بر ویژگی های خاک می باشد، این پژوهش به مطالعه مواد مادری خاک های منطقه آق امام می پردازد بنابراین اهداف اصلی این پژوهش عبارتند از: (۱) مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مورفولوژی خاک های تشکیل شده بر روی سنگ های آهکی در منطقه مطالعاتی و یافتن رابطه بین فرایندهای خاک ساز و تشکیل افق های شناسایی و (۲) بررسی منشاء این خاک ها به صورت مطالعه میزان نقش سنگ های آهکی و لس ها به عنوان مواد مادری محتمل در تشکیل خاک در قسمت های مختلف شیب.

مواد و روش ها

موقعیت و اقلیم: منطقه مورد مطالعه شامل اراضی شیب دار (۴۰-۵ درصد) واقع در شمال روستای آق امام در شمال شرق استان گلستان و متعلق به حوزه آبخیز آق امام بوده که خود یکی از زیرحوزه های گرگان رود است (شکل ۱). با استفاده از آمار ۲۵ ساله منطقه رژیم رطوبتی منطقه زریک و رژیم حرارتی آن مزیک می باشد.

پوشش گیاهی و زمین شناسی: پوشش گیاهی منطقه به صورت جنگل های پهن برگ و دست کاشت و مراتع بوده و به لحاظ زمین شناسی، شامل سنگ های آهکی و لایه های آهکی متعلق به کرتاسه و نیز لس ها به عنوان رسوبات دوران چهارم در ارتفاعات پایین تر می باشند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و خاک‌های منتخب در منطقه آق‌امام.

روش‌های آزمایشگاهی

ویژگی‌های مورفولوژی و طبقه‌بندی: تشریح کلیه خاک‌ها براساس راهنمای شناسایی خاک (۱۹۹۳) و طبقه‌بندی آن‌ها به روش آمریکایی (کلید تاکسونومی خاک، ۲۰۱۰) صورت پذیرفت. شیوه مطالعه: در مطالعات انجام گرفته در این منطقه خاک‌های سه موقعیت از شیب برای مطالعه انتخاب گردیده‌اند. این موقعیت‌ها به لحاظ درصد شیب و موقعیت آن‌ها در زمین‌نمای منطقه با هم متفاوتند و شامل مناطق شیب‌دار فوقانی^۱، مناطق کم شیب واقع در میانه شیب^۲ و مناطق پست پای شیب^۳ می‌باشند. بنابراین علاوه بر مطالعه تحولات ژنتیکی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکرومورفولوژی خاک‌های حفر شده، مطالعات ژئوشیمیایی جهت تعیین همبستگی بین مواد مادری آهکی و خاک‌های ناحیه و بررسی دخالت احتمالی مواد لسی انجام پذیرفت. در راستای این هدف مطالعات صحرایی شامل حفر خاک‌ها و نمونه‌برداری از افق‌های مختلف به همراه چند نمونه از سنگ

- 1- Steep upper slope
- 2- Sloping midslope
- 3- Foot slope

آهک منطقه و رسوبات لسی جهت آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی، تهیه مقاطع نازک و آنالیز تجزیه عنصری صورت گرفت.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی: برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری (دی، ۱۹۶۵)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی آهک با اسید (نلسون، ۱۹۸۲)، کربن آلی خاک با استفاده از روش اکسیداسیون‌تر، (والکلی و بلاک، ۱۹۳۴) و اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از روش چاپمن (۱۹۶۵) صورت پذیرفت. همچنین واکنش گل اشباع و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع آن نیز اندازه‌گیری شد.

تهیه مقاطع نازک و تشریح آن‌ها: برای مطالعات میکرومورفولوژی، بعد از نمونه‌برداری با قالب‌های استاندارد و هواخشک شدن، نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد توسط رزین پتروپاکسی اشباع شده و بعد از خشک شدن، برش داده شده و تا حد ۳۰ میکرون ساییده شدند. مقاطع به دست آمده توسط میکروسکوپ پلاریزان مدل Euromex با استفاده از دو نور ساده (PPL) و متقاطع (XPL) در بزرگ‌نمایی‌های (۱۰x) و (۴۰x) به شیوه بولاک و همکاران (۱۹۸۵) تشریح گردیدند.

آنالیز تجزیه عنصری: جهت انجام آنالیز تجزیه عنصری در بعضی افق‌های خاک‌رخ‌های واقع در موقعیت بالای شیب و میانه شیب به همراه یک نمونه از سنگ‌آهک غیرهوا دیده و رسوبات لسی ناحیه نمونه‌برداری شده و بعد از آسیاب نمونه‌ها تا حد استاندارد لازم و خشک‌کردن آن‌ها در حرارت ۶۰ درجه، نمونه‌ها با دستگاه آنالیز فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF) مدل BRUKER-S₄ برای تعیین درصد وزنی اکسید عناصر موجود تجزیه شدند. همچنین یک نمونه از سنگ مادر آهکی ناحیه تحت تأثیر تیمار با اسید کلریدریک نیم‌نرمال قرار گرفته و بعد از حذف جزء آهکی، ناخالصی‌های آن استخراج شده و بعد از خشک‌کردن آن در آون به طریق مشابه درصد وزنی اکسید عناصر موجود در آن تعیین گردید.

روش انجام و تفسیر آزمایش‌های تجزیه عنصری: مبنای استفاده از روش‌های تجزیه عنصر برای تعیین همبستگی بین مواد مادری و خاک‌ها براساس استفاده از غلظت عناصر شاخص است. عناصر شاخص به‌طورکامل غیرمتحرک بوده و در اثر هواپدگی در محیط خاک از دست نمی‌رود و به‌علت پایداری، می‌توان از آن به‌عنوان معرف حجم اولیه مواد مادری تشکیل دهنده خاک استفاده کرد (می و همکاران، ۲۰۰۴). در این مطالعه برای محاسبه همبستگی افق‌های مختلف خاک‌رخ‌های نام‌برده با

ناخالصی‌های سنگ آهک و رسوبات لسی (به‌عنوان مواد مادری احتمالی) از غلظت عناصر Ti و Zr به‌عنوان عناصر شاخص، استفاده گردیده است.

در اثر هوادیدگی حجم مواد مادری تغییر می‌کند. این تغییر حجم از تغییر میزان خلل و فرج و همچنین خروج عناصر محلول (مثل کربنات‌ها و...) در اثر فرایند هوادیدگی حاصل می‌شود. بر این اساس با دانستن غلظت عنصر شاخص با استفاده از چادویک و همکاران (۱۹۹۰) شاخص تغییر حجم^۱ حجم^۱ محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon_{i,w} = \left(\frac{P_p C_{i,p}}{P_w C_{i,w}} \right) - 1 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن $C_{i,w}$ و $C_{i,p}$ به‌ترتیب بیانگر غلظت عنصر شاخص در مواد مادری و مواد هوادیده (خاک) است. همچنین P_w و P_p نماینده وزن مخصوص ظاهری مواد مادری و خاک می‌باشد. اعداد مثبت و منفی شاخص تغییر حجم به‌ترتیب نشان دهنده رقیق‌شدن یا غنی‌شدن مواد حاصل از هوادیدگی از عنصر شاخص نسبت به مواد مادری است. همچنین با دانستن عامل تغییر حجم می‌توان مقدار هدررفت یا کسب عناصر متحرک در یک سیستم هوادیدگی را معین کرد. در همین راستا رابطه انتقال جرم^۲ توسط بسیاری از پژوهش‌گران برای این منظور به‌کار رفته است.

