

بررسی شواهد رسوبی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در کواترنری

علیرضا صالحی پور میلانی* - استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
 مجتبی یمانی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
 ابراهیم مقیمی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
 راضیه لک - دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 منصور جعفر بیگلر - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
 علی محمدی - دانشجوی پست دکتری زمین‌شناسی، دانشگاه ETH زوریخ، سوئیس.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۴/۱۹

چکیده

پادگانه‌های دریاچه‌ای و خطوط ساحلی قدیمی دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین شواهد ژئومورفولوژیکی دریاچه ارومیه هستند که بررسی آن‌ها از لحاظ پراکندگی و تغییرات ارتفاعی و همچنین ماهیت رسوب‌شناختی آن‌ها می‌تواند اطلاعات بسیار ارزشمندی را در رابطه با نوسانات دیرینه سطح آب دریاچه ارومیه و همچنین شرایط محیطی و تغییرات آن در زمان رسوب‌گذاری در اختیار محققین علوم زمین در اختیار قرار دهد. این تحقیق باهدف مطالعه پادگانه‌ها و خطوط ساحلی قدیمی دریاچه ارومیه از دیدگاه رسوب‌شناسی با بررسی دانه‌بندی با استفاده از الک شیکر مرطوب و تجزیه و تحلیل آن‌ها در نرم‌افزار گردبستات و همچنین بررسی آنالیز عنصری و ژئوشیمی رسوبی رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای از طریق انجام آزمایش‌های ICP و XRF و بررسی تغییرات آن‌ها هم‌زمان با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه انجام گرفت. نتایج مطالعات دانه‌بندی رسوبات نشان می‌دهد، هم‌زمان با بالا آمدن سطح آب دریاچه، رسوبات ریزدانه در حد سیلت و رس در پادگانه‌های دریاچه‌ای نهشته شده است و با پسروی سطح آب دریاچه دانه‌بندی رسوبات به ما سه و گراول تغییر یافته است. با بالا آمدن سطح آب دریاچه و هم‌زمان شکل‌گیری پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، مقدار CaO افزایش یافته که علت آن را می‌توان با بالا رفتن مقدار کربنات کلسیم رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی از جمله پوسترهای صدف موجود در پادگانه‌های دریاچه‌ای در ارتباط دانست. عناصر اصلی سیلیس (SiO₂)، آلومینیم (Al₂O₃)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید آهن (Fe₂O₃)، تیتان (TiO₂)، اکسید پتاسیم (K₂O)، اکسید سدیم (Na₂O) و اکسید سولفور (SO₃) هم‌زمان با افزایش سطح آب دریاچه کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده تأثیر کمتر رسوبات حمل‌شده با منشأ خشکی در پادگانه‌های دریاچه‌ای بوده است و در زمان پسروی آب دریاچه این عناصر روندی معکوس را نشان می‌دهند. در این میان محتوی بیولوژیک نقش بسیار زیادی در تغییرات بافت رسوبات و همچنین تغییر در مقدار عناصر رسوبی هم‌زمان با بالا آمدن سطح آب دریاچه را در رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: پادگانه دریاچه‌ای، دریاچه ارومیه، نوسانات سطح آب، کواترنری، رسوب‌شناسی.

مقدمه

یکی از شاخصه‌های مهم ژئومورفولوژیکی و رسوب‌شناختی رسوبات کواترنری در دریاچه ارومیه پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه است. پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه در واقع خطوط ساحلی قدیمی این دریاچه هستند که در اثر رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای شکل گرفته‌اند. پادگانه‌های دریاچه‌ای و خطوط ساحلی قدیمی ارومیه، حاوی شواهد بسیار زیادی از جمله شواهد رسوبی، فسیلی است و درک آن‌ها می‌تواند به ما درک فرایندهای حاکم در منطقه در زمان تشکیل این تراس‌ها کمک شایانی نماید. مطالعه این پادگانه‌ها اهمیت فراوانی از دیدگاه ژئومورفولوژی، دریاچه‌شناسی، پالئوکلیماتولوژی، زیست‌دیرینه‌شناسی برخوردار است. در سطح جهان پادگانه‌های دریایی و دریاچه‌ای نوسانات سطح دریا را در طول دوران کواترنری به صورت شواهد ژئومورفیک در خود جا داده‌اند و تغییر سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها و دریاچه‌های جهان به‌عنوان شاهدی از تغییرات اقلیمی عهد کواترنری به حساب می‌آیند. شکل‌گیری پادگانه‌های دریایی و دریاچه‌ای از طریق تغییرات در شرایط محیطی و فعالیت‌های تکتونیکی در طول دوران زمین‌شناسی کنترل می‌شود. تغییرات در شرایط اقلیمی به‌خصوص با تغییرات دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، منجر به نوسانات^۱ در سطح دریاها و دریاچه‌ها می‌شود (پیرازولی، ۲۰۰۵، ۶۳۲). فرایندهای ائوستاتیکی منجر به نوسانات سطح آب دریاها و دریاچه‌ها در اثر تغییرات حجم آب اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها می‌شود و در نتیجه آن وقوع پیشروی‌ها^۲ و پس‌روی^۳ در خطوط ساحلی به وقوع می‌پیوندد. در صورتی که ائوستازی عامل اصلی شکل‌گیری پادگانه‌های دریایی باشد، نوسانات سطح دریا و دریاچه‌ها می‌تواند شاخص تغییرات اقلیمی باشد. در مناطقی که هر دو فرایند ائوستاتیکی و ایزوستاتیکی یا تکتونیکی فعال باشند تفسیر تغییرات سطح آب دریاها و دریاچه‌ها به‌مراتب پیچیده‌تر می‌شوند (ورسلی^۴، ۱۹۹۸، ۵۲۸). از این‌رو اکثر توالی‌های پادگانه‌های دریایی و دریاچه‌ای این زمان به‌واسطه ترکیبی از بالا آمدن تکتونیکی سواحل و نوسانات سطح دریاها دریاچه‌ها در کواترنری شکل گرفته‌اند.

