



دانشگاه گیلان، دانشکده علوم زمین

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵

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

## مطالعه اثرات دریاچه ارومیه بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های منطقه دیزج‌دول، ارومیه

مختار خانی<sup>۱</sup> و \*شهرام منافی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، آستادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** در خاک‌های نواحی مجاور دریاچه‌های شور، به دلیل انتقال املاح از آب دریاچه، فرآیند شور شدن اراضی انجام می‌پذیرد و بسته به نوع کاتیون‌هایی که در این دریاچه‌ها وجود دارند، انواع مختلفی از خاک‌های شور، سدیمی و خاک‌های شور-سدیمی در اطراف‌شان ایجاد می‌شوند. شناسایی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی این خاک‌ها جهت مدیریت پایدار آنها اهمیت به‌سزایی دارد.

**مواد و روش‌ها:** به منظور بررسی اثرات دریاچه ارومیه بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها در منطقه دیزج‌دول، ۲۴ خاک‌رخ در دو ردیف اراضی در خاک‌های متأثر و غیرمتأثر از دریاچه ارومیه با مواد مادری، اقلیم و توپوگرافی مشابه مورد بررسی قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** طبق نتایج به دست آمده خاک‌رخ‌های متأثر از دریاچه دارای افق‌های ناتریک هستند و یون‌های سدیم ناشی از آب دریاچه سبب تشکیل افق ناتریک در این خاک‌رخ‌ها گردیده است. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها نشان داد که مقدار کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، هدایت الکتریکی، سدیم تبادلی، ESP و pH خاک‌های دو ردیف اراضی مورد مطالعه در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری داشتند ولی تفاوت ضخامت خاک، مقدار رس و کربنات کلسیم معادل خاک‌ها معنی‌دار نبود. مطالعات کانی‌شناسی نشان داد که کانی‌های رسی خاک‌های هر دو ردیف اراضی عمدتاً اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت و ورمی‌کولیت می‌باشند. منشأ اسمکتیت و ورمی‌کولیت در این خاک‌ها عمدتاً پدوژنیک بوده و از تغییر شکل ایلیت حاصل شده‌اند. در خاک‌رخ‌های متأثر از دریاچه، نوتشکیلی عامل اصلی تشکیل اسمکتیت می‌باشد. کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت عمدتاً از مواد مادری به ارث رسیده‌اند.

**نتیجه‌گیری:** مقایسه نتایج خاک‌های دو ردیف اراضی نشان داد که پیشروی دریاچه ارومیه سبب حضور مقادیر کم‌تر کربن آلی، مقادیر بیش‌تر EC، سدیم تبادلی، ESP، CEC و pH و مقادیر خیلی بیش‌تر اسمکتیت در خاک‌های متأثر از دریاچه گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** آذربایجان غربی، افق ناتریک، کانی‌های رسی، نوتشکیلی

\* مسئول مکاتبه: [smanafy@yahoo.com](mailto:smanafy@yahoo.com)

## مقدمه

شور شدن و قلیا شدن از متداول‌ترین فرآیندهای تخریب اراضی، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک هستند. تحت چنین شرایطی، املاح محلول در خاک تجمع یافته و ویژگی‌های خاک و محیط زیست را متأثر ساخته که نهایتاً منجر به کاهش باروری خاک می‌شوند (۱۰). در خاک‌های نواحی مجاور دریاچه‌های شور، به‌دلیل انتقال املاح از آب دریاچه، فرآیند شور شدن با سرعت و شدت بیشتری انجام می‌پذیرد (۱۱) و بسته به نوع کاتیون‌هایی که در این دریاچه‌ها وجود دارند، انواع مختلفی از خاک‌های شور، سدیمی و خاک‌های شور-سدیمی در اطراف‌شان ایجاد می‌شوند. در نتیجه این رویدادها تغییراتی در ترکیب فیزیکوشیمیایی خاک‌های اطراف دریاچه و همچنین در نوع و فراوانی کانی‌های رسی موجود در آن خاک‌ها ایجاد می‌شود (۲۸). بررسی خاک‌های متأثر از یک دریاچه شور در برزیل نشان داد در این منطقه رسوب کاتیون‌های  $K$  و  $Mg$ ،  $Ca$  از محلول‌های بسیار شور شدت یافته و در نتیجه رسوب پدوژنیک کانی‌ها از قبیل کربنات‌ها، اسمکتیت‌ها و میکاها در حوالی دریاچه رخ داده است (۱۱). این پژوهشگران اظهار داشتند که در افق‌های سطحی بخشی از منطقه که دارای نوسانات سطحی آب دریاچه هستند، رسوب اسمکتیت‌های منیزیمی رخ می‌دهد. از طرف دیگر فرایند انحلال کائولینیت‌ها در این ناحیه  $Si$ ،  $Fe$  و  $Al$  مورد نیاز در محلول‌ها را تامین می‌کند و در نوتشکیلی رسی‌های دیگر مشارکت می‌کند. در مطالعات دیگر هانتی و همکاران (۲۰۰۴) در شرق اسلواکی و پاشینه‌لام و باپتیستا نتو (۲۰۰۷) در خلیج گوانابارا هند تغییرات وسیع کانی‌های رسی تحت‌تأثیر دریاچه و آب‌های شور ناشی از آن را گزارش کرده‌اند (۱۷، ۲۸). دریاچه اورمیه بین دو استان آذربایجان غربی و شرقی در ۱۸ کیلومتری شرق اورمیه واقع شده است.

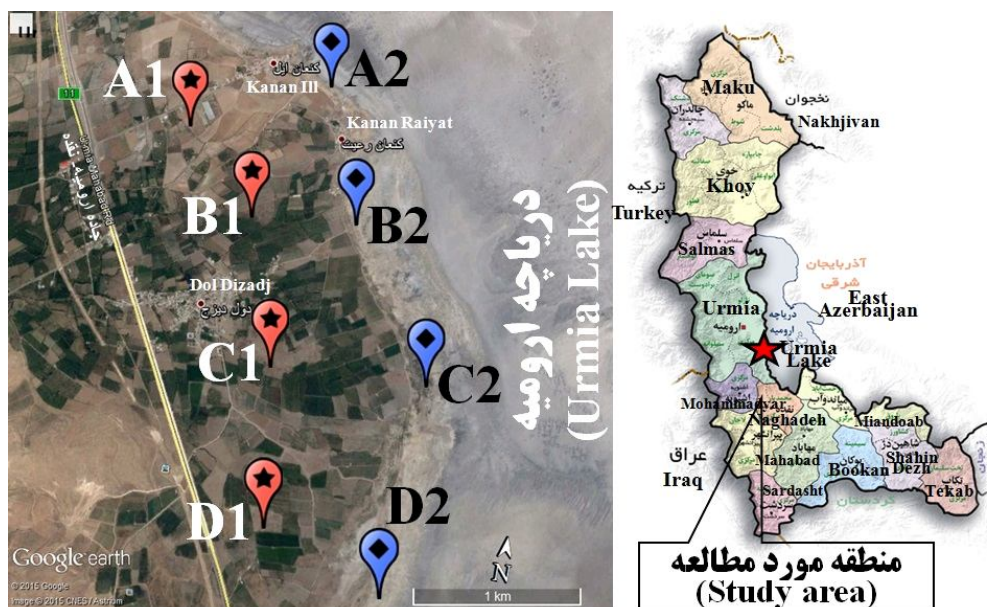
وسعت حوضه آبخیز دریاچه اورمیه ۵۲۳۵۵ کیلومترمربع می‌باشد که از این مقدار ۵۸۲۲ کیلومترمربع وسعت خود دریاچه و بقیه، یعنی ۴۶۵۳۳ کیلومترمربع مربوط به پهنه‌های خشکی این حوضه آبخیز می‌باشد. وسعت خشکی‌های پیرامون دریاچه، مقدار املاح آن و درجه شوری آب دریاچه تابع نوسانات میانگین ارتفاع آب سطح دریاچه می‌باشد (۳، ۳۷). به‌نحوی که با افزایش ارتفاع آب دریاچه، میزان املاح و شوری و همچنین وسعت خشکی‌های اطراف آن کاهش و بالعکس با کاهش ارتفاع آب دریاچه میزان املاح، شوری و وسعت زمین‌های اطراف آن افزایش پیدا می‌کند. طبق گزارش اداره کل محیط زیست آذربایجان غربی (۲۰۰۹) و علیپور (۲۰۱۱)، دوره پربابی دریاچه اورمیه متعلق به سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۴ است (۳، ۳۷) و با افزایش سطح آب دریاچه بخش‌هایی از اراضی پیرامون آن زیر آب رفته است. از طرفی پس از دوره پربابی طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۷۶، روند خشکی دریاچه شروع شده و به دنبال آن، خارج شدن بخشی از اراضی پیرامون دریاچه از آب و افزایش خشکی‌ها در اطراف دریاچه اورمیه را شاهد هستیم. به‌نحوی که امروزه حدود ۹۰ درصد آب دریاچه اورمیه خشک شده و پهنه‌های خشکی شور به همراه مقادیر بسیار زیادی نمک بر جای گذاشته است که تهدیدی برای منطقه به‌شمار می‌رود. از این‌رو جهت مطالعه تغییرات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های مجاور دریاچه اورمیه که متأثر از پیشروی آب دریاچه و انتقال نمک‌ها از دریاچه اورمیه بوده‌اند، پژوهش حاضر در منطقه دیزج‌دول که متأثر از این رویداد بوده است، انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، در استان آذربایجان غربی، در ناحیه دیزج‌دول، در حد فاصل

منطقه مورد مطالعه و همچنین موقعیت خاکرخی‌های شاهد نشان داده شده است.