$$\tau_{i,w} = \frac{P_p C_{i,p}}{P_w C_{i,w}} (\varepsilon_{i,w} + 1) - 1 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن $C_{i,p}$ و $C_{i,w}$ بیانگر غلظت عنصر متحرک موردنظر در مواد هوادیده و مواد مادری است. مقادیر منفی به‌دست آمده برای $\tau_{j,w}$ نشانه رقت و مقادیر مثبت نشانه غنی‌شدن عنصر متحرک مورد نظر در هنگام هوادیدگی نسبت به مواد مادری است (نسبت به عنصر شاخص). به‌عنوان مثال در یک سیستم هوادیدگی پدزولی شدن هدررفت عناصر متحرک Al و Fe ($\tau_{Fe,w}$ و $\tau_{Al,w} < 0$) و غنی‌شدن عنصر متحرک Si ($\tau_{Si,w} > 0$) نشان داده می‌شود. اگر مواد مادری فرض شده برای یک خاک به‌طور واقعی مواد مادری آن نباشد یا این‌که علاوه‌بر آن مواد مادری دیگری نیز در تشکیل خاک دخالت کرده باشند، مقادیر هدررفت یا غنی‌شدن عناصر متحرک به‌دست آمده متناسب با نوع و شرایط هوادیدگی

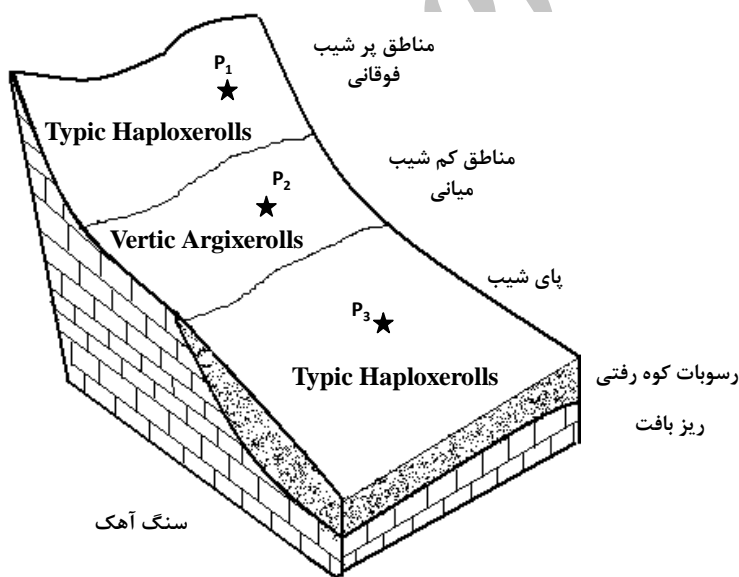
1- Volume change (Pedogenic strain)

2- Mass transport equation

حاکم بر خاکرخ نمی‌باشد و یا این‌که به‌صورت غیرمنطقی است. براین اساس می‌توان میزان همبستگی بین خاک و مواد مادری موردنظر را بررسی کرد.

نتایج و بحث

برای بررسی میزان تحول ژنتیکی خاک‌ها در این ناحیه خاک‌های تشکیل شده در سه موقعیت از فیزیوگرافی برای مطالعه انتخاب گردیدند که شامل خاک‌های مناطق پرشیب واقع در راس توپوگرافی (خاکرخ ۱)، خاک‌های تکامل یافته در میانه‌شیب با شیب کمتر (خاکرخ ۲) و در نهایت خاک‌های مناطق پایین دست پای‌شیب (خاکرخ ۳) می‌باشند برای مطالعه منشاء و تحول ژنتیکی این خاک‌ها، ابتدا به مطالعه مورفولوژی و فرایندهای پدوژنیک حاکم بر خاکرخ‌های منتخب پرداخته و سپس نحوه دخالت سنگ‌های آهکی و نیز سایر عوامل در تشکیل آن‌ها بررسی می‌شود.



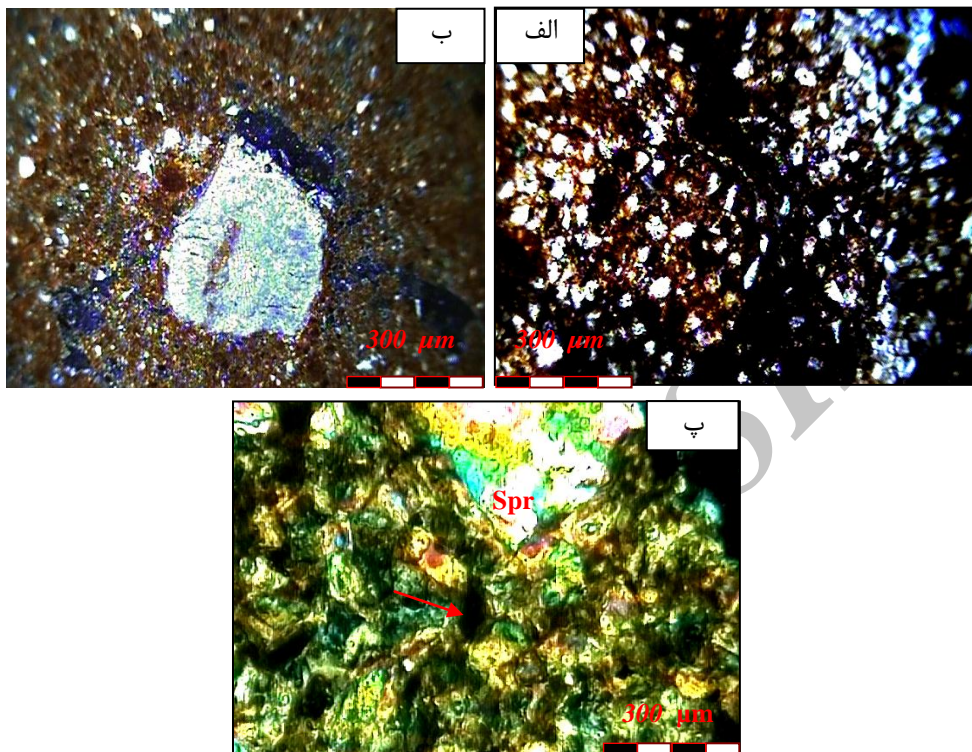
شکل ۳- طرح شماتیک از لندفرم منطقه مطالعاتی و موقعیت خاکرخ‌های منتخب در آن.

