



بررسی خصوصیات ژنتیکی و میکرومورفولوژیکی تعدادی از خاک‌های شور - سدیمی غرب دریاچه ارومیه

ساغر چاخلو^۱، شهرام منافی^۲ و احمد حیدری^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه،

^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۷

چکیده

میکرومورفولوژی شاخه‌ای از علم خاکشناسی است که به تشریح، تفسیر و تا حد زیادی اندازه‌گیری اجزا، عوارض و میکروفابریک خاک‌ها در بعد میکروسکوپی می‌پردازد. اهمیت مطالعات میکرومورفولوژی در این است که، این مطالعات در شکل طبیعی و دست‌نخورده خاک صورت می‌گیرد و به این ترتیب می‌توان فرایندهایی را که به صورت جزئی رخ داده یا به صورت کند رخ می‌دهند، مشاهده و مطالعه کرد. در این پژوهش به منظور بررسی خصوصیات میکرومورفیک خاک‌های شور-سدیمی اراضی غرب دریاچه ارومیه، مقطع طولی متشکل از چهار خاکرخ مورد بررسی قرار گرفت. این خاکرخ‌ها طبق روش‌های استاندارد تشریح و نمونه‌برداری شدند. نمونه‌های دست‌خورده مورد تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی قرار گرفتند. مقاطع نازک از نمونه‌های دست‌نخورده و جهت‌دار تهیه، و با میکروسکوپ پولاریزان مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی مقاطع نازک نشان داد که بیش‌تر خاک‌های مورد مطالعه بدون دانه‌بندی (apedal) هستند و منافذ آن‌ها به‌طور عمده از نوع ووگ و کانال می‌باشند. ریزساختمان این خاک‌ها شامل انواع ووگی، کانالی و توده‌ای و بی‌فابریک آنها به‌طور عمده از نوع خرده بلوری (کریستالی) است. عوارض خاکساز این خاک‌ها عبارتند از پوشش‌های رس آبشویی شده، تجمع‌های نمکی به‌صورت پوسته‌های ناپیوسته و متشکل از بلورهای مکعبی و نیمه‌گوشه‌دار (سابهدرال) نمکی در سطوح منافذ و پوسته‌های نمکی پیوسته، پرشدگی‌های نمکی در داخل منافذ کانالی و ووگی، تجمع‌های آهکی شامل گرهک‌های تیپیک، پرشدگی‌ها و پوشش‌های

* مسئول مکاتبه: smanafy@yahoo.com

آهکی، تجمع اکسیدهای آهن و منگنز به صورت گرهک‌هایی در توده ریزخاک‌ها و پوشش‌هایی در سطح منافذ و در نهایت پوشش‌های آلی هستند که به صورت پوسته‌هایی سیاه‌رنگ در سطوح خاکدانه‌ها و در مواردی به صورت مخلوط با توده ریزخاک مشاهده شدند.

واژه‌های کلیدی: پوسته رسی، پوشش‌های نمکی، خاک‌های شور- سدیمی، دریاچه ارومیه، میکرومورفولوژی

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت نبود آبشویی، تجمع زیاد کربنات‌ها، گچ و نمک محلول در خاک اتفاق می‌افتد (نریمانی و منافی، ۲۰۱۳). حضور این تجمع‌ها در این مناطق منجر به تشکیل انواع مختلفی از خاک‌ها مانند خاک‌های آهکی، گچی، شور، سدیمی و شور- سدیمی می‌شوند. در نتیجه فرایند شور شدن یکی از پدیده‌های متداول در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و یک معضل جدی برای توسعه کشاورزی، مدیریت و استفاده پایدار از منابع خاک و آب می‌باشد (ولی‌پور و همکاران، ۲۰۰۸). براساس بررسی‌های انجام گرفته، میکرومورفولوژی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که شامل خاک‌های متأثر از نمک‌ها نیز می‌باشد، همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه میکرومورفولوژیکی افق آرچیلیک خاک‌های شور و سدیمی جنوب ایران، پوسته‌های رسی را گزارش کردند که در معرض سدیم بالا قرار داشتند. براساس این گزارش، بیش‌تر این پوسته‌ها به صورت قطعات پراکنده مشاهده گردیده‌اند و به نظر می‌رسد که پوسته‌ها از نوع رس درشت تشکیل شده باشند. این نوع پوسته‌های رسی ویژه افق‌های ناتریک می‌باشند که رس درشت در اثر انتشار توسط یون سدیم حرکت نموده و در افق‌های زیرین تجمع یافته است. کائومانو و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه خاک‌های ناتراکوالف تایلند بیان نمودند که در این خاک‌ها تجمع رس در خاک زیرسطحی و تجمع نمک محلول در خاک‌های سطحی و زیرسطحی نشانگر افق‌های آرچیلیک و ناتریک است. این پژوهشگران افزایش ذرات رس در اعماق زیرین خاک (جایی که پوشش‌ها به وضوح دیده می‌شوند)، را ناشی از آبشویی رس دانسته‌اند و وقوع این فرایندها را به pH بالای خاک و هیدرولیز کربنات سدیم نسبت داده‌اند. پال و همکاران (۲۰۰۳) نیز در گزارش‌های خود به حضور عوارض خاکی رس و کربنات کلسیم در خاک‌های متأثر از نمک مناطق خشک و نیمه‌خشک اشاره کرده‌اند. سپردار و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی خصوصیات کانی‌شناسی و

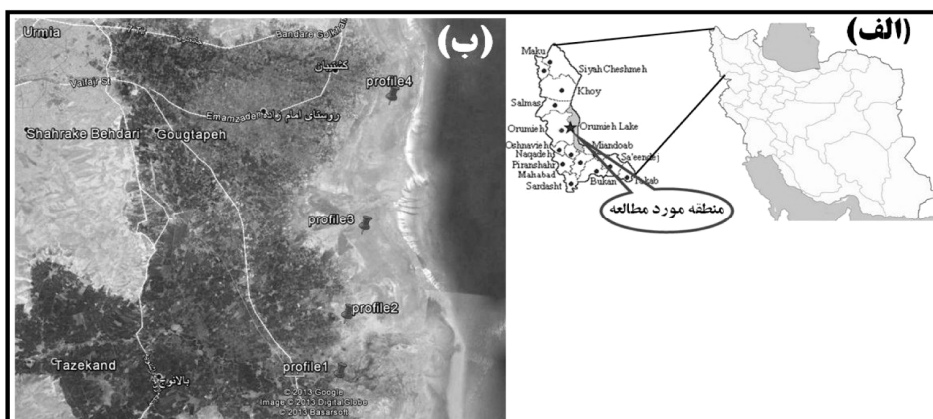
میکرومورفولوژیکی پوسته‌های نمکی در مطالعات خود، بلورهای مکعبی شکل نمکی را به صورت پوشش‌هایی روی دیواره حفرات و همچنین به صورت توده‌های متراکم در زمینه خاک مشاهده کردند. احمد (۲۰۱۱) در خاک‌های بیابانی هند تجمع‌های نمکی را به صورت پرشدگی‌های منافذ کانالی و وگی و همچنین به صورت پوشش‌هایی در سطح ذرات اسکلتی گزارش نموده است. مقسیه و حیدری (۲۰۱۲) در خاک‌های شور و گچی بم، حضور هم‌زمان پوشش‌های نمکی و بلورهای مکعبی نمکی را همراه با فرم‌های خاکساز گچ گزارش نموده و آن را نشانه پلی‌ژنتیک بودن این خاک‌ها دانسته‌اند.

فرایندهای شور شدن و سدیمی شدن در مناطقی از اراضی مجاور دریاچه ارومیه سبب شده است که سطح قابل توجهی از خاک‌های منطقه که قبلاً بخشی از زمین‌های زراعی بوده و زیر کشت باغ‌ها و مزارع بوده‌اند، دچار مشکلات زیادی شده و بسیاری از آن‌ها غیرقابل استفاده شده و به صورت زمین‌های غیرقابل کشت درآمده‌اند. علاوه بر این، سطح وسیعی از این اراضی نیز در معرض این فرایندها قرار دارند. بنابراین با ادامه روند خشک شدن دریاچه ارومیه و انتقال نمک به روش‌های مختلف به خاک‌های پیرامون آن، فرایندهای نام شدت بیش‌تری خواهند یافت که این امر در نهایت آسیب‌های جبران‌ناپذیری به کشاورزی و بهره‌برداری از این خاک‌ها وارد خواهد ساخت. بنابراین شناخت ویژگی‌های این خاک‌ها از جنبه‌های مختلف برای بهره‌برداری و مدیریت بهینه آن‌ها کاملاً ضروری می‌باشد و میکرومورفولوژی به عنوان یک ابزار دقیق، کمک شایانی به شناخت این خاک‌ها خواهد نمود. از این رو برای بررسی اراضی شور و سدیمی پیرامون دریاچه ارومیه و برای تأکید عملی و دقیق بر مشکلات این اراضی و تأیید مطالعات معمول فیزیکوشیمیایی، این پژوهش در بخشی از مناطق غرب دریاچه ارومیه که تحت تأثیر این فرایندها بوده است، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در اراضی غرب دریاچه ارومیه، در ۱۷ کیلومتری شرق ارومیه و دو کیلومتری غرب دریاچه ارومیه با متوسط ارتفاع ۱۲۷۷ متر از سطح دریای آزاد انجام گرفت (شکل ۱). براساس نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان غربی (مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۶۸) از نظر فیزیوگرافی این منطقه بر روی دشت رسوبی با شیب ملایم به طرف دریاچه ارومیه واقع شده است. مواد مادری خاک‌های این منطقه براساس نقشه‌های زمین‌شناسی چهارگوش ارومیه (شهرابی، ۱۹۹۴؛ سلطانی‌سیسی، ۲۰۰۵) رسوبات کواترنر متشکل از پهنه‌های رسی نمکی می‌باشد. طبق بیانات ساکنین محلی، این اراضی سابقاً زیر کشت غلات بوده‌اند ولی به دلیل تجمع نمک بسیار زیاد ناشی از

دریاچه ارومیه، در حدود ۳۵ سال اخیر به صورت اراضی غیرقابل کشت درآمد‌اند و هم‌اکنون به‌عنوان مرتع فصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. براساس داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۵) ایستگاه هواشناسی ارومیه، میانگین بارندگی و درجه حرارت سالانه این منطقه به ترتیب ۳۴۵/۳۷ میلی‌متر و ۱۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و براساس محاسبه‌های برنامه کامپیوتری نیوهال، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی این منطقه به ترتیب Dry Xeric و Mesic محاسبه شدند که با نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران (بنائی، ۱۹۹۸) نیز هم‌خوانی دارد.



