

## تشکیل و مورفولوژی افق‌های آرژیلیک در برخی از خاک‌های نیمه‌خشک غرب دریاچه ارومیه

\*شهرام منافی

استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** افق‌های آرژیلیک افق‌های زیرسطحی هستند که نسبت به افق‌های فوقانی خود محتوی مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای رس‌های فیلوسیلیکاته می‌باشند و شواهد ایلویشن رس را نشان می‌دهند. در برخی خاک‌ها علائم ایلویشن رس کاملاً واضح است، در حالی‌که در برخی دیگر علائم ایلویشن رس تحت‌تأثیر هوازدگی و تشکیل در جای رس محو می‌شود و در چنین مواردی میکرومورفولوژی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند کمک شایانی به شناسایی افق‌های آرژیلیک می‌نماید.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش افق‌های آرژیلیک در خاک‌های آهکی نیمه‌خشک غرب دریاچه ارومیه با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی زیریک و مزیک مورد مطالعه قرار گرفتند. بدین منظور یک توالی پستی و بلندی متشکل از چهار تیپ اراضی دشت دامنه‌ای، فلات، تپه و کوهستان مطالعه گردید. در هر تیپ اراضی سه خاکرخ حفر و تشریح شدند و خصوصیات مورفولوژیکی آن‌ها تعیین گردید. از هر کدام از افق‌های مشخصه شناسایی شده نمونه‌های دست‌خورده جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی و نمونه‌های دست‌نخورده و جهت‌دار جهت مطالعات میکرومورفولوژی تهیه گردیدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها براساس روش‌های استاندارد تعیین گردید. جهت انجام مطالعات میکرومورفولوژیکی، مقاطع نازک با ضخامت ۲۵-۳۰ میکرون از نمونه‌های دست‌نخورده و جهت‌دار تهیه گردید و با میکروسکوپ پولاریزان و در نورهای پولاریزه متقاطع (XPL) و ساده (PPL) مطالعه گردیدند.

**یافته‌ها:** مشاهدات صحرائی حضور افق‌های آرژیلیک را تنها در خاکرخ‌های واقع در تیپ‌های اراضی دشت دامنه‌ای و فلات نشان داد و نتایج فیزیکوشیمیایی و میکرومورفولوژی نیز حضور این افق‌ها را تأیید کرد. براساس نتایج حاصله افق‌های آرژیلیک در این خاک‌ها هیو قرمزتر، رس بیش‌تر و نسبت رس ریز به رس کل بیش‌تری نسبت به افق‌های فوقانی داشتند. بررسی مقاطع نازک نشان داد که در این خاک‌ها پوسته‌های رسی به‌صورت پوشش‌هایی با ضخامت  $0.08-0.34$  mm در سطوح منافذ و ذرات اسکلتی حضور دارند و  $7\% - 2$  مقاطع نازک در افق‌های آرژیلیک را شامل می‌شوند و در مواردی تمام فضای منافذ را پر کرده‌اند. با توجه به اقلیم نیمه‌خشک فعلی منطقه و حضور مقادیر نسبتاً زیاد کربنات کلسیم معادل در این خاک‌ها، تشکیل افق آرژیلیک در خاک‌های این منطقه به اقلیم مرطوب‌تر گذشته نسبت داده شد و بنابراین افق‌های آرژیلیک در این خاک‌ها در شرایط اقلیمی فعلی تشکیل نشده‌اند و یک عارضه باقی‌مانده از اقلیم‌های مرطوب‌تر گذشته در اوایل کواترنر هستند. در برخی از خاک‌های مورد مطالعه، پوسته‌های رسی

\* مسئول مکاتبه: smanafy@yahoo.com

توسط کربنات کلسیم پوشش یافته و در مواردی محو شده‌اند. پوشاننده شدن پوسته‌های رسی توسط کربنات کلسیم نشان می‌دهد که اقلیم منطقه از مرطوب به خشک تغییر یافته و سبب تشکیل تجمعات کربنات کلسیم در افق‌های آرژیلیک و تبدیل آن‌ها به افق‌های مرکب آرژیلیک-کلسیک شده است و بنابراین این خاک‌ها پلی‌ژنتیک هستند. نتیجه‌گیری: حضور افق‌های آرژیلیک در این خاک‌ها نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژیکی پایدار بوده است و پایداری ژئومورفولوژیکی منطقه همراه با سایر شرایط مساعد برای جابه‌جایی رس در طول خاکرخ (مانند اقلیم مرطوب)، منجر به تشکیل افق‌های آرژیلیک در این منطقه گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** افق آرژیلیک، پوسته رسی، پلی‌ژنز، تغییر اقلیم، میکرومورفولوژی

### مقدمه

افق‌های آرژیلیک افق‌های زیرسطحی هستند که نسبت به افق‌های فوقانی خود محتوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای رس‌های فیلوسیلیکاته می‌باشند و شواهد ایلویشن رس را نشان می‌دهند (۵، ۳۱). به دلیل این‌که شواهد چندانی در رابطه با حرکت ایلوویال رس در خاک‌های زمین‌نماهای جوان وجود ندارد، خاکشناسان معتقدند که تشکیل افق‌های آرژیلیک حداقل نیازمند چند هزار سال زمان می‌باشد (۷، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۸، ۲۶، ۳۱، ۳۴).

افق‌های آرژیلیک با تمایز بافتی نسبت به افق‌های دیگر در طول خاکرخ شناخته می‌شوند و تمایز بافتی در خاک‌های حاوی افق آرژیلیک از یک یا چند فرآیند که به‌طور هم‌زمان و یا به‌صورت پشت سر هم رخ می‌دهند و افق‌های سطحی و زیرسطحی را متأثر می‌سازند، ناشی می‌شود. فرآیندهای فوق‌الذکر عبارتند از: (۱) الویشن و ایلویشن رس، (۲) انحلال رس در اپی‌پدون، (۳) فرسایش انتخابی، (۴) تشکیل درجای رس و (۵) تخریب رس در افق‌های زیرسطحی. میزان تأثیر این فرآیندها از خاکی به خاک دیگر متفاوت می‌باشد. در برخی خاک‌ها ایلویشن رس قابل ملاحظه است، در حالی‌که در برخی دیگر علائم ایلویشن رس تحت تأثیر هوازدگی و تشکیل درجای رس محو می‌شود (۱۳، ۱۴، ۳۱، ۳۲، ۳۴).

تشکیل افق‌های آرژیلیک علاوه بر فرآیند الویشن و ایلویشن رس، از طریق مکانسیم دیگری نیز امکان‌پذیر است. براساس گزارش‌های مؤسسه خاکشناسی آمریکا (۲۰۱۴)، ویژگی پراکنندگی سدیم پدیده تنشست رس را تسریع می‌کند (۳۱). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افق‌های ناتریک در خاک‌هایی با سن هولوسن حتی در اقلیم‌ها و محیط‌های خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌شوند. همچنین براساس این گزارش‌ها، نقش سدیم در پراکنده شدن رس و تشکیل افق B با رس‌های آبشویی شده ثابت شده است. کائومانو و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه خاک‌های ناتراکوالف تایلند اظهار داشتند که در این خاک‌ها تجمع رس در خاک زیر سطحی و تجمع املاح محلول در خاک‌های سطحی و زیر سطحی نشانگر افق‌های آرژیلیک و ناتریک است. این پژوهشگران افزایش ذرات رس در اعماق زیرین خاک (یعنی جایی‌که پوشش‌ها به‌وضوح دیده می‌شوند) را ناشی از ایلویشن رس و Lessivage دانسته‌اند و وقوع این فرآیندها را به pH بالای خاک و هیدرولیز کربنات سدیم نسبت داده‌اند (۱۳). در مطالعات میکرومورفولوژیکی چاخرولو و همکاران (۲۰۱۴a) و (۲۰۱۴b) و خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) نیز تشکیل افق آرژیلیک در خاک‌های شور-سدیمی در اثر انتشار و

جابه‌جایی رس توسط یون سدیم گزارش شده است (۷، ۸، ۱۶).