الف: ویژگی‌های مورفولوژی خاک‌ها

مناطق پرشیب فوقانی: بررسی تحول ژنتیکی خاک‌های این قسمت از فیزیوگرافی که تحت تأثیر پوشش جنگلی بر روی سنگ‌های آهکی تشکیل شده‌اند، نشان می‌دهد که به‌علت محدودیت ایجاد شده توسط توپوگرافی (شیب زیاد) این خاک‌ها دارای تکامل اندک و سولوم کم‌عمق (حدود نیم‌متر) می‌باشند. افق‌های مشخصه سطحی و زیرسطحی آن‌ها به ترتیب مالیک و کمبیک می‌باشد. افق سطحی نسبت به مواد مادری به دلیل هوادیدگی زیادتر دارای رس بیشتر و کربنات‌های کمتری بوده و اضافه شدن مواد آلی به آن به سبب وجود پوشش گیاهی مناسب و فعالیت بیولوژیک زیاد موجب تیره شدن خاک سطحی تا عمق قابل توجه و تشکیل اپی‌پدون مالیک گردیده است. افق کمبیک در بررسی صحرائی در مقایسه با مواد مادری با تشکیل ساختمان در آن و رنگ تیره‌تر (کرومای کمتر) مشخص شده است که علت اصلی آن اضافه شدن مواد آلی و فعالیت بیولوژیک زیاد به همراه اکسایش آهن آزاد شده از مواد مادری است. بررسی‌های میکرومورفولوژیک نشان می‌دهد، سنگ آهک زیرین دارای اکسیدهای آهن است (شکل ۴). در مطالعه مقاطع نازک، وجود بی‌فابریک کریستالی ناشی از وجود بلورهای آهک^۱ در تمامی قسمت‌های خاک‌رخ نشان دهنده شستشوی اندک و هوادیدگی ناچیز می‌باشد. همچنین بررسی مقاطع نازک افق کمبیک نشانه‌هایی از تحول را به صورت تشکیل ندول‌های معدود آهکی بیانگر تحول موضعی آهک به همراه تشکیل ریزساختمان^۲ نشان می‌دهد (شکل ۴).

1- Calcite crystallitic b- fabric

2- Microstructure

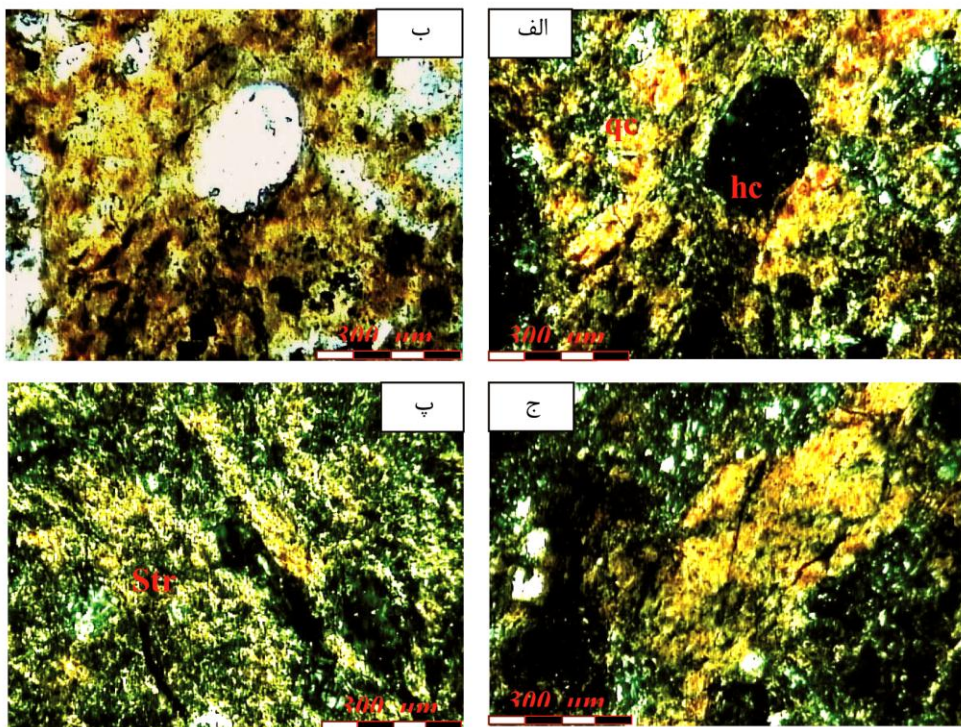


شکل ۴- تصاویر مقاطع نازک خاکرخ ۱ (*Typic Haploxeroll*).

الف: ریزساختمان گرانوله در افق A (40X. PPL) ب: ندول آهکی (n) در افق Bw و ج: سنگ آهک ناحیه با بلورهای کلسیت اسپاریتی (spr) و اکسیدهای آهن داخل آن. (فلش اکسیدهای آهن را نشان می‌دهد) (40X. XPL).

مناطق کم‌شیب میانی: خاک‌های تکامل یافته در این قسمت از شیب به‌علت پایداری زمین‌نما و شیب مناسب تکامل یافته‌ترین خاک‌های این ناحیه بوده و دارای افق سطحی مالیک و افق زیرسطحی آرجیلیک در عمق می‌باشند. افق مالیک دارای رنگ تیره و ساختمان دانه‌ای واضح بوده در حالی‌که هر چه از سطح به عمق نزدیک می‌شویم، هیوی خاک تغییر می‌کند به گونه‌ای که از هیوی 10YR در افق سطحی به 5YR در افق آرجیلیک (Btss) می‌رسد که نشانگر شدت فرایندهای هوازدگی و آزادسازی آهن و اکسیداسیون آن می‌باشد (رابیفیکاسیون). در مشاهدات صحرائی افق تجمع رس دارای

ساختمان منشوری و سطوح براق (اسلیکن‌ساید^۱) است. در مطالعه مقاطع نازک این افق، وجود چرخه‌های انبساط و انقباض به صورت شواهد میکرومورفولوژیک به صورت ترک‌های انقباضی^۲ به‌عنوان نوع غالب حفرات و نیز وجود بی‌فابریک خطی^۳، دیده می‌شود. مقادیر واکنش خاک در همه افق‌ها قلیایی ضعیف بوده و مقدار رس و آهک از سطح به عمق افزایش می‌یابد (جدول ۱).



شکل ۵- تصاویر مقاطع نازک خاکرخ ۲.

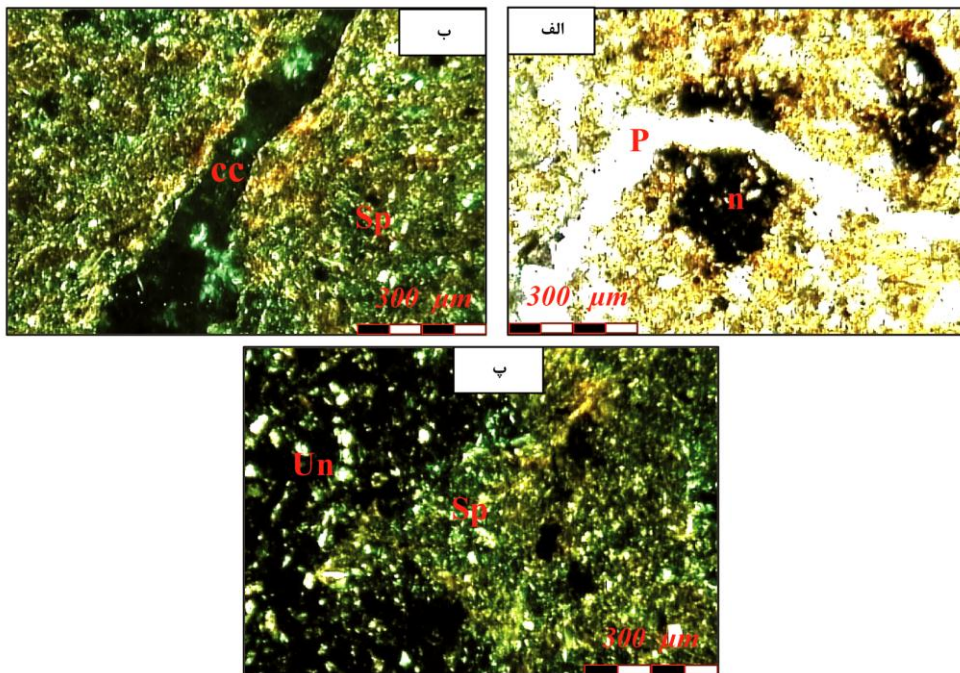
الف و ب: هیپو و کوازی کوتینگ رس در افق Btss (الف: XPL و ب: PPL, 50X). پ: بی‌فابریک خطی (Str) در افق Btss (50X, XPL). ج: پوشش رسی محصور شده در داخل زمینه (cc) (50X, XPL).