شکل ۱- الف) موقعیت تقریبی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان آذربایجان غربی و ب) محل تقریبی خاک‌های مورد مطالعه در اراضی متأثر از املاح غرب دریاچه ارومیه.

براساس نقشه‌های توپوگرافی و مشاهده‌های صحرایی اولیه، یک مقطع طولی متشکل از ۴ خاک‌های مورد بررسی قرار گرفت، به‌نحوی که در برگیرنده همه خاک‌های شور- سدیمی منطقه مورد مطالعه و تغییرات آن‌ها باشد. به این ترتیب خاک‌های ۱ در منطقه مرادکنندی، خاک‌های ۲ در منطقه اردوشاهی، خاک‌های ۳ در منطقه طالب‌آباد و خاک‌های ۴ در منطقه حصار حاجی‌لار حفر گردیدند. همچنین موقعیت خاک‌ها طوری انتخاب شد که اثرات فاصله از دریاچه را نیز بازگو کنند. بنابراین فاصله خاک‌ها از خاک‌های ۱ (منطقه مراد کنندی) تا خاک‌های ۴ (منطقه حصار حاجی‌لار) نسبت به دریاچه کاهش می‌یابد. این منطقه به دلیل قرار گرفتن در قسمت انتهایی زمین‌نما دارای نوسانات سطح ایستابی در فصل‌های خشک و مرطوب می‌باشد و در زمان نمونه‌برداری سطح ایستابی در محل خاک‌های ۴ در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک مشاهده گردید. این خاک‌ها طبق روش‌های استاندارد (مؤسسه خاکشناسی

امریکا، ۲۰۰۳) تشریح و نمونه‌برداری شدند و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها براساس روش‌های استاندارد تعیین گردید. برای انجام مطالعات میکرومورفولوژی، مقاطع نازک با ابعاد $12 \times 5 \times 0.2$ سانتی‌متر و با رزین پلی‌استر کریستیک، ساخت کشور آلمان، به روش بنی‌ارکو و استوپس (۲۰۰۵) تهیه و با استفاده از میکروسکوپ پولاریزان Olympus در دو حالت نور پولاریزه ساده (PPL) و نور پولاریزه متقاطع (XPL) مورد مطالعه قرار گرفته و براساس اصول و واژگان استوپس (۲۰۰۳) تشریح و تفسیر شدند و در نهایت از عوارض مورد نظر عکس‌برداری شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ برخی از نتایج فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی و در جدول ۲ خصوصیات میکرومورفیک خاک‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در تمامی خاک‌های مورد مطالعه میزان رس خاک‌ها با عمق افزایش یافته است (جدول ۱) و مشاهده‌های مقاطع نازک تهیه شده در این خاک‌ها حضور پوسته‌های رسی را در سطوح منافذ و در مواردی در توده ریزخاک‌ها (جدول ۲) نشان داد. با توجه به مقادیر بالای پارامترهای نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبدلی (ESP)، هر چهار خاک مورد مطالعه شور-سدیمی بوده و با توجه به حضور پوسته‌های رسی در هر چهار خاک، دارای افق مشخصه ناتریک (مؤسسه خاکشناسی آمریکا، ۲۰۱۴) می‌باشند. هدایت الکتریکی تمام خاک‌ها (به جز خاک ۲) بسیار بالا (جدول ۱) بود و در خاک‌های ۳ و ۴ مقادیر بسیار بالای تجمع‌های نمک در افق‌های سطحی و زیرسطحی این خاک‌ها مشاهده شد و بنابراین این خاک‌ها (خاک‌های ۳ و ۴) دارای افق مشخصه سالیک (مؤسسه خاکشناسی آمریکا، ۲۰۱۴) می‌باشند. در مشاهده‌های صحرایی تجمع‌های نمکی افق‌های سالیک به صورت گرهک‌ها و توده‌های کم و بیش کروی (شکل ۲، الف) و همچنین به صورت پوشش‌هایی در سطوح منافذ و پرشدگی‌های درون منافذ و درز و ترک‌های خاک مشاهده شدند، به نحوی که به صورت پوسته‌ای پیوسته تمام سطح افق‌های مربوطه را پوشانده‌اند (شکل ۲، ب). براساس نقشه‌های زمین‌شناسی چهارگوش ارومیه (شهرابی، ۱۹۹۴؛ سلطانی‌سیسی، ۲۰۰۵)، مواد مادری این خاک‌ها رسوبات کواترنر متشکل از پهنه‌های رسی نمکی می‌باشد و به نظر می‌رسد منشأ آهک در این خاک‌ها، مارن‌های آهکی نواحی اطراف هستند که از طریق آب‌های جاری به این منطقه منتقل شده و پس از نفوذ به اعماق خاک، در افق‌های زیرین دوباره رسوب یافته و افق‌های کلسیک را در این خاک‌ها (خاک‌های ۲ و ۳) به وجود آورده‌اند. کربن آلی تمام خاک‌های مورد مطالعه (به استثنای افق‌های A و Btn خاک ۲) در مجموع کم بود (جدول ۱) و به نظر می‌رسد علت این امر را می‌توان در مقادیر خیلی زیاد نمک موجود در این خاک‌ها جستجو کرد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

شماره خاکریز	فق	عمق (سانتی‌متر)	توزیع اندازه ذرات (درصد)	رس	سیلت	شن	CCE (درصد)	سدیم تبادلی (cmol/kg)	CEC (cmol/kg)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	OC (درصد)	ESP (درصد)	شماره خاکریز	
														فق	عمق (سانتی‌متر)
Profile 1: fine, mixed, active, mesic, Typic Natixeralfs															
۳۳/۴	A	۰-۳	۱۸/۳	۳۹/۸	۴۱/۹	۱۸/۴	۱۵/۱	۲۴/۹	۱۴/۹	۷/۳	۸/۴	۰/۳	۶۰/۷	۳۳/۴	۱
۱۳۹/۵	Bm1	۳-۲۰	۲۶/۵	۴۷/۶	۲۵/۷	۲۶/۵	۱۸/۳	۲۷/۶	۲۵/۹	۷/۳	۹/۴	۰/۱	۶۶/۲	۱۳۹/۵	۱
۶۰/۷	Bm2	۲۰-۵۰	۴۵	۳۹/۶	۱۵/۴	۱۸/۹	۲۰/۵	۲۹/۹	۱۰/۳	۸/۴	۹/۵	۰/۰۴	۶۸/۴	۶۰/۷	۱
۴۶/۹	Bm3	۵۰-۸۰	۴۸/۴	۴۲/۳	۹/۳	۱۶/۳	۲۲/۱	۲۹/۴	۸/۴	۷/۳	۸/۴	۰/۰۴	۷۵/۲	۴۶/۹	۱
۴۲/۹	Bm4	۸۰-۱۰۵	۳۶/۳	۴۷/۴	۱۶/۳	۱۸/۹	۱۴/۵	۲۳	۷/۳	۷/۳	۸/۴	۰/۰۴	۶۳	۴۲/۹	۱
۳۰/۶	C	۱۰۵-۱۳۰	۲۰/۷	۳۲/۳	۴۷	۱۷/۹	۹/۷	۱۸/۵	۷/۳	۷/۳	۸/۴	۰/۰۴	۵۲/۵	۳۰/۶	۱
Profile 2: fine, mixed, semiaactive, mesic, Typic Natixerolls															
۲/۶	A	۰-۲۰	۴۱/۸	۲۶/۷	۳۱/۴	۳۲/۶	۳/۸	۲۴/۸	۱/۱	۱/۱	۳/۷	۱/۲	۱۵/۵	۲/۶	۲
۷	Bm	۲۰-۳۵	۴۵/۴	۲۹/۷	۲۴/۸	۲۹/۶	۴/۷	۳۳/۴	۱/۵	۱/۵	۶	۷/۰	۲۰/۳	۷	۲
۱۲	Btkn1	۳۵-۵۶	۵۴/۹	۲۶/۳	۲۲/۷	۳۳/۷	۸/۵	۲۷/۷	۴/۵	۴/۵	۸/۷	۳/۰	۳۰/۷	۱۲	۲
۱۶/۶	Btkn2	۵۶-۸۳	۴۳/۶	۳۲/۶	۳۳/۸	۳۵/۲	۹/۱	۲۴/۷	۶/۶	۶/۶	۸/۷	۳/۰	۳۴	۱۶/۶	۲
۵/۷	C	۸۳-۱۵۵	۱/۸	۵۱/۷	۱۵/۴	۱۷/۸	۳/۳	۲۳	۱/۵	۱/۵	۸/۷	۲/۰	۴/۱	۵/۷	۲