افق‌های آرژیلیک بیانگر تشکیل رس در افق‌های سطحی و متعاقباً دیسپرس شدن رس در سطح، انتقال و آبشویی آن در طول خاکرخ و در نهایت تجمع در افق‌های زیرین می‌باشند. افق آرژیلیک علاوه بر دارا بودن ویژگی‌های کمی ضخامت و افزایش رس، بایستی شواهد آبشویی و انتقال رس را به یکی از این اشکال نشان دهد: الف) پوسته‌های رسی به صورت پلی بین ذرات شن (در خاک‌های بدون ساختمان)، ب) پوسته‌های رسی بر روی دیواره‌های منافذ و یا سطوح افقی و عمودی خاکدانه‌ها در خاک‌های حاوی خاکدانه‌ها (خاک‌های پدال، ج) وجود حداقل ۱٪ رس توجیه‌شده در مقاطع نازک در خاک‌های درهم‌آمیخته و د) در صورتی که ضریب انبساط خطی خاک ۰/۰۴ یا بیش‌تر باشد و خاک دارای فصول متمایز خشکی و مرطوب باشد، در این صورت نسبت رس ریز به رس کل در افق ایلوویال باید بیش از ۱/۲ برابر آن در افق الویال باشد (در خاک‌های ورتیک) (۳۱). بنابراین یکی از نکات محوری در شناسایی افق‌های آرژیلیک، شواهد ایلوویشن رس، هم به صورت پوسته‌های رس در سطوح خاکدانه‌ها، منافذ و ذرات اسکلتی و هم به صورت رس توجیه‌شده در مقاطع نازک (۳۱) می‌باشد. چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴a و ۲۰۱۴b)، منافی (۲۰۱۲)، نلتون و همکاران (۱۹۶۹)، نلتون و همکاران (۲۰۰۰)، نلتون و همکاران (۱۹۷۵) و وایلدینگ و همکاران (۱۹۸۳) گزارش کردند که در برخی افق‌های آرژیلیک، پوشش‌های رسی توسط مجموعه‌ای از فعالیت‌های جانوری و ریشه‌ای، کریستالیزاسیون کربنات کلسیم و فشار انقباض و انبساط حاصل از خشکی و رطوبت، تخریب شده‌اند و در چنین

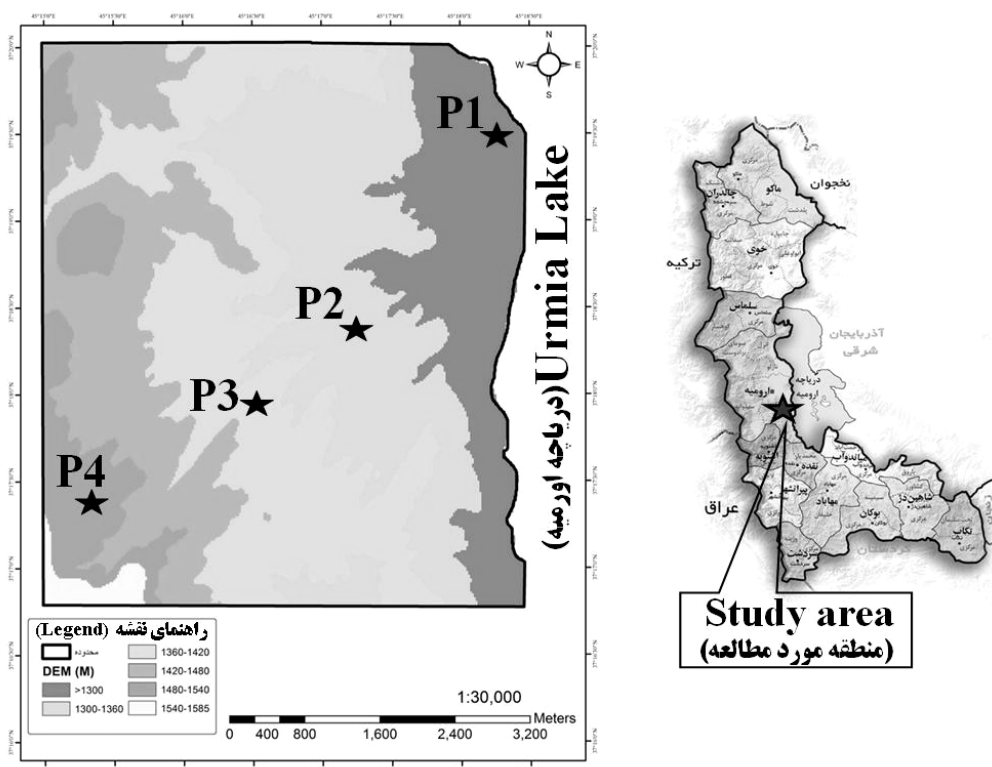
خاک‌هایی حضور بی- فابریک از نوع striated را نشانه وجود افق آرژیلیک در نظر گرفته‌اند (۷، ۸، ۱۸، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۳۶). با وجود این، در اغلب موارد شناسایی پوسته‌های رسی در مطالعات صحرائی به‌ویژه در خاک‌های آهکی با مشکلات فراوانی همراه است و حتی در مواردی امکان‌پذیر نیست. از طرفی در استان آذربایجان غربی مطالعات چندانی در رابطه با میکرومورفولوژی خاک‌ها انجام نگرفته است و محدود به مطالعات چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴a و ۲۰۱۴b)، منافی (۲۰۱۲ و ۲۰۱۴) و منافی و محمودی (۲۰۰۶) می‌باشد و افق‌های آرژیلیک در این استان در توسط چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴a و ۲۰۱۴b)، منافی (۲۰۱۲ و ۲۰۱۴) گزارش شده است. بنابراین کمبود اطلاعات در این زمینه میکرومورفولوژی خاک‌های این منطقه کاملاً مشهود است. از این‌رو مطالعات میکرومورفولوژیکی کمک شایانی به شناسایی افق‌های آرژیلیک به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک می‌کند. بنابراین پژوهش حاضر جهت شناسایی و تشریح ویژگی‌های کمی و مورفولوژیکی افق‌های آرژیلیک در طول یک توالی پستی و بلندی در خاک‌های آهکی منطقه نیمه‌خشک رشکان ارومیه انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در منطقه رشکان ارومیه در حد فاصل شهرهای ارومیه و محمدیار و در غرب دریاچه ارومیه، انجام گرفت (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریای آزاد ۱۴۱۱ متر و طبق آمار ۴۰ ساله ایستگاه هواشناسی ارومیه (۲۰۱۵-۱۹۷۵)، میانگین دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه ۱۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی

(۲۲). براساس نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان غربی (۲۹) منطقه مورد مطالعه متشکل از چهار تیپ اراضی دشت دامنه‌ای، فلات، تپه و کوهستان می‌باشد. در هر یک از تیپ‌های اراضی سه خاکرخ خاک و مجموعاً ۱۲ خاکرخ حفر، تشریح (۳۰)، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی (۳۱) گردیدند.