شهرهای اورمیه و محمدیار و در ضلع غربی دریاچه اورمیه، واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت تقریبی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل خاکرخی‌های شاهد (حروف A<sub>1</sub> الی D<sub>1</sub> نشان‌دهنده خاکرخی‌های واقع در اراضی غیرمتأثر از دریاچه و حروف A<sub>2</sub> الی D<sub>2</sub> نشان‌دهنده خاکرخی‌های واقع در اراضی متأثر از دریاچه می‌باشند).

Figure 1. The position of study area and the location of representative profiles (A<sub>1</sub> to D<sub>1</sub> are profiles in lands affected by Urmia Lake and A<sub>2</sub> to D<sub>2</sub> are profiles unaffected by Urmia Lake).

بخش‌هایی از اراضی پیرامون آن زیر آب رفته است (۳، ۳۷). پس از بحران پر آبی طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۷۶، روند خشکی دریاچه شروع شده و اراضی که قبلاً زیر آب رفته بودند، مجدداً از زیر آب خارج و به‌صورت عرصه‌های خشک ظاهر گردیده‌اند. بنابراین حدود منطقه مورد مطالعه طوری انتخاب گردید که دربرگیرنده اراضی متأثر از پیشروی دریاچه و اراضی زراعی باشد. پس از تعیین حدود منطقه، دو ردیف اراضی، یکی در اراضی غیرمتأثر از دریاچه (ردیف اول) و دیگری در اراضی متأثر از پیشروی دریاچه (ردیف دوم) تعیین و در طول هر کدام از ردیف‌ها موقعیت چهار نقطه جهت حفر خاکرخی‌ها تعیین گردید. به‌منظور انجام تجزیه‌های آماری، در هر

میانگین بارندگی و درجه حرارت سالیانه این منطقه به‌ترتیب ۳۴۵/۳۷ mm و ۱۰/۸۳ °C و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی این منطقه به‌ترتیب زیریک خشک<sup>۱</sup> و مزیک<sup>۲</sup> می‌باشند. مواد مادری منطقه بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ اورمیه از آهک‌های مارنی به رنگ کرم تا صورتی تشکیل شده است (۳۳). از نظر فیزیوگرافی، منطقه مورد مطالعه در انتهای دشت دامنه‌ای با شیب ملایم (حدود ۰/۲٪) واقع شده است (۳۰). طبق گزارش اداره کل محیط زیست آذربایجان غربی (۲۰۰۹) و علیپور (۲۰۱۱)، در سال‌های ۱۳۷۰ لغایت ۱۳۷۵-۱۳۷۶ دریاچه با بحران پر آبی مواجه شده و با افزایش سطح آب دریاچه،

- 1- Dry Xeric
- 2- Mesic

نگردید. از طرفی بررسی نسبت رس ریز به رس کل در خاک‌های مورد مطالعه (جدول‌های ۱ و ۲) نشان داد که این نسبت در افق‌های مختلف خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه (خاک‌های  $B_1$  و  $D_1$ ) تفاوت چندانی ندارند. در حالی که در افق‌های زیرین خاک‌های متأثر از دریاچه (خاک‌های  $B_2$  و  $D_2$ ) نسبت رس ریز به رس کل در مقایسه با افق‌های فوقانی مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهد (جدول‌های ۱ و ۲) و همین امر نیز یکی دیگر از شواهد حضور افق‌های آرگیلیک در خاک‌های  $B_2$  و  $D_2$  و عدم وجود این افق در خاک‌های  $B_1$  و  $D_1$  می‌باشد. براساس گزارش‌های اداره خاک‌شناسی امریکا (۲۰۱۴)، توزیع رس و نسبت رس ریز به رس کل بیانگر تفاوت اندازه ذرات رس در افق‌های مختلف می‌باشد و نسبت‌های بالای رس ریز به رس کل معمولاً حضور افق‌های آرگیلیک حاوی مقادیر زیاد رس‌های فیلسیلیکاته ۲:۱ را نشان می‌دهد (۳۲). الفازو (۲۰۰۸) در اردن و عبدالخالق ابراهیم (۲۰۱۱) و بوخیم و هارتمنک (۲۰۱۳) در امریکا نیز توزیع رس و نسبت بالای رس ریز به رس کل را نشانه حضور افق آرگیلیک دانسته‌اند (۲، ۱، ۵). چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴a,b) نیز طی مطالعات میکرومورفولوژیکی اراضی مجاور دریاچه اورمیه، در خاک‌های غیرشور و غیرسدیمی علی‌رغم افزایش رس با عمق خاک، شواهد انتقال رس و پوسته‌های رسی در مقاطع نازک تهیه شده از خاک‌های مزبور مشاهده نکردند و افزایش رس در اعماق این خاک‌ها را به مواد مادری نسبت داده‌اند (۷، ۸).

یک از نقاط تعیین شده، در رئوس یک مثلث و با فاصله تقریبی ۱۰ متر (در محدوده بدون) سه خاک‌رخ (در مجموع در هر ردیف ۱۲ خاک‌رخ) حفر، تشریح (۳۱)، طبقه‌بندی (۳۲) و نمونه‌برداری گردیدند. نمونه‌ها جهت انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی در دمای آزمایشگاه هوا خشک شده، کوبیده شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و بخش کوچک‌تر از دو میلی‌متر جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی مورد استفاده قرار گرفتند. از هر نقطه نتایج فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی مربوط به یک خاک‌رخ به‌عنوان خاک‌رخ شاهد گزارش شد. آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی بر اساس روش‌های استاندارد (اداره حفاظت خاک وزارت کشاورزی امریکا، ۲۰۰۴)<sup>۱</sup> انجام گرفت (۳۶). آزمون مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

### نتایج و بحث

در جدول‌های ۱ و ۲ برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکی و در جدول‌های ۳ و ۴ برخی از خصوصیات شیمیایی ۴ خاک‌رخ از ۸ خاک‌رخ شاهد (دو خاک‌رخ از هر ردیف اراضی مورد مطالعه) ارائه شده است.

**مقدار رس خاک:** در تمام خاک‌های مورد مطالعه مقدار رس خاک‌ها با عمق افزایش نشان می‌دهد (جدول‌های ۱ و ۲). این افزایش در خاک‌های  $A_2$  الی  $D_2$  (راضی شور- سدیمی) منجر به تشکیل افق ناتریک گردیده است. در خاک‌های  $A_1$  تا  $D_1$  (راضی غیرشور- غیرسدیمی) علی‌رغم افزایش رس با عمق، هیچ‌گونه شواهدی از انتقال رس مشاهده

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی تعدادی از خاک‌های ردیف اراضی غیرمتأثر از دریاچه.

**Table 1. Selected morphological and physical properties of some pedons in lands unaffected by Urmia Lake.**

مشاهدات صحرایی (Field observations)	رنگ (مرطوب) Color (moist)	*fc/tc	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	ساختمان* (structure)	عمق Depth (cm)	افق (Horizon)
خاکرخ :B <sub>1</sub> (Profile) :B <sub>1</sub> Calcixerolls, mixed, active, mesic, Typic								
-	10YR3/2	0.23	27.5	38.8	33.7	1,2; s, m; gr	0-20	Ap
-	10YR4/2	0.23	16.2	33.8	50	2; m, c; sbk	20-50	Bw
نودول‌های آهکی (Calcite nodules)	10YR4/2	0.26	27.5	36.2	36.3	1,2; m; abk	50-70	Bk <sub>1</sub>
نودول‌های آهکی (Calcite nodules)	10YR3/1	0.24	26.3	38.7	35	2;c; abk	70-102	Bk <sub>2</sub>
پندانت‌های آهکی (calcite pendants)	10YR6/3	0.24	47.5	20	32.5	Ma	102-160	Ck
خاکرخ :D <sub>1</sub> (Profile) :D <sub>1</sub> Calcixerepts, mixed, active, mesic, Typic								
-	10YR4/2	0.25	33.7	32.5	33.8	1; s, m; gr 1; c; sbk	0-28	Ap
-	10YR3/2	0.22	38.7	28.8	32.5	2; c; abk	28-41	Bw
نودول‌های آهکی (Calcite nodules)	10YR4/2	0.23	36.3	27.5	36.2	3; vc; abk	41-55	Bk <sub>1</sub>
نودول‌های آهکی (Calcite nodules)	10YR4/2	0.24	33.7	22.5	43.8	3; vc; abk	55-78	Bk <sub>2</sub>
-	10YR5/2	0.18	19.5	26.5	54	Ma	78-140	C

\* علائم اختصاری از مؤسسه خاکشناسی آمریکا (۲۰۱۲) اقتباس شده‌اند. fc/tc: رس ریز به رس کل.

\* Abbreviations have been adopted from soil survey staff (2012). fc/tc: the ratio of fine clay to total clay.