- 1- slickenside
- 2- Planes
- 3- Striated b- fabric

بررسی میکرومورفولوژیک سولوم خاک بیانگر آن است که به سبب شدت آب شویی، آهک از زمینه خاک تخلیه گردیده به گونه‌ای که وجود زمینه‌ای تهی از آهک و ظهور بی‌فابریک لکه‌ای^۱ و خطی^۲ این فرایند را تأیید می‌کند (شکل ۵). پی‌آمد خروج آهک از زمینه خاک، شرایط برای شستشو و انتقال رس به خوبی فراهم شده که در مطالعه مقاطع نازک وجود شواهد انتقال رس به خوبی مشخص است. مطالعه پدوفیچرهای رسی^۳ در این افق نشان می‌دهد که این پدوفیچرها در سطوح حفرات تشکیل نشده بلکه به شکل هیپو و کوازی کوتینگ‌های^۴ رس در مجاورت سطوح بعضی حفرات به همراه تکه‌های پوشش‌های رسی (پاپیل‌ها^۵) در داخل زمینه خاک دیده می‌شوند (شکل ۵). سطوح حفرات در افق‌های آرجیلیکی که چرخه‌های انبساط و انقباض در آن‌ها وجود دارد، ناپایدار بوده و این فرایند مانع تشکیل پوشش‌های رسی در سطح حفرات می‌شود (نتلتون و همکاران، ۱۹۶۹). بنابراین باتوجه به مقدار فراوان رس به‌ویژه از نوع انبساط‌پذیر به‌همراه فصول خشک و مرطوب (حاکمیت رژیم رطوبتی زیریک) که موجب چرخه‌های متناوب انبساط و انقباض در این افق می‌شود، نبود پدوفیچرهای رسی در سطوح حفرات و وجود آن‌ها در زمینه خاک قابل توجیه است.

مناطق پست پای‌شیب: فرآیند تشکیل و تکامل خاک در این موقعیت از توپوگرافی به شدت تحت تأثیر فرایندهای ژئومورفیک است. به دلیل اضافه شدن مداوم رسوبات از بالادست به این موقعیت، مواد انباشته شده فرصت چندانی برای تکامل پیدا نکرده به گونه‌ای که در بعضی دوره‌ها که سرعت انباشتگی رسوبات از سرعت فرآیندهای پدوژنیک پیشی می‌گیرد، موجب دفن شدن خاکرخ در زیر رسوبات جدید می‌گردد. به همین دلیل در این ناحیه با سه خاکرخ مواجه هستیم که به صورت واحدهای پدوژنیک روی هم قرار گرفته‌اند. از این سه واحد، خاکرخ میانی و فوقانی هر دو روی مواد کوه‌رفتی سنگین بافت تشکیل شده و دارای افق Bw با تکامل ابتدایی می‌باشند. اضافه شدن مواد آلی که توسط جریان‌های سطحی از بالادست به این ناحیه حمل شده‌اند، به تشکیل اپی‌پدون مالیک ضخیم^۶ در خاکرخ زیرین (افق 3Ab) کمک نموده است.

-
- 1- Speckled b- fabric
 - 2- Striated b- fabric
 - 3- Clayey pedofeature
 - 4- Hypo and quasi coatings of clay
 - 5- papules
 - 6- Pachic epipedon



شکل ۶- تصاویر مقاطع نازک خاکرخ ۳.

الف: خلل و فرج انقباضی (P) و ندول آهن (n) که تحت تأثیر خصوصیات انبساط و انقباض خاک قرار گرفته است (40X. PPL). ب: پوشش‌های رسی (cc) و بی فابریک لکه‌ای (sp) در افق 3Btb خاکرخ مدفون (40X. XPL). پ: تصویر مقطع نازک از نمونه برداشته شده در حد مرز افق‌های مدفون 2A و 2Bw. بی فابریک نامشخص (un) افق 2A و بی فابریک لکه‌ای (sp) افق مدفون 2Bw. (40X. XPL).

بررسی سه خاکرخ تشکیل شده بر روی هم در موقعیت پای شیب نشان می‌دهد که درجه تکامل کم خاکرخ میانی و فوقانی بیانگر فرصت اندک این خاک‌ها برای تکامل قابل توجه و تشکیل افق‌های زیرسطحی می‌باشد. بررسی مقاطع نازک این خاکرخ‌ها بیانگر وجود زمینه‌ای تهی از آهک است که از غیرآهکی بودن رسوبات پدید آورنده‌ی آن‌ها منشاء می‌گیرد. همچنین بررسی مقاطع نازک خاکرخ‌های فوقانی و میانی نشانه خاصی از تحول پیشرفته مانند انتقال رس را نشان نمی‌دهند. تنها خاکرخ تحتانی پوشش‌های رسی مبنی بر شواهد انتقال رس و تکامل افق آرچیلیک را نشان می‌دهد. مطالعه مقاطع نازک افق آرچیلیک مدفون خاکرخ تحتانی (3Bt) نشان دهنده آب‌شویی و انتقال رس به صورت

تشکیل پوشش‌های رسی در مجاورت سطوح حفرات می‌باشد (شکل ۶). همچنین وجود ندول‌های فراوان آهن و منگنز در زیر مقاطع نازک (شکل ۶) نشانه‌ای از وجود شرایط هیدرومورفی ضعیف بوده که وجود این شرایط به دلیل موقعیت ویژه این خاکرخ در پای شیب قابل انتظار می‌باشد. دورن و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی منشأ خاک‌های سرخ مدیترانه‌ای در استریا، خاک‌های مدفون تشکیل شده در فرورفتگی‌های کارستی که فرایندهای فرسایش و رسوب در تشکیل آن‌ها دخالت داشته‌اند را کمپلکس خاک- رسوب می‌نامند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های مورفولوژی، فیزیکوشیمیایی و طبقه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه.