سالانه آن ۳۴۵/۳۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. طبق محاسبات برنامه نیوهای و نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران (۳)، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی این منطقه نیز به ترتیب زیر خشک و مزیک می‌باشند. این منطقه از نظر سنگ‌شناسی از آهک‌های ریزدانه (میکریت با قطر ۴ میکرون و کم‌تر) و آهک‌های مارنی به رنگ کرم تا کرم صورتی تشکیل شده است



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل خاکرخ‌های شاهد در هر کدام از تیپ‌های اراضی. خاکرخ‌های ۱ تا ۴ به ترتیب در تیپ‌های اراضی دشت دامنه‌ای، فلات، تپه و کوهستان واقع شده‌اند.

Figure 1. The position of study area and location of representative pedons in each land type. Pedons 1 to 4 have been located in piedmont plain, plateau, hills and mountain land types respectively.

گزارش شد. تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی براساس روش‌های استاندارد مؤسسه حفاظت خاک آمریکا (۳۵) و آماده‌سازی مقاطع نازک از نمونه‌های دست‌نخورده، طبق روش بنی‌آرکو و استوپس (۲۰۰۵) انجام پذیرفت (۴). مقاطع نازک پس از آماده

لازم به توضیح است که از هر افق نمونه‌های دست‌خورده جهت تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی و نمونه‌های دست‌نخورده و جهت‌دار جهت مطالعات میکرومورفولوژی تهیه گردیدند و از هر تیپ اراضی نتایج مربوط به یک خاکرخ به‌عنوان خاکرخ شاهد

شدن با استفاده از میکروسکوپ پولاریزان الیمپوس مدل BH2 در دو حالت نور پولاریزه PPL و XPL مورد مطالعه قرار گرفته و براساس اصول و واژگان استوپس (۲۰۰۳) تشریح و تفسیر شدند (۳۳). همچنین جهت تعیین نسبت رس ریز به رس کل، براساس روش کیتریک و هوپ (۱۹۶۳)، مقداری از رس خالص تهیه شده از هر کدام از نمونه‌ها به لوله‌های سانتریفوژ منتقل و با سرعت ۲۷۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۴۰ دقیقه سانتریفوژ گردید و ذرات ته‌نشین شده به‌عنوان رس درشت و ذرات معلق به‌عنوان رس ریز در نظر گرفته شدند (۱۷). سپس هر کدام از اجزای رس توزین و نسبت رس ریز به رس کل محاسبه گردید.

### نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکوشیمیایی: در جدول ۱ برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی خاک‌های شاهد ارائه شده است. بر این اساس، رنگ خاک‌ها در حالت خشک از قهوه‌ای رنگ پریده (10YR 7/4) در افق‌های C و Cr خاک‌رخ ۴ تا قهوه‌ای الی قهوه‌ای تیره (10YR 4/3) در افق Btk2 خاک‌رخ ۱ (جدول ۱)، متغیر بود. به‌طورکلی افق‌های سطحی خاک‌ها رنگ‌های تیره‌تری از خود نشان دادند و با افزایش عمق خاک، رنگ خاک‌ها روشن‌تر گردیده است. طبق گزارش‌های مؤسسه خاکشناسی آمریکا (۲۰۱۴)، رنگ افق‌های آرژیلیک دارای هیو

قرمزتری نسبت به افق‌های فوقانی می‌باشند (۳۱). نتایج مورفولوژی صحرائی این خاک‌ها نشان داد که این وضعیت در افق‌های Btk1 و Btk2 خاک‌رخ ۱ و افق Btk خاک‌رخ ۲ حکم‌فرماست (جدول ۱). بنابراین می‌توان هیو قرمزتر این افق‌ها را به‌عنوان یکی از نشانه‌های حضور افق آرژیلیک در این خاک‌ها در نظر گرفت. براساس نتایج، بیش‌ترین مقدار رس در این خاک‌ها ۵۶/۱٪ در افق Btk2 خاک‌رخ ۱ و کم‌ترین مقدار آن ۱۱/۷٪ در افق Cr خاک‌رخ ۴ اندازه‌گیری شده است. بر خلاف رس، بیش‌ترین مقدار شن با ۵۱٪ در افق Cr خاک‌رخ ۴ و کم‌ترین مقدار آن ۱۱/۶٪ در افق Bw خاک‌رخ ۲ اندازه‌گیری شده است (جدول ۱). در این پژوهش در خاک‌های ۴ و ۳ که به‌ترتیب در تیپ‌های اراضی کوهستان و تپه واقع شده‌اند، پوسته‌های رسی در مطالعات صحرائی مشاهده نگردیدند و مطالعات میکرومورفولوژیکی نیز عدم وجود پوسته‌های رسی در این دو خاک‌رخ را تأیید کرد (جدول‌های ۱ و ۲). بنابراین می‌توان اظهار داشت که افزایش رس با عمق در این دو خاک‌رخ ناشی از انتقال و جابه‌جایی رس نیست و عوامل دیگری مانند هوازدگی درجای مواد مادری (مواد مادری مارنی-آهکی با حساسیت زیاد نسبت به هوازدگی) و همچنین به ارث رسیدن از مواد مادری سبب تغییرات بافتی در این دو خاک‌رخ شده‌اند.

جدول ۱- برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی خاک‌های شاهد در خاک‌های مورد مطالعه.

توزیع اندازه ذرات (%)

CEC (cmol/kg)	CCE (%)	pH (se)	OC (%)	ساختار* structure	f/tc	توزیع اندازه ذرات (%)			رنگ (خشک) Color (Dry)	عمق (cm) Depth (cm)	افق Horizon
						رسیل silt	رسیل sand	شن sand			
Profile 1: <i>Fine, mixed, superactive, calcareous, mesic Calcic Haploxeralfs</i>											
28.56	33.88	7.6	0.96	1, 2; f; gr 2; m; sbk	0.24	38.9	39.9	21.2	10YR 6/4	0-22	Ap
26.6	37.11	7.6	0.69	2; c; abk 1; m; sbk	0.27	40.9	35.5	23.6	10YR 5/4	22-47	Bw
28.44	41.74	7.8	0.46	2; v; abk	0.27	42.7	31.9	25.4	10YR 5/6	47-86	Bk
28.73	43.32	7.8	0.32	2; v; abk	0.45	53.6	27.5	18.9	10YR 4/4	86-156	Btk1
30.6	44.52	7.5	0.26	2; v; abk	0.41	56.1	23	20.9	10YR 4/3	156-217	Btk2
Profile 2: <i>Loamy, mixed, superactive, mesic Calcic Haploxeralfs</i>											
26.27	30.86	7.7	0.92	1, 2; f; gr	0.26	41.6	40.6	17.8	10YR 6/4	0-19	Ap
24.55	29.17	7.6	0.72	2; m; sbk	0.25	41.8	46.6	11.6	10YR 5/4	19-57	Bw
27.64	36.37	7.8	0.53	3; c; abk	0.28	45.4	38.8	15.8	10YR 5/4	57-91	Bk
29.46	37.25	7.8	0.36	3; c; abk	0.39	54.6	28.6	16.8	10YR 4/4	91-159	Btk
Profile 3: <i>Fine, mixed, active, mesic Typic Calcixerpts</i>											
26.18	23.52	7.5	1.07	2; f; m; gr	0.23	36.2	41.4	22.4	10YR 5/4	0-17	Ap
26.18	22.08	7.8	1.12	2; c; abk	0.23	37.4	41.8	20.8	10YR 5/4	17-55	Bw
24.11	29.83	7.8	0.78	3; c; abk	0.26	41.6	39.4	19	10YR 4/4	55-71	Bk1
25.04	34.21	7.5	0.44	3; c; abk	0.24	41.6	31.6	26.8	10YR 5/4	71-126	Bk2
Profile 4: <i>Fine, mixed, superactive, mesic Typic Xerorthents</i>											
21.9	10.64	7.1	1.76	2; m; gr	0.25	35.6	32.8	31.6	10YR 5/4	0-14	Ap
17.5	27.38	7.2	1.12	ma	0.22	22.2	28.6	49.2	10YR 5/4	14-47	C
14.83	31.49	7.5	0.98	-	0.21	11.7	37.3	51	10YR 7/4	47-59	Cr