یک پادگانه دریاچه‌ای نشان‌دهنده خطوط ساحلی قدیمی مربوط به یک دوره یخچالی، مجاور یخچالی یا غیر یخچالی هستند. پادگانه دریاچه‌ای می‌تواند از طریق فرسایش و رسوب‌گذاری مواد تشکیل‌دهنده خطوط ساحلی و تراکم رسوبات در آب‌های کم‌عمق به وجود آید. پادگانه‌های دریاچه‌ای توسعه کمتری نسبت به پادگانه‌های دریایی داشته‌اند (پیرازولی، ۲۰۰۵، ۶۳۲). مطالعات متعددی در سایر نقاط جهان در رابطه با پادگانه‌های دریاچه‌ای و نرخ بالا آمدگی آن‌ها با استفاده از کربن ۱۴ انجام گرفته است. کزوفلو (۱۱۲۴، ۲۰۱۰) در دریاچه وان ترکیه تعداد ۱۰ پادگانه دریاچه‌ای یافته است که پایین‌ترین سطح تراس دریاچه‌ای در ارتفاع ۷ متری از سطح دریاچه و بالاترین سطح ارتفاعی تراس دریاچه‌ای در ارتفاع ۸۸ متری از سطح دریاچه قرار دارد و سن تراس‌های دریاچه‌ای در پایین‌ترین تراس ۲۷۹۰۰ سال قبل و بالاترین آن سنی در حدود ۳۴ هزار سال قبل را دارا می‌باشد.

ماچلوس و همکاران (۱۳۷، ۲۰۰۰)، منحنی تغییرات سطح آب دریای مرده بین ۱۵ تا ۵۵ هزار سال قبل از جلگه ماس ادا^۵ را با استفاده از پادگانه‌های دریای مرده را مورد مطالعه قرار دادند. شرمن و همکاران (۲۷، ۲۰۰۰) و بارتو و همکاران (۱۹۹۹، ۹) تعیین سن‌ها از نمونه‌های آراگونیتی بر اساس اورانیوم ۲۳۴ و کربن ۱۴ از نمونه‌های آراگونیتی انجام داده‌اند. در دریاچه ارومیه نیز مطالعات متعددی در رابطه با پادگانه‌های دریاچه‌ای انجام گرفته است. شوائتر^۶ در سال ۱۹۷۵ چهار پادگانه در ارتفاع‌های ۳۰، ۶۵-۶۰، ۸۵-۸۰ و ۱۱۵ متری بالاتر از سطح آن زمان دریاچه‌شناسایی نمود و آن‌ها را به ترتیب

1- oscillations

2 - transgressions

3 - regressions

4 - Worsley

5 -Massada

6 -Shwitzer

معادل دوره‌های وورم III، وورم I، ریس و میندل دانست. در سال ۱۹۶۰، ویتافینزی^۱ در بخش غربی دریاچه ارومیه پادگانه دریاچه‌ای موجود در فراز ۴ متری را یافته و آن را هم‌عرض آبرفت تهران به سن ۹۰۰۰ تا ۳۸۰۰۰ سال دانست. شهریاری (۱۳۶۶، ۳۴)، بربریان و قرشی (۱۳۶۶، ۸۷) وجود این پادگانه‌ها را در نقاطی مانند گل‌مانخانه، بندر شرفخانه، باختر ملک کندی را در هنگام بررسی مسیر بزرگراه شهید کلاتری مورد مطالعه قرار دادند. مغفوری مقدم (۱۳۷۱، ۵۲) در پایان‌نامه خود چند پادگانه را در بین روستای گل‌مانخانه و بندر گل‌مانخانه در مشرق ارومیه، کوه قهرمان لو و برش کچه باشی مورد مطالعه قرار داده است. شاه‌حسینی و همکاران (۱۳۸۲، ۶۵)، پادگانه جزیره آق گنبد، و دو پادگانه در جنوب غرب دریاچه ارومیه را شناسایی و یکی از پادگانه‌های جنوب غرب دریاچه را از لحاظ محیط رسوبی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده است. پادگانه کچه باشی در غرب دریاچه در منطقه قهرمانلو را صبوری (۱۳۸۹، ۱۸۴) مورد مطالعه قرار داده و سن آن را با استفاده از کربن ۱۴، ۴۶۰۰۰ سال برآورد نموده است.

یکی از شاخصه‌های رسوبی که می‌توان در تحلیل محیط رسوبی از آن استفاده نمود، دانه‌بندی رسوبات است. اندازه رسوبات تابعی از حداکثر سرعت جریان در هنگام رسوب‌گذاری، مسافت حمل و حداکثر اندازه دانه‌های آواری موجود در هنگام رسوب‌گذاری است، لذا تعیین مقدار دانه‌های درشت در رسوبات حتی به مقدار کم نیز برای تفسیر انرژی محیط اهمیت فراوانی دارد. همچنین بررسی و تعیین نسبت ذرات ماسه‌ای به گلی نیز اهمیت خاصی داشته و نشان‌دهنده مقدار انرژی برای خارج نمودن ذرات دانه‌ریز از محیط در هنگام رسوب‌گذاری است (فولک، ۱۹۷۴، 73). جورشدگی فاکتوری است که نشان می‌دهد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات چه مقدار به یکدیگر نزدیک‌اند. از روی جورشدگی رسوبات می‌توان انرژی محیط رسوبی در زمان رسوب‌گذاری و نیز تا حدودی خود محیط رسوبی را مشخص نمود. از روی کج شدگی رسوبات می‌توان انرژی محیط رسوبی و نیز فرآیندهای حمل‌کننده رسوبات را مشخص نمود. به‌عنوان مثال رسوبات با کج شدگی منفی نشان‌دهنده یک محیط پر انرژی می‌باشند. کشیدگی منحنی‌ها نیز همچون جورشدگی و کج شدگی (منعکس‌کننده مکانیزم‌های مختلف رسوب‌گذاری می‌باشد) (فولک، ۱۹۷۴، 75).

