



## شواهد تغییرات اقلیمی و نوسانات سطح دریاچه ارومیه در خاک‌های دفن‌شده در حاشیه جنوب‌شرقی آن

\* نیکو حمزه‌پور<sup>۱</sup>، سمیه اسلامی<sup>۲</sup>، عفت آقایی<sup>۲</sup> و سارا ملاعلی عباسیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه مراغه، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه مراغه

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** خشک شدن دریاچه ارومیه و پسروری سواحل آن منجر به برجای ماندن پهنه وسیعی از اراضی شور در اطراف آن گردیده است. از آنجایی که خاک‌ها نشانه‌های محیطی که در آن تشکیل و تکامل یافته‌اند را در خود ثبت می‌کنند، مطالعه خاک‌ها در مجاورت دریاچه‌های خشک شده، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از گذشته منطقه و شرایط اقلیمی آن دوران در اختیار قرار دهند. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی شواهد تغییرات سطح دریاچه ارومیه با مطالعه خاک‌های تکامل‌یافته در حاشیه جنوب‌شرقی آن بود.

**مواد و روش‌ها:** برای انجام این پژوهش یک برش عمود بر دریاچه ارومیه در حاشیه جنوب‌شرقی آن در دشت بناب انتخاب شد. سپس هفت خاک‌رخ با شرایط تکاملی مختلف براساس واحدهای ژئومورفیک و فاصله از دریاچه ارومیه انتخاب، حفر و تشریح شدند. پنج خاک‌رخ در سطوح مختلف پلایای دریاچه ارومیه و دو خاک‌رخ در دشت بناب واقع شدند. از تمامی افق‌های مشخصه نمونه خاک جمع‌آوری گردید و برخی از تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی بر روی نمونه‌های خاک انجام شد. از برخی از افق‌های پدوژنیک نیز نمونه دست‌نخورده برای مطالعات میکرومورفولوژی تهیه گردید. همچنین مطالعه کانی‌شناسی برخی از افق‌های مشخصه نیز صورت گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد از میان خاک‌رخ‌های مطالعه شده، خاک‌رخ‌های ۱ الی ۵ دارای خاک شور و خاک دفن‌شده بودند و تکامل آن‌ها تحت‌تأثیر رسوبات و نوسانات ناشی از دریاچه ارومیه بوده است. در تمامی این پنج خاک‌رخ، در خاک دفن‌شده، درجات مختلفی از تکامل مشاهده شد که نشان‌دهنده دوره زمانی متفاوت خروج آن‌ها از زیر آب، پیش از دفن‌شدگی مجدد با رسوبات دریاچه‌ای بود. تا خاک‌رخ ۳، با دور شدن از دریاچه ارومیه، خاک‌های دفن‌شده، تکامل بیشتری نسبت به خاک روئین نشان دادند و این بیانگر جوان بودن خاک در بالای این خاک‌رخ‌ها بود. مطالعه میکرومورفولوژیکی افق کلسیک دفن‌شده در عمق ۵۰-۱۰۵ سانتی‌متری خاک‌رخ ۲ نشان داد که خاکدانه‌سازی و جداشدگی در این افق به خوبی اتفاق افتاده است و پوشش‌ها و پرشدگی‌های آهکی در دیواره و داخل منافذ مشاهده شد. در خاک دفن‌شده در خاک‌رخ ۳، علاوه بر تکامل افق کلسیک، تشکیل اسمکتیت به‌صورت نوتشکیلی نیز مشاهده شد. در خاک‌رخ‌های ۴ و ۵، خاک روئین نیز همانند خاک دفن‌شده تکامل خوبی داشت و این نشان داد که این بخش از

\* مسئول مکاتبه: [nhamzehpour@maragheh.ac.ir](mailto:nhamzehpour@maragheh.ac.ir)

منطقه مطالعاتی برای زمان نسبتاً طولانی تحت تأثیر فرایندهای خاکسازي بوده است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، شواهدی از خاک دفن شده و رسوبات دریاچه‌ای در خاکرخ ۶ که در اراضی کشاورزی واقع بود، مشاهده نگردید. در این خاکرخ، افق‌های کلسیک با تکامل خوب مشاهده شد که نشان از پایداری سطح و قدمت خاک در این منطقه حداقل نسبت به سایر خاکرخ‌ها داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد که خاکرخ ۵، احتمالاً آخرین نقطه‌ای در حاشیه جنوب شرقی دریاچه ارومیه است که مستقیماً تحت تأثیر دریاچه ارومیه واقع شده است.

**نتیجه‌گیری:** براساس نتایج به دست آمده، وجود خاک‌های دفن شده و لایه‌بندی‌های مختلف با انقطاع بافتی در خاکرخ‌های مطالعاتی نشان داد که دریاچه ارومیه در گذشته نیز به دلیل تغییرات اقلیمی، نوسانات زیادی از نظر گستردگی و عمق داشته است. براساس نتایج این پژوهش، گستردگی دریاچه ارومیه بیش از حداکثر گستردگی ثبت شده آن در صد سال گذشته بوده است و پسروی ساحل آن در حاشیه جنوب شرقی مرحله به مرحله و همراه با پیشروی‌های متعدد و رسوب‌گذاری‌های مجدد بوده است و به این طریق توانسته است بر روی روند تکامل خاک‌ها در مجاورت خود اثرگذار باشد.

**واژه‌های کلیدی:** انقطاع بافتی، تکامل خاک، خاک دفن شده، کانی‌های رسی، میکرومورفولوژی

#### مقدمه

به طور کلی، شرایط امروزی زمین می‌تواند راهنمایی برای درک شرایط گذشته آن باشد. استفاده از خاک‌های قدیمی (پالئوسل‌ها) که در شرایط متفاوت از شرایط فعلی زمین‌نماهای موجود در یک منطقه تشکیل شده‌اند (۴ و ۶)، می‌توانند به عنوان شاخصی برای برآورد شرایط اقلیمی گذشته و فرآیندهای هواپدیدی انجام گرفته در طی این دوران، مد نظر قرار گیرند (۳۱ و ۳۸). در طول دهه‌های گذشته مطالعه بر روی تغییرات آب و هوایی در دوره کوتاه‌تر توسط پژوهشگران متعددی انجام شده است. این مطالعات نشان داده‌اند که در طول تاریخ، تغییرات آب و هوایی در اندازه دریاچه‌ها و همچنین در خشک شدن آن‌ها و تبدیل شدن دریاچه به بیابان نقش مهمی داشته‌اند (۱۶، ۲۶ و ۴۵). مطالعاتی بر روی توالی شن و ماسه از خاک‌های بادرفت (۲۵) و رسوبات دریاچه‌ای (۵ و ۴۱)، وقوع شرایط به طور کلی خشک در اوایل هولوسن را ثابت می‌نماید (۲۰).

با وجود آن‌که پدوژن خاک‌های خیلی جوان تحت تأثیر شرایط اقلیمی فعلی می‌باشد، در بسیاری دیگر از خاک‌های دنیا تحول پروفیلی تحت تأثیر بیش از یک نوع اقلیم صورت گرفته است. این گونه خاک‌ها به دلیل تغییرات اقلیمی، در شرایط متفاوت اقلیمی تحول یافته‌اند و از نظر خصوصیات پروفیلی چندگانه (پلی‌ژنتیک) می‌باشند. یکی از تکنیک‌های مهم برای شناسایی و تغییر خاک‌ها در راستای مطالعات اقلیم‌شناسی گذشته، بررسی میکرومورفولوژیکی خاک است (۳۶). ضیایی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی در خاک‌های لسی قدیمی به عنوان شاخصی از تغییرات اقلیمی رسوب‌گذار و خاک‌ساز در منطقه جنوب گرگان، گزارش کردند که عوارض میکرومورفولوژیکی موجود در این خاک‌ها، شواهد مختلفی از وقوع فرایندهای پدوژنتیکی در این توالی را نشان می‌دهد (۴۶). مشاهدات میکرومورفولوژی

یخبندان کوچک، تغییرات ارتفاعی در اندازه ۱ الی ۳/۵ متر داشته است (۲). با این حال نشان داده شده است که احتمالاً دریاچه ارومیه اندازه‌ای بسیار بزرگ‌تر از آنچه که در طول ۱۰۰ سال اخیر ثبت شده است، نداشته داشت (۲، ۲۱ و ۳۳).

یکی از راه‌های مطالعه وضعیت گذشته دریاچه‌ها، از جمله دریاچه ارومیه، مطالعه رسوبات برجای مانده از پسروری دریاچه و تغییر و تحولات بعدی است که منجر به تکامل خاک در این رسوبات می‌شود. مطالعه خاک‌های مجاور دریاچه ارومیه می‌تواند کمک بزرگی به شناسایی شرایط محیطی که در آن تشکیل شده‌اند بکنند و از آن طریق اطلاعات ارزشمندی از شرایط اقلیمی و وضعیت این دریاچه در اختیار ما قرار دهند.

با توجه به این‌که زمان زیادی از پسروری سواحل دریاچه ارومیه نمی‌گذرد، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص خاک‌های تکامل‌یافته در حاشیه جنوب‌شرقی دریاچه ارومیه و امکان وجود خاک‌های دفن‌شده ناشی از پیشروی‌های گذشته دریاچه ارومیه صورت نگرفته است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی شواهد تغییرات سطح دریاچه ارومیه با مطالعه خاک‌های تکامل‌یافته در حاشیه جنوب‌شرقی آن و تعیین مرز حداکثر گستردگی آن در دوره کواترنری بود.