افق	عمق	رنگ (مرطوب)	ساختمان	رس درصد	سیلت درصد	شن درصد	هدایت الکتریکی (EC) dS. m ⁻¹	واکنش (pH)	کربن آلی (OC) درصد	کلسیم معادل (CCE) درصد	کربنات ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) Cmol(+). Kg ⁻¹
Fine-loamy, Carbonatic, mesic, Typic Haploxerolls											
A	۰-۱۵	10YR 3/2	3fabk	۲۸	۳۶	۳۶	۱	۷/۴	۳/۵	۶	۲۸
AB	۱۵-۳۰	10YR 3/2	3mabk	۲۹	۳۴	۳۷	۰/۹	۷/۴	۳/۵	۱۱/۵	۲۵
Bw	۳۰-۴۵	10YR 4/3	1msbk	۲۱	۲۴	۵۵	۰/۹	۷/۴	۱/۱	۲۳/۵	۱۵
C _r	۴۵-۸۰	10YR 6/3	m	۱۰	۱۳	۷۷	۱/۵	۷/۴	۰/۱	۶۰	۱۰
Fine, vermiculitic, mesic, Vertic Argixerolls											
A	۰-۳۰	10YR 3/1	3fsbk	۴۲	۳۸	۲۰	۱/۲	۷/۶	۲	۶	۴۹
Bt	۳۰-۵۵	5YR 4/2	3mabk	۵۸	۳۱	۱۱	۰/۶	۷/۴	۰/۹	۴	۵۵
Btss	۵۵-۸۰	5YR 4/2	3mpr	۶۹	۱۱	۲۰	۰/۶	۷/۶	۰/۳	۱۰/۵	۷۵
Cr1	۸۰-۱۱۰	10YR 6/4	m	۲۲	۱۱	۶۷	۱/۸	۷/۵	۰/۳	۱۵	۱۳
Cr2	۱۱۰-۱۵۰	10YR 6/3	m	۱۱	۱۲	۷۷	۳/۲	۷/۴	۰/۲	۱۰/۵	۱۲
Fine, mixed, superactive, mesic, Typic Haploxerolls											
A	۰-۳۰	10YR 3/1	3mcr	۳۸	۴۸	۱۴	۰/۹	۷/۶	۳/۳	۷/۵	۵۵
Bw	۳۰-۴۶	7.5YR4/3	2fabk	۴۳	۴۹	۸	۰/۹	۷/۶	۰/۶	۷/۵	۵۰
2A	۴۶-۶۰	10YR 3/1	3mcr	۴۲	۵۴	۴	۱/۵	۷/۷	۳/۵	۶	۵۸
2Bw	۶۰-۶۶	7.5YR 5/3	2fabk	۴۴	۵۲	۴	۱/۵	۷/۴	۰/۵	۷	۴۳
3Ab1	۶۶-۱۰۰	10YR 3/2	3mabk	۳۶	۵۳	۱۱	۱/۲	۷/۳	۱/۸	۵	۴۵
3Ab2	۱۰۰-۱۶۰	10YR 3/2	3mabk	۳۵	۵۱	۱۴	۱/۲	۷/۶	۱/۵	۷/۵	۴۱
3Btb	۱۶۰-۱۹۰	7.5YR 4/5	3cpr	۴۴	۴۵	۱۱	۰/۲	۷/۷	۰/۵	۶	۴۸
RC	۱۹۰<										