افزایش غلظت عناصر تخریبی همچون Al, Si, Fe, K و Ti به‌عنوان شاخص برای افزایش مقدار رسوب آواری وارده به حوضه رسوبی تفسیر می‌شود (ارز و همکاران، ۱۹۹۸، ۱۲۳، چن و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۴۴۸ و ۲۰۱۱، ۷۰۱، جنسن و همکاران، ۱۹۹۷، ۳۰۰، گلدنبرگ و همکاران، ۱۹۵۸، ۱۸۱) و Al و Ti در برابر هوازدهی مقاومت بالایی دارند و جز عناصری هستند که حفظ‌شدگی خوبی دارند (وی و همکاران، ۲۰۰۳، ۱۳۱، نسبی و مارکویچ، ۱۹۹۷، ۱۷۷) همچنین آن‌ها برای تخمین فراوانی مواد آواری در محیط‌های رسوبی به کار می‌روند (مورای و لینن، ۱۹۹۶ و کلامپ و همکاران، ۲۰۰۰). این دو عنصر در برابر فرایندهای هوازدهی می‌توانند مقاومت کنند (نسبی و مارکویچ، ۱۹۹۷، ۳۸۷۲ و نسبی و یانگ، ۱۹۸۲، ۱۵) بنابراین وقتی فرایندهای حمل در نظر گرفته می‌شوند، نسبت Ti/Al همراه با تفاوت عناصر کمیاب در مواد آواری منتج از منشأ رودخانه‌ای یا بادی با ارزش می‌باشد. در بین عناصر بالا Si, Fe, K شاخصه‌های خوبی برای منشأ رسوبات آواری نیستند. چرا که از منابع دیگری نیز تأمین می‌شوند (مکین و آلر، ۱۹۸۴، ۲۹۹، و چن و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۴۴۸، یارینکیچ و همکاران، ۲۰۰۰، ۱۵، دیموند و همکاران، ۱۹۹۲، ۱۶۸، زایل و همکاران، ۲۰۰۱)؛ بنابراین Ti and Al شاخص‌های مناسبی هستند که می‌توانند برای تغییرات انرژی حمل و نقل استفاده شوند (چن و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۹). عنصر CaO به‌عنوان شاخص‌ترین عنصر در تعیین محیط دریاچه‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

در دریاچه ارومیه مطالعات متعددی از دیدگاه دریاچه‌شناسی با تأکید بر مطالعات رسوب‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی، هیدروشیمی باهدف مطالعه تحولات دیرینه این دریاچه انجام گرفته است. شهریاری مطالعه جامعی را بر روی دریاچه ارومیه در سال ۱۳۷۳ داشته است و این دریاچه را از دیدگاه هیدروشیمی، رسوب‌شناسی و پالئوکلیماتولوژی مورد مطالعه قرار داده

^۱ -Vita Finzi

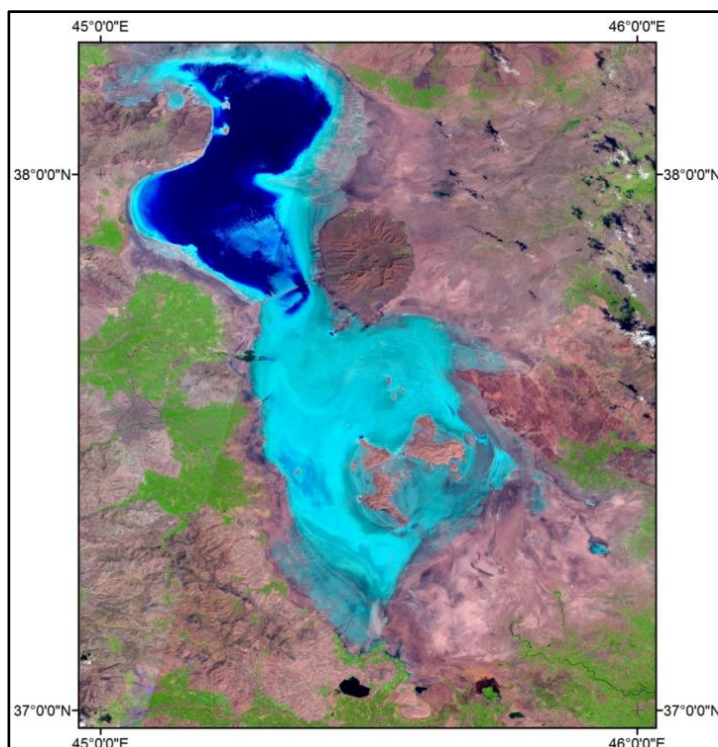
است. لک و همکاران (۱۳۹۰، ۳۴۳) به بررسی پالئوکلیماتولوژی دریاچه ارومیه با استفاده از مطالعات مغزه‌های رسوبی پرداخته‌اند و روندهای نوسانات سطح آب دریاچه را مورد بررسی قرار دادند. و پس از آن دیگر رسوب‌شناسان از جمله شاه‌حسینی (۱۳۸۲، ۱۱۲) رسوب‌شناسی و محیط تشکیل نهشته‌های کربناته بیوژنیک جوان در اطراف دریاچه ارومیه و بررسی ارتباط آن‌ها با دریاچه را مورد شناسایی قرار داده و تعدادی از پادگانه‌های دریاچه‌ای را شناسایی نموده است. طالبی‌راد (۱۳۷۷، ۳۵) و طلوعی (۱۳۷۵، ۸۷) به مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی و هیدروشیمیایی و شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضه رسوبی تبخیری دریاچه ارومیه پرداخته است. مهاجر باوقار (۱۳۷۹، ۵۴) ژئوشیمی و منشأ شوری آب دریاچه ارومیه را مورد مطالعه قرار داده است. محمدی (۱۳۸۴) تاریخچه رسوب‌گذاری هولوسن، دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه مغزه‌های تهیه‌شده در مسیر بزرگراه شهید کلانتری را مورد مطالعه قرار داده است.