### مواد و روش‌ها

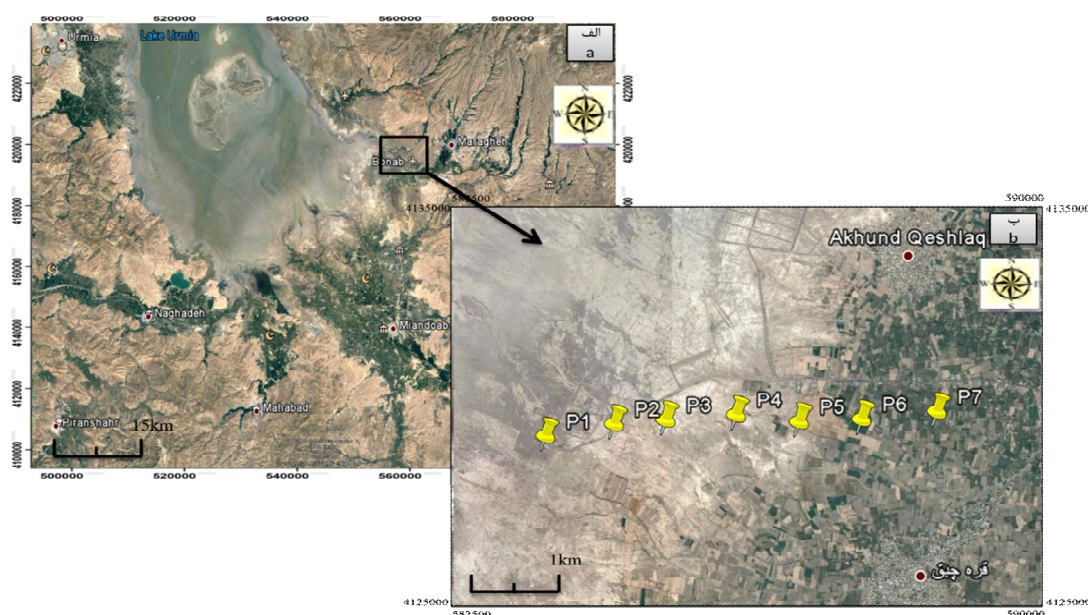
**تشریح وضعیت عمومی منطقه:** منطقه مورد مطالعه در حاشیه جنوب‌شرقی دریاچه ارومیه، در مجاورت دشت بناب در استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). مختصات جغرافیایی آن بین  $45^{\circ} 57' 44''$

خاک منطقه سگزی نشان از فعالیت‌های بیولوژیکی شدید در افق تیره مدفون‌شده‌ای دارد که در دوره سرد نیمه‌یخچالی توسعه‌یافته و شرایط مردابی را ایجاد کرده است (۶). جاکوبز و ماکسون (۲۰۰۴)، در مطالعه مورفولوژیکی و خاک‌های قدیمی چندین خاک مربوط به دوره هولوسن در منطقه نبراسکای ایلات متحده آمریکا دریافتند که این رسوبات نشان‌دهنده سه دوره رسوبگذاری و تشکیل خاک می‌باشند (۲۰). آن‌ها بیان نمودند که این سه دوره در نتیجه تغییرات محیطی (اقلیمی و پوشش گیاهی) در منطقه مورد مطالعه‌شان رخ داده است. همچنین مطالعات تیپور و همکاران (۲۰۱۱)، بر روی مورفولوژی، شکل‌های کربنات کلسیم و گچ پدوژنتیک و کانی‌شناسی خاک قدیمی مربوط به دوره پرمین در نیجر و مقایسه آن با خاک مدرن استرالیا و آمریکا نشان دادند که خاک قدیمی مورد مطالعه در شرایط خشک (اریدی) و بسیار خشک (هایپرایدی) تشکیل شده است (۳۹).

دریاچه ارومیه، واقع در شمال‌غرب کشور ایران، یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های شور جهان است (۴۴) که در طی ده‌های اخیر در حال خشک شدن بوده است. حداکثر گستردگی دریاچه ارومیه در صدسال گذشته در حدود ۶۱۰۰ کیلومترمربع گزارش شده است ولی از سال ۱۹۹۵ میلادی، این سطح به‌تدریج کاهش یافته است (۱۴ و ۱۸). مطالعات نشان داده‌اند که کاهش در سطح دریاچه ارومیه تنها مربوط به ده‌های اخیر نمی‌باشد و در گذشته نیز بارها سطح دریاچه ارومیه کوچک شده است و سواحل آن پسروری‌های گسترده‌ای داشته‌اند (۱۳، ۳۵ و ۴۰). شواهد تغییرات در سطح دریاچه ارومیه در پادگانه‌های متعدد در اراضی اطراف آن ثبت شده‌اند (۲۱). مطالعات نشان داده‌اند که این دریاچه در دوره

آبرفتی و پلایا تشکیل شده است. منطقه مورد مطالعه جزء مناطق استپی سرد است که دارای زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های ملایم می‌باشد. میانگین دمای دوره ده‌ساله آن ۱۵/۰۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۲۶۴/۷۳ میلی‌متر می‌باشد (۱۲).

و ۳۷° ۰۱' ۰۹" طول شرقی و ۳۷° ۱۹' ۵۸" عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه از نظر پستی و بلندی، نسبتاً مسطح می‌باشد. تغییرات ارتفاع از سطح دریا در منطقه مطالعاتی بین ۱۲۷۴ متر در نزدیکی دریاچه ارومیه تا ۱۲۸۳ متر در دورترین قسمت از دریاچه ارومیه بود. از نظر واحدهای ژئومورفولوژیکی این منطقه از دشت



شکل ۱- منطقه مطالعاتی در حاشیه جنوب شرقی دریاچه ارومیه و محل حفر خاک‌های مطالعاتی.

Figure 1. The location of the Study area in the southeast of Urmia Lake and the location of the studied pedons.

مطالعه شدند. خاک‌خ ۱ و ۳ در سطح پلایایی پهنه رسی با سطح پف کرده نمکی، خاک‌خ ۲ در سطح پلایایی پوسته نمکی و خاک‌خ‌های ۴ و ۵ در سطوح رسی-نمکی واقع شده بودند. خاک‌خ ۱ نزدیک‌ترین به دریاچه ارومیه با ارتفاع ۱۲۷۴ متر و خاک‌خ ۷ دورترین از دریاچه با ارتفاع ۱۲۸۳ متر از سطح دریاهای آزاد بودند. بقیه خاک‌خ‌ها در حدفاصل بین آن‌ها واقع شده بودند. از افق‌های مشخصه متکامل و خاک‌های دفن‌شده زیرین که نیاز به بررسی‌های

مطالعه خاک‌های منطقه: به‌منظور انتخاب محل حفر خاک‌خ‌ها، یک برش عمود بر دریاچه انتخاب شد، به‌گونه‌ای که اراضی شور، اراضی حدواسط و اراضی کشاورزی غیرشور جزو مناطق مورد نمونه‌برداری قرار بگیرند. خاک‌خ ۱ نزدیک‌ترین به دریاچه ارومیه و خاک‌خ ۷، دورترین از دریاچه ارومیه بودند. پنج خاک‌خ اول (شکل ۱) در این مطالعه در سطوح پلایایی مختلف با درجات شوری متفاوت و دو خاک‌خ آخر نیز در اراضی کشاورزی غیرشور حفر و

تیمارهای مختلف تهیه گردید. سپس نمونه‌ها به وسیله دستگاه تفرق اشعه ایکس در ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و شدت جریان ۳۵ میلی آمپر و با زاویه ۲۰ برابر با ۲ درجه تا ۳۰ درجه انجام گرفت.

**تهیه و تشریح نمونه‌های میکرومرفولوژی:** نمونه‌ها پس از هواخشک شدن، توسط رزین پلی استر، با اضافه نمودن چند قطره سخت کننده و کاتالیست، در دسیکاتور در شرایط خلاء نسبی تلقیح شدند. پس از اتمام پلیمریزاسیون و سخت شدن رزین، با ایجاد برش با دستگاه برش، نمونه‌ها بر روی اسلایدهای شیشه‌ای چسبانده شدند. سپس با کمک سنباده و پودرهای کربوراندوم با درجات مختلف نمونه‌ها تا حد ۳۰ میکرون نازک گردیدند. مقاطع نازک توسط میکروسکوپ پلاریزان Olympus در دو حالت نور صفحه‌ای (PPL) و نور متقاطع پلاریزه (XPL) مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های تهیه شده بر اساس زبان واژگان استوپس تشریح گردیدند (۳۷) و از قسمت‌های مورد نظر عکس برداری صورت پذیرفت.

### نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاکرها: خلاصه‌ای از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی خاکرهای مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده در این جداول، هدایت الکتریکی خاک در اکثر خاکرهای مطالعاتی بسیار زیاد بود و از حداکثر ۲۳۷ دسی‌زیمنس بر متر در افق سطحی خاکرخ ۱ (نزدیک‌ترین خاکرخ به دریاچه ارومیه) تا حداقل ۰/۸۲ دسی‌زیمنس بر متر در افق 3Bw خاکرخ ۷ متغیر بود (جدول ۱). در خاکرهای ۱ تا

بیش‌تری داشتند، نمونه‌های دست‌نخورده جهت مطالعات میکرومرفولوژی نیز تهیه شد. بر اساس اطلاعات به دست آمده از تشریح و تجزیه خاکرهای خاک، رده‌بندی خاکرها، بر اساس کلید رده‌بندی خاک آمریکایی (۳۴) در حد زیر گروه انجام گرفت.

**تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های دست‌خورده:** در این پژوهش اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری (۸)، درصد کربن آلی به روش سوزاندن تر (۳۰)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (۳۲)، واکنش خاک در عصاره اشباع با استفاده از دستگاه pH متر (۳۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از جانشینی استات سدیم با آمونیوم (۱۰)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک (۲۹)، کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراژ کردن با EDTA (۲۴) سدیم تبادلی با استفاده از عصاره‌گیری با استات آمونیوم-سدیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر شروود ۴۱۰ (۹) اندازه‌گیری شدند.

**تهیه نمونه‌های کانی‌شناسی:** به منظور تهیه نمونه‌های خاک جهت مطالعات کانی‌شناسی، از نه افق مشخصه (از خاکرخ ۲، افق‌های A و 3Bkzgb1؛ از خاکرخ ۳، افق 3Bk2zgb؛ از خاکرخ ۴، افق‌های A، Bkz و 3Bkzb؛ از خاکرخ ۵، افق 3Bgb و از خاکرخ ۶، افق‌های Ap و 2Bk1) استخراج رس پس از حذف آهک، ماده آلی و اکسیدهای آهن آزاد انجام شد (۱۹،۲۳). سپس تیمارهای رس اشباع با منیزیم، منیزیم + گلیسرول، پتاسیم و پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد اعمال شد و اسلایدهای مربوط به

حداقل ۶ درصد در افق 2C خاکرخ ۵ متغیر بود (جدول ۱).

تغییرات بافتی شدید در تمامی خاکرخ‌های مطالعاتی به دفعات مشاهده گردید. درصد شن بین حداقل ۱۷ درصد تا حداکثر ۹۹ درصد تغییرات داشت و لایه‌های با شن بیش از ۹۵ درصد در خاکرخ‌های ۲، ۴ و ۷ مشاهده گردید. بیش‌ترین تعداد انقطاع بافتی در خاکرخ ۲ و بعد از آن در خاکرخ ۴ مشاهده گردید. وجود یک لایه شن خالص (لایه 2C) در خاکرخ‌های ۴ و ۵ نشان داد که در دوره‌ای این دو خاکرخ تنها ساحل دریاچه بوده‌اند. با توجه به این‌که لایه شن با جورشدگی بالا در خاکرخ ۴، دوبار تکرار شده است، در دوره‌ای خاکرخ ۴ برای بار دوم ساحل دریاچه گشته است.