بافت خاک‌ها و همچنین مقدار رس خاکرخ‌های متأثر از دریاچه و خاکرخ‌های متناظر در ردیف اراضی غیرمتأثر از دریاچه (خاکرخ‌های A<sub>1</sub> الی D<sub>1</sub>) متفاوت باشند. در حالی که چنین تفاوتی مشاهده نمی‌شود (شکل ۲-الف). از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که بافت خاک‌ها در اثر پیشروی دریاچه تغییری نکرده است. چنین روندی توسط چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴a,b)، فارکوئیم و همکاران (۲۰۱۰) و کائومانو و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش شده است (۷، ۸، ۱۱، ۲۰).

آزمون مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲-الف) نشان داد که مقدار رس خاک‌ها در خاکرخ‌های متناظر در دو ردیف اراضی مورد مطالعه (به‌عنوان مثال خاکرخ A<sub>1</sub> با A<sub>2</sub>، خاکرخ B<sub>1</sub> با B<sub>2</sub>، خاکرخ C<sub>1</sub> با C<sub>2</sub> و خاکرخ D<sub>1</sub> با D<sub>2</sub>) در سطح احتمال ۱٪ با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (شکل ۲-الف). از این‌رو می‌توان گفت که پیشروی آب دریاچه تأثیری بر بافت این خاک‌ها نداشته است. زیرا در صورتی که پیشروی آب دریاچه تأثیری بر بافت خاک‌های متأثر از دریاچه داشته باشد، در این صورت بایستی روند تغییرات

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی تعدادی از خاک‌های ردیف اراضی متأثر از دریاچه.

**Table 2. Selected morphological and physical properties of some pedons in lands affected by Urmia Lake.**

مشاهدات صحرایی (Field observations)	رنگ (مرطوب) Color (moist)	*fc/tc	رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	ساختمان* (structure)	عمق Depth (cm)	افق (Horizon)
خاکرخ :B <sub>2</sub> (profile) :Typic Natrixeralfs: Fine, mixed, active, mesic								
-	10YR3/2	0.24	41.9	26.7	31.4	1, 2; s, m; gr 1, 2; m; sbk	0-22	Apn
-	10YR4/2	0.27	47.5	28.7	23.8	1,2; m; abk	22-41	Bn
پوسته‌های رسی، نودول‌های آهکی (clay coatings, calcite nodules)	10YR4/3	0.27	55.9	22.3	21.8	2; m; pr 2; s; abk	41-70	Btkn <sub>1</sub>
پوسته‌های رسی، نودول‌های آهکی (clay coatings, calcite nodules)	10YR4/2	0.45	53.6	32.6	13.8	1, 2; m; c; pr, cl	70-95	Btkn <sub>2</sub>
-	10YR4/4	0.21	32.8	51.7	15.5	ma	95-179	Cn
خاکرخ :D <sub>2</sub> (profile) :Calcic Aquisalids: Fine, mixed, superactive, mesic								
Salt accumulations	10YR5/2	0.26	37.7	25.8	36.5	2; m; sbk	0-24	Apnz
Salt accumulations	10YR5/2	0.25	36.2	29.2	34.6	2; c; sbk	24-43	Anz
نودول‌های آهکی (calcite nodules)	10YR5/1	0.28	38.4	31.3	30.3	2; vc; abk	43-94	Bkng
پوسته‌های رسی (clay coatings)	10YR4/1	0.39	46.2	33.2	20.6	2; c; abk 2; c; pr	94-136	Btng

\* علائم اختصاری از مؤسسه خاکشناسی آمریکا (۲۰۱۲) اقتباس شده‌اند. fc/tc: رس ریز به رس کل.

\* Abbreviations have been adopted from soil survey staff (2012). fc/tc: the ratio of fine clay to total clay.

جدول ۳- برخی از خصوصیات شیمیایی تعدادی از خاک‌های ردیف اراضی غیرمتأثر از دریاچه.

**Table 3. Selected chemical properties of some pedons in lands unaffected by Urmia Lake.**

ESp (%)	SAR (meq/l) <sup>0.5</sup>	Exchangeable Na (cmol/kg)	CEC (cmol/kg)	CCE (%)	EC (dS/m)	pH (se)	OC (%)	افق (horizon)	خاکرخ (profile)
6.76	0.21	1.48	21.88	29.8	1.7	7.81	3.2	Ap	
7.75	0.26	2.48	32	19	1.9	8.16	3.1	Bw	
11.54	0.19	2.25	19.5	31.4	3.4	7.92	0.6	Bk <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
9.3	0.19	2.45	26.35	41.3	2.93	7.69	0.68	Bk <sub>2</sub>	
14	0.26	2.48	17.68	36.7	3.54	7.69	0.2	Ck	
12.78	0.18	2.02	15.81	21	0.18	7.71	0.81	Ap	
13.02	0.48	2.45	18.82	22.5	2.3	8.17	0.39	Bw	
15.43	0.53	2.44	15.81	21.8	3.32	8.06	0.21	Bk <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>
14.29	0.78	2.42	16.49	25.9	3.97	8.02	0.2	Bk <sub>2</sub>	
14.29	0.14	1.64	11.48	28.5	4.24	7.97	0.08	C	

جدول ۴- برخی از خصوصیات شیمیایی تعدادی از خاک‌های ردیف اراضی متأثر از دریاچه.

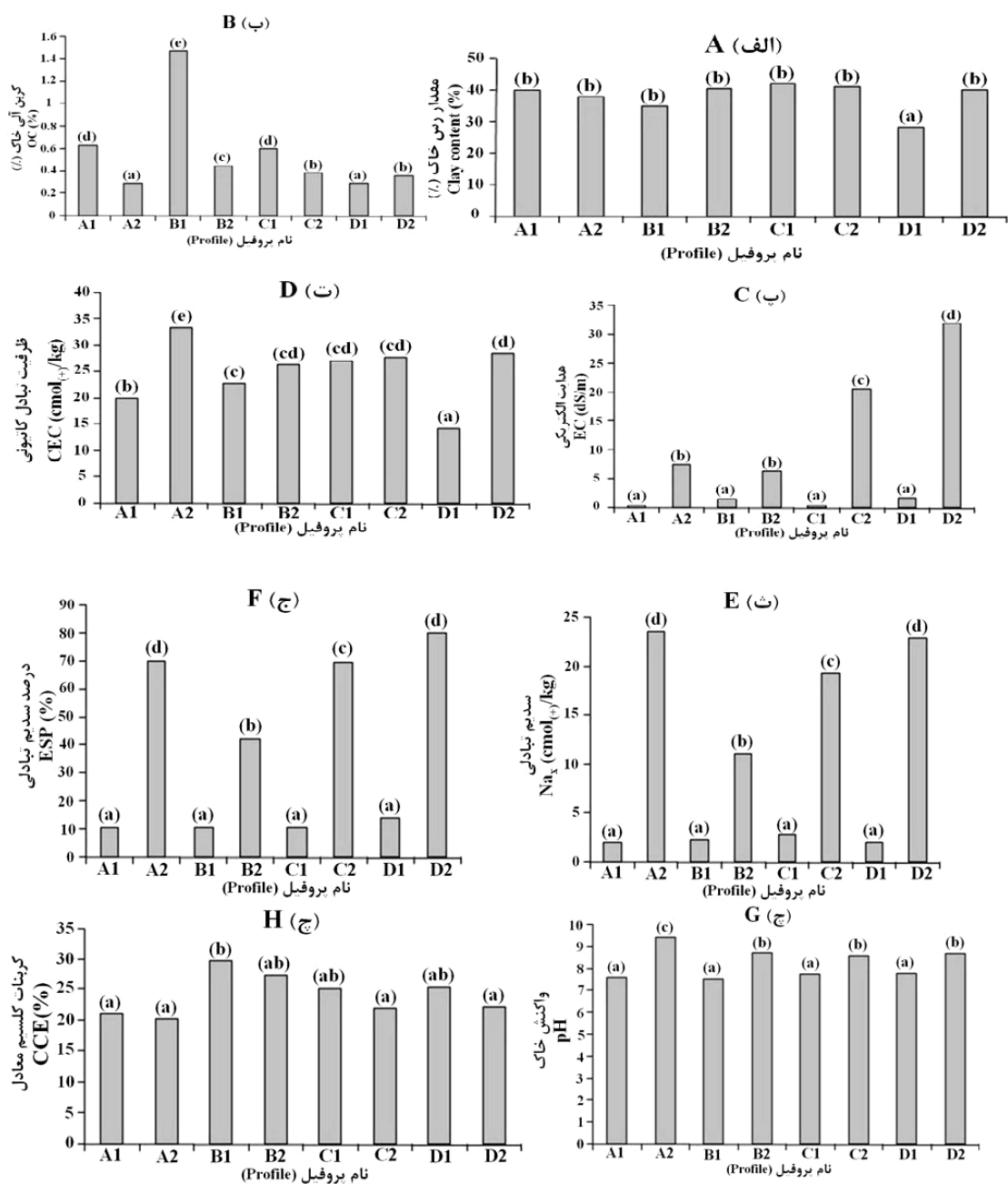
Table 4. Selected chemical properties of some pedons in lands affected by Urmia Lake.