با وجود اینکه مطالعات متعددی در رابطه با شناسایی و مطالعه پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه با دیدگاه‌های ژئومورفولوژیکی، رسوب‌شناختی بر روی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه توسط دانشمندان و محققین در گذشته انجام گرفته است، ولی این تحقیقات به‌طور پراکنده و منطقه‌ای انجام گرفته و بیشتر در بخش‌های میانی دریاچه ارومیه متمرکز بوده است. علاوه بر آن در رابطه با ماهیت رسوبی این پادگانه‌ها و ارتباط آن‌ها با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از مطالعات اطلاعات کاملی در دسترس نمی‌باشد. این تحقیق با هدف مطالعه پادگانه‌ها و خطوط ساحلی قدیمی دریاچه ارومیه از دیدگاه رسوب‌شناسی با بررسی دانه‌بندی، ژئوشیمی رسوبی رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه انجام گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران و در منطقه آذربایجان، بین مختصات $7^{\circ} 44'$ تا $53^{\circ} 47'$ طول شرقی و $35^{\circ} 40'$ تا $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی واقع شده است. این دریاچه در پست‌ترین فرونشست آذربایجان قرار دارد که اطراف آن را کوه‌های مرتفع با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر فرا گرفته است و به‌وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس، دامنه جنوبی کوه سبلان (حوضه آبریز آجی‌چای) و دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سه‌پند احاطه شده است (شهرابی، ۱۳۷۲، ۳۸). دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه آب‌شور دنیا است (شهرابی، ۱۳۷۲، ۳۵). مهم‌ترین رودخانه‌هایی که به دریاچه می‌ریزند شامل: زرینه‌رود، سیمینه‌رود، مه‌بادچای، گادارچای، باراندوزچای، شهرچای، روضه‌چای، نازلوچای، زولاچای، تسوج‌چای، آجی‌چای و صوفی‌چای می‌باشند. آجی‌چای از رسوبات نمکی نئوژن شرق تبریز عبور می‌کند و در حمل مقدار قابل ملاحظه‌ای نمک به دریاچه نقش دارد (آق‌نابتی، ۱۳۸۵، ۱۲۴). رسوبات کواترنر اطراف دریاچه عمدتاً شامل پادگانه‌ها، آبرفت‌ها، مخروط افکنه‌ها، تراورتن‌ها و چ‌شمه‌های آهک ساز است. پادگانه‌های جوان آبرفتی در اطراف آجی‌چای از مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده‌اند. پادگانه‌های قدیمی اصولاً دانه‌درشت بوده و شامل قطعات آهکی، شیست و سنگ‌های آذرین می‌باشند. رسوبات یادشده ناشی از گسترش سطح آب دریاچه هستند (فرزانه، ۱۳۷۳، ۵۸). در این دریاچه بیش از ۱۰۲ جزیره وجود دارد که در بین این جزایر کوچک و بزرگ، شبه جزیره اسلامی بزرگ‌ترین آن‌ها است که در سال‌های پر بارش و بالا بودن سطح آبی دریاچه به صورت جزیره درمی‌آید. از میان آن‌ها ۱۰ جزیره بزرگ و بقیه کوچک هستند. البته هیچ‌کدام از این جزایر مسکونی نیستند. شکل و اندازه این جزایر با مقدار بارش سالانه تناسب دارد. عمق متوسط دریاچه ۶ متر و حداکثر عمق آن ۱۳ متر است. در سال‌های اخیر، با اجرای برنامه‌های سدسازی گسترده بر روی رودخانه‌های اصلی، وقوع خشکسالی‌های هیدرواقليمی چند (دهه) گذشته و به دلیل تبخیر زیاد منابع آبی، وسعت دریاچه کاهش یافته، در نتیجه خطوط ساحلی دست‌خوش تغییرهای قابل توجهی گشته است و ارتفاع سطح آب آن از ۱۹۹۵ تاکنون بیش از ۸ متر کاهش یافته است. این امر باعث خشکی کامل بخش جنوبی دریاچه ارومیه در شهریور ۱۳۹۲ گردید (شکل ۱)، این روند منجر به کاهش مساحت دریاچه ارومیه از ۵۴۹۰ کیلومتر مربع در سال

۱۹۸۹ (ارتفاع سطح آب دریاچه ۱۲۷۶/۳۰ متر) به ۷۵۰ کیلومتر مربع در شهریور ۱۳۹۲ (ارتفاع سطح آب دریاچه ۱۲۷۰/۳۰ متر) کاهش یافته است (صالحی پور میلانی، ۱۳۹۰، ۱۵).



شکل ۱: تصویر ماهواره‌ای دریاچه ارومیه (شهریور ۱۳۹۲)

داده‌ها و روش‌ها

از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ ETM+ مربوط به سال ۲۰۱۳ و همچنین نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با هدف شناسایی موقعیت احتمالی پادگانه‌های دریاچه‌ای استفاده گردید. علاوه بر آن با تعیین مرزهای رسوبات کواترنری در پهنه ساحلی مورد مطالعه و بازسازی محدوده‌های دریاچه‌ای قدیمی که در مطالعات گذشته یافته شده است، با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS موقعیت مناطق احتمالی حضور پادگانه‌های دریاچه‌ای بر روی این تصاویر بازسازی گردید. با انجام مطالعات میدانی گسترده در منطقه مورد مطالعه پادگانه‌های دریاچه‌ای مورد شناسایی قرار گرفت. پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه در زیر رسوبات کواترنری مدفون بوده و تنها در جاهایی رخنمون داشتند که برش‌های طبیعی همانند مسیر رودخانه‌ها وجود داشته است و یا برش‌هایی که به واسطه حفاری با هدف معدنکاری یا جاده‌سازی ایجاد شده بود. پس از شناسایی پادگانه‌های دریاچه‌ای به منظور به دست آوردن موقعیت جغرافیایی و ارتفاع دقیق پادگانه‌ها از GPS دو فرکانس لایکا RTK۱۲۳۰GX استفاده شد. با هدف مطالعه پادگانه‌ها از دیدگاه رسوب‌شناسی و محیط رسوبی، ابتدا نوع لایه‌بندی رسوبات، ضخامت آن‌ها و شرح اولیه از ویژگی‌های رسوب‌شناسی از قبیل جنس، دانه‌بندی، رنگ، موقعیت قرارگیری لایه‌ها تهیه و ثبت شده است. در ادامه از رسوبات تمامی لایه‌های موجود نمونه‌برداری شده تا در مطالعات آزمایشگاهی و رسوب‌شناسی از آن استفاده شود. در مطالعات آزمایشگاهی از روش‌های دانه‌بندی با استفاده از الک شیکر مرطوب و همچنین آنالیز عنصری با استفاده از ICP به منظور تعیین مقدار عناصر و XRF با هدف تعیین درصد عناصر رسوبی استفاده شد. اندازه ذرات موجود در رسوبات در واقع موید انرژی عامل حمل و نقل می‌باشد. یکی از ابزار مهم در بررسی محیط رسوبی در زمان شکل‌گیری پادگانه‌های دریاچه‌ای تجزیه و تحلیل اندازه ذرات موجود در رسوبات است. با تعیین مقدار ذرات گراولی، ماسه‌ای و گلی می‌توانیم به تعبیر و تفسیر انرژی محیط در زمان نهشته شدن رسوبات