وجود شواهد تغییرات بافتی شدید در نزدیکی ساحل دریاچه ارومیه به همراه دیگر شواهد تغییرات اقلیمی که توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (۲، ۱۳، ۲۱ و ۳۵)، می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات در عمق دریاچه ارومیه به‌عنوان تابعی از تغییرات اقلیمی در منطقه باشد. تغییرات شدید بافتی در خاک‌های مطالعه شده در این منطقه نشان از دوره‌های مختلف رسوبگذاری- خاکسازی دارد. فرزام‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابه آن‌چه در این پژوهش به‌دست آمده است را در غرب دریاچه ارومیه گزارش کرده‌اند. افراد دیگری نیز در مناطق مختلف دنیا، به نتایج مشابهی رسیده‌اند (۱۱، ۲۸ و ۴۷).

۳، بیرون‌زدگی‌های نمکی در کل خاکرخ مشهود بود. مقادیر ESP و SAR نیز در تمامی ۵ خاکرخ اول بیش از به‌ترتیب ۱۵ و ۱۳ درصد بودند که در دو خاکرخ آخر به زیر این مقادیر رسیدند. مقدار آنیون کلر نیز در ۵ خاکرخ اول بسیار زیاد بود و بیش‌ترین مقدار آن ۸۰۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر بود که در افق سطحی خاکرخ ۳ اندازه‌گیری شد. در دو خاکرخ ۶ و ۷، این مقادیر به زیر ۱۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر رسیدند. سطح آب زیرزمینی در ۵ خاکرخ اول در کم‌تر از ۲۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک واقع شده بود و در دو خاکرخ ۱ و ۳، آثار آب‌ماندگی در سطح خاک نیز مشاهده شد.

مقادیر کربن آلی در افق‌های سطحی خاکرخ‌های شور، نسبتاً زیاد بود. به‌عنوان مثال، در افق سطحی خاکرخ ۱ که خاکی با شوری ۲۳۷ دسی‌زیمنس بر متر بود، مقدار کربن آلی، ۱/۱۹ درصد اندازه‌گیری شد (معادل ۲ درصد ماده آلی). با توجه به این‌که سطح این منطقه دارای پوشش گیاهی شور پسند اندکی بود، به‌نظر می‌رسد تجمع بقایای گیاهی در خاک و عدم تجزیه آن‌ها به‌دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی و شوری خاک، عامل بالا بودن درصد کربن آلی در این خاک‌ها بوده است (۴۲). با افزایش عمق، مقدار ماده آلی کاهش یافت و مجدداً در افق‌های دفن‌شده، افزایش نشان داد. جوشش با اسید کلریدریک در اکثر خاکرخ‌ها در صحرا در تمام بخش‌ها مشاهده شد. مقدار کربنات کلسیم معادل اندازه‌گیری‌شده از حداکثر ۲۸/۵ درصد در افق 5Bkzgb2 در خاکرخ ۲ تا

جدول ۱- برخی خصوصیات مورفولوژی و فیزیوشیمیایی خاک‌های ۳، ۲، ۱

کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم تبادل	کلر	ظرفیت تبادل کاتیونی (me.l)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds.m <sup>-1</sup> )		شن	سیلت (%)	رس	ساختمان	رنگ (در حالت خشکی)	عمق (cm)	انفق
							CEC	pH							
37	1.19	148.4	19.1	565	9.1	7.9	237	44	28	28	2mpr	10YR6/2	0-19	Azg	
48	0.5	115.1	22	600	17.61	7.9	123	21	66	13	2cpr	10YR6/1	19-38	2Bzgl	
58	0.68	78.4	22.5	420	17.39	7.6	31	26	48	26	1cpr	10YR6/2	38-69	2Bzgz	
41	0.04	111.9	27	710	7	8.1	115.6	68	18	14	sg	10YR5/3	69-90	3C	
45	0.25	-	24.1	-	7.1	7.6	85.1	58	20	22	-	10YR5/1	90-160	3Bzgb	
Pedon 1, Typic Halaquepts															
25	0.79	35.8	22	120	18.1	7.9	26.3	30	64	6	2mabk	10YR6/2	0-23	A	
55	0.04	45.5	18.7	85	13.18	8.4	18.45	53	38	9	1mabk	10YR6/2	23-30	Bw	
58	0.00	297.0	13.2	105	5.78	7.8	27.2	97	2	1	sg	10YR5/2	30-59	2C	
62	0.36	180.0	21.8	360	23.97	7.6	84	17	46	37	3cpr	10YR7/2	59-105	3Bkzgb1	
34	0.12	88.8	26.2	310	5.78	8.0	61.7	71	20	9	2cpr to sg	10YR6/2	105-115	4Bgb	
50	0.29	70.6	28.5	505	14.57	7.8	106.7	17	54	29	-	10YR6/2	115-150	5Bkzgb2	
Pedon 2, Aquic Haploxepts															
32	0.91	91.0	25.2	805	13.18	7.5	179.7	53	22	25	2mabk	10YR5/2	0-8	Ag	
45	0.27	34.0	8	520	15.27	7.9	104.7	41	48	11	not cl	10YR6/2	8-50	Bzgl	
58	0.12	141.9	17.6	345	10.44	8.0	63.0	71	24	5	sg	10YR6/1	50-82	2Bzgz	
52	0.40	129.2	16.7	445	23.97	7.9	97.1	31	34	35	2mpr to abk	10YR6/2	82-140	3Bkzgb	
Pedon 3, Typic Halaquepts															
31	0.87	34.4	15.1	160	21.74	8.3	24.2	47	25	28	1sgr	10YR5/2	0-17	A	
43	0.69	58.2	26.0	315	26.38	7.9	64.2	29	36	35	2msbk	10YR6/2	17-30	Bw	
54	0.23	64.2	23.1	245	18.72	7.9	49.0	25	64	11	m	10YR7/3	30-57	Bkz	
5.22	0.04	37.3	16.7	95	7.99	7.8	26.5	99	0	1	sg	10YR6/3	57-86	2C	
10	0.37	102.3	19.6	270	34.9	7.7	55.7	36	22	42	2mpr	10YR6/3	86-136	3Bkzb	
64	0.43	17.9	16.4	70	5.22	8.2	11.9	S	94		10YR5/1	136-150	4Bgb		
Pedon 4, Calcic Haplosalids															

ادامه جدول ۱ -  
Continue Table 1.

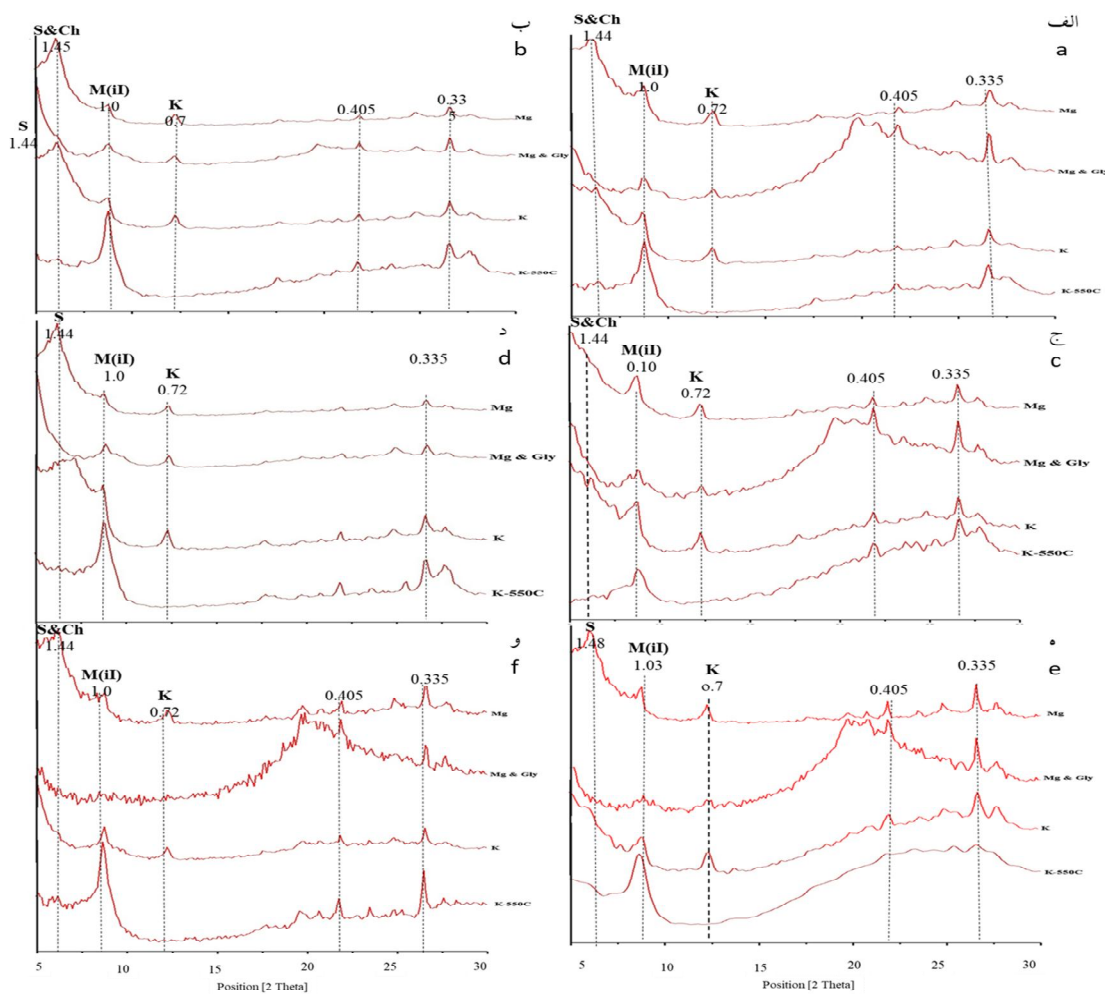
کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم تبادلی	کلر	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol(+)kg)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS.m <sup>-1</sup> )	شن	سیلت	رس	ساختمان	رنگ (در حالت خشک)	عمق (cm)	افق
C.C.E	O.C	SAR	ESP	Cl	CEC	pH	EC	Sand	silt	Clay	Structure	Color	Depth	Horizon
40	1.58	166.6	22.4	385	30.9	7.5	82	30	50	20	1msbk	10YR6/3	0-18	Az
54	0.62	172.8	15.3	280	24.5	8.1	46.4	48	32	20	2mpr	10YR6/3	18-38	Bz
46	0.27	49.9	11.2	95	15.8	8.3	20.3	64	22	14	2cpr	10YR7/3	38-60	Bw
43	0.08	27.6	6.5	45	8.7	8.3	5.2	92	6	2	Sg	10YR6/3	60-76	2C
32	0.17	46.0	8.9	60	28.9	8.0	14.2	22	52	26	-	10YR6/1	76-150	3Bgb
Pedon 5 taxonomy : Typic Haplosalids														
6.1	0.7	58.2	25.8	14	16.6	7.9	4.7	70	18	12	1mgr	10YR6/3	0-10	Ap1
8	0.51	54.6	9.7	17	16.6	8.3	5.3	66	22	12	1msbk	10YR6/3	10-30	Ap2
13.5	0.59	83.1	26.8	14	25.8	8.2	7.0	36	44	20	2mabk	10YR7/3	30-58	2Bk1
7.2	0.56	72.7	26.2	9	24.1	7.9	0.95	52	38	10	1cabk	10YR10/3	58-150	2BK2
Pedon 6 taxonomy : Typic Calcixerepts														
5.4	0.61	6.2	8.6	5	14.4	8.1	1.5	69	18	13	1mab	10YR5/3	0-5	A'
2.1	0.20	2.7	8.1	19	9.6	8.1	4.4	73	20	7	1mab to sg	10YR6/3	5-40	B'w
-	-	-	-	-	-	-	-	95<	-	-	-	-	40-47	2C'
7.8	0.45	8.3	13.9	9	8.3	7.9	0.8	41	34	25	2mabk	10YR7/2	47-81	3Bw
1.6	0.38	13.5	20.4	9	10.1	8.3	1.0	43	30	27	2mabk	10YR7/2	81-150	3Bk
Pedon 7 taxonomy : Typic Calcixerepts														



نگرفته است که در آن کانی‌های ثانویه پدوژنیک تکامل بیابد.