\* ساختمان: gr: کروی، sbk: مگمی بدون زاویه، abk: مگمی زاویه‌دار، ma: توده‌ای، 1: درجه وضوح متوسط، 2: درجه وضوح ضعیف، 3: درجه وضوح قوی، f: ریز، m: متوسط، c: درشت، v: خیلی درشت، f/tc: نسبت رس ریز به رس کل، se: عصاره اشباع خاک.

\* Structure: gr: granular, sbk: subangular blocky, abk: angular blocky, ma: massive, 1: weak, 2: medium, 3: strong, f: fine, m: medium, c: coarse, v: very coarse, ft/tc: the ratio of fine clay to total clay, se: saturated extract.

ضخامت، افزایش رس با عمق، نسبت رس ریز به رس کل و حضور پوسته‌های رسی را دارا هستند. بنابراین می‌توان اظهار داشت که در این منطقه در انتهای زمین‌نما در شیبه‌های کم (دشت دامنه‌ای و فلات، به ترتیب خاکرخ‌های ۱ و ۲) شرایط پایداری سطح حکم‌فرما بوده است که همراه با سایر شرایط مساعد جهت آبشویی رس، منجر به تشکیل افق‌های آرژیلیک در این قسمت از زمین‌نما گردیده است.

**خصوصیات میکرومورفیک:** در جدول ۲ خلاصه‌ای از خصوصیات میکرومورفیک خاکرخ‌های شاهد در خاک‌های مورد مطالعه ارائه شده است. براساس مشاهدات میکروسکوپی، همه خاک‌های مورد مطالعه دارای خاکدانه (pedal) می‌باشند. خاکدانه‌های موجود در این خاک‌ها عمدتاً شامل خاکدانه‌های کروی (گرانولار)، مکعبی بدون زاویه و مکعبی زاویه‌دار می‌باشند. منافذ موجود در خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً شامل کامپاند پکینگ ویدها، ووگها<sup>۱</sup> و پلانارها<sup>۲</sup> می‌باشند (جدول ۲). در این خاک‌ها ریزساختمان گرانولار در تیپ اراضی کوهستان (خاکرخ ۴) بیش‌ترین فراوانی را دارد و ریزساختمان مکعبی زاویه‌دار و بدون زاویه و ووگی عمدتاً در پایین‌دست منطقه حضور دارند. بی-فابریک خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً از نوع کریستالی<sup>۳</sup> (خرده‌بلوری) می‌باشد. در افق‌های Btk1 و Btk2 خاکرخ ۱ و افق Btk2 خاکرخ ۲ بی-فابریک از نوع گرانواستریتد<sup>۵</sup> نیز مشاهده شد. براساس مشاهدات میکروسکوپی مقاطع نازک، عوارض خاکساز مشاهده شده در این خاک‌ها شامل تجمعات کربنات کلسیم و پوشش‌های رسی می‌باشند.

همچنین مطالعات صحرایی نشان داد که در خاکرخ‌های ۱ و ۲ پوشش‌های رسی به صورت پوسته‌هایی در سطوح خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی حضور دارند و مطالعات میکرومورفولوژیکی نیز حضور پوشش‌های رسی در اعماق این دو خاکرخ را تأیید کرد (جدول‌های ۱ و ۲). با توجه به افزایش مقدار رس در طول خاکرخ و همچنین مشاهده پوشش‌های رسی در مشاهدات صحرایی و همچنین مقاطع نازک، افق‌های زیرین این دو خاکرخ همه ویژگی‌های لازم جهت افق آرژیلیک (۳۱) را دارند. از طرفی بررسی نسبت رس ریز به رس کل در خاکرخ‌های مورد مطالعه نشان داد که این نسبت در افق‌های Btk1 و Btk2 خاکرخ ۱ و افق Btk خاکرخ ۲ نسبت به افق‌های فوقانی بیش‌تر است (جدول ۱) و همین امر نیز یکی دیگر از شواهد حضور افق‌های آرژیلیک در این دو خاکرخ می‌باشد. براساس گزارش‌های مؤسسه خاک‌شناسی آمریکا (۲۰۱۴)، توزیع رس و نسبت رس ریز به رس کل بیانگر تفاوت اندازه ذرات رس در افق‌های مختلف می‌باشد و نسبت‌های بالای رس ریز به رس کل معمولاً حضور افق‌های آرژیلیک حاوی مقادیر زیاد رس‌های فیلوسیلیکاته ۲:۱ را نشان می‌دهد (۳۱). عبدالخالق ابراهیم (۲۰۱۱) در آمریکا، القازو (۲۰۰۸) در اردن، بوخیم و هارتمنک (۲۰۱۳) در آمریکا، لاگوژ و همکاران (۲۰۰۵) در لهستان و منافی (۲۰۱۴) نیز توزیع رس و نسبت بالای رس ریز به رس کل را نشانه حضور افق آرژیلیک دانسته‌اند (۱، ۲، ۵، ۹، ۱۹). در مجموع براساس نتایج مورفولوژی صحرایی و نتایج بررسی‌های فیزیکی-شیمیایی می‌توان نتیجه گرفت که در این منطقه خاک‌های واقع در اراضی کم شیب ویژگی‌های کمی افق آرژیلیک مانند هیو رنگ،

- 1- Compound packing voids
- 2- Vughs
- 3- Planar voids
- 4- Crystalitic
- 5- Granostriated

جدول ۲- برخی از خصوصیات میکرومورفیک خاک‌های شاهد در خاک‌های مورد مطالعه.

Table 2. Selected micromorphological properties of representative pedons in studied soils.