پادگانه‌های دریاچه‌ای پیردازیم. از این رو تعداد ۱۰۷ نمونه رسوب برداشت شده از پادگانه‌های دریاچه‌ای با استفاده از الک شیکر مرطوب، در فراکسیون‌های ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، میکرون، ۱ و ۲ میلی‌متر دانه‌بندی و درصد هر یک تعیین گردید. برای بررسی مقدار سیلت و رس در رسوبات زیر ۶۳ میکرون از دستگاه لیزر پارتیکل سائزر استفاده گردید. نتایج به دست آمده در نرم‌افزار گردیستات ۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از اخذ نتایج دانه‌بندی رسوبات و تعیین درصد رس، سیلت، ماسه و گراول، اقدام به نام‌گذاری آن‌ها گردیده است. پارامترهای آماری رسوب‌شناسی مانند جور شدگی، کج شدگی، کشیدگی، نوع تیپ رسوبات توسط نرم‌افزار گردیستات برای تمامی نمونه‌های رسوبی به تفکیک محاسبه گردیده است. از روی جور شدگی، کشیدگی و کج شدگی رسوبات می‌توان انرژی محیط رسوبی در زمان رسوب‌گذاری و نیز تا حدودی خود محیط رسوبی را مشخص نمود. به طور مثال هر چه جور شدگی رسوبات خوب باشد و دانه‌بندی رسوبات ریزدانه‌تر باشد، نشان‌دهنده کم بودن انرژی محیط در زمان رسوب‌گذاری است و یکی از این محیط‌های می‌تواند این ویژگی‌ها را داشته باشد محیط دریاچه‌ای است و می‌تواند به عنوان شاخصی برای بالا آمدن سطح آب دریاچه محاسبه گردد. مقدار رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی و تغییرات آن در رسوبات به عنوان شاخص مهمی برای بررسی شرایط محیطی و همچنین نوسانات سطح آب دریاها و دریاچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با بالا آمدن سطح آب دریاچه و همزمان مقدار CaO افزایش می‌یابد، که علت آن را می‌توان با بالا رفتن مقدار کربنات کلسیم و همچنین افزایش مقدار رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی دانست یکی از دلایل افزایش در میزان کربنات کلسیم حضور محتوی بیولوژیکی از جمله پوسته‌های صدف موجودات در میان رسوبات باشد. همچنین افزایش عناصر اصلی سیلیس (SiO_2)، آلومینیم (Al_2O_3)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید آهن (Fe_2O_3)، تیتان (TiO_2)، اکسید پتاسیم (K_2O)، اکسید سدیم (Na_2O) و اکسید سولفور (SO_3) نسبت به کربنات کلسیم می‌تواند نشان‌دهنده پس‌روی سطح آب دریاچه و رسوب‌گذاری رسوبات محیط خشکی (آواری) باشد. به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی رسوبی و دانه‌بندی و ارتباط آن با یکدیگر و همچنین ارتباط آن‌ها با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه، ستون چینه‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار لاگ پلات ترسیم گردید. در انتها با بررسی ارتباط نوسانات سطح آب دریاچه و ارتباط آن به تغییرات دانه‌بندی رسوبات و همچنین ژئوشیمی رسوبی نمونه‌های برداشت شده به تفسیر تغییرات محیط‌های رسوبی و ارتباط آن با نوسانات پادگانه‌های دریاچه‌ای پرداخته شد.

یافته‌ها و بحث

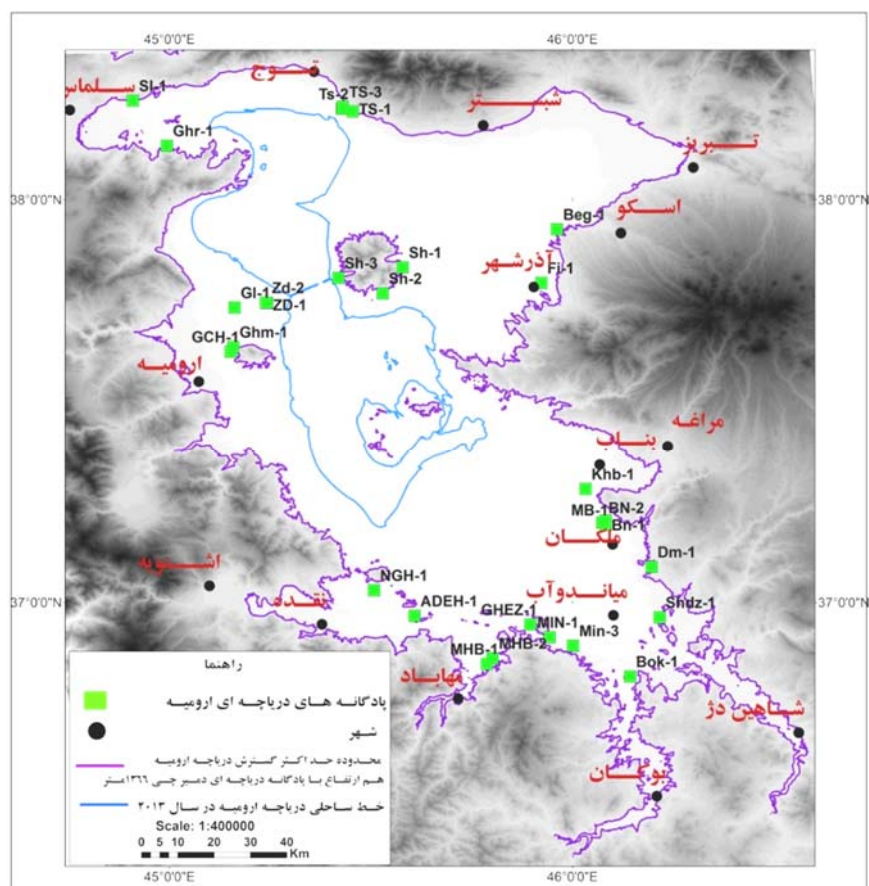
پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه

در بررسی‌های میدانی تعداد ۲۴ پادگانه دریاچه‌ای در رسوبات کواترنری حاشیه دریاچه ارومیه مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفت. بیشترین پراکندگی پادگانه‌های دریاچه‌ای به ترتیب در بخش جنوبی، میانی و شمالی مشاهده می‌شود. پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه در بخش‌های جنوبی، میانی و شمالی این دریاچه پراکنده هستند. با توجه به الگوی پراکندگی پادگانه‌ها بیشترین تمرکز پادگانه‌ها به ترتیب در بخش جنوبی، میانی و شمالی دریاچه ارومیه قرار گرفته است (شکل ۲). یکی از دلایل تراکم بیشتر پادگانه‌ها در بخش‌های جنوبی دریاچه ارومیه را علاوه بر وسعت پهنه جنوبی این دریاچه، می‌توان شیب بسیار ملایم پهنه جلگه ساحلی جنوبی دانست که شرایط مساعدتری را برای تشکیل پادگانه و رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای در یک محیط آرام در زمان بالا آمدن سطح آب دریاچه فراهم می‌آورد. این شیب توپوگرافی ملایم امکان فرسایش بسیار زیاد و از بین رفتن پادگانه‌های دریاچه‌ای را کاهش و از این رو امکان یافتن شواهد رسوبی پادگانه‌ها را در بین لایه‌های رسوبی افزایش می‌دهد. در بخش شمالی دریاچه ارومیه تنها سه پادگانه تسوج ۳، سلماس ۱ و قره ضیا حضور دارند، علت کم بودن شواهد پادگانه‌های دریاچه‌ای در بخش شمالی دریاچه را می‌توان برعکس نواحی جنوبی دریاچه دانست. رودخانه‌هایی همانند تسوج چای و مخروط افکنه‌هایی که در حاشیه شمالی دریاچه ارومیه حضور دارد، فاصله کمی از خط ساحلی داشته و به علت بالا بودن قدرت حمل رسوبات در زمان خروج از کوهستان به جلگه ساحلی امکان حمل و

رسوب‌گذاری رسوبات درشت‌دانه تا حد قلوه‌سنگ را تا نزدیک خط ساحلی فراهم می‌آورد. این امر باعث می‌شود که علاوه بر اینکه توپوگرافی پرشیب‌تر نسبت به ساحل جنوبی، شرایط نامناسب‌تری را برای فرایندهای رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای فراهم آورد، فعال بودن فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری شدید رودخانه‌ای در این منطقه، امکان از بین بردن بسیاری از شواهد رسوب‌گذاری پادگانه‌ها را به وجود می‌آورد. از این رو ضخامت بیش از ۲ متر رسوبات دریاچه‌ای که در پادگانه‌ها دریاچه‌ای جنوب دریاچه ارومیه همانند نقده، کچه باشی و قزقلعه وجود دارد، در این منطقه مشاهده نشده است. از لحاظ فاصله طولی از خط ساحلی کنونی تعدادی از پادگانه‌ها در فاصله کمی از ساحل قرار گرفته‌اند ولی پادگانه‌هایی همانند پادگانه بوکان (۷۲ کیلومتر)، مهاباد (۴۵ کیلومتر) و میان‌دوآب (۶۵ کیلومتر) با خط ساحلی کنونی (سال ۱۳۹۳) فاصله دارند که نشان‌دهنده گسترش بسیار زیاد پهنه آبی دریاچه ارومیه در گذشته است. از لحاظ ارتفاعی کم ارتفاع‌ترین پادگانه در جزیره اسلامی (۱۲۹۷ متر) و مرتفع‌ترین پادگانه در دمیرچی (با ارتفاع ۱۳۶۶ متر) قرار دارد و اختلاف ارتفاعی بین این پادگانه‌ها بیش از ۷۰ متر است. بیشترین تراکم پادگانه‌ها به ترتیب در ارتفاع ۱۳۲۰-۱۳۴۰ با ۱۰ پادگانه، ۱۳۲۰-۱۲۹۷ متر (۶ پادگانه) و بیش از ۱۳۶۰ متر (۳ پادگانه) است. با توجه به شواهد پادگانه‌های یافت شده در این مطالعه می‌توان اثبات نمود که تعداد سطوح ارتفاعی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه به مراتب بیشتر از سطوح ارتفاعی است که شواهد کمتر و سایر محققین گذشته به آن اشاره نموده‌اند.

جدول ۱: مشخصات پادگانه‌های دریاچه‌ای شناسایی شده در دریاچه ارومیه (سطح آب دریاچه، ۱۲۷۰ متر)

شماره پادگانه	منطقه	ارتفاع پادگانه (متر)	ارتفاع از سطح دریاچه	شماره پادگانه	منطقه	ارتفاع پادگانه (متر)	ارتفاع از سطح دریاچه
۳ML-	ملکان-بناب ۱	۱۳۲۴	۵۴	۱Gh-	سلماس- قره ضیا	۱۳۲۰/۲	۵۰/۲
۴ML-	ملکان-بناب ۴	۱۳۱۵	۴۵	۱Sl-	سلماس به تسوج	۱۳۵۴/۶	۸۴/۶
۵ML-	ملکان-بناب ۵	۱۳۱۴	۴۴	۲Tasuj-	تسوج به شبستر	۱۳۶۶/۲	۶۶/۲
۶ML-	ملکان-بناب ۶	۱۳۱۵	۴۵	۱ZD-	زنبیل داغی	۱۳۴۲/۷	۷۲/۷
۱Dm-	ملکان- دمیرچی	۱۳۶۶/۶	۹۶/۶	۱GCH-	گلمانخانه-کچه باشی	۱۳۳۴/۲	۶۴/۲
۱Beg-	النجی-بیگلو	۱۳۲۱,۵	۵۱/۵	۱Gha-	گلمانخانه- قهرمانلو	۱۳۱۴/۴	۳۵/۴
۲MHB-	مهاباد-گوگ تپه	۱۳۳۵,۸	۶۵/۸	۳Sh-	جزیره اسلامی ۳	۱۳۱۳/۷	۳۳/۷
۱GHEZ-	قز قلعه- مهاباد	۱۳۲۵,۹	۵۵/۹	۲Sh-	جزیره اسلامی ۲	۱۳۳۲	۶۲
۱MIN-	میان‌دوآب ۱	۱۳۲۸/۹	۵۸/۹	۱Sh-	جزیره اسلامی ۱	۱۲۹۷/۱	۳۷/۱
۳Min-	میان‌دوآب ۳	۱۳۲۳/۸	۵۳/۸	۱Khb-	خانه برق	۱۳۰۷/۹	۳۷/۹
۱Shdz-	میان‌دوآب-شاهین‌دژ	۱۳۳۵/۴	۶۵/۴	۳Bn-	ملکان ۳	۱۳۳۹,۶	۶۹/۶
۱Ngh-	نقده حسنلو	۱۳۲۲/۵	۵۲/۵	۱Bok-	بوکان	۱۳۲۷/۲	۵۷/۲