با این حال، مطالعه کانی‌شناسی خاکرخ ۴ نشان داد که در افق سطحی این خاکرخ، همانند سایر خاکرخ‌ها، ایلیت و اسمکتیت کانی‌های رسی غالب می‌باشند. در همین خاکرخ در افق‌های Bk و 3Bkzb که دو افق با تکامل زیاد و پوشش‌ها و پرشدگی‌های آهکی بودند، پیک‌های مربوط به کانی ایلیت ضعیف‌تر شده و بر شدت پیک اسمکتیت افزوده شد. بنابراین به نظر می‌رسد بخشی از اسمکتیت مشاهده شده در این دو افق، مربوط به تغییر شکل ایلیت به اسمکتیت باشد و منشأ پدوژنیک داشته باشد. عزیزی و همکاران (۲۰۱۱) و فرزامنیا و همکاران (۲۰۱۵) نیز تغییر شکل ایلیت را یکی از علل حضور اسمکتیت در خاک دانسته‌اند (۷ و ۱۵). در افق دفن شده خاکرخ ۳ (3Bkzgb) و نیز در افق 2Bk خاکرخ ۶ نیز نتیجه مشابهی دیده شد (جدول ۲). از شرایط لازم برای تشکیل کانی اسمکتیت در خاک، توپوگرافی پست، زهکشی ضعیف، رطوبت مناسب، pH بالا و وجود یون‌های کلسیم و منیزیم می‌باشد (۱، ۱۷ و ۲۷). با توجه به فراهم بودن چنین شرایطی در خاکرخ ۳، به نظر می‌رسد بخشی از اسمکتیت موجود در خاکرخ منشأ نوتشکیلی داشته باشد.

بررسی‌های کانی‌شناسی رسی به وسیله پراش پرتو ایکس (XRD): پراش‌نگاشت‌های XRD متعلق به برخی از افق‌های مشخصه خاکرخ‌های مطالعاتی در شکل ۲ ارائه شده است. همچنین کانی‌های شناسایی شده در این افق‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که از این جدول می‌توان دریافت، کانی‌های غالب مشاهده شده در این افق‌ها شامل اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت و کلریت بودند. با توجه به عدم تفاوت بین کانی‌های رسی در خاکرخ‌های مختلف مطالعه شده و همچنین عدم تفاوت بین کانی‌های غالب در خاک‌های دفن شده با خاک‌های بسیار جوان تشکیل شده در بالای خاکرخ‌های ۱ تا ۵، به نظر می‌رسد منشأ اصلی کانی‌ها در این خاک‌ها، ژئوژنیک است و در اثر فرسایش حوضه دریاچه ارومیه در طول زمان به بستر دریاچه ارومیه منتقل شده‌اند و در حال حاضر به علت جوان بودن خاک‌ها، تغییرات زیادی از نظر کانی‌شناسی در این خاک‌ها اتفاق نیفتاده است. فرزامنیا و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعه خود در غرب دریاچه ارومیه، منشأ این کانی‌ها را در خاک، مواد مادری دانسته‌اند (۱۵). همچنین این امر نشان می‌دهد که منشأ رسوبات در خاک‌های دفن شده و خاک روئین، یکسان بوده است و خاک دفن شده، در زمان تشکیل، مدت زمان کافی بیرون از آب قرار



شکل ۲- دیفرکتوگرام‌های پراش اشعه ایکس مربوط به بخش رس برخی از افق‌های مشخصه مطالعه شده. الف: خاکرخ ۲، افق A (عمق ۰-۲۳ سانتی‌متری)؛ ب: خاکرخ ۲ افق 3Bkzgb1 (عمق ۵۹-۱۵۰ سانتی‌متری)؛ ج: خاکرخ ۴، افق A (عمق ۰-۱۷ سانتی‌متری)؛ د: خاکرخ ۴، افق 3Bkzb (عمق ۸۶-۱۳۶ سانتی‌متری)؛ ه: خاکرخ ۶، افق Ap1 (عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری)؛ و: خاکرخ ۶، افق 2Bk1 (عمق ۳۰-۵۸ سانتی‌متری).

Figure 2. X-Ray diffractograms of the clay fraction of some of the diagnostic horizons. A: pedon 2, A horizon (0-23 cm); b: pedon 2, 3Bkzgb1 horizon (59-150 cm); c: pedon 4, A horizon (0-17 cm); d: pedon 4, 3Bkzb (86-136 cm); e: pedon 6, Ap1 horizon (0-10 cm); f: pedon 6, 2Bk1 horizon (30-58 cm). Sm: Smectite, I: Illite, Ch: Chlorite, Ka: Kaolinite. Mg = Mg saturated; Mg-G = Mg saturated with glycerol; K = K saturated; K-550 = K saturated and heated to 550 °C.

جدول ۲- کانی‌های رسی شناسایی شده در برخی از افق‌های مشخصه خاک‌رخ‌های مطالعه شده.

Table 2. Identified clay minerals in some of the diagnostic horizons of studied pedons.

میزالوژی	نمونه
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت Smectite, Illite, Kaolinite, Chlorite	خاک‌رخ ۲، افق A (عمق ۰-۲۳ سانتی‌متری) (pedon2, horizon A (depth 0-23 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت Smectite, Illite, Kaolinite, Chlorite	خاک‌رخ ۲ افق 3Bkzgb1 (عمق ۵۹-۱۵۰ سانتی‌متری) (pedon2, horizon 3Bkzgb1 (depth 59-150 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت Smectite, Illite, Kaolinite, Chlorite	خاک‌رخ ۳، افق 3Bkzgb (عمق ۸۲-۱۴۰ سانتی‌متری) (pedon3, horizon 3Bkzgb (depth 82-140 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت Smectite, Illite, Kaolinite, Chlorite	خاک‌رخ ۴، افق A (عمق ۰-۱۷ سانتی‌متری) (pedon4, horizon A (depth 0-17 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت Smectite, Illite, Kaolinite, Chlorite	خاک‌رخ ۴، افق Bkz (عمق ۳۰-۵۷ سانتی‌متری) (pedon4, horizon Bkz (depth 30-57 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کانی‌های مختلط Smectite, Illite, Kaolinite, Intensified minerals	خاک‌رخ ۴، افق 3Bkzb (عمق ۸۶-۱۳۶ سانتی‌متری) (pedon4, horizon 3Bkzb (depth 86-136 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت Smectite, Illite, Kaolinite, Chlorite	خاک‌رخ ۵، افق 3Bgb (عمق ۷۶-۱۵۰ سانتی‌متری) (pedon5, horizon 3Bgb (depth 76-150 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت Smectite, Illite, Kaolinite	خاک‌رخ ۶، افق Ap1 (عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری) (pedon6, horizon Ap1 (depth 0-10 cm))
اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت Smectite, Illite, Kaolinite, Chlorite	خاک‌رخ ۶، افق 2Bk1 (عمق ۳۰-۵۸ سانتی‌متری) (pedon6, horizon 2Bk1 (depth 58-30 cm))

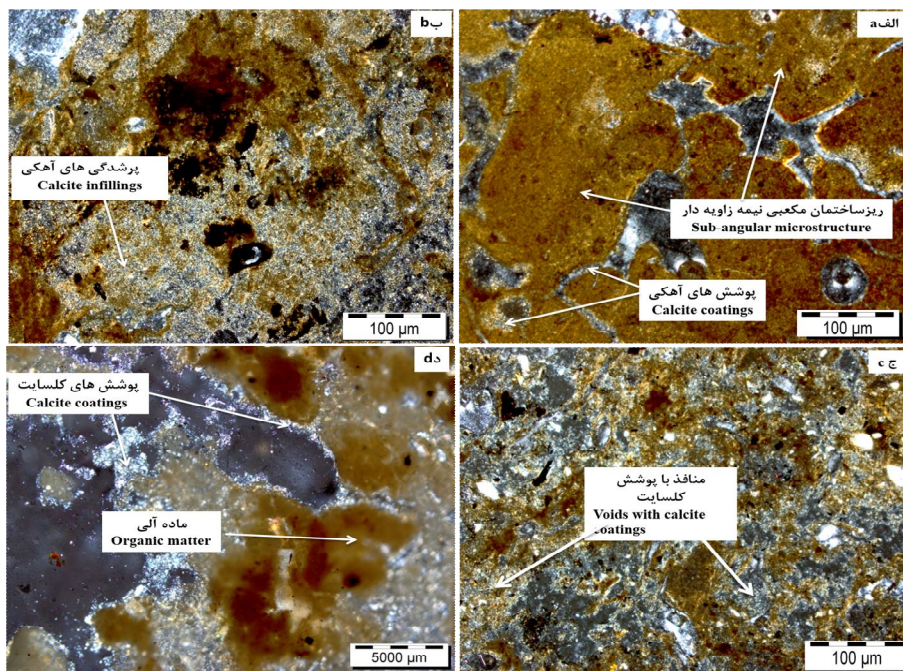
به‌دنبال آن، با مرطوب‌شدن اقلیم و گسترش سطح دریاچه ارومیه، مجدداً توسط لایه جدیدی از رسوبات، دفن شده‌اند. درجه تکامل خاک نیز نشان‌دهنده مدت زمان پایداری یک سطح و تأثیر فرایندها و فاکتورهای خاکساز است. بنابراین در خاک‌رخ‌های مطالعاتی، هرچه درجه تکامل خاک بیشتر باشد، نشان از دوره زمانی طولانی‌تری است که خارج از آب واقع شده‌اند.