ادامه جدول ۱-۱

SAR	ESP (درصد)	OC (درصد)	pH	EC (دسی زیمنس بر متر)	CEC (cmol/kg)	سدیم تبادل (cmol/kg)	COE (درصد)	توزیع اندازه ذرات (درصد)		عمیق (سانتی متر)	افق	شماره خاکریخ
								رس	سیلت			
Profile 3: very fine, mixed, semiactive, mesic, Calcic Aquisalids												
۳۳/۶	۴۹/۶	۰/۵	۸/۵	۴۱	۳۶/۷	۱۳/۲	۲۰/۹	۲۵/۶	۳۷/۳	۴۷	۰-۲۸	Az
۴۲	۳۹/۶	۰/۴	۸/۷	۵۵/۱	۳۶/۶	۲۵/۵	۲۴	۳۷/۲	۱۸	۱۴/۷	۲۸-۴۳	Btknz1
۴۱/۸	۳۵/۲	۰/۴	۸/۷	۴۵/۷	۳۳/۲	۲۱/۶	۱۸/۹	۵۹/۲	۱۹/۶	۲۱	۴۳-۶۱	Btknz2
۳۴/۴	۴۷/۷	۰/۰۹	۸/۵	۳۶	۱۹/۲	۹/۲	۱۰/۴	۱۸/۳	۷/۷	۷۴	۶۱-۸۰	Btgn1
۴۳/۷	۳۷/۴	۰/۲	۸/۶	۴۳/۵	۳۲/۲	۲۱/۷	۲۵	۵۴/۳	۲۴/۵	۲۱	۸۰-۱۳۷	Btgn2
Profile 4: fine, mixed, semiactive, mesic, Typic Aquisalids												
۳۲/۹	۷۷/۵	۵/۵	۵/۷	۱۳۳/۲	۲۸/۹	۲۲/۴	۹/۲	۳۲/۷	۲۴/۷	۴۲/۵	۰-۲۰	Az1
۵۷/۱	۷۲	۶/۰	۹/۲	۳۷/۳	۳۷	۱۹/۵	۸/۷	۳۵/۴	۲۷/۳	۳۷/۴	۲۰-۴۱	Az2
۷۸/۷	۶۶	۱/۰	۹/۷	۴۸/۶	۳۶/۷	۱۷/۶	۱۱/۷	۳۵/۳	۵۹	۵/۶	۴۱-۹۳	Btm1
۸۴/۷	۷۱/۵	۰/۰۹	۹	۴۳/۱	۳۰/۷	۲۱/۹	۱۰/۷	۴۰/۱	۳۹/۴	۲۰/۵	۹۳-۱۳۷	Btm2

جدول ۲ - خصوصیات میکرومورفیک خاک‌های مورد مطالعه.*

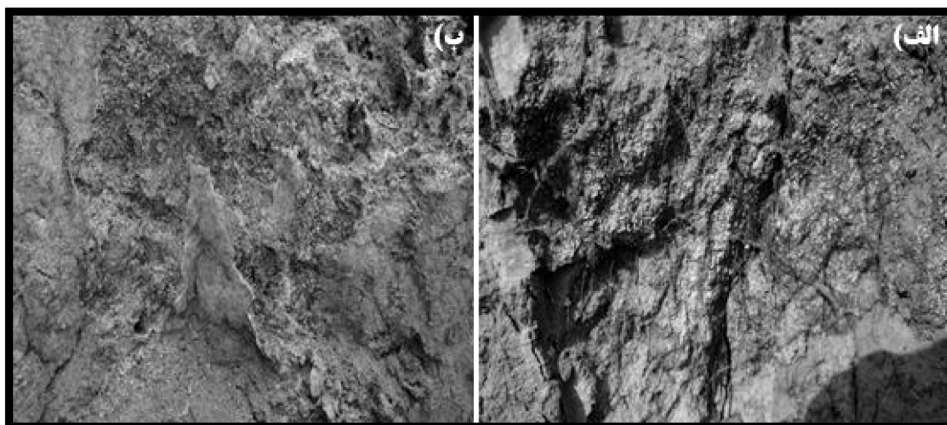
crystalline	Pedofeatures		b-fabric	C/F Related distribution	Microstructure types	Void types	عمیق (سانتی‌متر)	افق	خاکریخ
	Amorphous	textural							
Coatings of Salts	-	Clay coating	Cr, Ss, Msp	Po(open, single space)	Ch, Vu, Ma	Vu, Ch, Pn	۲-۲۰	Btm1	
Coatings of Salts	-	Clay coating	Cr, Ss	Po(open)	Ch	Ch, Pn	۲۰-۵۰	Btm2	۱
-	N(Ty, Nu)of Fe	Clay coating	Cr, Ss	Po(open)	Ch	Ch	۵۰-۸۰	Btm3	
N(Ty, Cac) Salts coatings	N(Ty)of Fe	Clay coating	Cr, Msp	Po(open)	Ch, Vu, Sb	Vu, Ch, Pn	۸۰-۱۰۵	Btm4	
-	-	-	Cr	Po(open)	Sb, Gr, Ab	Cdp, Ch, Vu, Pn	۰-۲۰	A	
-	-	Clay coating	Cr, Ss	Po(open)	Ma, Ch	Ch	۲۰-۳۵	Btm	
N(Ty, Cac) Salts coatings	N(Ty)of Mn, Organic coatings	Clay coating	Cr, Ss	Po(open, close, single space)	Sb, Ch	Ch, Vu, Pn	۲۵-۵۶	Btkn1	۲
N(Ty, Cac) N(Ge, Cac)	N(Ty)of Fe, Mn, Coatings (Ty, salts)	Clay coating	Cr, Msp	Po(open)	Ch	Ch, Pn	۵۶-۸۳	Btkn2	
Inf(Cac)	N(Fe, Mn) Coating (Fe, Mn)	-	Cr, Ss	Po(open, close)	Ch, Vu	Ch, Vu	۸۳-۱۵۵	C	

ادامه جدول ۲-۲

crystalline	Pedofeatures		b-fabric	C/F Related distribution	Microstructure types	Void types	عمیق (مستتر متر)	اقق	خاکریخ
	Amorphous	textural							
N(Cac)	Coating (Fe, Mn)	-	Cr	Po(close)	Ch	Ch	۰-۱۸	Az	
Coatings (salts)	N(Fe, Mn) Organic coatings	Clay coating	Cr	Po(open, close)	Sb, Ab	Cdp, Ch, Pn, Vu	۲۸-۴۳	Btknz1	
N(Ty, Cac)	Coatings (Fe, Mn) N(Fe, Mn)	Clay coating	Cr, Ss	Po(open, close)	Sb, Ab, Ma	Cdp, Ch, Pn, Vu	۴۳-۶۱	Btknz2	۳
N(Ty, Cac) Inf(salts) Salts coatings	N(Fe, Mn)	Clay coating	Cr	Po(open)	Ch, Ma, Vu	Ch, Vu, Pn	۸۰-۱۳۷	Btgn2	
N(Cac, slats) N(Ty, Cac) N(Cac, Pe) Inf(salts) Salts coatings	Coatings (Fe, Mn, organic) N(Fe) Coating (Fe, Mn, organic)	-	Cr, Ss	Po(open, single space)	Ch	Ch, Pn	۰-۲۰	Az1	
N(Cac, Pe) Inf(salts) Salts coatings	N(Fe) Coating (Fe, Mn, organic)	-	Cr, Msp	Po(open)	Sb	Cdp, Ch, Pn	۲۰-۴۱	AZ2	
N(Cac, Pe) Inf(salts) Salts coatings	N(Fe, Mn)	Clay coating	Cr, Msp	Po(open)	Ch	Ch	۴۱-۹۳	Btgn1	۴
N(Cac, Pe) Inf(salts) Coatings (salts, Cac)	N(Fe, Mn)	Clay coating	Cr, Ss	Po(open, double space)	Ch	Ch	۹۳-۱۲۷	Btgn2	

*علام اختصاری جدول ۲

Cdp: compound packing void, Vu: vugh, Pn: planar, Ch: channel, Ma: massive, Gr: granular, Ab: angularblocky, Sb: subangularblocky, Po: porphyritic, Msp: mosaic speckled, Ss: stipple speckled, Cr: crystallite, N: modul, Ty: typic, Cac: Calcite carbonate, Inf: infilling, Pe: pedogenic, Li: litogenic, Ge: geodic



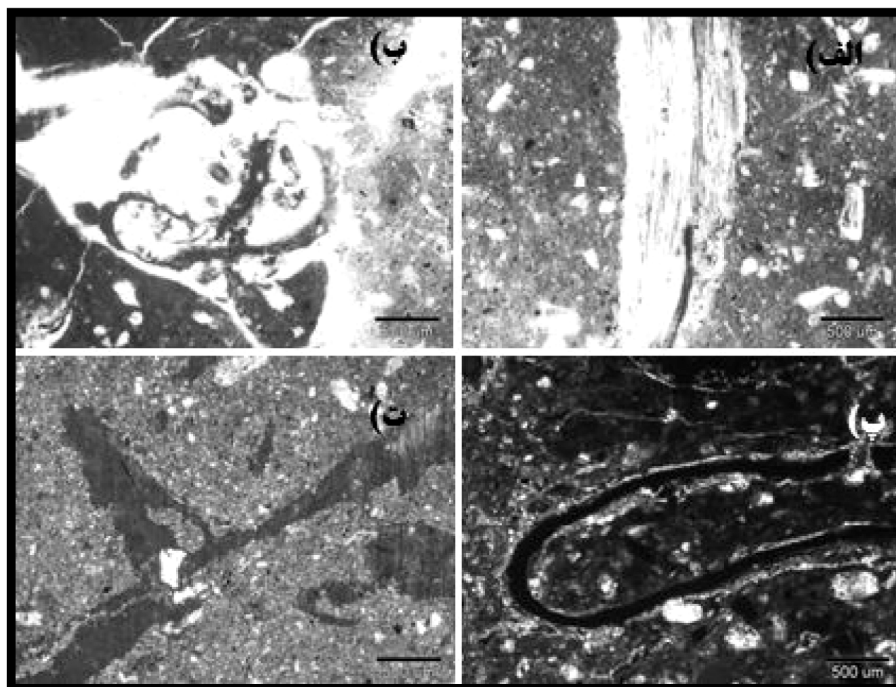
شکل ۲- مشاهده نمک‌ها در صحرا و با چشم غیرمسلح، الف) خاکرخ ۳، افق Btknz1، ب) خاکرخ ۴، افق A22.