عوارض خاکساز Pedofeatures	بی - فابریک b-fabric	c/f R.D	ریزساختار Microstructure	مفاصل Voids	عمق (cm) Depth (cm)	افق Horizon
<i>Profile 1: Fine, Mixed, Superactive, Calcareous, Mesic Calcic Haploxeralfs</i>						
-	Cr	Po (open)	Gr (%65), Sb (%35)	Cdp	0-22	Ap
نودول‌های آهکی (1.5)، پندانت‌های آهکی (1.2) Calcite nodules (5%), pendants of calcite (2%)	Cr, Gs	Po (open)	Ab	Pn, Ch	47-86	Bk
نودول‌های آهکی (1.10)، پوشش‌ها و پندانت‌های آهکی (1.8)، نواحی تخلیه آهک (1.10)، پوشش‌های رسی (1.2) Calcite nodules (10%), coatings and pendants of calcite (7%), calcite depleted zones (10%), clay coatings (2%)	Cr, Gs	Po (open)	Ab	Pn	86-156	Btk1
پندانت‌های آهکی (1.2)، پوشش‌های رسی (1.8) Calcite nodules (15%), typic coatings of calcite (5%), pendants of calcite (2%), clay coatings (7%)	Cr, Gs	Po (open)	Ab (%90), Vu (%10)	Vu, Pn	156-217	Btk2
<i>Profile 2: Loamy, Mixed, Superactive, Mesic Calcic Haploxeralfs</i>						
-	Cr	Po (open)	Gr (%80), Sb (%20)	Cdp	0-19	Ap
-	Cr	Po (Double spaced)	Sb (%20), Ab (%80)	Pn	19-57	Bw
نودول‌های آهکی (1.10)، پوشش‌های آهکی تیپیک (1.2)، پندانت‌های آهکی (1.2)، نواحی تخلیه آهک (1.5) Calcite nodules (10%), typic coatings of calcite (2%), pendants of calcite (2%) calcite depleted zones (5%)	Cr	Po (Double spaced)	Ab	Pn	57-91	Bk
نودول‌های آهکی (1.15)، پوشش‌های آهکی تیپیک (1.5)، پندانت‌های آهکی (1.2)، پوشش‌های رسی (1.3) Calcite nodules (15%), typic coatings of calcite (5%), pendants of calcite (2%), clay coatings (3%)	Cr, Gs	Po (Double spaced)	Ab (%80), Vu (%10), Ma (%10)	Pn, Vu	91-159	Btk

Remarks: Cdp: compound packing void, Vu: vugh, Pn: planar void, Ch: channel, Sp: Simple packing, Ma: massive, Gr: granular, Ab: angular blocky, Sb: subangular blocky, Sg: Single grain, c/f R. D: Related distribution, Po: porphyric, En: Enaulic, Cr: crystallitic, Gs: Grano-striated.

اعداد داخل پرانتز فراوانی نسبی هر کدام از عوارض خاکساز را نشان می‌دهند.

Numbers in parenthesis show the relative abundance of each pedofeature.



ادامه جدول ۲ -  
Continue Table 2.

عوارض خاکساز Pedofeatures	بی - فابریک b-fabric	c/f R.D	ریز ساختمان Microstructure	مفاقد Voids	عمق (cm) Depth (cm)	افق Horizon
<i>Profile 3: Fine, Mixed, Active, Mesic Typic Calcixerpts</i>						
-	Cr	Po(open)	Gr (%90), Sb (%10)	Cdp, Pn	0-17	Ap
-	Cr	Po (Close and Double spaced)	Sb (%40), Ab (%60)	Pn	17-55	Bw
نودول‌های آهکی (۱/۵)، پندانت‌های آهکی (۱/۲)، نواحی تخلیه آهک (۱/۲)، کلسایت سیتومورفیک (۱/۳)، آهک سوزنی شکل (۱/۲)	Cr	Po (Single and Double spaced)	Ab (%80), Vu (%15), Ma (%5)	Pn, Vu, Ch	55-71	Bk1
Calcite nodules (5%), pendants of calcite (2%) calcite depleted zones (2%), cytomorphic calcite (3%), needle fiber calcite (2%)						
نودول‌های آهکی (۱/۱۰)، پندانت‌های آهکی (۱/۲)، کلسایت سیتومورفیک (۱/۳)	Cr	Po (Single spaced)	Ab (%70) Vu (%15), Ma (%15)	Pn, Vu, Ch	71-126	Bk2
Calcite nodules (10%), pendants of calcite (2%), cytomorphic calcite (3%)						
<i>Profile 4: Fine, Mixed, Superactive, Mesic Typic Xerorthents</i>						
-	Cr	Enaulic	Gr	Cdp	0-14	Ap
-	Cr	En, Sg	Ab (%20), Ma (%80)	Pn, Vu	14-47	C
-	Cr	Sg	Sg	Sp	47-59	Cr

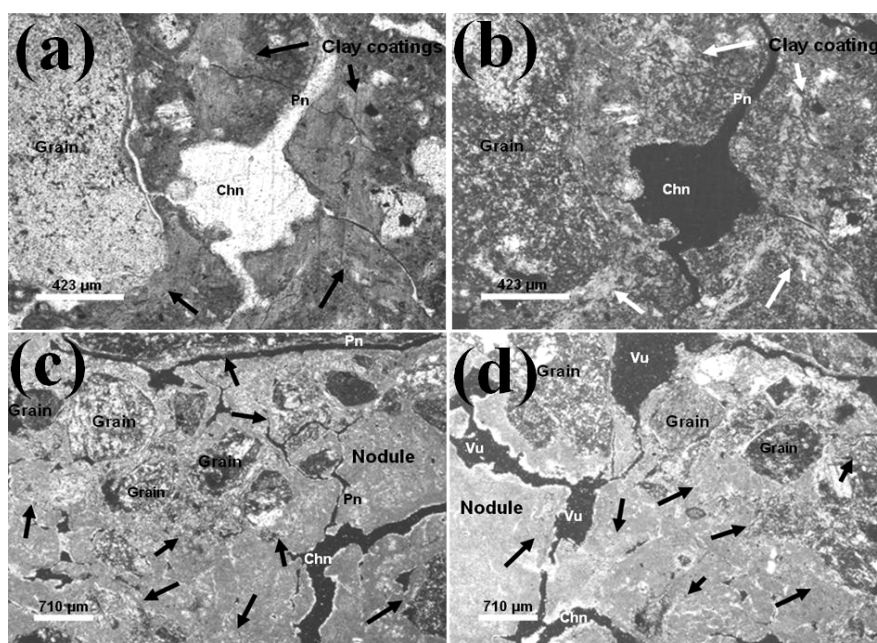
Remarks: Cdp: compound packing void, Vu: vugh, Pn: planar void, Ch: channel, Sp: Simple packing, Ma: massive, Gr: granular, Ab: angular blocky, Sb: subangular blocky, Sg: Single grain, c/f R. D: Related distribution, Po: porphyric, En: Enaulic, Cr: crystallite, Gs: Grano-striated.

اعداد داخل پرانتز فراوانی نسبی هر کدام از عوارض خاکساز را نشان می‌دهند.

Numbers in parenthesis show the relative abundance of each pedofeature.

(شکل ۲-۲ a و b). بررسی مقاطع نازک براساس دیگرام‌های ارائه شده توسط بولاک و همکاران (۱۹۸۵) و استویس (۲۰۰۳) (۶، ۳۳) نشان داد که در این خاک‌ها پوسته‌های رسی حدود ۲ تا ۷٪ مقاطع نازک در افق‌های آرژیلیک را به خود اختصاص داده‌اند. در افق Btk2 خاکرخ شماره ۱، پوشش‌های رسی به صورت کوتان‌های ایلوویال پرکننده منافذ حضور دارند و تقریباً تمام فضای قابل دسترس منافذ را پر کرده‌اند و تا بیش از ۷٪ کل افق را شامل می‌شوند. از این نظر، فراوانی پوسته‌های رسی در این خاک‌ها شرط حضور حداقل ۱٪ پوسته رسی در مقاطع نازک را که برای افق آرژیلیک مورد نیاز است (۳۱)، دارا می‌باشند. مشاهده پوسته‌های رسی در مقاطع نازک بیانگر نتایج مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی (جدول ۱) مبنی بر حضور افق‌های آرژیلیک در این خاک‌ها می‌باشد.