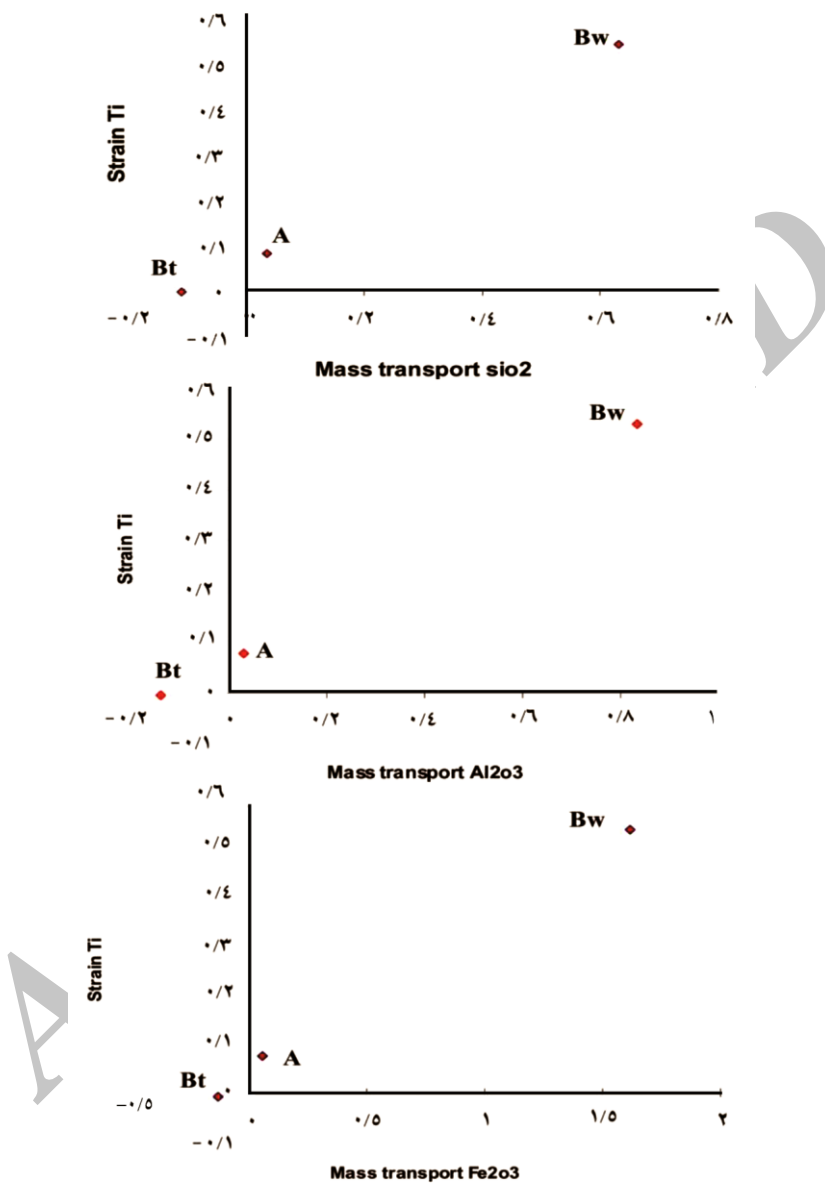
ب: مطالعات ژئوشیمیایی

تخمین میزان تخریب سنگ آهک: اگر سنگ آهک ماده مادری واقعی این خاک‌ها باشد، میزان سنگ‌آهکی که باید هوادیده شود تا خاک‌هایی با مشخصات ذکر شده به‌وجود آید قابل محاسبه است. مطابق روش ارائه شده توسط (اولسن و همکاران، ۱۹۸۰) متغیرهای لازم برای محاسبه شامل وزن مخصوص ظاهری خاک و سنگ آهک و نیز میزان ناخالصی‌های سنگ آهک (بدون کربنات) می‌باشد. براین اساس میزان وزن مخصوص به‌دست آمده برای سنگ آهک ناحیه آق‌امام برابر $2/6$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میزان ناخالصی‌های آن 32 درصد محاسبه گردیده است. یعنی در هر سانتی‌متر مکعب سنگ آهک $0/8$ گرم ناخالصی وجود دارد که از آن خاک به‌وجود می‌آید. در خاکرخ 2 (*Argixeroll*) برای افق *Btss* با کم کردن درصد آهک از وزن واحد حجم آن معلوم می‌شود که هر سانتی‌متر مکعب آن شامل $1/6$ گرم خاک بدون آهک است به‌همین نسبت مقدار سنگ آهک لازم برای تولید افق 25 سانتی‌متری *Btss*، 47 سانتی‌متر است. به‌طریق مشابه مقدار سنگ آهک لازم برای تولید کلیه افق‌های این خاکرخ $132/4$ سانتی‌متر محاسبه می‌شود. به‌همین روش مقدار سنگ لازم برای تولید سولوم 45 سانتی‌متری خاکرخ 1 (*Haploxeroll*) برابر 76 سانتی‌متر است. روش دقیق‌تر ارائه شده توسط (می و همکاران، ۲۰۰۴) بر مبنای استفاده از غلظت عنصر شاخص در مواد حاصل از هوادیدگی خاک و سنگ مادر است. براین اساس با استفاده از رابطه 1 با داشتن غلظت عنصر شاخص در سنگ آهک دست‌نخورده (بدون تیمار با اسید) و خاک و در نظر گرفتن وزن مخصوص میانگین خاک و سنگ مادر شاخص تغییر حجم به‌دست می‌آید. براین مبنای مقدار این شاخص برای خاکرخ *Argixeroll* برابر $0/4$ محاسبه می‌شود. این بدان معنی است که حدود 60 درصد حجمی سنگ به خاکی با مشخصات این خاکرخ تبدیل می‌شود که مجموعاً برای تولید سولوم این خاک باید $133/3$ سانتی‌متر سنگ آهک هوادیده شود که با مقدار به‌دست آمده توسط روش روهی و اولسن (برابر $132/4$) تفاوتی ندارد. با محاسبه مشابه برای خاکرخ *Haploxeroll* تخمین مقدار تخریب سنگ آهک برابر 48 سانتی‌متر به‌دست می‌آید که نسبت به مقدار 76 سانتی‌متر ارائه شده توسط روش اول متفاوت است و منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد.

تخریب و هوادیدگی این مقدار سنگ آهک برای تولید این خاک‌ها از سنگ آهکی با این مشخصات دور از ذهن نیست و امکان‌پذیر می‌باشد. در بسیاری از موارد توسط پژوهش‌گران

محاسبه‌ای این چنینی تصور غیرواقعی از تشکیل درجای خاک از سنگ‌آهک را نمایان ساخته است. به‌عنوان مثال (می و همکاران، ۲۰۰۴) در بررسی مشابه روی خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ آهک در استرالیا مقدار تخریب سنگ لازم برای تولید ۱/۵ متر خاک را ۲۴/۵ (متر و ماکلود، ۱۹۸۰) این مقدار را ۱۳۰ متر برای تولید ۴۰ سانتی‌متر خاک برآورد کردند که در هر روی این موارد درجه خلوص سنگ آهک فوق‌العاده بالا بوده است.

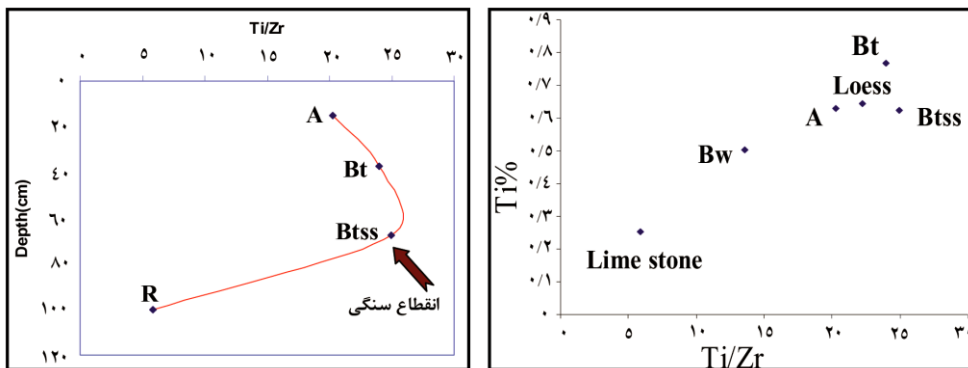
نسبت Ti/Zr ، آنالیز توازن جرم^۱: نسبت Ti/Zr (و نسبت‌های مشابه برای عناصر غیرمتحرک مثل Zr/Nb) سابقاً به‌عنوان شاخصی برای تعیین همبستگی ژنتیکی بین خاک‌ها و مواد مادری آن‌ها به‌کار رفته است. دیکسون و اسکات (۱۹۹۸) از این شاخص برای تشخیص تأثیر رسوبات بادی بر تشکیل خاک‌های فسیل استفاده کردند. براین اساس محاسبه نسبت یاد شده در خاک‌های *Haploixeroll* و *Argixeroll* (به‌ترتیب در موقعیت‌های میانه شیب و بالا شیب) نشان می‌دهد که در افق‌های مختلف خاک‌های *Argixeroll* تغییرات این نسبت با عمق خاک چندان قابل توجه نیست و تقریباً از روند ثابتی پیروی می‌کند. در حالی‌که در مرز بین خاک و سنگ آهک این نسبت به یکباره کاهش چشمگیری می‌یابد (حدود ۲۰ واحد). این تغییرات بیانگر عدم همبستگی بین خاک و سنگ مادر زیرین آن است. درحالی‌که با مقایسه این نسبت بین این افق‌ها و لس‌ها، شباهت قابل توجهی به چشم می‌خورد که نشانه دخالت قابل ملاحظه لس‌ها در تشکیل این خاک‌هاست. همچنین محاسبه توازن جرم برای SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 (سیلیس، آلومین و اکسید آهن) براساس تغییر غلظت عنصر شاخص Ti با استفاده از رابطه ۲ (معادله انتقال جرم) نشان می‌دهد که چنانچه ناخالصی‌های سنگ آهک به‌عنوان ماده مادری خاک فرض شوند، تغییرات این عناصر در روند هوادیدگی برای افق آرچیلیک برابر ۳۹ درصد غنی شدن برای سیلیس و به‌ترتیب ۴۱ و ۸۳ درصد هدررفت برای آلومین و آهن است. روند مشابه برای افق سطحی به‌صورت ۶۸ درصد غنی شدن سیلیس و همچنین ۳۰ و ۷۷ درصد هدررفت برای آلومین و اکسید آهن است. با در نظر گرفتن میزان هوادیدگی این خاک‌ها، این میزان هوادیدگی که منجر به خروج آهن و آلومین و افزایش درصد سیلیس تا این مقدار شود.



شکل ۷- نمودار تغییرات غلظت سیلیس، آلومین، اکسید آهن ($T_{i,w}$) نسبت به حالتی که لس‌ها به‌عنوان ماده مادری فرض شوند. A و Bt افق‌های خاک‌رول دوم (Argixeroll) و Bw افق کمییک خاک‌رول اول (Haploxeroll) است. محور عمودی ($\epsilon_{Ti,w}$) شاخص تغییر حجم نسبت به عنصر تیتانیوم (Pedogenic Strain) است.