در خاک‌رخ ۱، خاک روئین و خاک دفن‌شده هر دو از تکامل کمی برخوردار بودند. در خاک‌رخ‌های ۲ و ۳، تکامل خاک دفن‌شده بیش از خاک روئین بود و در خاک‌رخ‌های ۴ و ۵، خاک روئین نیز همانند خاک دفن‌شده از تکامل خوبی برخوردار بودند (جدول ۱). تکامل کم خاک روئین و دفن‌شده در خاک‌رخ ۱ نشان داد هر دو این خاک‌ها دوره زمانی کوتاهی تحت تأثیر فرایندهای خاکساز قرار گرفته‌اند. با توجه

خاک‌های دفن‌شده و تکامل خاک‌رخ‌ها تحت تأثیر دریاچه ارومیه: در جدول ۳، برخی از ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی افق‌های شناسایی مطالعه شده، ارائه شده است. براساس مطالعات صحرایی و نتایج مطالعه مقاطع نازک، در خاک‌رخ‌های ۱ تا ۵، افق‌هایی از خاک دفن‌شده مشاهده گردید که در درجات مختلفی از تکامل قرار داشتند. وجود خاک‌های دفن‌شده توسط دانشمندان بسیاری نیز به‌عنوان نشانه‌ای از تغییرات اقلیمی گذشته گزارش شده است (۳، ۲۲ و ۴۷). فرزام‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) نیز وجود خاک‌های دفن‌شده در حاشیه غربی دریاچه ارومیه را به‌عنوان نشانه‌ای از تغییرات اقلیمی در این منطقه گزارش کرده‌اند (۱۵). وجود خاک‌های دفن‌شده می‌تواند نشان‌دهنده دوره‌های اقلیمی خشک‌تر در منطقه باشد که در آن به‌دلیل پسروی دریاچه ارومیه، فرایندهای پدوژنیکی غلبه یافته‌اند و

در این افق به خوبی اتفاق افتاده است و پوشش‌ها و پرشدگی‌های آهکی در دیواره و داخل منافذ مشاهده شد (شکل ۳، الف). در خاک دفن‌شده خاکرخ ۳ نیز پوشش‌ها و پرشدگی‌های آهکی مشاهده گردید (شکل ۳، ب). با توجه به یافته‌های کانی‌شناسی این دو افق دفن‌شده و تکامل پدوژنیکی اسمکتیت در خاک دفن‌شده در خاکرخ ۳، به نظر می‌رسد خاک دفن‌شده در خاکرخ ۳، زمان بیش‌تری نسبت به خاک دفن‌شده در خاکرخ ۲، تحت فرایندهای خاکسازي واقع شده است. دوره‌های متعدد رسوبگذاری و تغییرات شدید بافتی در خاکرخ ۲ نیز بیانگر این مطلب است که این خاکرخ بیش از خاکرخ ۳، تحت تأثیر نوسانات دریاچه ارومیه واقع شده است.

به نزدیکی این خاکرخ به دریاچه ارومیه، به نظر می‌رسد این خاکرخ چه در زمان تشکیل خاک دفن‌شده و چه در دوره حاضر، مدت زمان زیادی بیرون از آب نبوده است. تکامل بیش‌تر خاک دفن‌شده در خاکرخ‌های ۲ و ۳ نسبت به خاک روئین خود نیز نشان داد که بر خلاف خاک دفن‌شده در خاکرخ ۱، خاک دفن‌شده در خاکرخ‌های ۲ و ۳ مدت زمان بیش‌تری خارج از آب بوده است و احتمالاً در آن دوران، دریاچه ارومیه تنها تا خاکرخ ۱ رسیده است. در خاکرخ ۲، خاک دفن‌شده تکامل‌یافته‌ای در عمق ۵۹ سانتی‌متری مشاهده گردید. مطالعه میکرومورفولوژیکی افق کلسیک دفن‌شده در عمق ۵۰-۱۰۵ سانتی‌متری این خاکرخ نشان داد که خاکدانه‌سازی و جداشدگی



شکل ۳- الف: خاکرخ ۲، افق 3Bkzgb1 (عمق ۵۹-۱۰۵ سانتی‌متر). ریزساختمان مکعبی نیمه زاویه‌دار قوی، زمینه فاقد ذرات درشت و منافذ با پرشدگی‌های آهکی. شواهد اکسیداسیون آهن و منگنز در زمینه و دیواره منافذ مشاهده شد؛ ب: خاکرخ ۳، افق 3Bkzgb (عمق ۸۲-۱۴۰ سانتی‌متر). شواهد فراوانی از اکسیداسیون منگنز و آهن، زمینه و منافذ با کلسایت فراوان؛ ج: خاکرخ ۴، افق 3Bkzb (عمق ۸۶-۱۳۶ سانتی‌متر). منافذ با پوشش کلسایت؛ د: خاکرخ ۶، افق 2Bk1 (۳۰-۵۸ سانتی‌متر). ماده آلی و پوشش‌های کلسایتی؛ ه: خاکرخ ۷، افق 3Bw (عمق ۴۷-۸۱ سانتی‌متر). ریزساختمان مکعبی نیمه زاویه متوسط و منافذ صفحه‌ای جداکننده خاکدانه‌ها.

**Figure 3. a) pedon 2, 3Bkzgb1 (59-105 cm). Strong sub angular blocky microstructure, lack of coarse particles in groundmass and calcite inclusions. The evidence of Fe and Mn oxidation were observed in groundmass and inside voids; b) pedon 3, 3Bkzgb horizon (82-140 cm). Evidence of Fe and Mn oxidation, abundance of calcite in groundmass and voids. (c) pedon 4, 3Bkzb horiozon (86-136 cm). Voids with calcite coatings; (d) pedon 6, 2Bk1 horizon (30-58 cm). Organic matter and calcite coatings. (e) pedon 7, 3Bw (47-81 cm). Sub angular blocky microstructure and planar voids separating the aggregates.**

جدول ۳- برخی از خصوصیات میکرومورفولوژی خاکرها.

Table 3. Selected micromorphological properties of pedons.

بی فابریک	نسبت ذرات ریز به درشت	حفرات	ریزساختمان	خاکدانه سازی	افق	خاکرخ
b-fabric	C:f ratio	Voids	microstructure	pedality	horizon	pedon
غیر قابل تشخیص تا کریستالیتیک Undifferentiated to crystallitic	30:70	کانالها و صفحات Channels and planes	بشقابی platy	متوسط تا ضعیف Moderate to weak	A'zg	1
کریستالیتیک crystallitic	60:40 to 20:80	کانالها و صفحات و ویزیکولها Channels, planes and vesicles	مکعبی زاویه دار Angular blocky	متوسط Moderate	2Bzgl	1
لکه ای تا کریستالیتیک Speckled to crystallitic	40:60	کانالها و صفحات Channels and planes	بشقابی تا مکعبی نیمه زاویه دار Platy to sub- angular blocky	ضعیف weak	Bw	2
کریستالیک crystallitic	20:80	کانالها و صفحات Channels and planes	مکعبی نیمه زاویه دار sub-angular blocky	زیاد high	3Bkzgb1	2
کلسایت کریستالیتیک Calcite crystallitic	30:70	کانالها، صفحه ها و چمبرها Channels, planes and chambers	نامشخص Undifferentiated	متوسط moderate	3Bkzgb	3
نامشخص تا کریستالیتیک Undifferentiated to crystallitic	20:80	کانالها و صفحات و ویزیکولها Channels, planes and vesicles	مکعبی زاویه دار Angular blocky	متوسط تا ضعیف Moderate to weak	3Bkzb	4
مونواستریال تا گرانواستریال Monostriated to Granostriated	10:90	صفحات و کانالها planes and Channels	مکعبی نیمه زاویه دار sub-angular blocky	متوسط moderate	2Bk1	6
گرانواستریال تا مونواستریال Granostriated to monostriated	30:70	کانالها و صفحات Channels and planes	مکعبی نیمه زاویه دار sub-angular blocky	متوسط moderate	3Bw	7

خاک دفن شده در این خاکرخ نیز نشان داد که نه تنها در نتیجه پسروری دریاچه ارومیه در گذشته امکان تکامل پدوژنیک کانی اسمکتیت فراهم شده است (جدول ۲)، بلکه سطح کنونی این منطقه نیز برای مدت زمان لازم برای تشکیل کانی اسمکتیت، پایدار بوده است.

همانطور که پیش تر گفته شد، در خاکرخ ۴، بر خلاف ۳ خاکرخ اول، تشکیل افق کلسیک در خاک روئین نیز همانند خاک دفن شده زیرین خود مشاهده گردید (جدول ۱) که نشان داد در حال حاضر این خاکرخ نسبت به ۳ خاکرخ قبلی، مدت زمان بیشتری است که تحت فرایندهای خاک سازی قرار دارد. مطالعه کانی شناسی افق کلسیک در خاک روئین و

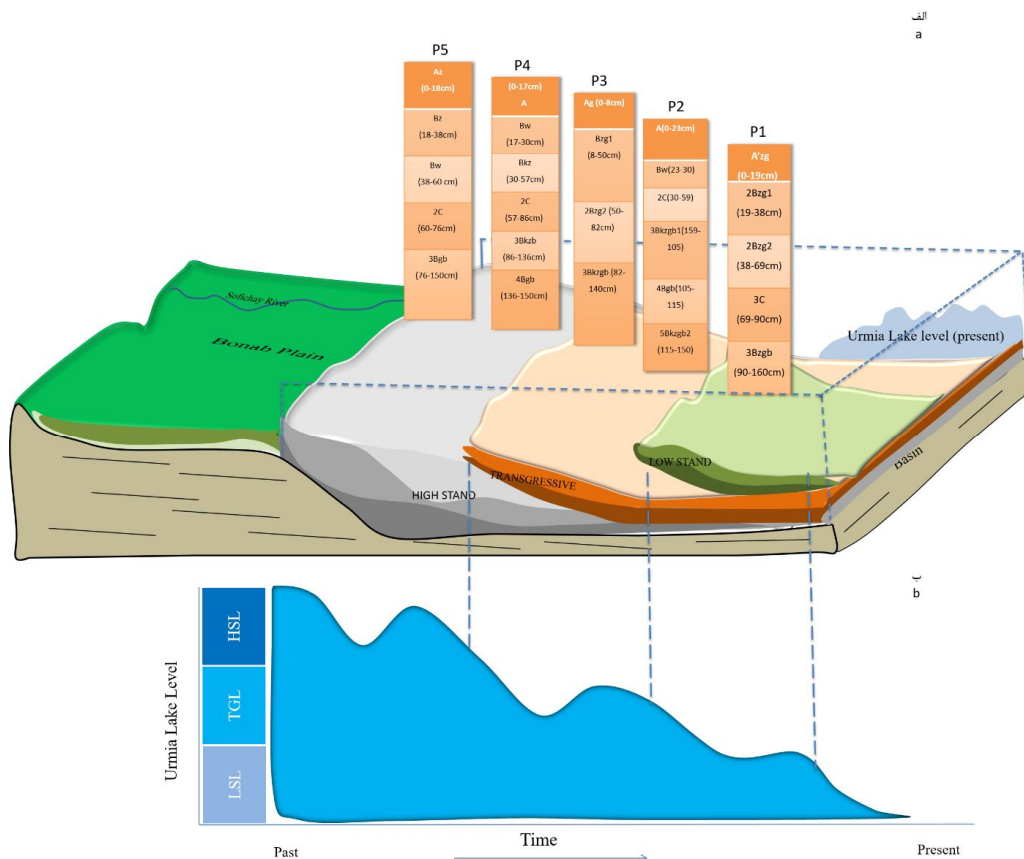
در خاک رویین خاکرخ ۷ و افق‌های Ap در خاکرخ ۶، باشد.