در این اراضی که متأثر از دریاچه ارومیه و نمک ناشی از آن هستند، به دلیل حضور مقادیر فراوان نمک، شرایط برای استقرار پوشش گیاهی متراکم و حتی میکروارگانیسم‌ها مهیا نیست و تنها پوشش گیاهی پراکنده از نوع شورپسند در این اراضی استقرار دارند. در نتیجه سالانه کربن آلی کم‌تری به این خاک‌ها اضافه می‌شود که منجر به مقادیر کم‌تر کربن آلی در این خاک‌ها گردیده است. از بین خاک‌های مورد مطالعه، خاکرخ ۲ دارای هدایت الکتریکی و نمک کم‌تری (به‌خصوص در افق‌های سطحی) می‌باشد (جدول ۱)، بنابراین این خاکرخ به دلیل شرایط زیستی مناسب در مقایسه با سایر خاکرخ‌ها، دارای پوشش گیاهی به نسبت متراکم از نوع چمنی می‌باشد و ریشه‌های فراوان آن‌ها سبب افزوده شدن مقادیر بیش‌تر بقایای گیاهی و در نتیجه کربن آلی بیش‌تر در این خاکرخ گردیده است. بنابراین تراکم فراوان ریشه‌ها در افق‌های سطحی خاک و همچنین افزوده شدن بقایای گیاهی فراوان به سطح‌الارض این خاکرخ، منجر به مقادیر زیاد کربن آلی (جدول ۱) و رنگ تیره (10YR4/3 در حالت خشک و 10YR3/3 در حالت مرطوب) در افق A این خاکرخ گردیده است. بنابراین این افق تمام ویژگی‌های اپی‌پدون مالیک (مؤسسه خاکشناسی امریکا، ۲۰۱۴) را داراست و به‌عنوان مالی‌سول رده‌بندی گردید.

میکرومورفولوژی منافذ: براساس مشاهده‌های میکروسکوپی (جدول ۲)، بیش‌تر خاک‌های مورد مطالعه بدون دانه‌بندی (apedal) هستند و احتمالاً سدیم تبادلی فراوان موجود در این خاک‌ها (جدول

۱) سبب پراکنش و تخریب دانه‌بندی آن‌ها گردیده است. از این‌رو در مقاطع نازک تهیه شده از این خاک‌ها، خاکدانه‌ها مشاهده نشدند. با این وجود، در مطالعات صحرایی انواع ساختمان‌های مکعبی و منشوری مشاهده شدند. در این خاک‌ها منافذ به‌طور عمده از نوع ووگ، کانال و منافذ صفحه‌ای می‌باشند (جدول ۲) و با توجه به نوع منافذ و نبود خاکدانه‌های میکروسکوپی، ریزساختمان آن‌ها شامل انواع ووگی، کانالی و توده‌ای می‌باشد. براساس نتایج حاصله (جدول ۲)، نوع حفرات در تمام خاکرخ‌ها یکسان، ولی از نظر مقدار متفاوت می‌باشند که این مقدار روند خاصی را در خاکرخ‌ها نشان نمی‌دهد. حفرات از نوع وگی بیش‌ترین فراوانی را در این خاک‌ها دارند که نشان‌دهنده تفاوت در هوادیدگی کانی‌ها و آبشویی آن‌ها می‌باشد و با توجه به مقادیر فراوان رس و کربنات کلسیم در این خاک‌ها (جدول ۱)، احتمالاً منافذ ووگی در اثر تجمع و اتصال ذرات رس و آهک تشکیل شده‌اند. بروئر (۱۹۶۴) نیز چنین مکانسمی برای تشکیل این منافذ بیان کرده است. عاکف و همکاران (۲۰۰۴) و شریفی‌گرم‌دره (۲۰۱۱) نیز در مطالعات خود گزارش‌های مشابهی داشته‌اند.

وجود حفرات کانالی نیز در هر چهار خاکرخ بیانگر فعالیت‌های بیولوژیکی در این خاک‌ها می‌باشد. به اعتقاد بروئر (۱۹۶۴) منافذ کانالی در اثر تجزیه ریشه گیاهان و همچنین فعالیت‌های جانوران خاکزی مانند کرم‌های خاکی ایجاد می‌شوند. با توجه به حضور بقایای ریشه در برخی از منافذ کانالی (شکل ۳، الف) و همچنین فضولات جانوری در این منافذ (شکل ۳، ب) می‌توان بیان نمود که منافذ کانالی در این خاک‌ها دارای منشأ زیستی بوده و تجزیه بقایای ریشه گیاهان و جانوران خاک عامل ایجاد این منافذ هستند. بررسی مقاطع نازک بقایای تخریب نشده و به‌نسبت سالم کرم خاکی را در این خاک‌ها نشان داد که توسط نمک احاطه شده‌اند (شکل ۳، پ). با توجه به مقادیر بسیار زیاد نمک در این خاک‌ها، زندگی و فعالیت کرم‌های خاکی در چنین شرایطی امکان‌پذیر نیست. بنابراین این امر نشان می‌دهد که این خاک‌ها قبلاً شور-سدیمی نبوده‌اند و فعالیت‌های زیستی در آن‌ها جریان داشته است و این فعالیت‌های زیستی (گیاهی و جانوری) منجر به تشکیل حفرات کانالی در این خاک‌ها گردیده است و بعداً فرایند شور-سدیمی شدن رخ داده و منجر به توقف فعالیت‌های زیستی ماکرو و میکروارگانیسم‌ها و مرگ این جانوران و باقی ماندن بقایای به‌نسبت سالم آن‌ها شده است. چاخرلو و منافی (۲۰۱۳) نیز در مطالعات خود گزارش‌های مشابهی داشته‌اند.



شکل ۳- الف) و ب) حفرات کانالی که به ترتیب محل عبور ریشه‌ها و فضولات جانوران خاکزی می‌باشند. افق Bt. خاکرخ ۲، تصاویر در نور PPL تهیه شده است و تصویر پ) اندام کامل کرم خاکی در یک منفذ کانالی که تجمعات نمک هم در حاشیه کانال دیده می‌شود. افق Az1، خاکرخ ۴ و ت) حفرات کانالی که بی‌فابریک بلوری در بیش‌تر نقاط قابل تشخیص است که این دو تصویر در نور XPL تهیه شده است.

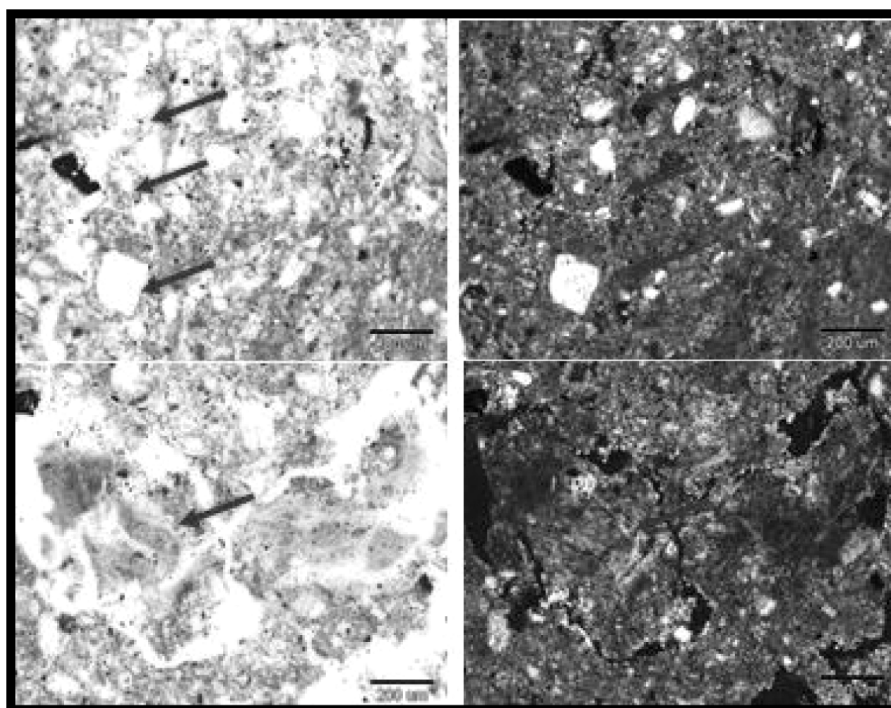
بروئر و اسلیمن (۱۹۶۳)، بروئر (۱۹۶۴)، عاکف و همکاران (۲۰۰۴) و شریفی‌گرم‌دره (۲۰۱۱) نیز در مطالعات خود تشکیل حفرات کانالی را ناشی از فعالیت گسترده کرم خاکی دانسته‌اند. بی‌فابریک خاک‌ها: بی‌فابریک خاک‌های مورد مطالعه به دلیل حضور مقدار زیاد کلسایت میکریتی در زمینه (ground mass) این خاک‌ها (جدول ۱ و شکل ۳، ت)، به‌طور عمده از نوع خرده بلوری (crystallitic) است. بی‌فابریک خرده بلوری به‌طور عموم در خاک‌هایی دیده می‌شود که از مخلوط رس و کلسایت ریزبلور تشکیل شده‌اند. این نوع بی‌فابریک شرایط مناسب برای ترسیب سریع کربنات مانند خشکی مکرر، خروج سریع CO_2 از محلول خاک و یا هر دو را نشان می‌دهد. به‌نظر می‌رسد این نوع فابریک در اثر انحلال و انتقال کربنات کلسیم و رسوب دوباره آن در افق‌های زیرین ایجاد شده

است. سوبکی و ویلدینگ (۱۹۸۲)، در خاک‌های تگزاس، عاکف و همکاران (۲۰۰۴)، در منطقه فومنات گیلان و منافی (۲۰۱۰) و منافی (۲۰۱۳) در منطقه ارومیه نیز نشان دادند که شستشوی آهک از سطح خاک به اعماق خاکرخ باعث ایجاد بی‌فابریک خرده بلوری شده است.