ESP (%)	SAR (meq/l) <sup>0.5</sup>	Exchangeable Na (cmol/kg)	CEC (cmol/kg)	CCE (%)	EC (dS/m)	pH (se)	OC (%)	افق (horizon)	خاکرخ (profile)
47.29	29.32	12.5	26.43	33.1	11.27	8.64	1.32	Apn	
46.15	37.53	11.76	25.48	29.7	11.92	8.77	0.95	Bwn	
39.87	27.83	11.5	28.91	33.2	14.51	8.41	0.44	Btkn <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
36.51	28.68	11.1	30.4	36.4	16.61	8.71	0.28	Btkn <sub>2</sub>	
42.06	26.5	10.32	24.25	19.7	11.47	8.83	0.13	Cn	
70.05	62.9	21.32	28.79	19.2	126.33	8.47	0.58	Apnz	
73.4	64.65	20.48	27.9	18.7	68.9	8.84	0.52	Anz	
84.74	64.66	22.71	26.8	22.8	49.4	8.93	0.3	Bkng	D <sub>2</sub>
82.01	72.18	24.93	30.4	24.7	43.2	8.51	0.25	Btng	

کربن آلی خاک تأثیرگذار می‌باشند که از جمله آن‌ها می‌توان به کمیت و کیفیت بقایای گیاهی اضافه شده به خاک، فاکتورهای اقلیمی، خصوصیات خاک (به‌ویژه نوع و مقدار رس) و فرسایش اشاره کرد (۹، ۳۵). چنین روندی توسط فارکوئیم و همکاران (۲۰۱۰)، کائومانو و همکاران (۲۰۱۰) و اسمیکاتز کلوز و پریادارسی (۲۰۱۰) نیز گزارش شده است (۱۱، ۲۰، ۲۹). چاخارلو و همکاران (۲۰۱۴a,b) نیز طی مطالعاتی در اراضی مجاور دریاچه اورمیه، نتیجه گرفته‌اند که در اراضی متأثر از دریاچه ارومیه و نمک‌های ناشی از آن، به‌دلیل حضور مقادیر فراوان نمک، شرایط برای استقرار پوشش گیاهی متراکم و میکروارگانیسم‌ها مهیا نیست و تنها پوشش گیاهی پراکنده از نوع شورپسند در این اراضی استقرار دارند (۷، ۸). در نتیجه سالانه کربن آلی کم‌تری به این خاک‌ها اضافه می‌شود که منجر به مقادیر کم‌تر کربن آلی در این خاک‌ها گردیده است.

**کربن آلی خاک:** آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مقدار کربن آلی خاک‌ها در اغلب خاکرخ‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۱٪ دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد (شکل ۲-ب). در خاکرخ‌های متناظر در هر دو ردیف اراضی نیز، خاک‌های واقع در اراضی غیرشور- غیرسدیمی مقدار کربن آلی بیش‌تری در مقایسه با خاک‌های واقع در اراضی شور- سدیمی دارند (به‌عنوان مثال خاکرخ‌های A<sub>1</sub> و A<sub>2</sub>) و تفاوت آن‌ها نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (شکل ۲-ب). علت این امر را می‌توان در مقادیر خیلی زیاد املاح موجود در اراضی شور- سدیمی جستجو کرد. در این اراضی به‌دلیل حضور مقادیر فراوان املاح، شرایط برای استقرار پوشش گیاهی متراکم مهیا نیست و تنها پوشش گیاهی پراکنده از نوع شورپسند استقرار دارند. در نتیجه سالانه بقایای گیاهی کم‌تری به این خاک‌ها اضافه می‌شود که منجر به مقادیر کم‌تر کربن آلی در این خاک‌ها گردیده است.

دالگرن و همکاران (۱۹۹۷) و تاتزبر و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشته‌اند که چند عامل اساسی بر میزان



شکل ۲- نمودار آزمون مقایسه میانگین تعدادی از خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه. الف) رس، ب) کربن آلی، پ) EC، ت) سدیم تبادل، ث) ESP، ج) CEC، چ) pH و ح) کربنات کلسیم معادل. حروف غیرمشابه تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ را نشان می‌دهند.

Figure 2. The graphs of comparison test of mean values selected properties of studied soils. A) clay, B) organic carbon, C) electrical conductivity, D) cation exchange capacity, E) exchangeable sodium, F) exchangeable sodium percentage, G) soil pH and H) calcium carbonate equivalent. Means with dissimilar letters are significantly different at  $P < 0.01$  level.



این وضعیت در سال‌های پربابی دریاچه اورمیه رخ داده است و در اثر افزایش سطح آب دریاچه، بخش‌هایی از اراضی پیرامون آن زیر آب رفته و تحت‌تأثیر املاح فراوان موجود در آن قرار گرفته است که آثار آن با مقادیر زیاد EC و همچنین سدیم تبدلی بالا در خاک‌های A<sub>2</sub> الی D<sub>2</sub> مشاهده می‌شود. نتایج آزمون مقایسه میانگین هدایت الکتریکی خاک‌های مورد مطالعه در دو ردیف اراضی (شکل ۲- پ) نشان داد که هدایت الکتریکی خاک‌ها در این دو ردیف اراضی با یکدیگر در سطح احتمال ۱٪ دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند و میانگین وزنی هدایت الکتریکی در خاک‌های واقع در اراضی متأثر از دریاچه بسیار بیش‌تر از مقادیر آن در خاک‌های متناظر در اراضی غیرمتأثر از دریاچه می‌باشد و علت آن همان‌طور که ذکر شد پیشروی آب دریاچه و برجای گذاشتن املاح فراوان در این خاک‌ها می‌باشد. از طرفی، میزان EC در خاک‌های C<sub>2</sub> و D<sub>2</sub> (در اراضی متأثر از دریاچه) بسیار بیش‌تر از سایر خاک‌ها می‌باشد (شکل ۲- پ). این دو خاک‌ها دارای افق سالیک (افق غنی از نمک) می‌باشند (جدول‌های ۱ تا ۴) و همین امر سبب هدایت الکتریکی بسیار زیاد این خاک‌ها شده است.

**ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک:** ظرفیت تبادل کاتیونی در این خاک‌ها، ارتباط بسیار روشنی با مقدار رس و کربن آلی خاک نشان داد (جدول‌های ۱ تا ۴). نتایج کانی‌شناسی رس نیز نشان داد که در این خاک‌ها، به‌ویژه در خاک‌های متأثر از دریاچه، کانی‌شناسی بخش رس بیش‌تر از نوع اسمکتیتی است. با توجه به این‌که کانی‌های اسمکتیتی دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی هستند، بنابراین حضور مقادیر بیش‌تر اسمکتیت در این خاک‌ها و همچنین تغییرات آن با عمق نیز می‌توان به‌عنوان یکی دیگر از عوامل تغییرات CEC این خاک‌ها با عمق در نظر گرفت.

**هدایت الکتریکی (EC) خاک:** بر اساس نتایج حاصله، هدایت الکتریکی خاک‌ها در خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه (خاک‌های A<sub>1</sub> الی D<sub>1</sub>)، بسیار کم بود و تقریباً در همه خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه، هدایت الکتریکی در افق‌های سطحی کم بود و با عمق افزایش نشان داد (جدول‌های ۳ و ۴). این امر نشان می‌دهد که در این خاک‌ها املاح محلول توسط آب‌های ناشی از بارندگی یا آبیاری از افق‌های سطحی به اعماق انتقال یافته‌اند. این نتایج با یافته‌های کائومانو و همکاران (۲۰۱۰) و اسمیکاتز کلوز و پریادارسی (۲۰۱۰) نیز همخوانی دارد (۲۰، ۲۹). چنین روندی توسط چاخ‌رلو و همکاران (۲۰۱۴a) نیز گزارش شده است (۷). در خاک‌های A<sub>2</sub> الی D<sub>2</sub>، هدایت الکتریکی خاک‌ها بالا بود و با عمق کاهش نشان می‌دهد (جدول ۲). چنین وضعیتی ممکن است ناشی از وجود یک منبع خارجی نمک و اضافه شدن املاح به بخش فوقانی خاک باشد. فریفته و همکاران (۲۰۰۶) و نریمانی و منافی (۲۰۱۳) منبع خارجی نمک را ناشی از مصرف مقادیر بالای کودهای شیمیایی و اثرات باقی‌مانده آن‌ها دانسته‌اند (۱۰، ۲۷). این پژوهشگران همچنین اظهار داشته‌اند که هوازدگی کانی‌های موجود در مواد مادری و آزاد شدن یون‌های موجود در آن‌ها نیز ممکن است وارد محلول خاک شده و سبب افزایش هدایت الکتریکی خاک شوند. صعود کاپیلاری آب زیرزمینی و تبخیر و رسوب املاح در سطح یا نزدیکی سطح خاک نیز یکی دیگر از منابع احتمالی املاح در این خاک‌ها می‌باشد. هانتی و همکاران (۲۰۰۴)، کائومانو و همکاران (۲۰۱۰) و اسمیکاتز کلوز و پریادارسی (۲۰۱۰) نیز در رابطه با تغییرات هدایت الکتریکی خاک‌ها گزارش‌های مشابهی داشته‌اند (۱۷، ۲۰، ۲۹). احتمالاً عامل EC بالا در این خاک‌ها پیشروی دریاچه و اضافه شدن املاح آن به این اراضی می‌باشد.