**بازسازی نوسانات سطح دریاچه ارومیه با کمک شواهد خاکی:** با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از خاکرخ‌های مطالعاتی، تصویر شماتیکی از دریاچه ارومیه و مراحل مختلف پسروری آن در حاشیه جنوب شرقی که طی آن‌ها تکامل خاکرخ‌های مطالعه شده، اتفاق افتاده است، طراحی و در شکل ۴، الف ارائه شده است. همچنین موقعیت خاکرخ‌های مطالعاتی نیز بر روی این شکل نمایش داده شده‌اند. شایان ذکر است که در این شکل، برای جلوگیری از پیچیدگی تصویر، زمان‌هایی که در طی آن‌ها خاک‌های دفن شده تکامل یافته‌اند، نمایش داده نشده‌اند.

در شکل ۴، ب، نوسانات سطح دریاچه ارومیه با توجه به شواهد خاکی به‌دست آمده از مطالعه خاکرخ‌های ۱ تا ۵ بازسازی شده است. در این تصویر، محور عمودی نشان‌دهنده ارتفاع دریاچه ارومیه می‌باشد که همانند شکل ۴، الف، به سه مرحله تقسیم شده است و محور افقی، زمان (از گذشته تا زمان حال) را نشان می‌دهد. در هر سطح ارتفاعی نمایش داده شده در شکل ۴، ب، یک مرحله کاهش ارتفاع و یک مرحله افزایش ارتفاع دریاچه ترسیم شده است. مراحل کاهش ارتفاع دریاچه ارومیه در هر سه سطح (HSL, TGL, LSL) مربوط به تکامل خاک‌های دفن شده در خاکرخ‌ها می‌باشد و مراحل افزایش ارتفاع، مربوط به دفن شدن آن‌ها توسط رسوبات جدید است. انتهای هر مرحله نیز همراه است با شروع فرایندهای خاکسازي در خاک روئین.

در خاکرخ ۶، خاک دفن شده و لایه‌بندی متعدد رسوبات بر خلاف سایر خاکرخ‌ها مشاهده نگردید. همچنین هدایت الکتریکی در این خاکرخ و نیز مقدار سدیم، کلر نیز کاهش شدید و ناگهانی نسبت به سایر خاکرخ‌ها داشت (جدول ۱). در این خاکرخ، افق‌های کلسیک با تکامل خوب مشاهده شد که نشان از پایداری سطح و تکامل خاک برای زمان بسیار طولانی‌تر نسبت به سایر خاکرخ‌ها داشت (شکل ۳، ج). این خاکرخ در حال حاضر جزو اراضی کشاورزی است و در ۳۰ سانتی‌متر بالایی آن به دلیل کشت و کار و اضافه شدن شن، درصد شن افزایش یافته است. به دلیل نبود اطلاعات کافی در خصوص سن رسوب و نبود شواهد کافی، نمی‌توان به درستی مدعی شد که آیا رسوبات این خاکرخ در دوره حداکثر گستردگی دریاچه ارومیه در ۱۸۰ هزار سال پیش گذاشته شده است که شوری دریاچه ارومیه بسیار کم بوده است (۳۵) و یا این‌که مربوط به رسوبات انتهایی دشت بناب می‌باشند، بنابراین نویسندگان در این پژوهش با توجه به اطلاعات موجود، خاکرخ ۵ را به‌عنوان مرز حداکثر گستردگی دریاچه ارومیه در حاشیه جنوب‌شرقی در نظر گرفته‌اند.

در خاکرخ ۷، افق‌های کلسیک خاکرخ ۶ مشاهده نگردید (شکل ۳، ج) و آنچه تفسیر خاکرخ ۷ را دشوارتر کرد، وجود لایه‌ای به ضخامت ۴۷ سانتی‌متر از رسوبات اخیر در بالای خاکرخ ۷ بود که در عمق ۴۰ الی ۴۷ سانتی‌متر، به یک لایه نازک از شن با جورشدگی اندک (< ۹۵ درصد) می‌رسید. با توجه به این‌که محصول غالبی که در این منطقه کشت می‌شود پیاز است، اضافه شدن مکرر شن به لایه سطحی خاک می‌تواند دلیل مشاهده چنین لایه‌ای با درصد شن بالا

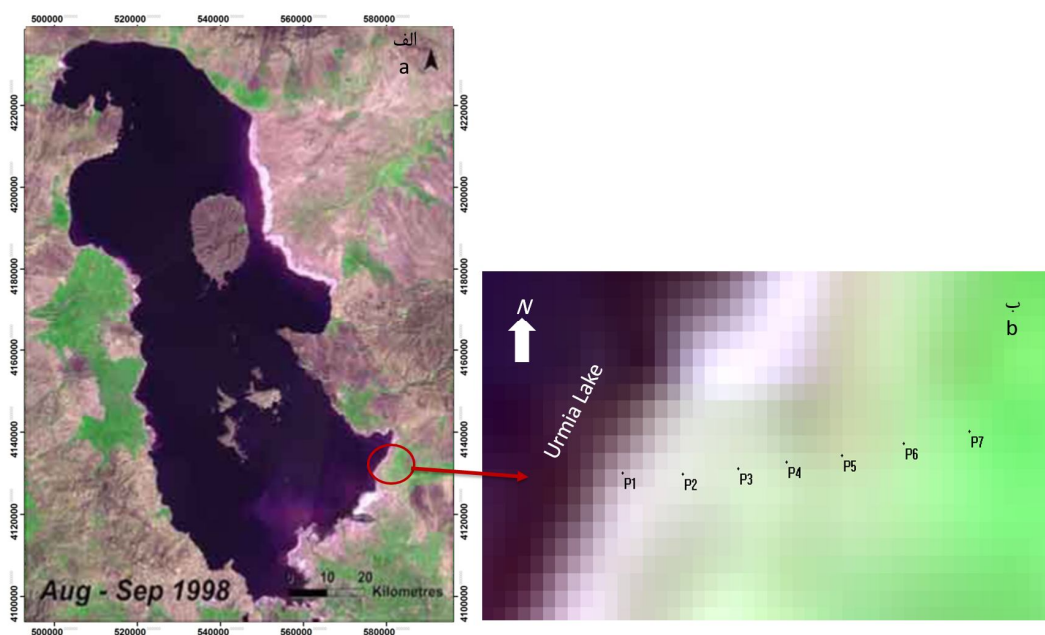


شکل ۴- الف: نمودار بلوکی منطقه مطالعاتی و موقعیت خاکرخ‌های مطالعاتی که تحت تأثیر دریاچه ارومیه و نوسانات سطح آن ایجاد شده‌اند. به دلیل پسروی تدریجی دریاچه ارومیه، خاکرخ‌ها در دوره‌های زمانی مختلف در معرض فرایندهای خاکسازگی قرار گرفته‌اند؛ ب: بازسازی نوسانات سطح دریاچه ارومیه و کاهش عمق و سطح آن از گذشته تا زمان حال.

Figure 4. a: Schematic images of soil pedons developed under the effect of Urmia Lake and its fluctuations. Their time of exposure to soil forming processes is different due to the gradual recession of the lake. b: reconstruction of the Urmia lake level fluctuations and its depth and surface decrease from past to present time. HSL: high stand level; TGL: transgressive level; LSL: low stand level.

ارومیه بوده است. بر این اساس و با توجه به تکامل بسیار ضعیف خاک روئین در خاکرخ ۱، به نظر می‌رسد خاک روئین در خاکرخ ۱ پس از پسروی دریاچه ارومیه و بعد از ۱۹۹۸ شروع به تشکیل و تکامل کرده است. سایر خاکرخ‌های مطالعاتی در آن زمان خارج از آب بوده‌اند (شکل ۳) و بنابراین به نظر می‌رسد رسوبات خاک روئین در این خاکرخ‌ها در دوره یا دوره‌های زمانی دیگری که دریاچه ارومیه گسترده‌تر بود، گذشته است، گذاشته شده‌اند.

همچنین به منظور بررسی موقعیت خاکرخ‌های مطالعاتی در دوره حداکثر گسترده‌گی دریاچه ارومیه در طول صدسال اخیر که مربوط به سال‌های ۱۹۶۹-۱۹۹۸ میلادی می‌باشد، محل خاکرخ‌های مطالعاتی بر روی تصویر ماهواره‌ای ژئورفرنس شده‌ای که از سال ۱۹۹۸ موجود بود، انداخته شد (شکل ۵). همان‌طور که از این شکل قابل مشاهده است، نزدیک‌ترین خاکرخ مطالعاتی به دریاچه ارومیه که خاکرخ ۱ بود، در سال ۱۹۹۸ درست در مجاورت دریاچه ارومیه واقع شده بود و مستقیماً تحت تأثیر نوسانات سطح دریاچه



شکل ۵- الف: تصویر ماهواره‌ای از دریاچه ارومیه در سال ۱۹۹۸؛ ب: فاصله خاک‌رخ‌های مطالعه شده از ساحل دریاچه ارومیه در سال ۱۹۹۸.  
**Figure 5. a: Landsat image of Urmia Lake in 1998; b: the distance of the studied soil pedons from the Urmia lake shore in 1998.**

مشاهده شده در این مناطق باید مربوط به دوره‌هایی باشند که دریاچه ارومیه به دلیل عمق و سطح زیاد، شوری کم‌تری نسبت به دهه‌های اخیر داشته است. از آن‌جا که در حال حاضر این مناطق به مناطق بایر و شور تبدیل شده‌اند، به نظر می‌رسد بخشی از شوری موجود در این خاک‌رخ‌ها به صورت ثانویه اتفاق افتاده است. پدیده‌ای که در حال حاضر در دشت بناب هم‌چنان منجر به از بین رفتن اراضی کشاورزی می‌شود. جمالی و همکاران (۲۰۰۸) و استیون و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه گرده‌شناسی هسته رسوبات دریاچه ارومیه تا عمق ۱۰۰ متری، توانسته‌اند تغییرات دریاچه ارومیه را تا حدود ۱۸۰ هزار سال پیش بازسازی کنند. آن‌ها نشان داده‌اند که دریاچه ارومیه در طول این مدت نوسانات شدیدی را به دلیل تغییرات اقلیمی تجربه کرده است و از حدود ۱۰ هزار سال پیش تاکنون در وضعیت دریاچه نمکی به سر می‌برد. آن‌ها همچنین نشان داده‌اند که دریاچه ارومیه در ۱۴

با توجه به شکل ۴، حداقل ۳ دوره زمانی از پیشروی و پسروی دریاچه ارومیه در خاک‌رخ‌های مطالعاتی ثبت شده است. اولین و قدیمی‌ترین آن‌ها، مربوط به گذاشته شدن رسوبات خاک‌رخ‌های ۴ و ۵ می‌باشد. با توجه به فاصله این خاک‌رخ‌ها از حداکثر گستردگی دریاچه ارومیه در ۱۹۹۸ (شکل ۵)، به نظر می‌رسد تنها زمانی دریاچه ارومیه به این منطقه رسیده است که سطح و عمقی بسیار بیش از آنچه در ۱۰۰ سال اخیر ثبت شده است، داشته است (شکل ۴، High stand level).