عوارض خاکساز

پوشش‌های رسی: یکی از بارزترین عوارض خاکساز در این خاک‌ها پوشش‌های رس تجمع‌یافته هستند که به صورت پوشش‌هایی در سطوح منافذ و در مواردی در توده ریزخاک‌ها مشاهده شدند (جدول ۲ و شکل ۴). ضخامت پوسته‌های رسی در افق‌های مختلف خاکرخ‌های مختلف در دامنه ۱۲-۵ میکرومتر متغیر است و فراوانی آن‌ها با عمق افزایش می‌یابد. حضور پوسته‌های رسی (جدول ۲)، واکنش قلیایی و مقادیر بالای سدیم تبدلی (جدول ۱) در هر چهار خاکرخ مورد مطالعه، بیانگر حضور افق مشخصه ناتریک (مؤسسه خاکشناسی امریکا، ۲۰۱۴) در این خاک‌ها می‌باشد.

فرایند انتقال و تجمع رس و در نتیجه تشکیل افق ناتریک (آرجیلیک) در این خاک‌ها با توجه به اقلیم نیمه‌خشک فعلی منطقه دارای اهمیت فراوانی است. بیش‌تر خاکشناسان اعتقاد دارند که تشکیل افق آرجیلیک تحت شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک امکان‌پذیر نیست و پدیده آبشویی رس در اقلیم خشک و نیمه‌خشک به علت کمی رطوبت، آهکی بودن بیش‌تر خاک‌ها و عوامل بازدارنده دیگر، معمولاً یا رخ نمی‌دهد یا خیلی آهسته و ناپیوسته است. در نتیجه علایم مشخصه افق آرجیلیک در خاک‌های اینگونه مناطق بیش‌تر غیرواضح می‌باشد (گونل و رانسوم، ۲۰۰۶؛ اوفنار، ۲۰۰۷؛ سریواستاوا و همکاران ۲۰۰۷؛ کارلستورم و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین، با توجه به اقلیم فعلی منطقه، آهکی بودن خاک‌ها و همچنین مقادیر بالای هدایت الکتریکی و در نتیجه نمک فراوان موجود در این خاک‌ها (جدول ۱)، شستشو و انتقال رس با این میزان بسیار نامحتمل به نظر می‌رسد و در نتیجه افق‌های آرجیلیک (ناتریک) در این خاک‌ها با احتمال قوی در یک اقلیم مرطوب‌تری نسبت به اقلیم حاضر منطقه تشکیل شده‌اند و تجمع‌های رسی موجود در این خاک‌ها یک عارضه باقی‌مانده از یک اقلیم مرطوب‌تر در اوایل کواترنر می‌باشند.



شکل ۴- تصاویر پوشش‌های رس ته‌نشستی در خاک‌های مورد مطالعه. تصاویر از افق Btkn1 خاکرخ ۱. تصاویر سمت راست در نور XPL و تصاویر سمت چپ در نور PPL تهیه شده است.

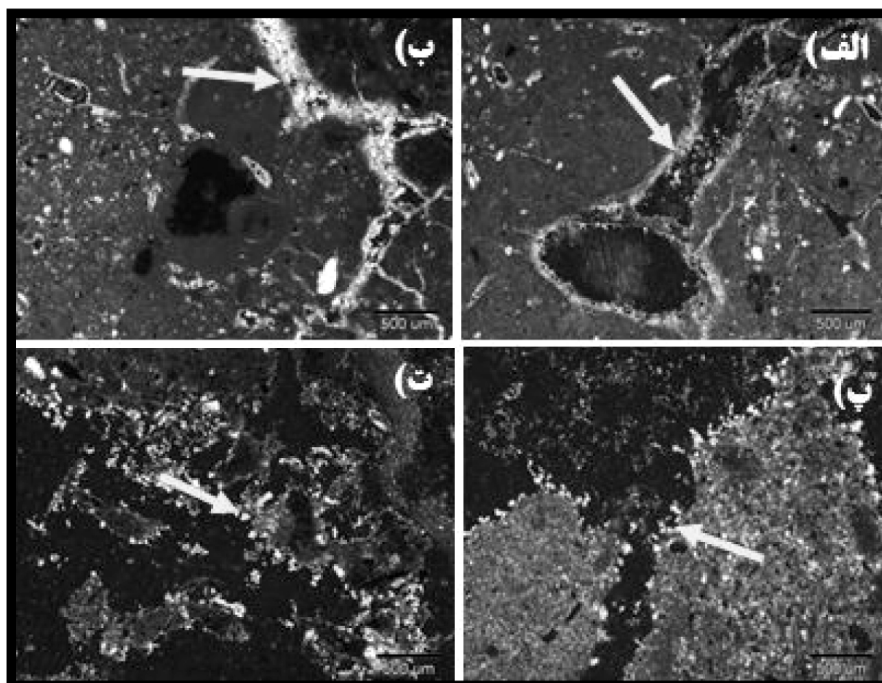
خادمی و مرموت (۲۰۰۳) در اربیدی سول‌های مرکز ایران و خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) در جنوب ایران نیز بیانات مشابهی داشته‌اند. خریسات و کودا (۲۰۰۶) حضور افق‌های آرچیلیک و پوسته‌های رسی را به پایداری سطح خاک نسبت داده‌اند. این پژوهشگران فرایندهای انتقال و ته‌نشست کربنات و رس و تجمع نمک را فرایندهای پدوژنیک غالب در دشت ازرق اردن معرفی کرده و بیان نموده‌اند که آبشویی رس و تشکیل افق آرچیلیک در این خاک‌ها یک عارضه باقی‌مانده از اقلیم مرطوب‌تر در طول کواترنر می‌باشند و به‌دنبال آن اقلیم به‌طور تدریجی به سمت خشکی تغییر یافته است. نتایج نشان داد که تمام خاک‌های مورد مطالعه محتوی مقادیر به نسبت زیاد کربنات کلسیم معادل هستند (جدول ۱) و با توجه به نقش بازدارندگی آهک در جابه‌جایی رس در نیمرخ خاک‌ها، جابه‌جایی رس در این خاک‌ها اهمیت بیشتری می‌یابد. گایل و همکاران (۱۹۹۶) یک افق کلسیک محتوی رس انتقال‌یافته را نمایانگر

تغییر اقلیم تعبیر کرده و نشان دادند که رس در یک اقلیم مرطوب تر منتقل می شود، ولی بعداً هنگامی که اقلیم خشک تر می گردد، توسط کربنات احاطه می گردد. به هر حال پژوهشگران زیادی (پال و همکاران، ۲۰۰۳؛ خادمی و مرموت، ۲۰۰۳؛ خریسات و کودا، ۲۰۰۶؛ گونل و رانسوم، ۲۰۰۶؛ اوفنار، ۲۰۰۷؛ سریواستاوا و همکاران، ۲۰۰۷؛ کارلستوم و همکاران، ۲۰۰۸) هم انتقال کربنات را به عنوان یک ضرورت برای تهنشست رس بدیهی دانسته اند. گایل و همکاران (۱۹۹۶) نتیجه گیری کردند که کربنات فراوان در مواد مادری آبرفتی می تواند از تحول افق های آرچیلیک جلوگیری کند. از دید تئوریک وقوع هم زمان فرایندهای تهنشست رس و تجمع کربنات کلسیم ثانویه با همدیگر متناقض می باشد (گونل و رانسوم، ۲۰۰۶) و انتقال رس تنها پس از تخلیه کربنات امکان پذیر است. زیرا تا زمانی که یون های Ca^{2+} حضور دارند، رس به صورت فلوکوله و منعقد شده می باشد. با توجه به آنچه ذکر گردید، به نظر می رسد در خاک های مورد مطالعه ابتدا آبشویی و تجمع کربنات و سپس تهنشست و تشکیل پوسته های رسی به وقوع پیوسته باشد. در نتیجه تشکیل افق های مرکب کلسیک- آرچیلیک (ناتریک) نشانه پلی ژنتیک بودن این خاک ها می باشد. وجود هر دو نوع تجمع کربنات کلسیم و رس توجیه شده در یک افق، بر تاریخچه مرکب آبشویی کربنات، رسوبات کلسایت ثانویه و تهنشست رس دلالت می کند (خرمالی و همکاران، ۲۰۰۳).