مطالعه نشان داده شده است که بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار سدیم تبادلی و ESP خاک‌های دو ردیف اراضی مورد مطالعه در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌های ۲-ت و ۲-ج مشاهده می‌شود، میزان سدیم تبادلی و ESP در خاک‌های واقع در اراضی متأثر از دریاچه (خاک‌های A<sub>2</sub> الی D<sub>2</sub>)، بسیار بیش‌تر از مقادیر آن‌ها در خاک‌های متناظر واقع در اراضی غیرمتأثر از دریاچه (خاک‌های A<sub>1</sub> الی D<sub>1</sub>) است. به‌نظر می‌رسد یون‌های سدیم فراوان ناشی از دریاچه اورمیه بخش اعظم کمپلکس تبادلی خاک‌های متأثر از دریاچه را اشغال نموده و سبب افزایش قابل ملاحظه سدیم تبادلی و ESP این خاک‌ها در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه گردیده است (شکل ۲-ت و ۲-ج).

**واکنش (pH) خاک‌ها:** در شکل ۲-چ نمودار آزمون مقایسه میانگین واکنش خاک‌های مورد مطالعه نشان داده شده است که تفاوت معنی‌داری بین pH خاک‌های متأثر از دریاچه در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از آن در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد و pH خاک‌های متأثر از دریاچه در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از آن به‌میزان محسوسی بیش‌تر است. با توجه به مقادیر نسبتاً زیاد کربنات کلسیم موجود در خاک‌های در اراضی غیرمتأثر از دریاچه (خاک‌های A<sub>1</sub> الی D<sub>1</sub>)، به‌نظر می‌رسد که واکنش این گروه از خاک‌ها عمدتاً توسط آهک ریزدانه مایکرایتی موجود در خاک کنترل می‌شود و حضور مقادیر بالای کربنات کلسیم، تغییرات واکنش خاک‌ها را محدود می‌کند و به‌دلیل خاصیت بافری کربنات کلسیم، واکنش (pH) این خاک‌ها در طول خاک‌رخ‌ها و همچنین در خاک‌رخ‌های مختلف تفاوت چندانی ندارند. این موضوع با گزارش‌های چاخرو و همکاران (۲۰۱۴ا)، دالگرن و همکاران (۱۹۹۷)، نریمانی و منافی (۲۰۱۳)، نیز همخوانی دارد (۷، ۸، ۹، ۲۷). از طرفی مقادیر pH

سریواستاوا و همکاران (۲۰۰۷) اظهار داشتند که CEC به مقدار ماده آلی، بافت خاک و نوع کانی‌های رسی بستگی دارد (۳۴). هپر و همکاران (۲۰۰۶) نیز اظهار داشته‌اند که جذب کاتیونی با افزایش مقدار ذرات ریز، مقدار کانی‌های ۲:۱ و مقادیر مواد آلی خاک افزایش می‌یابد (۱۵). بنابراین، تغییرات CEC خاک‌های مورد مطالعه را می‌توان به تغییرات نوع و مقدار رس خاک‌ها و تغییرات مقادیر مواد آلی خاک نسبت داد. آزمون مقایسه میانگین CEC خاک‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری بین CEC خاک‌های متأثر از دریاچه در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از آن در سطح احتمال ۱٪ نشان داد (شکل ۲-ت) و CEC خاک‌های متأثر از دریاچه در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از آن به‌میزان محسوسی بیش‌تر است. با توجه به این‌که در این خاک‌ها پیشروی دریاچه سبب کاهش مقدار کربن آلی خاک‌های متأثر از آن (در خاک‌های A<sub>2</sub> الی D<sub>2</sub>) گردیده و تأثیر چندانی بر میزان رس این خاک‌ها نداشته است، تفاوت در مقادیر CEC این خاک‌ها را می‌توان به تفاوت در کانی‌شناسی آن‌ها نسبت داد. با توجه به نتایج کانی‌شناسی، اسمکتیت غالب‌ترین کانی رسی در خاک‌های متأثر از دریاچه می‌باشد و مقدار آن در خاک‌های متأثر از دریاچه در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از آن به‌طور نسبی بیش‌تر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت پیشروی دریاچه با تأثیر بر نوع کانی‌های رسی، بر میزان CEC این خاک‌ها مؤثر بوده است. این نتایج با یافته‌های چاخرو و همکاران (۲۰۱۴ا)، فارکوئیم و همکاران (۲۰۱۰)، کائومانو و همکاران (۲۰۱۰)، منافی (۲۰۱۰) و نریمانی و منافی (۲۰۱۳) همخوانی دارد (۷، ۱۱، ۲۰، ۲۶، ۲۷).

**سدیم تبادلی و درصد سدیم تبادلی (ESP):** در شکل‌های ۲-ت و ۲-ج نمودار آزمون مقایسه میانگین سدیم تبادلی و ESP در خاک‌های مورد

عمدتاً متأثر از مواد مادری می‌باشد و با توجه به عدم تفاوت مقادیر کربنات کلسیم معادل در خاک‌های متأثر و غیرمتأثر از املاح دریاچه، می‌توان نتیجه گرفت که پیشروی دریاچه ارومیه (در خاک‌های  $A_2$  الی  $D_2$ ) تأثیری بر مقدار کربنات کلسیم معادل این خاک‌ها نداشته است. نریمانی و منافی (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (۲۷).

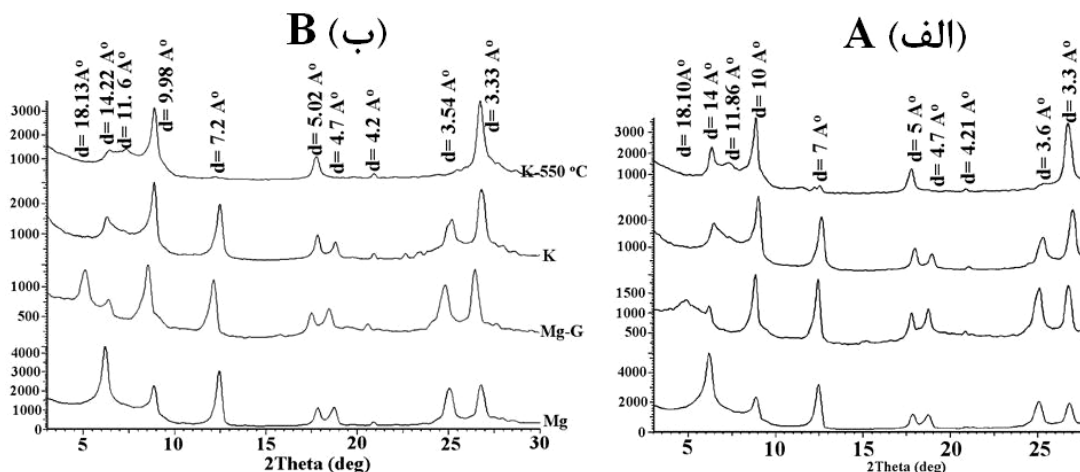
**کانی‌شناسی رس:** نتایج کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها نشان داد که کانی‌های رسی خاک‌های هر دو ردیف اراضی عمدتاً شامل کانی‌های اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت، ورمی‌کولیت و ورمی‌کولیت با هیدروکسی بین‌لایه‌ای (HIV) می‌باشند. در شکل‌های ۳- الف و ۳- ب به ترتیب پرتونگار اشعه ایکس مربوط به افق  $Bk_2$  خاکرخ  $B_1$  و افق  $Btkn_2$  خاکرخ  $B_2$  و در جدول ۵ مقادیر نیمه‌کمی کانی‌های رسی در تعدادی از خاک‌های شاهد ارائه شده است. نتایج فیزیکی، شیمیایی و پرتونگاری اشعه ایکس نشان دادند که کانی‌های رسی موجود در این خاک‌ها با مکانیسم‌های متفاوتی تشکیل شده‌اند. ایلیت و کلریت از کانی‌های رسی عمده در خاک‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشند که عمدتاً منشأ توارثی داشته و از مواد مادری خاک به ارث رسیده‌اند. با توجه به حضور مقادیر نسبتاً زیاد ایلیت و کلریت در مواد مادری (افق‌های C) خاک‌های هر دو ردیف اراضی، می‌توان اظهار داشت که بخش عمده‌ای از ایلیت و کلریت موجود در هر دو گروه از این خاک‌ها منشأ توارثی دارد. منافی (۲۰۱۰) در خاک‌های منطقه رشکان ارومیه کانی‌های ایلیت و کلریت را به‌عنوان کانی‌های غالب گزارش کرده و منشأ آن‌ها را به توارث از مواد مادری نسبت داده است (۲۶). قرقره‌چی و خرمالی (۲۰۰۸) و خرمالی و قربانی (۲۰۱۰) نیز نتایج مشابهی را گزارش نموده‌اند (۱۳).