با توجه به شکل ۵، به دلیل وجود پوشش گیاهی که بیش‌تر از مقداری است که در حال حاضر شاهد هستیم، به نظر می‌رسد در منطقه‌ای که خاک‌رخ‌های ۴ و ۵ قرار دارند، در ۱۹۹۸ پوشش گیاهی بیش‌تری نسبت به زمان حال وجود داشته است. با توجه به فاصله‌ای که این منطقه از مرز حداکثر گستردگی دریاچه ارومیه در ۱۹۹۸ دارد، رسوبات خاک روئین و دفن‌شده



بین ۳۰ تا ۵۹ سانتی‌متری از خاکرخ ۲ می‌تواند مربوط به این دوره زمانی باشد که طی آن خاکرخ ۲، به بخشی از ساحل دریاچه ارومیه تبدیل شده باشد (جدول ۱).

مرحله آخر مربوط به خروج خاکرخ ۱ از زیر آب بوده است که مربوط به دهه‌های اخیر و پس از آخرین پسروی دریاچه ارومیه در صدسال گذشته بوده است (شکل ۴، Low stand level). در حال حاضر سواحل دریاچه ارومیه بسیار دورتر از خاکرخ ۱ واقع شده‌اند و دریاچه ارومیه در پایین‌ترین ترازوی که تاکنون به خود دیده است، واقع شده است.

### نتیجه‌گیری کلی

به‌عنوان جمع‌بندی نهایی حاصل از این پژوهش می‌توان گفت دریاچه ارومیه در حاشیه جنوب‌شرقی خود در مجاورت دشت بناب، در گذشته گسترده‌تری از زمان حاضر داشته است. وجود خاک‌های دفن شده در درجات مختلف تکامل نشان دادند که نه تنها تغییرات عمق دریاچه ارومیه محدود به دهه‌های اخیر نمی‌شود بلکه در گذشته نیز، برای زمان‌های طولانی، پسروی‌هایی داشته است که منجر به تکامل و ایجاد افق‌های دفن شده حتی در خاکرخ ۱ نیز شده است که نزدیک‌ترین خاکرخ مطالعه شده به دریاچه ارومیه در پژوهش حاضر بود. در این مطالعه تا خاکرخ ۳، با دور شدن از دریاچه ارومیه، تکامل خاک‌های دفن‌شده افزایش یافت و این نشان داد که پسروی و پیشروی دریاچه ارومیه در گذشته نیز نه تنها مرحله به مرحله و تدریجی بوده است، بلکه در مواردی به اندازه کافی طولانی بوده است که طی آن امکان تکامل افق‌های کلسیک با ریزساختمان مکعبی زاویه‌دار تا نیمه زاویه‌دار قوی با پوشش‌ها و پرشدگی‌های آهکی در این خاک‌ها فراهم شده است. همچنین تکامل کانی‌اسمکتیت به‌صورت نوتشکیلی و یا تغییرشکل ایلیت

هزار سال، ۱۲۶ هزار سال و ۱۸۰ هزار سال پیش از زمان حاضر، به‌دلیل اقلیم مرطوب‌تر گسترش یافته است و حداکثر گسترده‌گی آن مربوط به ۱۸۰ هزار سال پیش می‌باشند که در آن زمان شوری دریاچه ارومیه نیز بسیار کم بوده است (۱۳ و ۳۵).

دومین مرحله، مربوط به رسوبات خاکرخ‌های ۲ و ۳ است. با توجه به این‌که این خاکرخ‌ها نیز در ۱۹۹۸ بیرون از آب بوده‌اند، بنابراین رسوبات این دو خاکرخ، مربوط به دوره‌های زمانی هستند که دریاچه ارومیه هم‌چنان گسترده‌تر از ۱۹۹۸ بوده است. با توجه به تکامل ضعیف‌تر خاک رویین در این خاکرخ‌ها نسبت به خاکرخ‌های ۴ و ۵، به‌نظر می‌رسد زمان خروج آن‌ها از زیر آب، دیرتر از دو خاکرخ ۴ و ۵ بوده است و همچنین شوری دریاچه ارومیه به‌دلیل عمق و سطح کم‌تر، بیش از مرحله پیشین بود (شکل ۴، Transgressive level). طالبی و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه رسوبات دریاچه ارومیه تا عمق ۱۷۰ سانتی‌متری نشان دادند که قبل از ۱۹۹۸ نیز سطح و عمق دریاچه ارومیه افزایش داشته است. آن‌ها بیان کرده‌اند که در فاصله بین ۵۰۰ الی ۱۵۰۰ سال پیش، عمق دریاچه ارومیه افزایش داشته است (۴۰). این دوره زمانی را می‌توان هم‌زمان با گذاشته شدن رسوبات خاک روئین در پروفیل‌های ۲ و ۳ دانست. با توجه به تکامل بیشتر خاک روئین در پروفیل ۴ و تشکیل افق کلسیک و نبود این افق در خاکرخ‌های ۲ و ۳، به‌نظر می‌رسد این افزایش در سطح و حجم دریاچه ارومیه، به خاکرخ ۴ نرسیده باشد و رسوبات خاک روئین در این پروفیل مربوط به زمانی پیش از این دوره باشد. طالبی و همکاران (۲۰۱۶) (۴۰) همچنین گزارش کرده‌اند که در حدود ۲۵۰۰ سال پیش، سطح دریاچه ارومیه به‌دلیل اقلیم خشک حاکم در آن زمان، کاهش داشته است (۴۰). وجود لایه‌ای به ضخامت ۲۹ سانتی‌متر از شن ۹۷ درصد در عمق

ناگهانی نسبت به سایر خاکرخها داشت. در این خاکرخ، افق‌های کلسیک با تکامل خوب مشاهده شد که نشان از پایداری سطح و تکامل خاک برای زمان بسیار طولانی‌تر نسبت به سایر خاکرخها داشت و براساس اطلاعات به‌دست آمده از این پژوهش، این منطقه تحت‌تأثیر نوسانات سطح دریاچه ارومیه قرار نگرفته است.

ماحصل این پژوهش نشان داد که دریاچه ارومیه نه تنها در گذشته گستردگی بیشتری از آنچه در سالیان ۱۹۶۹-۱۹۹۸ ثبت شده است، داشته است، بلکه پسروری‌های مرحله به مرحله طولانی مدتی را نیز شاهد بوده است که طی آنها، خاک‌های دفن‌شده با درجات مختلف تکامل در خاکرخ‌های مطالعاتی تکامل یافته‌اند و به این ترتیب امکان تفکیک سه مرحله از پیشروی و پسروری دریاچه ارومیه براساس درجه تکامل خاک‌ها و تکامل کانی‌های رسی در حاشیه جنوب‌شرقی دریاچه ارومیه فراهم شد.

در برخی از خاکرخ‌های مطالعه شده بیانگر این مطلب بودند. در خاکرخ ۴، تکامل افق کلسیک و تشکیل کانی اسمکتیت همانند خاک دفن‌شده آن بود و این نشان داد که خاک روئین در این خاکرخ برای زمان نسبتاً طولانی در معرض فرایندهای خاکسازي قرار داشته است. بنابراین این بخش از منطقه مورد مطالعه تنها در دوره‌های پرآبی دریاچه ارومیه زیر آب بوده‌اند و در سایر زمان‌ها، بیرون از آب بوده است.

در دو خاکرخ ۴ و ۵، لایه‌های با شن خالص و جورشدگی بالا مشاهده گردید که نشان داد این خاکرخ‌ها در دوره‌هایی از حیات دریاچه ارومیه، جزو ساحل دریاچه بوده‌اند نه جزو بستر دریاچه. مقایسه خاکرخ ۵ با خاکرخ ۶ نشان داد که این دو خاکرخ منشأ تکاملی متفاوت دارند. در خاکرخ ۶، خاک دفن شده و لایه‌بندی متعدد رسوبات برخلاف سایر خاکرخ‌ها مشاهده نگردید. همچنین هدایت الکتریکی در این خاکرخ و نیز مقدار کلر نیز کاهش شدید و

#### منابع

1. Abbaslou, H., and Abtahi, A. 2008. Origin and distribution of clay minerals in calcareous, gypsiferous, saline soils and sediments of Bakhtegan lake bank, southern Iran. *Iran Agricultural Research*. 25: 81-86.
2. Alipour, S. 2006. Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran. *Saline systems*. 2: 1. 1-19.
3. Ahmad, D.R., Chandra, R., Romshoo, S.A., Lone, M.A., and Ahmad, S.M. 2015. Isotopic and micromorphological studies of Late Quaternary loess-paleosol sequences of the Karewa Group: Inferences for palaeoclimate of Kashmir Valley. *Quaternary International*. 371: 122-134.
4. Amit, R., Gerson, R., and Yaalon, D.H. 1993. Stages and rate of the gravel shattering process by salts in desert Reg soils. *Geoderma*. 57: 3. 295-324.
5. An, C.B., Lu, Y., Zhao, J., Tao, S., Dong, W., Li, H., Jin, M., and Wang, Z. 2011. A high-resolution record of Holocene environmental and climatic changes from Lake Balikun (Xinjiang, China): Implications for central Asia. *The Holocene*. 22: 1. 43-52.
6. Ayoubi, S., Eghbal, M.K., and Jalalian, A. 2006. Study of micromorphological evidences of climate change during quaternary recorded in paleosols from Isfahan. *J. Water Soil Sci*. 10: 1. 137-151. (In Persian)
7. Azizi, P., Mahmoodi, Sh., and Torabi, H. 2011. Morphological, physico-chemical and clay mineralogy investigation on gypsiferous soils in southern of Tehran, Iran. *Middle-East J. Sci. Res*. 7: 153-161.
8. Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. *Agron. J*. 54: 464-465.