براساس گزارش های مؤسسه خاکشناسی امریکا (مؤسسه خاکشناسی امریکا، ۲۰۱۴)، ویژگی پراکندگی سدیم پدیده تهنشست رس را تسریع می کند و پژوهش ها نشان داده اند که افق های ناتریک در خاک هایی با سن هولوسن حتی در اقلیم و محیط های خشک و نیمه خشک تشکیل می شوند. همچنین براساس این گزارش ها، نقش سدیم در پراکنده شدن رس و تشکیل افق B با رس های آبشویی شده تثبیت شده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در این خاک ها سدیم تبدالی بالا نیز در پراکنش و حرکت ذرات رس و به دنبال آن تشکیل افق های آرچیلیک (ناتریک) نقش داشته است و حداقل بخشی از رس های افق های آرچیلیک (ناتریک) در این خاک ها تحت تأثیر سدیم تبدالی فراوان موجود در آن ها جابه جا شده اند. در نهایت می توان نتیجه گرفت که به دلیل اضافه شدن مقادیر بسیار زیاد سدیم ناشی از دریاچه اورمیه، به دلیل اثر پراکنده کنندگی سدیم، فرایند پراکنش و حرکت ذرات رس تسریع یافته و علاوه بر آن، تبدیل افق آرچیلیک به افق ناتریک نیز به وقوع پیوسته است. خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه میکرومورفولوژیکی افق آرچیلیک خاک های شور و سدیمی جنوب ایران، پوسته های رسی را گزارش کردند که در معرض سدیم بالا قرار داشتند. کائومانو و همکاران

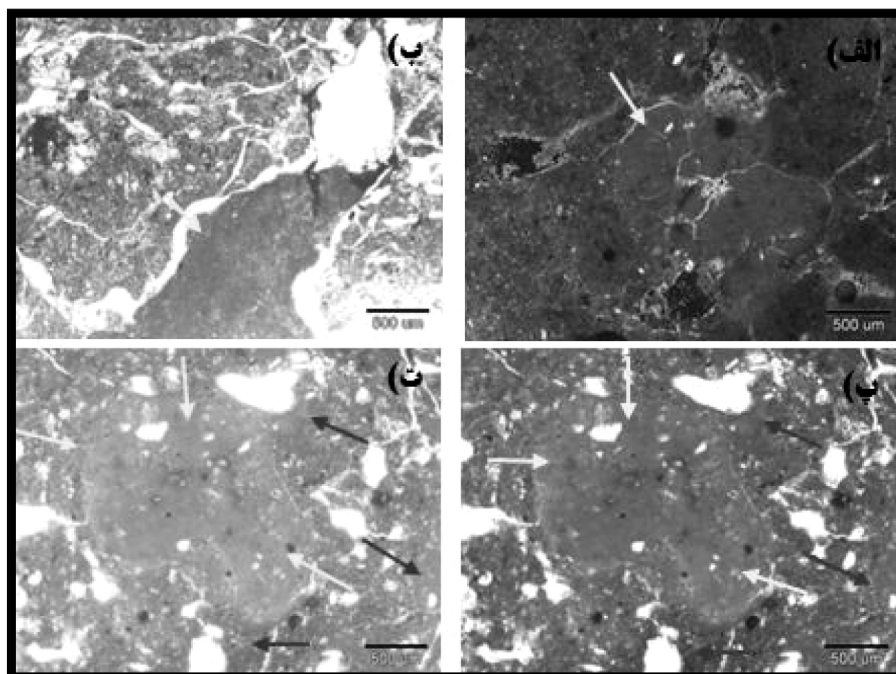
(۲۰۱۰) با مطالعه خاک‌های ناتراکوالف تایلد بیان نمودند که در این خاک‌ها تجمع رس در خاک زیرسطحی و تجمع نمک محلول در خاک‌های سطحی و زیرسطحی نشانگر افق‌های آرچیلیک و ناتریک است. این پژوهشگران افزایش ذرات رس در اعماق زیرین خاک (یعنی جایی که پوشش‌ها به وضوح دیده می‌شوند)، را ناشی از آبشویی و ته‌نشست رس دانسته‌اند و وقوع این فرایندها را به pH بالای خاک و هیدرولیز کربنات سدیم نسبت داده‌اند.

تجمع‌های نمکی: عارضه خاکساز بعدی تجمع‌های نمکی هستند که بخشی از این تجمع‌ها به صورت پوسته‌های ناپیوسته و متشکل از بلورهای مکعبی و نیمه‌گوشه‌دار نمکی در سطوح منافذ مشاهده شدند (شکل ۴، پ و ت). این بلورها دارای توجیه‌شدگی ترجیحی هستند و به موازات سطوح منافذ آرایش یافته‌اند. در اعماق پایین‌تر اندازه بلورهای تشکیل‌دهنده پوسته‌های نمکی کاهش می‌یابد و پوسته‌های نمکی به صورت یک لایه نازک و تقریباً پیوسته که در منابع به نام پوشش‌های پخشیده مومی (diffuse waxy coatings) نامیده شده‌اند، مشاهده می‌شوند (شکل ۴، الف و ب). بلورهای نمک در هر دو نوع پوسته‌های مشاهده شده در این خاک‌ها تقریباً خالص بودند و بدون مواد خاکی زمینه‌ای مجاور هستند. ضخامت پوسته‌ها در افق‌های مختلف در دامنه ۴۵-۸ میکرومتر و اندازه بلورهای نمک نیز در دامنه ۲۰-۴ میکرومتر تغییر می‌کند. به نظر می‌رسد پوشش‌های نمکی در این خاک‌ها در اثر صعود موینگی از سطح ایستابی بالا و تبخیر و رسوب نمک در سطح یا نزدیک به سطح خاک تشکیل شده‌اند. تجمع‌های نمکی توسط آمیت و یالون (۱۹۹۶) در بیابان Negev به دو فرم گزارش شده‌اند: یکی پوشش‌های ناپیوسته متشکل از بلورهای نیمه‌گوشه‌دار نمکی مکعبی شکل به ضخامت ۵۰-۱ میکرومتر که محتوی ذراتی از زمینه خاک هستند و هیچ‌گونه توجیه‌شدگی ترجیحی ندارند. فرم دیگر پوسته‌های نمکی پیوسته بوده‌اند که به سطوح ذرات، خاکدانه‌ها و شکاف‌های موجود در قطعات درشت وصل شده بودند و تقریباً بدون مواد خاکی بودند. این نوع از پوشش‌ها متشکل از بلورهای نمکی مکعبی گوشه‌دار با قطر ۵۰-۱ میکرومتر و توجیه‌شدگی ترجیحی بودند. یکی دیگر از عوارض مربوط به تجمع‌های نمک در این خاک‌ها پرشدگی‌های نمکی هستند (جدول ۲، شکل، ب) که در داخل منافذ کانالی و ووگی مشاهده شدند. این پرشدگی‌ها فضای داخل منافذ را به صورت جزئی یا کامل پر کرده‌اند و مورفولوژی و اندازه آن‌ها تابع شکل و اندازه منافذ میزبان می‌باشد. به نظر می‌رسد تبخیر و رسوب تدریجی نمک در این منافذ منجر به تشکیل این فرم تجمع‌ها گردیده است. نتایج مشابهی توسط عباسلو و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است.



شکل ۵- تجمع‌های نمک (غیرایزوتروپ) در خاک‌های مورد مطالعه. الف) پوشش‌های پیوسته بلورهای ریز نمک در سطوح منافذ افق Az2 خاکرخ ۴. پ) و ت) پوشش‌های ناپیوسته بلورهای درشت و مکعبی نمکی در سطوح خاکدانه‌ها و منافذ افق Az1 خاکرخ ۴. در شکل ب) منافذ پر شده‌اند و تشکیل **infilling** داده‌اند. تصاویر در نور XPL تهیه شده‌اند.

تجمع‌های آهکی: تجمع‌های آهکی از دیگر عوارض خاکساز این خاک‌ها هستند که شامل انواع گرهک‌های تیپیک، پرشدگی‌ها و پوشش‌های آهکی می‌باشند (جدول ۲). گرهک‌های تیپیک آهکی در این خاک‌ها به صورت توده‌های میکریته هستند که دارای فابریک داخلی مشابه با توده ریز خاک بود و مرز آن‌ها با مواد خاکی مجاور پخشیده است (شکل ۶، الف و پ). قطر گرهک‌ها در این خاک‌ها در دامنه ۱۰-۰/۳ میلی‌متر متغیر بوده و اندازه و فراوانی آن‌ها با عمق افزایش می‌یابد. این گرهک‌ها در اثر رسوب در جای کربنات در توده ریز خاک تشکیل شده‌اند.

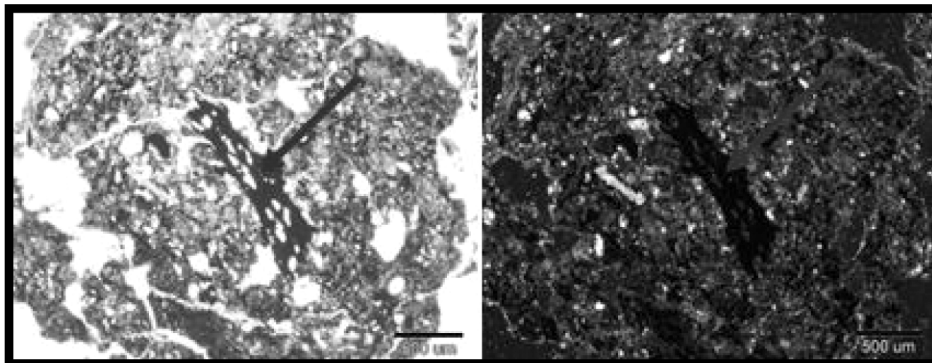


شکل ۶- الف) گرهک تیپیک آهکی در افق Btknz2 خاکرخ ۳ که در حال انحلال است. ب) پوشش آهکی در سطح منافذ کانالی؛ افق Az2، خاکرخ ۴. پ و ت پوشش‌های زیرسطحی (پیکان‌های قرمز) و گرهک تیپیک آهک (پیکان‌های زرد) که به مقدار کمی رس با گرهک آهکی تلقیح شده است. افق C، خاکرخ ۲، تصاویر سمت راست در نور XPL و سمت چپ در نور PPL تهیه شده است.