انواع شکل‌های تجمعات کربنات کلسیم پدوژنیک مشاهده شده در خاک‌های مورد مطالعه عبارتند از: نودول‌های (گرهک‌های) آهکی، تجمعات کلسایت سوزنی شکل (Needle Fiber Calcite)، کلسایت سیتومورفیک، عوارض ناشی از تخلیه کلسایت، پندانت‌ها، پوشش‌های آهکی تپیک و هایپوکوتینگ‌های (پوشش‌های زیرسطحی) آهکی (جدول ۲). مشاهدات میکروسکوپی مقاطع نازک خاک‌های مورد مطالعه حضور پوسته‌های رسی در افق‌های Btk1 و Btk2 خاکرخ ۱ (تیپ اراضی دشت دامنه‌ای) و افق Btk خاکرخ ۲ (تیپ اراضی فلات) را تأیید کرد (جدول ۲، شکل ۲). براساس مشاهدات میکرومورفیک، پوشش‌های رس در این خاک‌ها به صورت پوشش‌هایی در سطوح منافذ و خاکدانه‌ها و به ضخامت ۰/۳۴-۰/۰۸ مشاهده گردیدند (شکل ۲). علاوه بر این، پوسته‌های رسی در داخل گراندمس خاک نیز حضور دارند



شکل ۲- تصاویر میکرومورفیک پوسته‌های رسی در خاک‌های مورد مطالعه. شکل‌های a و b مربوط به افق Btk2 خاکرخ ۱ و شکل‌های c و d مربوط به افق Btk خاکرخ ۲ می‌باشند. پیکان‌ها پوسته‌های رسی را نشان می‌دهند. تصویر a در نور PPL سایر تصاویر در نور XPL تهیه شده‌اند.

Figure 2. Micrographs of clay coatings in studied soils: figures a and b are from Btk2 horizon of profile 1 and figures c and d are from Btk horizon of profile 2. Arrows show clay coatings. Figure a is under PPL light and the rest are under XPL light.

با توجه به اقلیم نیمه‌خشک فعلی منطقه و حضور مقادیر نسبتاً زیاد کربنات کلسیم معادل در این خاک‌ها (جدول ۱)، تشکیل افق آرژیلیک در خاک‌های این منطقه از نظر اقلیمی دارای اهمیت می‌باشد.

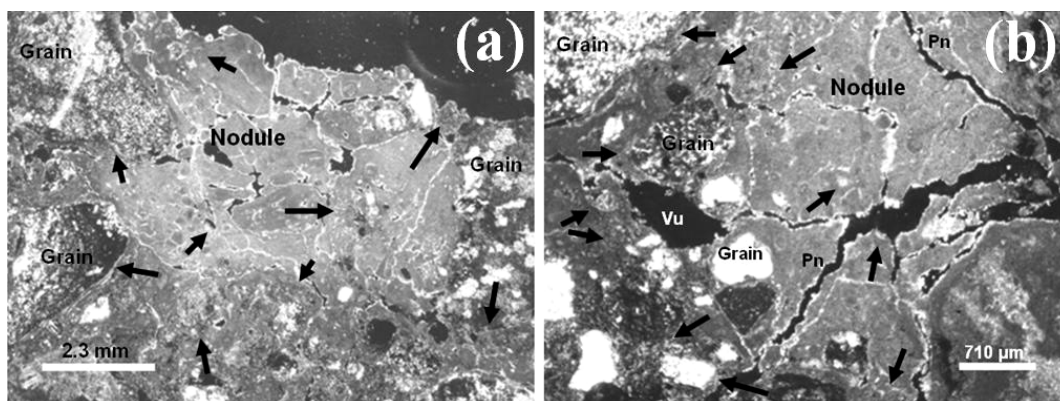
به اعتقاد پژوهشگران پدیده ایلوویشن رس در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به علت کمی رطوبت و آهکی بودن اکثر خاک‌ها معمولاً یا رخ نمی‌دهد یا خیلی کند و ناپیوسته است. در نتیجه علائم مشخصه افق آرژیلیک یا همان پوسته‌های رسی در خاک‌های اینگونه مناطق اکثراً غیر واضح می‌باشد (۱، ۲، ۵، ۷، ۹، ۱۴، ۲۱، ۲۸). به نحوی که وقوع پدیده ایلوویشن رس در شرایط خشک و نیمه‌خشک فعلی غیرممکن و یا میزان رس انتقال‌یافته جهت تشکیل افق آرژیلیک ناکافی به نظر می‌رسد. چنین شرایطی در خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش نیز حکم‌فرماست و در شرایط اقلیمی امروزی تشکیل ایلوویشن رس و تشکیل افق‌های آرژیلیک در این منطقه را غیرممکن می‌نمایاند. خاک‌شناسان زیادی معتقدند که افق‌های آرژیلیک موجود در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، در اقلیمی مرطوب‌تر از محیط فعلی تشکیل شده‌اند. عبدالخالق ابراهیم (۲۰۱۱)، القازو (۲۰۰۸)، بوخیم و هارتمنک (۲۰۱۳)، چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴)، لاگوژ و همکاران (۲۰۰۵)، گونل و رنسام (۲۰۰۶)، کارلستورم و همکاران (۲۰۰۸) و خادمی و مرموت (۲۰۰۳) وقوع ایلوویشن رس در شرایط خشک فعلی را غیرممکن و یا لاقط میزان رس انتقال‌یافته را جهت تشکیل افق آرژیلیک ناکافی دانسته‌اند و حضور افق‌های آرژیلیک در مناطق خشک را نتیجه اقلیم‌های مرطوب‌تر پیشین ذکر کرده‌اند (۱، ۲، ۵، ۷، ۹، ۱۲، ۱۴، ۱۵). بنابراین به نظر می‌رسد افق‌های آرژیلیک در خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش نیز در یک اقلیم مرطوب‌تر در گذشته که رطوبت کافی و شرایط برای پراکنش و حرکت رس

مهیا بوده است، تشکیل شده‌اند و بنابراین یک عارضه باقی‌مانده از اقلیم‌های مرطوب‌تر گذشته در اوایل کوآترنر هستند. این موضوع توسط عبدالخالق ابراهیم (۲۰۱۱)، بوخیم و هارتمنک (۲۰۱۳)، چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴a)، گایل و گروسمن (۱۹۶۸)، گونل و رنسام (۲۰۰۶)، کائومانو و همکاران (۲۰۱۰)، کارلستورم و همکاران (۲۰۰۸)، خرمالی و همکاران (۲۰۰۳)، منافی (۲۰۱۴)، مک‌کیگ (۱۹۸۳)، اسمک و همکاران (۱۹۸۱)، رنسام و بیدول (۱۹۹۰)، سریواستاوا و همکاران (۲۰۰۷) و اوفنار (۲۰۰۷) و نیز گزارش شده است (۱، ۵، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۹، ۲۱، ۲۷، ۲۸، ۳۲، ۳۴). به اعتقاد خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) وجود یک افق آرژیلیک در مواد مادری آهکی در آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌تواند به یک فرآیند قدیمی در شرایط ژئومورفولوژیکی پایدار اشاره نماید (۱۶). بنابراین می‌توان اظهار داشت که در زمان تشکیل افق‌های آرژیلیک در این خاک‌ها، منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژیکی پایدار بوده است و پایداری ژئومورفولوژیکی منطقه همراه با سایر شرایط مساعد برای جابه‌جایی رس در طول خاکرخ (مانند اقلیم مرطوب)، منجر به تشکیل افق‌های آرژیلیک در این منطقه گردیده است.