خاک‌ها در خاک‌رخ‌های واقع در اراضی متأثر از دریاچه (خاک‌رخ‌های  $A_2$  الی  $D_2$ )، بیش‌تر از مقدار آن در خاک‌رخ‌های متناظر واقع در اراضی غیرمتأثر از دریاچه (خاک‌رخ‌های  $A_1$  الی  $D_1$ ) است. با توجه خصوصیات فیزیکوشیمیایی این خاک‌ها (خاک‌رخ‌های  $A_2$  الی  $D_2$ )، می‌توان هدایت الکتریکی بالا و به‌خصوص سدیم تبدلی بالای این خاک‌ها را عامل افزایش pH آن‌ها دانست. مقادیر فراوان سدیم تبدلی در این خاک‌ها از طریق عمل هیدرولیز و تولید یون‌های هیدروکسیل، سبب افزایش pH این خاک‌ها شده‌اند و در چنین شرایطی کربنات کلسیم نیز به دلیل حلالیت کم‌تر قادر به تأمین کلسیم مورد نیاز جهت افزایش درصد اشباع کلسیمی این خاک‌ها نبوده و قادر نیست که از طریق قدرت بافری خود مانع افزایش pH خاک شود و لاجرم pH خاک‌ها افزایش می‌یابد. خریسات و کودا (۲۰۰۶)، در اردن دریافته‌اند که افق‌های فوقانی در خاک‌های مورد مطالعه آن‌ها مقادیر pH بالاتری در مقایسه با افق‌های زیر سطحی نشان می‌دهد و این پدیده را به مقادیر بالاتر EC و سدیم تبدلی در افق‌های سطحی خاک‌رخ‌های مذکور نسبت داده‌اند (۲۵). در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که پیشروی دریاچه ارومیه از طریق افزایش درصد سدیم تبدلی، سبب افزایش مقادیر pH خاک‌های خاک‌رخ‌های  $A_2$  الی  $D_2$  گردیده است.

**کربنات کلسیم معادل خاک:** در شکل ۲- ح نمودار آزمون مقایسه میانگین کربنات کلسیم معادل در خاک‌رخ‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲- ح مشاهده می‌شود، میانگین وزنی کربنات کلسیم معادل این خاک‌ها در خاک‌رخ‌های متناظر در دو ردیف اراضی تفاوت چندانی ندارند. با توجه به مواد مادری آهکی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه (۳۳) به‌نظر می‌رسد کربنات کلسیم معادل این خاک‌ها

حجتی و همکاران (۲۰۱۰) و منافی (۲۰۱۰) گزارش شده است (۱۷، ۱۸، ۲۰، ۱۶، ۲۶).

(۲۳). منشأ موروثی ایلیت و کلریت توسط پژوهشگران مختلفی از جمله هانتی و همکاران (۲۰۰۴)، پاشینه‌لام و بابتیستا نتو (۲۰۰۷)، کائومانو همکاران (۲۰۱۰) و



شکل ۳- الف) پرتونگار اشعه ایکس مربوط به افق Bk<sub>2</sub> خاکرخ B<sub>1</sub> و ب) پرتونگار اشعه ایکس مربوط به افق Btkn<sub>2</sub> خاکرخ B<sub>2</sub>.  
Figure 3. A) X-ray diffractograms of Bk<sub>2</sub> horizon of profile B<sub>1</sub> and B) X-ray diffractograms of Btkn<sub>2</sub> horizon of profile B<sub>2</sub>.

جدول ۵- مقادیر نیمه کمی کانی‌های رسی در تعدادی از خاک‌های مورد مطالعه.

Table 5. Semiquantitative values of clay minerals in some of studied soils.

HIV	کانی‌های رسی (clay minerals)					خاکرخ (profile)	افق (horizon)
	ورمی‌کولیت (vermiculite)	کلریت (chlorite)	کائولینیت (kaolinite)	اسمکتیت (smectite)	ایلیت (illite)		
-	-	++	++	++	++	Ap	B <sub>1</sub>
-	-	+	++	++	++	Bw	
-	-	+	++	++	+++	Bk <sub>1</sub>	
-	+	++	++	+++	+++	Bk <sub>2</sub>	
-	-	++	++	++	++	Ap	D <sub>1</sub>
-	+	++	++	+++	+++	Bk <sub>1</sub>	
-	+	++	++	++++	++	Bk <sub>2</sub>	
+	-	++	++	+++	++++	C	
-	+	++	++	++	++	Apn	B <sub>2</sub>
-	+	++	++	++++	++	Btkn <sub>1</sub>	
-	+	+	+++	+++++	+++	Btkn <sub>2</sub>	
+	-	++	++	++	++	Cn	
-	-	++	++	+	+++	Apnz	D <sub>2</sub>
+	++	++	++	++	++	Bkng	
+	+	+	+++	++++	++	Btng	

-- < 1% , - 1% , + < 10% , ++ 10-20% , +++ 20-30% , ++++ 30-40% , +++++ > 50%.

تغییرات ایلیت و اسمکتیت در این خاک‌ها گردیده است. منافی (۲۰۱۰) افزایش اسمکتیت و کاهش مقدار ایلیت در خاک‌های منطقه رشکان اورمیه را به هوادیدگی ایلیت و تبدیل آن به اسمکتیت نسبت داده است (۲۶). در مطالعات کائومانو و همکاران (۲۰۱۰)، جانگ و همکاران (۲۰۱۱)، جانگ و همکاران (۲۰۱۲) و حجتی و همکاران (۲۰۱۰) نیز به تشکیل اسمکتیت در اثر هوادیدگی و تغییر شکل ایلیت اشاره شده است (۲۰، ۱۸، ۱۹، ۱۶). هپر و همکاران (۲۰۰۶) نیز اظهار داشته‌اند که در طول فرایند هوازدگی، ایلیت می‌تواند از طریق فرایندهایی نظیر هدررفت K از فواصل بین‌لایه‌ای و جایگزینی ایزومورف Si تراهدرون‌ها، به اسمکتیت تبدیل شود (۱۵).

در خاک‌های متأثر از دریاچه (خاک‌رخ‌های  $A_2$  الی  $D_2$ ) که در زمان پرآبی دریاچه زیر آب رفته و محتوی مقادیر زیادی کانی‌های اسمکتیتی هستند، احتمالاً نوتشکیلی از محلول خاک نیز یکی از علل حضور اسمکتیت می‌باشد. طبق گزارش اداره کل محیط زیست آذربایجان غربی (۲۰۰۹) و علیپور (۲۰۱۱)، دریاچه از نظر ترکیب شیمیایی از تیپ کلره می‌باشد و غالبترین املاح آن شامل کلرور سدیم، کلرور منیزیم، کلرور پتاسیم، سولفات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات منیزیم و سایر املاح می‌باشد (۳۷، ۳). بنابراین به نظر می‌رسد در اثر پیشروی آب دریاچه در دوره پرآبی، مقادیر زیادی از املاح فوق به این خاک‌ها اضافه شده و در نتیجه در این خاک‌ها به علت تجمع املاح محلول فراوان ناشی از دریاچه، شرایط لازم جهت تشکیل اسمکتیت از قبیل pH بالا، محلول خاک غنی از کاتیون‌های بازی، فراوانی عنصر Mg و فراوانی نسبت عنصر Si نسبت به Al، مهیا گردیده است. از این رو انتظار می‌رود بخشی از اسمکتیت موجود در این خاک‌رخ‌ها از طریق نوتشکیلی از محلول

کانی کائولینیت در تمامی نمونه‌های مورد بررسی و در مقادیر کم حضور دارد. مقدار آن در افق‌های سطحی کم‌تر است و یک افزایش جزئی با عمق (مخصوصاً در افق‌های C) نشان می‌دهد (شکل ۳ الف و ب، جدول ۵) ولی این افزایش قابل ملاحظه نیست. با توجه به شرایط اقلیمی فعلی منطقه و نتایج فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه و همچنین با توجه به حضور کائولینیت در مواد مادری خاک‌های هر دو ردیف اراضی، می‌توان اظهار داشت که کانی‌های کائولینیتی موجود در این خاک‌ها دارای منشأ توارثی هستند. منافی (۲۰۱۰)، خرمالی و قربانی (۲۰۱۰) و خرمالی و کهل (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (۲۶، ۲۳، ۲۴).

اسمکتیت غالب‌ترین کانی رسی در خاک‌های هر دو ردیف مورد مطالعه می‌باشد. در افق‌های سطحی خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه (خاک‌رخ‌های  $A_1$  الی  $D_1$ )، اسمکتیت بعد از ایلیت فراوان‌ترین کانی می‌باشد و مقدار آن با عمق به‌طور نسبی کاهش می‌یابد. در این خاک‌ها کاهش اسمکتیت با افزایش جزئی ایلیت همراه است (جدول ۵). در خاک‌های متأثر از دریاچه (خاک‌رخ‌های  $A_2$  الی  $D_2$ )، اسمکتیت غالب‌ترین کانی رسی می‌باشد و مقدار آن با عمق افزایش می‌یابد و فراوانی آن در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه بیش‌تر است. با توجه به حضور مقادیری اسمکتیت در مواد مادری (افق‌های C) خاک‌های مورد مطالعه، می‌توان یک منشأ توارثی برای بخشی از کانی‌های اسمکتیتی موجود در هر دو ردیف اراضی مورد مطالعه در نظر گرفت. از طرف دیگر، در خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه مقدار اسمکتیت با عمق به‌طور نسبی کاهش و مقدار ایلیت افزایش می‌یابد (جدول ۵). بنابراین به نظر می‌رسد تغییر شکل بخشی از ایلیت و تبدیل آن به اسمکتیت منجر به روند معکوس

محصول هوادیدگی ایلیت باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً در این خاک‌ها بخش عمده‌ای از ورمی‌کولیت در اثر تغییر شکل ایلیت تشکیل شده است و بنابراین دارای منشأ پدوژنیک می‌باشد. منافعی (۲۰۱۰) نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده است (۲۶). در این خاک‌ها ورمی‌کولیت با هیدروکسی بین‌لایه‌ای (HIV) در مقادیر بسیار کم مشاهده شد. با توجه به حضور این کانی در مواد مادری خاک‌ها و عدم وجود شرایط لازم جهت تشکیل پدوژنیک این کانی، می‌توان اظهار داشت که ورمی‌کولیت با هیدروکسی بین‌لایه‌ای در این خاک‌ها دارای منشأ موروثی بوده و از مواد مادری به ارث رسیده است. در کل مقایسه کانی‌شناسی رس خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که پیشروی دریاچه اورمیه و اضافه شدن املاح دریاچه به اراضی پیرامون آن، سبب تغییرات کانی‌شناسی خاک‌های متأثر از دریاچه در مقایسه با خاک‌های غیرمتأثر از آن شده است. این تغییرات شرایط مناسب جهت نوتشکیلی اسمکتیت‌ها را فراهم نموده است که منجر به حضور مقادیر خیلی بیش‌تر اسمکتیت در این خاک‌ها گردیده است.