شکل ۲: موقعیت پادگانه‌های دریاچه ارومیه (خط ساحلی دریاچه ارومیه در آوریل، ۲۰۱۳)

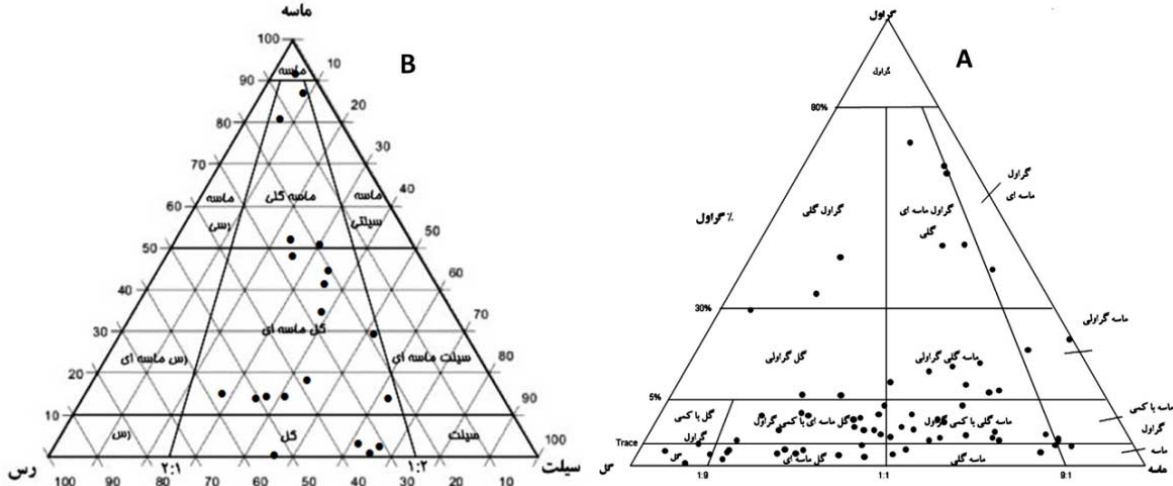
شواهد رسوبی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه

الف: دانه‌بندی رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای

تفکیک نمونه‌های دریاچه‌ای از غیر دریاچه‌ای به‌طور اولیه بر اساس حضور یا عدم حضور خرده صدف‌ها در میان لایه‌های رسوبی انجام گرفت. از بین رسوبات برداشت‌شده تعداد ۶۸ نمونه رسوب متعلق به رسوبات دریاچه‌ای و تعداد ۳۹ نمونه رسوب، رسوبات غیر دریاچه‌ای به شمار می‌رفتند.

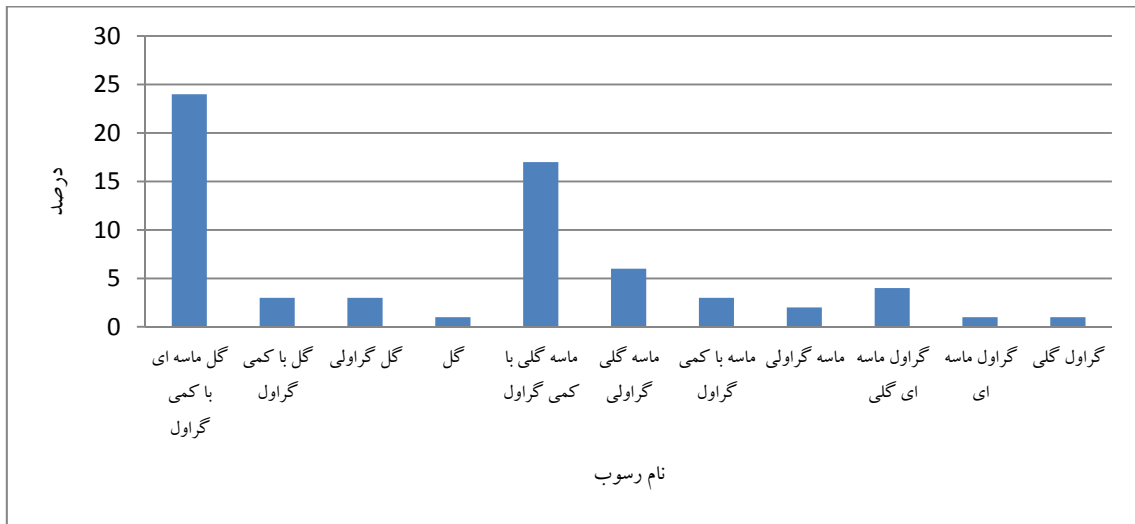
پس از اخذ نتایج دانه‌بندی رسوبات و تعیین درصد رس، سیلت، ماسه و گراول، اقدام به نام‌گذاری آن‌ها گردیده است. از بین نمونه‌های دانه‌بندی شده در رسوبات دریاچه‌ای بر اساس روش فولک تعداد ۳۱ نمونه (۴۷/۷ درصد) در محدوده گل، تعداد ۲۸ نمونه (۴۳/۱ درصد) در محدوده ماسه و ۶ نمونه (۹/۲ درصد) در محدوده گراول قرار دارد.

همان گونه که شکل ۳ دیده می شود عمدتاً ذرات بر روی ضلع گل و ماسه واقع شده است که ۹۰/۸ درصد کل اجزا را به خود اختصاص داده است.