مشاهدات مقاطع نازک نشان داد که در برخی از خاک‌های مورد مطالعه، پوسته‌های رسی توسط کربنات کلسیم پوشش‌یافته و در مواردی محو شده‌اند (شکل ۳). این امر به‌ویژه در افق‌های Btk2 خاکرخ ۱ مشهودتر است. نمونه‌ای از پوسته‌های رسی احاطه شده توسط کربنات‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. خادمی و مرموت (۱۵) حضور هم‌زمان افق‌های آرژیلیک و کلسیک را یک ترکیب غیرمنتظره دانسته و آن بیانگر یک پدورنز چندمرحله‌ای (پلی‌ژنز) ذکر کرده‌اند (۱۵). البته حضور توأم پدوفیچرهای رسی و کربنات کلسیم در خاک‌های اقلیم خشک و نیمه‌خشک

هنگامی که اقلیم خشک تر می‌گردد، توسط کربنات احاطه می‌گردد و همچنین توجیه‌شدگی رس در اثر تجمع کربنات آسیب می‌بیند. به اعتقاد این پژوهشگران در خاک‌های تحول‌یافته در مواد مادری آهکی، کربنات بایستی قبل از متحرک شدن رس انتقال‌یافته باشد و انتقال کربنات را به‌عنوان یک ضرورت جهت ایلوویژن رس بدیهی دانسته‌اند (۱، ۲، ۵، ۱۰، ۱۴).

دنیا به‌طور گسترده‌ای گزارش شده است (۱، ۵، ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۹، ۳۲). یک افق کلسیک محتوی رس انتقال‌یافته معمولاً نمایانگر تغییر اقلیم تعبیر می‌شود (۱۴). عبدالخالق ابراهیم (۲۰۱۱)، القازو (۲۰۰۸)، بوخیم و هارتمنک (۲۰۱۳)، گایل (۱۹۹۵) و کارلستورم و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که رس در یک اقلیم مرطوب‌تر منتقل می‌شود، ولی بعداً



شکل ۳- تصاویر میکرومورفیک پوسته‌های رسی در افق Btk2 خاکرخ ۱ که در حال محو شدن توسط کربنات کلسیم هستند. پیکان‌ها پوسته‌های رسی را نشان می‌دهند. تصاویر در نور XPL تهیه شده‌اند.

Figure 3. Micrographs of clay coatings in Btk2 horizon of profile 1 which are disappearing as a result of engulfment by calcium carbonate. Arrows show clay coatings. Figures are under XPL light.

پوسته‌های رسی توسط کربنات‌ها بیانگر این است که پس از طی یک دوره مرطوب که منجر به آبشویی کربنات‌ها و در پی آن جابجایی رس و تشکیل افق‌های آرژیلیک گردیده است، اقلیم از مرطوب به خشک تغییر یافته است که در شرایط کنونی نیز بر منطقه حکم فرماست.

### نتیجه‌گیری

مطالعات صحرائی نشان داد که در خاکرخ‌های ۱ و ۲ پوشش‌های رسی به‌صورت پوسته‌هایی در سطوح منافذ و خاکدانه‌ها و ذرات اسکلتی حضور دارند. با توجه به افزایش مقدار رس در طول خاکرخ و همچنین مشاهده پوشش‌های رسی در مشاهدات

از دید تئوری وقوع هم‌زمان فرایندهای ایلوویژن رس و تجمع کربنات کلسیم ثانویه با همدیگر متناقض می‌باشند (۱۲). زیرا ایلوویژن کربنات و ایلوویژن رس دو فرایند مجزا هستند که نمی‌توانند در یک افق به‌طور هم‌زمان صورت گیرند (۱۲، ۳۴). انتقال رس تنها پس از تخلیه کربنات امکان‌پذیر است. زیرا تا زمانی که یون‌های  $Ca^{2+}$  حضور دارند، رس به‌صورت هم‌اوری و منعقد شده می‌باشد. با توجه به آنچه ذکر گردید، به‌نظر می‌رسد در خاک‌های مورد مطالعه ابتدا آبشویی و تجمع کربنات و سپس ایلوویژن و تشکیل پوسته‌های رسی به وقوع پیوسته باشد. در نتیجه تشکیل افق‌های مرکب کلسیک- آرژیلیک نشانه پلی‌ژنتیک بودن این خاک‌ها می‌باشد. پوشانده شدن

از شواهد تغییر اقلیم در منطقه می‌باشند. پوشانده شدن پوسته‌های رسی توسط کربنات کلسیم نشان می‌دهد که اقلیم منطقه از مرطوب به خشک تغییر یافته و سبب تشکیل تجمعات کربنات کلسیم در افق‌های آرژیلیک و تبدیل آن‌ها به افق‌های مرکب آرژیلیک-کلسیک شده است.

### سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی ۰۰۸/ک/۸۸ مصوب دانشگاه ارومیه می‌باشد و بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه ارومیه و معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه بابت مساعدت‌های انجام گرفته سپاسگزاری می‌نمائیم.

صحرایی و همچنین مقاطع نازک، افق‌های زیرین این دو خاکرخ همه ویژگی‌های لازم برای افق آرژیلیک (۳۱) را دارا هستند و مشاهدات مقاطع نازک نیز حضور پوشش‌های رسی در اعماق این دو خاکرخ را تأیید نمود. اقلیم نیمه‌خشک فعلی منطقه و آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهند که افق‌های آرژیلیک در این خاک‌ها در شرایط کنونی تشکیل نشده‌اند. بلکه یک عارضه باقی‌مانده از اقلیم‌های مرطوب‌تر پیشین هستند که در اوایل کواترنر حکم‌فرما بوده است. طی دوره‌های مرطوب‌تر در اوایل کواترنر رطوبت کافی جهت شست و شوی املاح و کربنات کلسیم مهیا بوده است. تحت چنین شرایط اقلیمی، جابه‌جایی و شستشوی رس در این خاک‌ها رخ داده و افق‌های آرژیلیک را به وجود آورده است. بنابراین افق‌های آرژیلیک در این خاک‌ها یکی

### منابع

1. Abdelkhalik Ibrahim, M.A. 2011. Argillic horizons and clay-sized particles – an alternative interpretation of their dynamics in sola development and across catenas. Ph.D. Thesis, Iowa State University, 127p.
2. Al- Ghazu, W.M. 2008. Genesis and micromorphological features of argillic horizons in arid region of northeastern Jordan. M.Sc. Thesis, Jordan University of Science and Technology, 147p.
3. Banaei, M.H. 1998. Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran. Soil and Water Research Institute. Ministry of Agriculture, Iran.
4. Benyarku, C.A., and Stoops, G. 2005. Guidelines for preparation of rock and soil thin sections and polished sections. Departament de medi ambient I ciencias Del Sol. Universitat de Lleida. Spain, 75p.
5. Bockheim, J.G., and Hartemink, A.E. 2013. Distribution and classification of soils with clay-enriched horizons in the USA. Geoderma. 209-210: 153-160.
6. Bullock, P., Federoff, N., Johngerus, A., Stoops, G., Tursina, T., and Babel, V. 1985. Hand book for thin section description. 1<sup>st</sup> published. WAINE research publications, 154p.
7. Chakherloo, S., Manafi, Sh., and Heidari, A. 2014a. Genesis and micromorphological properties of some saline-sodic soils of the west of Urmia Lake. J. Soil Manage. Sust. Prod. 4: 3. 87-11. (In Persian)
8. Chakherloo, S., Manafi, Sh., and Heidari, A. 2014b. The comparison of micromorphological properties of Saline – Sodic and Nonsaline-Nonsodic soils around the Urmia Lake. J. Water Soil. 28: 5. 1011-1024. (In Persian)
9. Dlugosz, J., Kobierski, M., and Rozanski, S. 2005. Changes in composition of clay minerals of two alfisols from fluviglacial material from the Krajenska upland (Poland). Polish J. Soil Sci. 38: 1. 87-92.