شکل دیگر تجمع‌های آهکی در این خاک‌ها پوشش‌های آهکی هستند که به صورت پوشش‌هایی در سطوح منافذ (شکل ۶، ب) و پوشش‌های زیرسطحی در مجاورت منافذ خاک (شکل ۵، پ و ت) تشکیل شده‌اند و متشکل از کلسایت میکربیتی هستند. احتمالاً این پوشش‌ها در اثر تبخیر آب در منافذ خاک و همچنین خشکی ناشی از جذب آب توسط ریشه گیاهان و به دنبال آن رسوب کلسایت در سطح منافذ تشکیل شده‌اند. همچنین پوشش‌های زیرسطحی آهکی به خصوص در اطراف کانال‌های بزرگ مشاهده شدند که با افزایش قطر کانال ضخامت پوشش‌های زیرسطحی نیز افزایش یافته است. طبق بیانات ویدر و همکاران (۱۹۹۰) پوشش‌های زیر سطحی آهکی حاصل رسوب سریع کربنات از محلول خاک هستند که این امر به دلیل خشک شدن و مکش آب در اثر فعالیت‌های

متابولیکی ریشه به وقوع می‌پیوندد. این فرضیه بر این اساس مطرح شده است که پوشش‌های زیرسطحی به وفور در ارتباط با بقایای ریشه مشاهده شده‌اند. فرم‌های مختلف کلسایت پدوژنیک در انواع خاک‌ها به‌خصوص خاک‌های آهکی به وفور (خرمالی و همکاران، ۲۰۰۳؛ منافی، ۲۰۱۰؛ منافی، ۲۰۱۲) گزارش شده است.

پوشش‌های آلی: یکی دیگر از عوارض خاکساز منحصر به فرد در این خاک‌ها پوشش‌های آلی هستند که در مشاهده‌های صحرایی به‌صورت لکه‌های چربی سیاه رنگ (Slick Spots) مشاهده می‌شوند که از عوارض خاص خاک‌های سدیمی هستند و در تعدادی از افق‌های زیرسطحی خاک‌های مورد مطالعه مشاهده شدند. در مطالعات میکرومورفیک، این عوارض به‌صورت پوسته‌هایی سیاه‌رنگ در سطوح خاکدانه‌ها و در مواردی به‌صورت مخلوط با توده ریز خاک مشاهده شدند و احتمالاً ناشی از تجزیه کامل مواد آلی و آمیختگی آن با بخش ریز خاک می‌باشند.

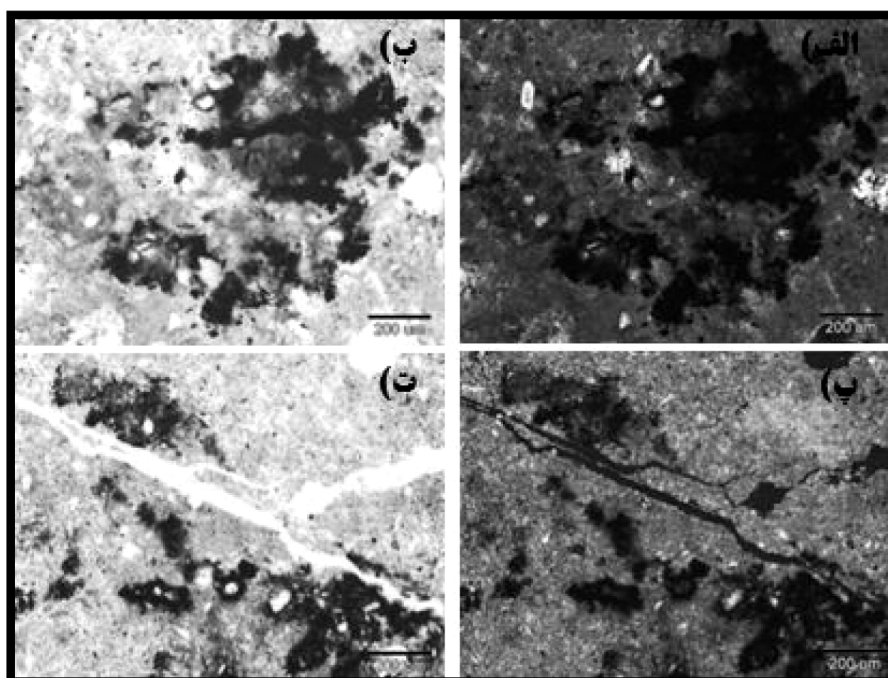


شکل ۷- پوشش‌های آلی (Slick Spots) موجود در خاک‌های شور- سدیمی، افق Btkn1. خاکرخ ۱، همچنین گرهک تیپیک موروثی اکسید منگنز نیز دیده می‌شود (پیکان قرمز). تصویر سمت راست در نور XPL و تصویر سمت چپ در نور PPL تهیه شده‌اند.

تجمع‌های اکسیدهای آهن و منگنز: عارضه خاکساز دیگر در این خاک‌ها تجمع‌های اکسیدهای آهن و منگنز هستند که به‌صورت گرهک‌هایی با قطر ۰/۱-۲ میلی‌متر و فراوانی آن‌ها ۱۰-۲ درصد در توده ریزخاک‌ها (شکل ۸، الف و ب) و همچنین به‌صورت پوشش‌هایی با ضخامت ۰/۱-۰/۱۵ میلی‌متر و فراوانی ۵-۲ درصد، در سطح منافذ مشاهده شدند (شکل ۸، پ و ت). گرهک‌های تیپیک و

پوشش‌های اکسیدهای آهن و منگنز تقریباً در تمامی افق‌ها مشاهده شدند و فراوانی آن‌ها با عمق افزایش نشان داد که بیانگر وجود شرایط اکسید و احیایی در منطقه می‌باشد که با نوسانات آب زیرزمینی همراه بوده است. به‌طور کلی در خلال هوازدگی، Fe و Mn موجود در کانی‌های سیلیکاتی، در اثر فرایندهای هیدرولیز و اکسیداسیون آزاد شده و به‌صورت کانی‌های اکسی‌هیدروکسید و پوشش‌های بی‌شکل روی مواد خاکی رسوب می‌کنند. بنابراین، برای انتقال و جابه‌جایی ترکیبات Fe و Mn در خاک‌ها وجود شرایط بی‌هوازی احیایی لازم است. این شرایط با بالا بودن سطح ایستابی آب زیرزمینی، وجود لایه‌های سطحی با هدایت هیدرولیکی کم، فراهم می‌شود. در فصل‌های بارانی آب زیرزمینی کم‌عمق صعود کرده و خاک را تا حاشیه مویبندی اشباع و احیا می‌کند. در نتیجه ترکیبات Fe و Mn آزاد می‌شوند. این ترکیبات پس از پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در فصل‌های خشک و برقراری شرایط اکسیداسیون، اکسید شده و تجمع‌های رنگین اکسیدهای Fe و Mn را در نواحی اکسیداسیونی به وجود می‌آورند. همچنین هنگامی که لایه‌هایی با قابلیت نفوذ کم در سطح خاک وجود داشته باشند، آب‌های ناشی از بارندگی یا آبیاری قادر به نفوذ به خاک نیستند و در نتیجه در سطح خاک حالت ماندابی موقتی به‌وجود می‌آید که با فراهم بودن سایر شرایط منجر به احیای ترکیبات Fe و Mn می‌گردد. این ترکیبات احیاء شده پس از برطرف شدن حالت اشباع، دوباره اکسید شده و در سطح منافذ و خاکدانه‌ها رسوب می‌کنند. در کل فعالیت‌های حیاتی ریشه و میکروارگانیسم‌ها و همچنین فراهمی مواد آلی با تغییرات pH و Eh خاک‌ها، در ایجاد حالت‌های اکسیداسیون و احیا در خاک‌ها و در نتیجه پیدایش تجمع‌های اکسیدهای Fe و Mn ایفای نقش می‌کنند. این امر در خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش نیز کاملاً مشهود است. اولیایی و همکاران (۱۳۸۸) خصوصیات میکرومورفولوژیکی اکسیدهای آهن و منگنز را در برخی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد مورد بررسی قرار داده و حضور عارضه‌های خاک‌ساخت اکسید آهن و منگنز را با میزان بارندگی، شرایط زهکشی، مواد مادری، فیزیوگرافی و ریزساختمان خاک مرتبط دانسته است. در این خاک‌ها گرهک‌های نوکلئیک اکسید آهن و منگنز نیز در افق‌های تحتانی مشاهده شدند که بنا به گفته بولاک و همکاران (۱۹۸۵) این عوارض در نتیجه تخریب مواد فرومگنزی خالص یا به‌نسبت خالص ایجاد می‌شوند. محمدرضایی و سرمیدیان (۲۰۰۹) نیز وجود گرهک‌ها و پوشش‌های اکسید آهن منگنز در تمامی افق‌های خاک‌های مورد مطالعه را نشان‌دهنده تحول خاک و تحت شرایط نوسانات آب زیرزمینی دانستند. مک‌سوینی و فاستووسکی (۱۹۹۰) گرهک‌های اکسیدهای آهن را پدوژنیک دانسته و

هماتیت و مواد آلی را عامل به وجود آمدن آن‌ها ذکر می‌کنند. لی و همکاران (۱۹۹۰) نشان دادند که اکسیدهای آهن در خاک‌های اکسید شده و با زهکشی خوب حضور دارند. در حالی که اکسیدهای منگنز در نواحی از خاک‌رخ که متحمل اکسیداسیون و شستشوی کم‌تری شده است، به وجود آمده‌اند.