حتی در محیط هوادیدگی پدزولی شدن نیز مشکل است. بنابراین دخالت سنگ‌های آهکی در تشکیل این خاک‌ها یا اصلاً وجود ندارد یا اگر هم وجود دارد در حد خیلی کم است. به هر حال عدم دخالت کامل آن رد نمی‌شود. از سوی دیگر اگر لس‌ها به‌عنوان مادهٔ مادری این خاکرخ فرض شوند، محاسبه تغییرات سیلیس و آلومین و اکسید آهن برای افق سطحی شامل ۳ درصد غنی شدن برای سیلیس و آلومین و ۶ درصد برای اکسید آهن است. تحقق این میزان هوادیدگی برای وقوع پیوستن این روند با توجه به میزان هوادیدگی این خاکرخ (شامل خروج آهک که قبلاً بحث شده است) امری منطقی و قابل پیش‌بینی است. در واقع خروج نمک‌های محلول و آهک در اثر آب‌شویی حاکم بر این خاکرخ و خروج عناصر پرتحرک مثل کلسیم، منیزیم، سدیم و... باعث افزایش درصد وزنی عناصر کم‌تحرک سیلیس، آلومین و آهن در این خاک می‌شود. شباهت زیاد نسبت Ti/Zr افق سطحی با لس‌های این ناحیه نیز دلیل دیگری بر نقش آن‌ها در تشکیل افق سطحی این خاکرخ است.

در پذیرفتن لس‌ها به‌عنوان تنها ماده مادری دخالت‌کننده برای افق زیرسطحی آرگیلیک، میزان تغییرات سیلیس، آلومین و آهن به‌ترتیب برابر ۱۱، ۱۴ و ۱۳ درصد هدررفت این عناصر است که نسبت به تغییرات مشابه برای افق سطحی تغییرات زیادتری را نشان می‌دهد. به بیان دیگر برخلاف افق سطحی هم‌بستگی کاملی بین این افق و لس‌ها وجود ندارد. چنانچه قبلاً بحث شد سنگ‌های آهکی نیز نمی‌توانند منشاء کامل تشکیل این افق باشند و با توجه به این که نسبت Ti/Zr در این افق بسیار نزدیک‌تر به لس‌ها است (حدود ۲/۶ واحد اختلاف) تا به سنگ آهک (حدود ۱۹ واحد اختلاف)، بنابراین نتیجه می‌شود که طبیعت آن خیلی بیشتر به لس‌ها شبیه است و سنگ آهک در حد کمی روی آن تأثیر گذاشته است که پذیرفتن این موضوع با توجه به تماس مستقیم این افق با سنگ آهک دور از ذهن نیست.



شکل ۸- الف: نمودار مقایسه نسبت $\frac{Ti}{Zr}$ در برابر درصد وزنی Ti در خاکرخ ۱ (Bw) و خاکرخ ۲ (A, Bt) با ناخالصی‌های سنگ آهک و مواد لسی ب: نمودار تغییرات عمقی $\frac{Ti}{Zr}$ در خاکرخ ۲.

در بررسی مشابه برای خاکرخ موقعیت بالای شیب (*Haploxeroll*) نسبت Ti/Zr برابر $13/6$ نه به سنگ‌های آهکی و نه به لس‌ها نزدیک است بلکه بین آن‌ها قرار دارد که دلیلی بر دخالت هم‌زمان هر دوی این مواد در تشکیل این خاکرخ می‌باشد (پلی ژنتیک است). شاهدهی دیگر برای این که هیچ‌کدام از مواد مادری نام‌برده به‌طور جداگانه و کامل منشاء این خاکرخ نیستند این است که چنانچه ناخالصی‌های سنگ‌آهک به‌عنوان ماده مادری این خاکرخ در نظر گرفته شود مقدار 165 و 24 درصد غنی شدن برای سیلیس و آلومین و 45 درصد هدررفت برای اکسید آهن باید رخ دهد تا خاکرخ نام‌برده به‌وجود آید. محاسبه مشابه برای لس‌ها به‌عنوان ماده مادری شامل 63 ، 83 و 160 درصد غنی شدن برای سیلیس آلومین و آهن است که هم مقدار این اعداد و هم روند تغییر آن‌ها نسبت به هم با در نظر گرفتن نحوه هوادیدگی خاک‌ها غیرمنطقی است. بنابراین نتایج نام‌برده نشان می‌دهد که میزان دخالت رسوبات بادی لسی در تشکیل خاک‌های اراضی میانه شیب بسیار زیادتر از اراضی شیب‌دار بالادست می‌باشد که دلیل اصلی آن یکی شیب کمتر این اراضی و دیگری موقعیت آن‌ها در فیزیوگرافی منطقه است که امکان دریافت مواد لسی چه از طریق باد و چه از طریق جریان‌ات سطحی منشاء گرفته از بالا دست شیب برای آن‌ها فراهم است.

جدول ۲- نتایج XRF نمونه‌های منتخب از خاکرخ‌های اول و دوم، منطقه و ناخالصی‌های سنگ آهک ناحیه آق‌امام.

Loess	IR	Bt	Bw	A	درصد وزنی
۴۸/۳۴	۸۳/۴۴	۵۳/۵۷	۵۴/۵	۵۲/۷	SiO ₂
۱۲/۱۶۷	۸/۸۸	۱۳/۵	۱۲/۳۳	۱۳/۳۳	Al ₂ O ₃
۲/۴۵۴	۳/۲۴	۳/۰۸۷	۲/۷۵	۲/۸۸	K ₂ O
۴/۹۸۳	۱/۱۲	۵/۵۱	۳/۵۲	۴/۹۸	Fe ₂ O ₃
۱۴/۸۱۲	۰/۱۷۵	۱۰/۴۸	۱۳/۴۶	۳/۲۲	CaO
۳/۱۷۴	۰/۶۲۲	۱/۹	۱/۷۱۹	۲/۵۹۷	MnO
۰/۲۰۱	۰/۰۷۴	۰/۲۶۲	۰/۱۷	۰/۳۰۴	SO ₃
۰/۹۶۷	۰/۱۸۶	۰/۰۱۷	۰/۵۱	۰/۵۹۸	Na ₂ O
۰/۶۴۵	۰/۲۵۳	۰/۶۲۳	۰/۵۰۴	۰/۶۲۹	TiO ₂
۰/۱۳۷	۰/۰۶۷	۰/۰۱۵	۰/۲۰۳	۰/۲۵۳	P ₂ O ₅
۰/۱۱۶	۰/۰۶۸	۰/۰۱۴	۰/۰۸۷	۰/۰۷۷	BaO
۰/۰۹۴	۰/۰۰۶	۰/۰۸۸	۰/۰۶۳	۰/۰۹۲	MnO
۰/۰۲۹	۰/۰۴۳	۰/۰۲۵	۰/۰۳۷	۰/۰۳۱	ZrO ₂
۰/۰۲۲	۰/۰۴۲	۰/۰۲۷	۰/۰۳۲	۰/۰۲	Cl
۰/۰۵۴	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	-	۰/۰۱۸	SrO
۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	Cr ₂ O ₃
۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱۲	ZnO
۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	Y ₂ O ₃
۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	-	-	Rb ₂ O
۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	CaO
۰/۰۱۳	-	۰/۰۲۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	V ₂ O ₅

* اختلاف مجموع درصد وزنی عناصر تا ۱۰۰ را عناصر سبک مانند اکسیژن، هیدروژن، کربن و ترکیبات آن‌ها (CO₂، H₂O.OH) (L.O.I) تشکیل می‌دهد.