10. Gile, L.H. 1995. Pedogenic carbonate in soils of Issacks Ranch surface, southern New Mexico. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 59: 501-508.
11. Gile, L.H., and Grossman, R.B. 1968. Morphology of the argillic horizon in desert soils of southern New Mexico. *Soil Sci.* 106: 6-15.
12. Gunal, H., and Ransom, M.D. 2006. Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas. *Geoderma.* 68: 59-69.
13. Kaewmano, Ch., Kheoruenromne, I., Suddhiprakarn, A., and Gilkes, R.J. 2010. Chemistry and clay mineralogy of Thai Natraqualfs. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
14. Karlstorm, E.T., Oviatt, C.G., and Ransom, M.D. 2008. Paleoenvironmental interpretation of multiple soil-loess sequence at Milford Reservoir, northeastern Kansas. *Catena.* 72: 113-128.
15. Khademi, H., and Mermut, A.R. 2003. Micromorphology and classification of argids and associated gypsiferous aridisols from central Iran. *Catena.* 54: 439-455.
16. Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, Sh., and stoops, G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid region of southern IRAN. *Catena.* 776: 1-29.
17. Kittrick, J.A., and Hope, E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. *Soil Sci.* 96: 312-325.
18. Manafi, Sh. 2012. Micromorphic evidences of climate change in some arid and semiarid soils in the west of Urmia Lake, Western Azerbaijan, Iran. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Working Meeting on Soil Micromorphology.* Lleida 8-14 July 2012.
19. Manafi, Sh. 2014. Micromorphology of argillic horizons in some lands in the west of Urmia Lake. *Proceedings of national congress on soil and environment, 30-31 August, Urmia, Iran.* (In Persian)
20. Manafi, Sh., and Mahmodi, Sh. 2006. Micromorphology of secondary calcium carbonate accumulations in some soils around Urmia Lake. *Iran. J. Agric. Sci.* 26: 6. 1399-1411. (In Persian)
21. Mc Keague, J.A. 1983. Clay skins and argillic horizons, P 367-387. In: P. Bullock, and C.P. Murphy, (Eds.), *Soil Micromorphology.* Berkhamsted Herts Ac.
22. Naghizadeh, R. 2005. Geological map of Oshnaviyyeh, Iran, 1:100000 series, sheet No, 5065. Geological survey and mineral Exploration of Iran.
23. Nettleton, W.D., Flach, K.W., and Brasher, B.R. 1969. Argillic horizons without clay skins. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 121-125.
24. Nettleton, W.D., Olsen, C.G., and Wysocki, D.A. 2000. Paleosol classification: Problems and solutions. *Catena.* 41: 61-92.
25. Nettleton, W.D., Witty, J.E., Nelson, R.E., and Hawley, J.W. 1975. Genesis of argillic horizons in soils of desert areas of the southwestern United States. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 34: 919-926.
26. Pal, D.K., Srivastara, P., and Bhattacharyya, T. 2003. Clay illuviation in calcareous soils of the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Geoderma.* 115: 177-192.
27. Ransom, M.D., and Bidwell, O.W. 1990. Clay movement and calcium carbonate accumulation in Ustolls of Central Kansas, U.S.A., P 417-423. In: L.A. Douglas, (Ed.), *Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science.* Elsevier, Amsterdam.
28. Smeck, N., Ritchie, A., Wilding, L.P., and Dress, L.R. 1981. Clay accumulation in sola of poorly drained soils of Western Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 95-102.
29. Soil and Water Research Institute of Iran. 1989. Land capability map of Western Azerbaijan in 1:250000 scale, sheet no. II. Soil and Water Research Institute of Iran publication, Tehran, Iran.
30. Soil Survey Staff. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. Version 3.0.
31. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12<sup>th</sup> ed. USDA. SCS. Agric. U.S. Gov. Print office. Washington. D.C., 362p.

- 
32. Srivastava, P., Kumar Singh, A., Parkash, B., Singh, A.K., and Rajak, M.K. 2007. Paleoclimatic implications of micromorphic features of Quaternary paleosols of NW Himalayas and polygenetic soils of the Gangetic Plains - A comparative study. *Catena*. 70: 169-184.
  33. Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections (SSSA, Madison, WI), 184p.
  34. Ufnar, D.F. 2007. Clay coatings from a modern soil chronosequence: A tool for estimating the relative age of well drained paleosols. *Geoderma*. 141: 181-200.
  35. USDA, NRCS. 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigation report no.42 version 3.0.
  36. Wilding, L.P., Smeck, N.E., and Hall, G.F. 1983. Pedogenesis and soil Taxonomy. II. The soil orders. Elsevier Sci. Publ. B. V., Amsterdam, Pp: 165-216.



---

## Genesis and morphology of argillic horizons in some semiarid soils in the west of Urmia Lake

**\*Sh. Manafi**

Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University

Received: 02/28/2015; Accepted: 11/09/2015

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Argillic horizons are subsurface horizons which contain considerably more phyllosilicate clays than upper horizons show evidences of clay illuviation. In some soils evidences of illuviation of clay are obvious, whereas, some soils due to weathering and insitu formation of clay particles, evidences of clay illuviation disappear. Under such circumstances, as a key tool, micromorphology properly helps for recognition of argillic horizons.

**Materials and Methods:** In this study argillic horizons in calcareous soils of a semiarid region, with xeric and mesic soil moisture and temperature regimes, in the west of Urmia Lake were studied. Thus, a toposequence in different physiographic positions including piedmont plains, plateau, hills and mountains was investigated. In each land type, three soil profiles were dug and described and their morphological properties were determined. Disturbed samples for physical and chemical studies and undisturbed and oriented samples for micromorphological studies were obtained from characteristic horizons. Physical and chemical properties of soils were determined using standard methods. In order to perform micromorphic studies, thin sections with the thickness of 25-30 microns were prepared from undisturbed and oriented samples and were studied using polarizing microscope under cross polarized (XPL) and plain polarized (PPL) lights.

**Results:** Field observations revealed the presence of argillic horizons only in piedmont plains and plateau land types and the physico-chemical and micromorphological results confirmed their presence as well. According to the results, argillic horizons had redder Hue, higher clay content and ratio of fine clay to total clay than the overlying horizons. Thin section observations showed that clay skins are present as coatings with a thickness of 0.08-0.34 mm on the faces of voids and skeletal grains and comprise 2-7% of thin sections of argillic horizons and in some cases, they have filled all of pore spaces. Regarding to semiarid climate of this region and presence of high quantities of calcium carbonate equivalent in these soils, the genesis of argillic horizons in this region was probably related to the wetter past climate and thus, argillic horizons in these soils are relict features from a wetter climate in lower Quaternary. In some of these studied soils clay coatings have been engulfed by calcium carbonate and in some cases, they have been disappeared completely. The engulfment of clay coatings by calcium carbonate shows that the climate of this region has been changed from wet to arid which caused to calcium carbonate accumulation in argillic horizons and changing them to the complex argillic- calcic horizons and thus, these soils are polygenetic.

**Conclusion:** Presence of argillic horizons in these soils shows that this region was geomorphologically stable and the stability of this area along with other suitable condition for translocation of clay particles in profile (such as wetter climate) have led to formation argillic horizons in this area.

**Keywords:** Argillic horizon, Clay skin, Climate change, Micromorphology, Polygenesis

---

\* Corresponding Authors; Email: smanafy@yahoo.com