**تحول خاک:** نتایج نشان داد که خاک‌های واقع در دو ردیف اراضی تحول متفاوتی دارند. خاک‌های غیرمتأثر از دریاچه تنها دارای افق‌های مشخصه زیرسطحی کمبیک و کلسیک می‌باشد. حضور تنها افق‌های کمبیک و کلسیک در این خاک‌ها نشانه تحول کم آن‌ها می‌باشد. در حالی که تمامی خاک‌های واقع در ردیف اراضی شور و سدیمی علاوه بر افق‌های کمبیک و کلسیک، دارای افق‌های ناتریک در تحت‌الارض خاک‌ها هستند (جدول‌های ۱ و ۲). تشکیل افق ناتریک در این خاک‌ها بیانگر درجه تحول و تکامل بیش‌تر خاک‌های مربوطه می‌باشد. پیدایش افق ناتریک در این خاک‌ها با توجه به اقلیم فعلی نیمه‌خشک منطقه حائز اهمیت فراوانی

خاک حاصل آمده باشد. هانتی و همکاران (۲۰۰۴)، پاشینه‌لام و باپتیستا نتو (۲۰۰۷) و کائومانو همکاران (۲۰۱۰) نیز نوتشکیلی اسمکتیت را تحت شرایط شور و قلیایی با غلظت‌های زیاد Mg, Si و غلظت‌های کم Al گزارش کرده‌اند (۱۷، ۲۸، ۲۰). طبق اظهارات بورچارت (۱۹۸۹) و آنوجیت و همکاران (۱۹۹۶) فاکتورهایی که به شدت منشأ و تشکیل اسمکتیت‌ها را در خاک‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهند، توپوگرافی پست، زهکشی ضعیف و مواد مادری غنی از بازها می‌باشند، که منجر به ایجاد شرایط شیمیایی مساعد برای تشکیل اسمکتیت یعنی pH بالا، فعالیت زیاد سیلیس و فراوانی کاتیون‌های بازی می‌گردد (۶، ۴). این امر به‌ویژه در مورد خاک‌های بازی که در اراضی متأثر از دریاچه واقع شده‌اند و محتوی مقادیر زیادی کانی‌های گروه اسمکتیت هستند، صدق می‌کند و بیانگر منشأ نوتشکیلی این کانی تحت شرایط مساعد محیطی و محلول خاک می‌باشد. از این رو انتظار می‌رود بخشی از اسمکتیت موجود در این خاک‌ها از طریق نوتشکیلی از محلول خاک حاصل آمده باشد. خرمالی و ابطحی (۲۰۱۱) نیز چنین حالتی را در جنوب ایران گزارش کرده‌اند (۲۲). نوتشکیلی اسمکتیت توسط گیوبی و ابطحی (۱۹۸۵) و قرائی و مهجوری (۱۹۸۴) در ایران تحت شرایط شور و قلیایی با غلظت‌های زیاد Mg, Si و غلظت‌های کم Al گزارش شده است (۱۲، ۱۴).

با توجه به پرتونگار اشعه ایکس تهیه شده از این خاک‌ها (شکل ۳، جدول ۵)، مقدار کمی ورمی‌کولیت در این خاک‌ها شناسایی شد. بررسی پرتونگارهای اشعه ایکس نشان داد که اغلب پیک‌های ۱۰ آنگسترومی در این خاک‌ها نامتقارن بوده و دارای شانه‌ای به طرف زوایای  $2\theta$  کوچک‌تر هستند. این امر می‌تواند بیانگر هوازادگی ایلیت و تبدیل آن به کانی‌های دیگر از جمله ورمی‌کولیت به‌عنوان اولین

شدن مقادیر بسیار زیاد سدیم در اثر پیشروی دریاچه اورمیه، به دلیل اثر پراکنده‌کنندگی سدیم، فرایند پراکنش و حرکت ذرات رس صورت گرفته و منجر به تشکیل افق ناتریک در این خاک‌ها گردیده است. خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) در جنوب ایران و کائومانو و همکاران (۲۰۱۰) در تابلد نیز تشکیل افق ناتریک در اثر انتشار توسط یون سدیم و pH بالای خاک را گزارش کرده‌اند (۲۱، ۲۰). چاخرلو و همکاران (۲۰۱۴a,b) نیز با مطالعه میکرومورفولوژیکی برخی از خاک‌های غرب دریاچه اورمیه، افق‌های ناتریک را در خاک‌های شور-سدیمی مشاهده کردند. در حالی‌که خاک‌های غیرشور-غیرسدیمی فاقد افق ناتریک بوده‌اند. این پژوهشگران تشکیل افق‌های ناتریک در اراضی شور-سدیمی را به سدیم تبادلی بالای خاک‌های مزبور نسبت داده‌اند (۷، ۸).

### نتیجه‌گیری کلی

در طی سال‌های پر آبی دریاچه اورمیه سطح آب دریاچه افزایش یافته و بخشی از اراضی پیرامون آن زیر آب رفته و املاح فراوان دریاچه به اراضی مذکور منتقل شده و سبب تغییرات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی شدیدی در این اراضی در مقایسه با اراضی غیرمتأثر از پیشروی آب دریاچه گردیده است. این تغییرات شامل مقادیر کم‌تر کربن آلی و مقادیر بیش‌تر هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، سدیم تبادلی، درصد سدیم تبادلی و همچنین مقادیر بیش‌تر اسمکتیت در اراضی متأثر از دریاچه در مقایسه با اراضی غیرمتأثر از آن می‌باشند. طبق نتایج حاصله، بخشی از اراضی منطقه دیزج‌دول (خاک‌رخ‌های A<sub>2</sub> الی D<sub>2</sub>) که تا قبل از بالا آمدن سطح آب دریاچه در سال‌های پر آبی (سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۷۵) جزو اراضی زراعی و باغی منطقه بوده‌اند، با پیشروی آب دریاچه و انتقال املاح آن به

است. زیرا اغلب خاک‌شناسان (خرمالی و همکاران ۲۰۰۳؛ سربو استاوا و همکاران ۲۰۰۷؛ کائومانو و همکاران، ۲۰۱۰) تشکیل افق ناتریک در نواحی خشک و نیمه‌خشک را به اقلیم مرطوب‌تری نسبت به اقلیم حاضر نسبت داده‌اند (۲۱، ۳۴، ۲۰).

با توجه به این‌که هر دوی این ردیف‌های اراضی تحت شرایط یکسانی از نظر اقلیم، مواد مادری، توپوگرافی و غیره قرار دارند، در صورتی‌که افق‌های ناتریک در این خاک‌ها در اثر اقلیم مرطوب‌تر گذشته تشکیل شده باشند، این افق‌ها باید در هر دو ردیف اراضی مشاهده می‌شدند. در حالی‌که تنها در خاک‌های شور-سدیمی متأثر از دریاچه حضور دارند. بنابراین احتمالاً عامل دیگری غیر از اقلیم مرطوب‌تر گذشته در تشکیل افق‌های ناتریک در این خاک‌ها مؤثر بوده است. نتایج نشان داد که تمام افق‌های ناتریک در اراضی واقع در ردیف اراضی شور و سدیمی دارای ESP بسیار بالا و همچنین سدیم تبادلی بسیار زیادی (جدول ۴) هستند. خاک‌های این ردیف از اراضی در اثر پیشروی دریاچه اورمیه در طی سال‌های پر آبی (اداره کل محیط زیست آذربایجان غربی، ۲۰۰۹؛ علیپور، ۲۰۱۱) مورد هجوم دریاچه واقع شده‌اند (۳۷، ۳). بنابراین به نظر می‌رسد سدیم تبادلی فراوان موجود در افق‌های ناتریک از این طریق حاصل شده باشد. براساس گزارش‌های مؤسسه خاکشناسی آمریکا (۲۰۱۴)، ویژگی پراکنده‌کنندگی سدیم پدیده ایلوویژن رس را تسریع می‌کند (۳۲). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این خاک‌ها احتمالاً سدیم تبادلی بالا سبب پراکنش و حرکت ذرات رس و تشکیل افق‌های ناتریک شده است و رس‌های موجود در افق‌های ناتریک در این خاک‌ها (خاک‌رخ‌های A<sub>2</sub> تا D<sub>2</sub>) تحت تأثیر سدیم تبادلی فراوان موجود در آن‌ها جابجا شده‌اند. نهایتاً می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل اضافه

منطقه گردیده است و انتقال املاح فراوان موجود در این زمین‌ها به اراضی مجاور سبب تخریب خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها خواهد شد و آسیب‌های جبران‌ناپذیری به کشاورزی منطقه وارد خواهد کرد.