* A و Bt شامل افق‌های خاکرخ دوم و Bw افق کمبیک خاکرخ اول می‌باشد. IR ناخالصی‌های سنگ آهک است.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در فرایند هوادیدگی و تبدیل سنگ آهک به خاک، ناخالصی‌های موجود در سنگ آهک بعد از انحلال جزء آهکی، اسکلت غیرآهکی یا اسکلت آلومنیوسیلیکاتی خاک را تشکیل می‌دهند. از آنجایی‌که ناخالصی‌های موجود در سنگ‌های آهکی برای تولید خاک‌هایی که روی آن‌ها تکامل یافته است کافی به‌نظر نمی‌رسند و یا این‌که ضخامت قابل توجهی از این سنگ‌ها باید هوادیده شود تا خاک‌های موردنظر به‌دست آید، بنابراین تشکیل درجای انواع تکامل یافته و ضخیم این خاک‌ها همواره مورد تردید بوده و سایر فرایندهای تشکیل خاک مثل اضافه شدن رسوبات از طریق باد به خاکرخ (مثل لس‌ها) و فرایندهای ژئومورفیک همواره مطرح بوده است. طبق مطالعات انجام گرفته در ناحیه آق‌امام این موضوع روشن می‌شود که خاک‌های کم عمق آهکی با تکامل کم که در موقعیت بالای شیب تکامل یافته‌اند، تکامل اندک آن‌ها به‌دلیل شیب زیاد و موقعیت آن‌ها در توپوگرافی ناحیه است زیرا این خاک‌ها به‌دلیل قرار گرفتن در نواحی بالا دست امکان دریافت رسوبات قابل توجه از نواحی بالا دست خود را ندارند. در مقایسه با آن نواحی میان‌دست و خط‌القعر توپوگرافی به‌دلیل پایداری بیشتر و نیز دریافت رسوبات حاصل از فرسایش خاک‌های بالا دست دارای سولوم ضخیم‌تر و بافت سنگین‌تری می‌باشند.

منابع

1. Ballagh, T.M., and E.C.A., Runge. 1970. Clay rich horizons over lime stone-illuvial or residual. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 534-536.
2. Bronger, A., Ensling, J., Gutlich, P., Spiering, H. 1988. Rubification of terra rossa in Slovakia: a Mossbauer effect study, clays clay miner. 31: 269-275.
3. Bronger, A., and Bruhn-lobin, N. 1997. Paleopedology of *terra rossa-Rhodoxeralfs* from quaternary calcarenites in new Morocco, Catena. 28: 279-295.
4. Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, C., tursina, T., Babel. 1985. Handbook for soil thin section description. Wainer research Publication, wolverhampton, U.K.
5. Chadwick, O.A., Brimhall, C.H., and D.M., Hendricks. 1990. From a black box to a gray box- a mass balance interpretation of pedogenesis, Geomorphology 3: 369-390.
6. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Methods of soil analysis. Part 2. Black, C.A. (Ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA

7. Day, R.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, 545-566, In: C.A. Black Etal (ed). Methods of soil analysis, part 1. Agronomy 9. Am. Soc. Of Agron., Madison. Wisconsin, USA
8. Delgado, R., Martin-Garcia, J.M., Oyonarte, C., Delgado, C. 2003. Genesis of terra rossae of the Sierra Gador (Andolusia, Spain). Eur. J. soil sci. 54: 10-16
9. Dickson, B.L., Scott, K.M. 1998. Recognition of aeolian soils of the Blayney District, NSW: implications for mineral exploration. J. Geochem. Explor. 63: 237-251.
10. Durn, G., Ottner, F., Slovence, D. 1999. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of Terra rossa in Istria, Croatia. Geoderma. 91: 125-150.
11. Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, S., and Stoops, G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semi-arid regions of Southern Iran. Catena 53: 273-301.
12. Macleod, D.A. 1980. The origin of the red Mediterranean soils in Epirus, Greece. J. soil sci. 31: 125-136.
13. Mee, C., Aija., Erick, A., Bestland., Nigel. A., spooner. 2004. Age and origin of terra rossa in the Coonawarra area of South Australia. Geomorphology. 58: 1-25.
14. Moresi, M., Mongelli, G. 1988, The relation between the terra rossa and the Carbonate free residue of the underlying limestone and dolostones in Apalia, Italy. Clays Clay minerals. 23: 439-446.
15. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Methods of soil analysis. Part 2. Page, A.L. (Ed). American society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
16. Nettleton, W.D., Flach, K.W., and Brasher, B.R. 1969. Argillic horizons without clay skins. Soil Science Society of America Journal 33: 121-125.
17. Nihlen, T., Olsson, S. 1995. Influence of aolian dust on soil Formation in the Aegean area. Geomorphology 39: 31, 341-361.
18. Olson, C., Ruhe, R.V. and M.J. maasbach. 1980, The terra rossa limestone contact phenomena in karst, Southern Indiana. Soil sci. soc. Am. J. 44: 1037-1079.
19. Soil survey staff, 1993. Soil survey manual. Handbook, vol. 18. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
20. Soil survey staff, 2010. Keys to soil taxonomy. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
21. Walkly, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the digestion method for determination soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. Soil. Sci. 37: 29-38p.
22. Yaalon, D.H., Ganor, E. 1973. The influence of dust on soil during the quaternary. Soil sci. 116: 3, 146-155.
23. Yaalon, D.H. 1997. Soils in the Mediterranean region: what make them different? Catena 28: 157-169.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(6), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

The origin and morphology of soils formed on limestone rocks in Aq- Emam area (northeast Golestan province)

***H. Tazikeh¹, A. Pashaei Aval², F. Khormali² and Sh. Ayoubi³**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University Technology
Received: 02/19/2012 ; Accepted: 03/12/2013

Abstract

The origin and micromorphology of three selected pedons in mountainous Aq-Emam area (in northeast Golestan province) were investigated. The objectives were to examine 1) physico-chemical and micromorphological characteristics of studied pedons developed in different geomorphic positions and 2) evaluate the relationship between them with underlying limestone and loessial sediment as preassumed parent materials. Our results showed that the shallow soils developed on steep upslope have a cambic horizon as a main subsurface diagnostic horizon. In contrast, more thick and clayey soils developed on sloping areal have an argillic horizon with decalcified solum indicating more eluviation due to more landscape stability. Cyclical erosion and deposition which occur on colluvial foot slope must be responsible for superimposed pedo-sedimentary complexes in this position. Mass-balance calculations and geochemical ratios show that the soils in sloping midslope have a loessial nature due to windblown source and geomorphic processes. Erosion keeps these additions to some extent from appearing on the steep upslope thus these soils have a polygenetic nature derived from loesses and limestone's insoluble residues. In brief, we can conclude that residual origin of soils formed on limestone rocks is controversy especially for those with deep solum and we should consider other possibility of material addition to soil such as eolian contamination and geomorphic processes.

Keywords: Soil genesis, limestone, Eolian contamination, Mass balance geochemistry, Geochemical ratios, Micromorphology.

* Corresponding author; Email: htazikeh@yahoo.com