شکل ۸- تجمع‌های اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های مورد مطالعه. الف) و ب) گرهک‌های تیبیک اکسیدهای آهن و منگنز در افق c خاک‌رخ ۲. پ) و ت) پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی اکسیدهای آهن و منگنز پیرامون ذرات درشت در افق Btgn1 خاک‌رخ ۴. تصاویر سمت راست در نور XPL و تصاویر سمت چپ در نور PPL تهیه شده‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی مقاطع نازک نشان داد که در خاک‌های شور-سدیمی غرب دریاچه ارومیه منافذ به‌طور عمده از نوع ووگی و کانالی هستند. کربنات کلسیم فراوان در این خاک‌ها سبب ایجاد بی‌فابریک کریستالی شده است. عوارض پدوژنیک مشاهده شده در این خاک‌ها شامل پوشش‌های رس تجمع

یافته، تجمع‌های نمکی به‌صورت پوشش‌هایی در سطوح منافذ و خاک‌دانه‌ها و پرشدگی‌های نمکی، تجمع‌های آهک ثانویه به فرم‌های گرهک‌های تیبیک، و پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی، پوشش‌های مواد آلی در سطح خاکدانه‌ها و تجمع‌های اکسیدهای آهن و منگنز به‌صورت گرهک‌ها و پوشش‌هایی در سطوح منافذ می‌باشند که منجر به تشکیل افق‌های مشخصه ناتریک، کلسیک و سالیک در این خاک‌ها گردیده‌اند و نشانگر پلی‌ژنتیک بودن این خاک‌ها می‌باشند.

منابع

1. Abbaslou, H., Abtahi, A., and Martin Peinado, F.J. 2012. Micromorphology of arid soils developed on evaporates (Hormozgan Province, southern Iran). Proceedings of the 14th International Working Meeting on Soil Micromorphology. Lleida 8-14 July 2012.
2. Ahmad, F. 2011. Soil classification and micromorphology: A case study of Cholistan Desert. *J. Soil Sci. Environ. Manage.* 2: 11. 321-328.
3. Akef, M., Mahmoudi, Sh., Karimian Eghbal, M., and Sarmadian, F. 2004. Physico-chemical and micro-morphological changes in paddy soils converted from in forest in Foomanat region, Gilan. Iran. *J. Natur. Rest.* 56: 4. 407-423.
4. Amit, R., and Yaalon, D.H. 1996. The micromorphology of gypsum and halite in Reg soils-the Negev desert, Israel. *Earth surfaces and landforms.* 21: 1127-1143.
5. Banaei, M.H. 1998. Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran. Soil and Water Research Institute. Ministry of Agriculture, Iran.
6. Benyarku, C.A., and Stoops, G. 2005. Guidelines for preparation of rock and soil thin sections and polished sections. Department de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida, Spain.
7. Brewer, R. 1964. Fabric and Mineral analysis for soils. Kyieyer Publishing Co, Huntington, NY. 482p.
8. Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., and Babel, U. 1985. Hand book for Soil Thin Section Description. Waine Research Publications, Albrighton, Wolver Hampton, England.
9. Chakherloo, S., and Manafi, Sh. 2013. Micromorphic study of voids in some saline-sodic soils in the west of Urmia Lake. Proceedings of 2nd national congress on climate change and its effects on agriculture and environment. 13-15 August 2013. Urmia, Iran.
10. Gile, L.H., Peterson, F.F., and Grossman, R.B. 1965. The K horizon: A master soil horizon of carbonate accumulation *Soil Science.* 99: 2. 74-82.
11. Gunel, H., and Ransom, M.D. 2006. Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas. *Geoderma.* 68: 59-69.

12. Iranian Institute of soil and water Research. 1989. The 1:250000 map of land resource assessment capabilities of west Azerbaijan province. Sheet, No. II.
13. Kaewmano, Ch., Kheoruenromne, I., Suddhiprakarn, A., and Gilkes, R.J. 2010. Chemistry and clay mineralogy of Thai Natraqualfs. 2010. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, 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. Khersat, S.A., and Qudah, E.A. 2006. Formation and properties of aridic soils of Azraq Basin in northeastern Jordan. *J. Arid Environ*. 64: 116-136.
17. Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, A., and Stoops, G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semi-arid regions of southern Iran. *Catena*. 776: 1-29.
18. Lee, S.Y., Philips, D.H., Amons, J.T., and Lietzke, D.A. 1990. A microscopic study of iron and manganese oxide distribution in soils from east Tennessee (USA). In: Douglas, L.A. (Ed.). *Soil micromorphology: A basic and applied science*. Developments in soil science, 19. Elsevier.
19. Manafi, Sh. 2010. Calcium carbonate pendants as a record of climate change in semiarid soils of Rashakan region, Urmia, Iran. *Soil Science, Agrochemistry and Ecology*. 14: 4. 11-16.
20. Manafi, Sh. 2012. Micromorphic evidences of climate change in some arid and semi arid soils in the west of Urmia Lake, Western Azerbaijan, Iran. *Proceedings of the 14th International Working Meeting on Soil Micromorphology*. Lleida 8-14 July 2012.
21. Manafi, Sh. 2013. The study of micromorphology of some semiarid soils in the Rashakan region in the south of Urmia. *Proceedings of the national congress on soil and sustainable agriculture*. 8 March, Malayer, Iran.
22. Mc Sweeney, K., and Fastovsky, D.E. 1990. Recognition of cemented subsurface horizons in sandy soils of certaceous-paleogenage, eastern Montana. In: Douglas, L.A. (Ed.). *Soil micromorphology: A basic and applied science*. Developments in soil science, 19. Elsevier.
23. Moghiseh, E., and Heidari, A. 2012. Polygenetic saline gypsiferous soils of the Bam region, Southeast Iran. *J. Soil Sci. Plant Nutr*. 12: 4. 729-746.
24. Mohamadzezaie, N., and Sarmadayan, F. 2009. Micromorphological study for recognition Gypsic Aquisalid pedofeatures. 11th Iranian Soil Science Congress. *Soil management and food security*. 12-15 July. Gorgan, Iran.
25. Narimani, Z., and Manafi, Sh. 2013. Effects of salinity and alkalinity of Urmia Lake on physicochemical properties of soils in some lands in the west of Urmia Lake. *Malayer, National Congress of Soil and Sustainable Agriculture*. 8 March. Malayer. Iran.

26. Owliaei, H.R., Adhami, E., and Najafi, M. 2009. The study of the effect of using sequential heating on magnetic susceptibility of soils with aquic and unaquic soil moisture regimes. 11th Iranian Soil Science Congress. Soil management and food security. 12-15 July. Gorgan, Iran.
27. Pal, D.K., Srivastava, P., and Bhattacharyya, T. 2003. Clay illuviation in calcareous soils of the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Geoderma*. 115: 177-192.
28. Separdar, Sh., Delavar, M.A., and Sarabchi, A. 2009. Mineralogical and micromorphological properties of salt crusts on desert lands Abyek. 11th Iranian Soil Science Congress. Soil management and food security. 12-15 July. Gorgan, Iran.
29. Shahrabi, M. 1994. The report of 1:250000 scale geological map of Urmia. Publication of Geological survey and Mineral Exploration Organization of Iran.
30. Sharifi Garmdare, J., Akef, M., Salehi, M.H., and Mehnatkesh, A. 2011. Study of some of physicochemical, micromorphological and mineralogical soil properties on three slope position in Chelgerd region in Chaharmahal and Bakhtiari province. M.Sc. Thesis of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan. 98p.
31. Soil Survey Staff. 2003. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Dept of Agriculture. Handbook 18.
32. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th Edition. USDA. NRCS.
33. Soltani Sisi, Gh. 2005. The report of 1:100000 scale geological map of Urmia. Publication of Geological survey and Mineral Exploration Organization of Iran.
34. 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.
35. Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections (SSSA, Madison, WL), 184p.
36. Ufnar, D.F. 2007. Clay coatings from a modern soil chronosequence: A tool for estimating the relative of well drained paleosols. *Geoderma*. 141: 181-200.
37. Valipoor, M., Karimian Eghbal, M., Malakooti, M.J., and Khoshgoftar Manesh, A.H. 2008. Salinity and land degradation in the area of agricultural development Shams Abad, Qom. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 46:b.
38. Wieder, M., Singer, A., and Gvirtzman, G. 1990. Morphological study of deep buried Jurassic basalt. Derived Paleosols from northern Israel. In: Douglas, L.A. (Ed.). *Soil micromorphology: A basic and applied science*. Developments in soil science. 19. Elsevier.



Ggenesis and micromorphological properties of some saline-sodic soils of the west of Urmia Lake

S. Chakherloo¹, *Sh. Manafi² and A. Heidari³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Urmia, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Urmia, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Tehran

Received: 06/19/2013; Accepted: 03/08/2014

Abstract

Micromorphology is the branch of soil science that is concerned with the description, interpretation and, to an increasing extent, the measurement of components, features and fabrics in soils at microscopic level. The advantage of micromorphology is that, in micromorphological studies the soils are studied in their natural and undisturbed form and so, one can follow the processes that take place in a low rate. In this research, in order to study the micromorphic properties of saline-sodic soils in the west of Urmia Lake, four soil profiles were studied. The profiles were described and classified using standard methods. Disturbed soil samples were used for physico-chemical analysis and thin sections were prepared from undisturbed and oriented samples and were studied using polarizing microscope. According to the results, most of the studied soils were apedal and their voids were mainly vughs and channels. The microstructures of these soils were vughy, channel and massive and their b-fabric were mainly crystallitic. The micromorphic pedofeatures in these soils were illuvial clay coatings, accumulations salts as discontinuous coatings of cubic and suhedral halite crystals on voids and aggregates, continuous halite coatings and halite infillings in vughs and channels, calcium carbonate accumulations as typic nodules, infillings and coatings, redoximorphic accumulations as nodules in the groundmass and coatings on voids and skeletal grains and finally, organic coatings as black films on peds and in some cases mixed with groundmass of the soil.

Keywords: Clay coating, Micromorphology, Saline-sodic soils, Salt coating, Urmia lake

* Corresponding Authors; Email: smanafy@yahoo.com