زمین‌های اطراف، این اراضی در مقایسه با اراضی غیرمتأثر به شدت شور و سدیمی شده و از حیظ ارتفاع خارج گردیده‌اند. خشک شدن دریاچه طی سال‌های اخیر منجر به خروج اراضی از زیر آب دریاچه و افزایش سطح زمین‌های شور و سدیمی در این

### منابع

1. Abdelkhalik Ibrahim, M.A. 2011. Argillic horizons and clay-sized particles – an alternative interpretation of their dynamics in sola development and across catenas. Ph.D. Thesis. Iowa State University. 127p.
2. Al-Ghazu, W.M. 2008. Genesis and micromorphological features of argillic horizons in arid region of northeastern Jordan. M.Sc. Thesis. Jordan University of Science and Technology. 147p.
3. Alipour, S. 2011. The atlas of Urmia Lake National Park. Department of environment, Wesat Azerbaijan Provincial Office of DOE. Urmia, Iran. 100p.
4. Auidjit, H., Elsass, F., Righi, D., and Robert, M. 1996. Mica weathering in acidic soils by analytical electron microscopy. *Clay Mine*. 31: 319-332.
5. Bockheim, J.G., and Hartemink, A.E. 2013. Distribution and classification of soils with clay-enriched horizons in the USA. *Geoderma*. 209-210: 153-160.
6. Borchardt, G. 1989. Smectites. In: Dixon, J.B., S.B. Weed, (Eds.), *Minerals in soil environment*. 2<sup>nd</sup> ed. Number I in the SSSA book series. Published by SSSA. Madison. Wisconsin. USA. Pp: 675-729.
7. Chakherloo1, S., Manafi, Sh., and Heidari, A. 2014a. Ggenesis and micromorphological properties of some saline-sodic soils of the west of Urmia Lake. *J. Soil Manage. Sust. Prod*. 4: 3. 87-111.
8. Chakherloo1, S., Manafi, Sh., and Heidari, A. 2014b. The comparison of micromorphological properties of Saline – Sodic and Nonsaline-Nonsodic soils around the Urmia Lake. *J. Water Soil*. 28: 5. 1011-1024.
9. Dalgren, R.A., Boettinger, J.L., Muntington, G.L., and Amundsen, R.G. 1997. Soil development along elevetional transect in the western Sierra. Nevada, California. *Geoderma*. 78: 207-236.
10. Farifte, J., Farshad, A., and George, R.J. 2006. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modeling, and geophysics. *Geoderma*. 130: 191-206.
11. Furquim, S.A.C., Graham, R.C., Barbiero, L., Queiroz Neto, J.P., and Vaddal-Torrado, P. 2010. Soil mineral genesis and distribution in a saline landscape of the Patanal Wetland, Brazil. *Geoderma*. 154: 518-528.
12. Gharae, H.A., and Mahjooi, R.A. 1984. Characteristics and gemorphic relationship of some representative aridisols in southern Iran. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1115-1119.
13. Ghergherechi, S., and Khormali, F. 2008. Distribution and Origin of Clay Minerals Influenced by Ground-water Table and Land Use in South-west Golestan Province. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 18-30.
14. Givi, J., and Abtahi, A. 1985. Soil genesis as affected by topography and depth of salin and alkaline ground water under semi arid conditions in southern Iran. *Iran Agric. Res.* 4: 11-27.
15. Hepper, E.N., Buschiazzo, D.E., Hevia, G.G., Urioste, A., and Anton L. 2006. Clay mineralogy, cation exchange capacity and specific surface area of loess soils with different volcanic ash contents. *Geoderma*. 135: 216-223.
16. Hojati, S., Khademi, H., and Cano, A.F. 2010. Palygorskite formation under the influence of groundwater in central Iranian soils. *Soil Sci.* 175: 6. 303-312.



17. Honty, M., Uhli'k, P., Ucha, V.S., Aplovic' Ova', M.C., Francu, J., Clauer, N., and Biron, A. 2004. Smectite to illite alteration in salt-bearing bentonites (the East Slovak Basin). *Clays and Clay Minerals*. 52: 5. 533-551.
18. Jeong, G.Y., Hillier, S., and Kemp, R.A. 2011. Changes in mineralogy of loess-paleosol sections across the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Research*. 75: 245-255.
19. Jeong, S.W., Locat, J., and Leroueil, S. 2012. The effects of salinity and shear history on the rheological characteristics of Illite-rich and Na-Montmorillonite-rich clays. *Clays and Clay Minerals*. 60: 2. 108-120.
20. Kaewmano, Ch., Kheoruenromne, I., Suddhiprakarn, A., and Gilkes, R.J. 2010. Chemistry and clay mineralogy of Thai Natraqualfs. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.
21. Khormali, F., Abtahi, A., Mahmoodi, Sh., and Stoops, G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid region of southern Iran. *Catena*. 776: 1-29.
22. Khormali, F., and Abtahi, A. 2001. Soil genesis and mineralogy of three selected regions of Fars, Bushehr and Khuzestan provinces of Iran, formed under highly calcareous conditions. *Iran Agric. Res.* 20: 67-82.
23. Khormali, F., and Ghorbani, R. 2010. Origin and distribution of clay minerals in eastern climatic region of Golestan Province. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 16: 27-38. (In Persian)
24. Khormali, F., and Kehl, M. 2011. Micromorphology and development of loess-derived surface and buried soils along a precipitation gradient in Northern Iran. *Quaternary International*. 234: 109-123.
25. Khresat, 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.
26. Manafi, Sh. 2010. Mineralogical Evidence of Climate Change in some Semiarid Soils of Southern Urmia, Iran. *Soil Science Agrochemistry and Ecology*. 4: 17-24.
27. 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.
28. Patchineelam, S.M., and Baptista Neto, J.A. 2007. Spatial distribution of clay minerals in Guanabara Bay sediments and its relationship with the estuary hydrodynamics. *Geochimica Brasiliensis*. 21: 1. 001-008.
29. Smykatz-Kloss, W., and Priyadarsi, R.D. 2010. Evaporate mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions: A synthesis. *Boletín de Sociedad Geológica Mexicana*. 62: 3. 379-390.
30. Soil and water research institute of Iran. 1989. Land capability map of Western Azerbaijan in 1:250000 scale. Sheet no. II. Soil and water research institute of Iran. Tehran, Iran.
31. Soil Survey Staff. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. Version 3.0.
32. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12<sup>th</sup> ed. USDA. SCS. Agric. Washington. D.C.
33. Soltani Sisi, G.A. 2005. Geological map of Urmia, 1:100000 series. Sheet no. 5065. Geological survey mineral exploration organization. Tehran, 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. Tatzber, M., Stemmer, M., Spiegel, H., Katzlberger, Ch., Landstetter, C., Haberhauer, G., and Gerzabek, M.H. 2012. <sup>14</sup>C-labeled organic amendments: Characterization in different particle size fractions and humic acids in a long-term field experiment. *Geoderma*. 177-178: 39-48.
36. USDA, NRCS. 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigation report no. 42 version 3.0.
37. West Azerbaijan Provincial Office of DOE. 2009. The evaluation of salt storage and exploration of salts from Urmia Lake National Park. Department of environment, West Azerbaijan Provincial Office of DOE. Urmia, Iran. 154p.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(1), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **The study of effects of Urmia Lake on physico-chemical properties and clay mineralogy of soils in Dizadj Dol region of Urmia**

**M. Khani<sup>1</sup> and \*Sh. Manafi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Urmia University,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University

Received: 10/29/2014; Accepted: 06/06/2015

### **Abstract**

**Background and Objectives:** In the soils of areas close to saline lakes, due to the transport of salts from saline water of lake, salinization of soils occurs and depending on cationic composition of these lakes, different types of soils such as saline, sodic and saline- sodic soils develop around saline lakes. Recognition of morphological, physico-chemical and mineralogical properties of these soils has a great of importance for their sustainable management.

**Materials and Methods:** In order to study the effects of Urmia Lake on physicochemical and mineralogical properties of soils in Dizadj Dol region, 24 soil profiles in two soil sequences with the similar parent material, topography and climate were investigated. One of these sequences is affected by Urmia Lake and the other one is not affected.

**Results:** According to the results, all of the profiles which have been affected by the Lake have natric horizons. Natric horizons in these soils have been formed due to high amounts of sodium ions resulted from Urmia Lake. Varivace analysis of physico-chemical properties of these soils showed that the values of soil organic carbon, CEC, EC, exchangeable Na, ESP and pH of the two sequences were significantly different ( $P \leq 0.01$ ), but soil depth, clay content and calcium carbonate equivalent were not significantly different. Analysis of clay mineralogy showed that the clay mineral composition in these sequences were mostly smectite, illite, kaolinite, chlorite and vermiculite. Smectites and vermiculites in these soils are mainly of pedogenic origin and have been formed via transformation of illite. In the soils which have been affected by Urmia Lake, the main origin of smectites was neoformation process from soil solution. Illites, chlorites and kaolinite are inherited from parent material.

**Conclusion:** Comparison of results in these two sequences showed that the uprise of Urmia Lake has led to low amount of organic carbon and to high amounts of EC, exchangable sodium, ESP, CEC, pH and higher amounts of smectite in the soils affected by Urmia Lake.

**Keywords:** West Azerbaijan, Natric horizon, Clay minerals, Neoformation

---

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