9. Brown, I.R., and Warncke, D. 1988. Recommended cation tests and measures of cation exchange capacity. P 15-16. In: W.C. Dahnke (ed.) Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull. 499p.
10. Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity. P 891-901, In: C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
11. Colombo, C., Palumbo, G., Lorio, E.D., Russo, F., Terribile, F., Jiang, Zh., and Liu, Q. 2016. Soil development in a Quaternary fluvio-lacustrine paleosol sequence in Southern Italy. Quaternary International. 418: 195-207.
12. Department of meteorology of East Azerbaijan. 2015. Annual weather stations of the East Azerbaijan province. Address: <http://eamo.ir/Stats-and-Infos/Yearly.aspx>.
13. Djamali, M., de Beaulieu, J.L., Shah-Hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Amini, A., Akhane, H., Leroy, S.A., Stevens, L., Lahijani, H., and Brewer, S. 2008. A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. Quaternary Research. 69: 3. 413-420.
14. Emanifar, A., and Mohebbi, F. 2007. Uromia Lake (Northwest Iran): a brief review. Saline Systems. 3: 1. 5-13.
15. Farzamnia, P., Manafi, Sh., and Momtaz, H.R. 2015. Evolution of soils formed on Quaternary sediments in some parts of Urmia Plain. J. Soil Manage. Sust. Prod. 5: 2. 93-111. (In Persian)
16. Forzoni, A., Storms, J.E.A., Reimann, T., Moreau, J., and Jouet, G. 2015. Non-linear response of the Golo River system, Corsica, France, to Late Quaternary climatic and sea level variations. Quaternary Science Reviews. 121: 11-27.
17. Givi, J., and Abtahi, A. 1985. Soil genesis as affected by topography and depth of saline and alkaline ground water under semiarid conditions in southern Iran. Iran Agricultural Research. 4: 11-27.
18. Hassanzadeh, E., Zarghami, M., and Hassanzadeh, Y. 2011. Determining the main factors in declining the Uromia Lake level by using System Dynamics Modeling. Water Research Management. 26: 1. 129-145.
19. Jackson, M.L. 1985. Soil chemical analysis-advanced course. University of Wisconsin, college of Agriculture, Department of Soil Science, Madison, Madison, Wisconsin, USA, 991p.
20. Jacobs, P.M., and Mason, J.A. 2004. Paleopedology of soils in thick Holocene loess, Nebraska, USA. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 21: 1. 54-70.
21. Kelts, K., and Shahrabi, M. 1986. Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, north-western Iran. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 54: 105-130.
22. Khormali, F., and Kehl, M. 2011. Micromorphological and development of loess-driven surface and buried soils along a precipitation gradient in Northern Iran. Quaternary International. 234: 1-2. 109-123.
23. Kittrick, J.A., and Hope, E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis. Soil Sci. Soc. Amer. J. 96: 312-325.
24. Lanyon, L.E., and Heald, W.R. 1982. Magnesium, calcium, strontium and barium. P 247-261. In: A.L. Page (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. American Society of Agronomy and the Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
25. Long, H., Shen, J., Tsukamoto, S., Chen, J., Yang, L., and Frechen, M. 2014. Dry early Holocene revealed by sand dune accumulation chronology in Bayanbulak Basin (Xinjiang, NW China). The Holocene. 24: 5. 614-626.
26. Lyons, R., Tooth, S., and Duller, G.A.T. 2014. Late Quaternary climatic changes revealed by luminescence dating, mineral magnetism and diffuse reflectance spectroscopy of river terrace palaeosols: a new form of geoproxy data for the southern African interior. Quaternary Science Reviews. 95: 43-59.

27. Manafi, Sh. 2010. Mineralogical evidence of climatic change in some semiarid soils of southern Urmia, Iran. *Soil Science Agrochemistry and Ecology*. 4: 17-24.
28. Meier, H.A., Driese, S.G., Nordt, C., Forman, S.L., and Dworkin, S.I. 2014. Interpretation of Late Quaternary climate and landscape variability based upon buried soil macro- and micromorphology, geochemistry and stable isotopes of soil organic matter, Owl Creek, central Texas, USA. *Catena*. 114: 157-168.
29. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. P 181-196. In: A. L. Page (ed), *Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and microbiological properties*, 2<sup>nd</sup> ed., Agronomy Monograph. No: 9. American Society of Agronomy and the Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
30. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2<sup>nd</sup> edition. Agronomy, vol. 9. American Society of Agronomy and the Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
31. Retallack, G.J. 2008. *Soils of the past: an introduction to paleopedology*. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 113p.
32. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. P 167-179, In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy and the Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
33. Sharifi, A. 2002. Factors controlling the sedimentological and Geochemical Characteristics of the Lake Urmia. Iranian National Center for Oceanography, Internal Report Tehran. 131p. (In Persian)
34. Soil Survey Staff. 2014. *Keys to soil taxonomy*. 12<sup>th</sup> edition. USDA. NRCS, 372p.
35. Stevens, L., Djamali, M., Andrieu-Ponel, V., and de Beaulieu, J.L. 2012. Hydroclimatic variations over the last two glacial/interglacial cycles at Lake Urmia, Iran. *J. Paleolimnol.* 47: 645-660.
36. Stoops, G. 2010. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 720p.
37. Stoops, G. 2003. *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 147p.
38. Tabor, N.J., Smith, R.M., Steyer, J.S., Sidor, C.A., and Poulsen, C.J. 2011. The Permian Moradi Formation of northern Niger: paleosol morphology, petrography and mineralogy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 299: 1. 200-213.
39. Tabor, N.J., and Myers, T.S. 2015. Paleosols as Indicators of Paleoenvironment and Paleoclimate. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 43: 333-361.
40. Talebi, T., Ramezani, E., Djamali, M., Lahijani, H.A.K., Naqinezhad, A., Alizadeh, K., and Andrieu-Ponel, V. 2016. The Late-Holocene climate change, vegetation dynamics, lake-level changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran. *Quaternary International*. 408: 40-51.
41. Wang, W., and Feng, Z. 2013. Holocene moisture evolution across the Mongolian Plateau and its surrounding areas: A synthesis of climatic records. *Earth-Science Reviews*. 122: 38-57.
42. Wong, V.N.L., Greene, R.S.B., Dalal, R.C., and Murphy, B.W. 2009. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: A review. *Soil Use and Management*. 26: 1. 2-11.
43. Yan, Y., Zhou, J., He, Zh., Sun, Q., Fei, J., Zhou, X., Zhao, K., Yang, L., Long, H., and Zheng, H. 2016. Evolution of Luyang Lake since the last 34,000 years: Climatic changes and anthropogenic impacts. *Quaternary International*. 440: 90-98.
44. Zarghami, M. 2011. Effective watershed management; study of Urmia Lake, Iran. *Lake Reservoir Management*. 27: 1. 87-94.

45. Zech, R., May, J.H., Kull, C., Ilgner, J., Kubik, P.W., and Veit, H. 2008. Timing of the late Quaternary glaciation in the Andes from ~ 15 to 40 S. *J. Quarter. Sci.* 23: 6-7. 635-647.
46. Ziyae, A., Pashaei, A., Khormali, F., and Roshani, M.R. 2013. Some physico-chemical, clay mineralogical and micromorphological characteristics of loess-paleosols sequences indicators of climate change in south of Gorgan. *J. Water Soil Cons.* 20: 1. 1-27. (In Persian)
47. Zucca, C., Andreucci, S., Aksit, I., Koca, Y.K., Madrau, S., Pascucci, V., Previtali, F., Shaddad, S.M., and Kapur S. 2014. Buried palaeosols of NW Sardinia (Italy) as archives of the Late Quaternary climatic fluctuations. *Catena.* 122: 72-90.



---

## The evidence of climatic changes and Urmia Lake surface fluctuations in buried soils of its southeastern shore

\*N. Hamzehpour<sup>1</sup>, S. Eslami<sup>2</sup>, E. Aghayi<sup>2</sup> and S. Mola Ali Abasiyan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Maragheh,

<sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Maragheh

Received: 01.31.2018; Accepted: 12.03.2018

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Urmia Lake drying up and withdrawal of its shores resulted in remaining of vast saline lands around it. The study of soils as the indicator of the environmental condition, in which they have developed, can provide valuable information about the past climate of the area. The aim of this research was to study the evidence of the Urmia Lake fluctuations through the developed soils in its Southeastern shore.

**Materials and Methods:** a transect perpendicular to Urmia Lake was studied in southeast Urmia Lake, in Bonab Plain. Seven pedons based on the variation of geomorphic surfaces and landscape change, were described and sampled along a transect next to the southeastern shore of Urmia Lake. Soil samples were collected from all diagnostic horizons and analyzed for some of their physicochemical characteristics. From some of the diagnostic horizons, undisturbed samples were gathered for micromorphological analysis. Clay mineralogy was also performed for some of the horizons.

**Results:** Results showed that among studied soil pedons, pedons 1, 2, 3, 4 and 5 had saline soils along with buried horizons and their developments were mostly affected by Urmia Lake sediments and fluctuations. In all of these 5 soil pedons, buried soils with different degrees of development were detected, which showed that these soils had been exposed during different time periods, before further burial by lacustrine sediments. Buried soils in first 3 pedons had more developed soils than their upper soils, showing that upper soils are in their early stages of development. micromorphological study of buried Bk horizon in the depth of 50-105 cm of P2, revealed that it is a highly pedal and highly separated horizon with calcite coatings and infillings. Based on the results, no evidence of buried soils or lacustrine sediments was observed in pedon 6, which was located in agricultural lands, 1 km from pedon 5. In pedon 6, highly developed calcic horizons were observed, showing that this part of landscape has been stable for a long time, at least longer than other 5 studied pedons.

**Conclusion:** The existence of buried soils and textural discontinuities in some of the studied soil pedons showed that Urmia Lake had several fluctuations due to climatic changes and had also been much more extended than that of 1998 in the past. The study also revealed that its recession has happened during several stages which has also coincided with several expansions and consequent sedimentations, through which, soil evolution and development in its southeastern shore has affected.

**Keywords:** Buried soil, Clay minerals, Lithological discontinuity, Micromorphology, Soil evolution

---

\* Corresponding Author; Email: [nhamzehpour@maragheh.ac.ir](mailto:nhamzehpour@maragheh.ac.ir)