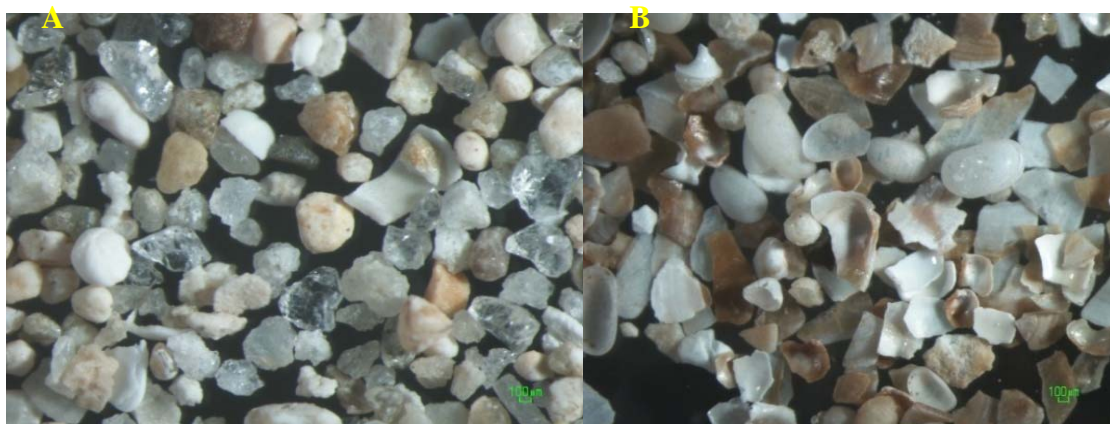
شکل ۳: پراکنندگی رسوبات دریاچه ای بر روی مثلث طبقه بندی رسوب A: برای رسوبات درشت دانه، B: برای رسوبات ریزدانه (فولک، ۱۹۷۴)

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود بیشترین فراوانی مربوط به گل ماسه ای با کمی گراول و ماسه گلی با کمی گراول است.



شکل ۴: فراوانی تیپ های رسوبی در رسوبات دریاچه ای ارومیه

در کنار آن حضور ذرات بیولوژیک از جمله میکرو فسیل ها که به طور غالب در همه نمونه های رسوبات دریاچه ای حضور داشته و به عنوان یکی از شاخصه های اصلی برای تشخیص پادگانه ها به شمار می روند، در تغییر اندازه ذرات رسوبی بی تأثیر نمی باشد. حجم این فسیل ها در برخی از نمونه رسوبات پادگانه ها تقریباً به بیش از ۸۰ درصد می رسد (شکل ۵A). این خرده صدف ها حاوی فرامین فرا، گاستروپودا، استراکدا و همچنین دوکفه ای ها است که متعلق به محیط های آبی لب شور تا شیرین است (صالحی پور میلانی، ۱۳۹۴، ۱۴۸)

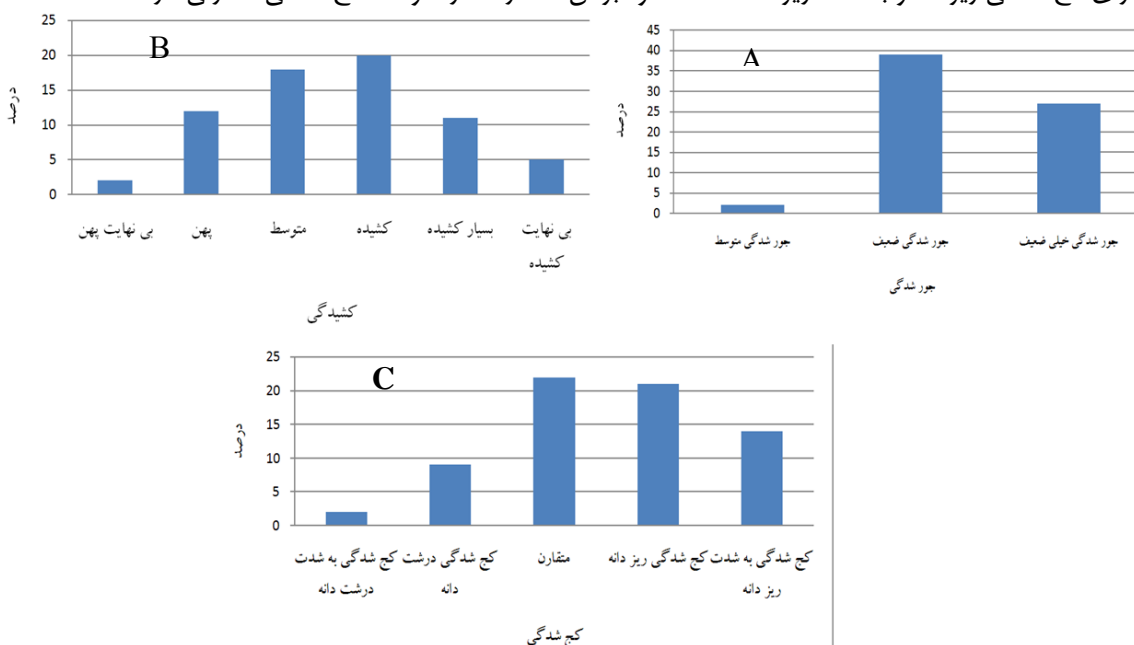


شکل ۵: (A) ذرات بیولوژیکی و خرده صدف‌ها در رسوبات دریاچه‌ای و در فراکسیون اندازه ۲۵۰ میکرون (B) رسوبات رودخانه‌ای پادگانه نقده (مقدار بزرگ‌نمایی صد برابر)

همان‌طور که در شکل ۶A مشاهده می‌شود در رسوبات دریاچه‌ای، تمام رده‌های کشیدگی از بی‌نهایت کشیده تا بسیار پهن مشاهده می‌شود. بیشترین فراوانی به سمت نمونه‌های کشیده (۵۹/۲ درصد نمونه‌ها) که نشان‌دهنده جورشدگی پایین‌تر رسوبات نسبت به حد متوسط است.

با توجه به شکل ۶B از بین رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای ۳۸ نمونه (۹۵/۴ درصد) رسوبات جورشدگی ضعیف، ۲۳ نمونه (۳۵/۹ درصد) رسوبات جورشدگی خیلی بد و تنها ۳ نمونه (۴/۷ درصد) جورشدگی متوسط دارند.

در رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای کج شدگی به سمت رسوبات ریزدانه است (شکل ۶C) و بیش از ۵۱ درصد رسوبات دارای کج شدگی ریزدانه و به شدت ریزدانه است. علاوه بر آن ۳۴ درصد از نمونه‌ها کج شدگی متقارنی دارند.

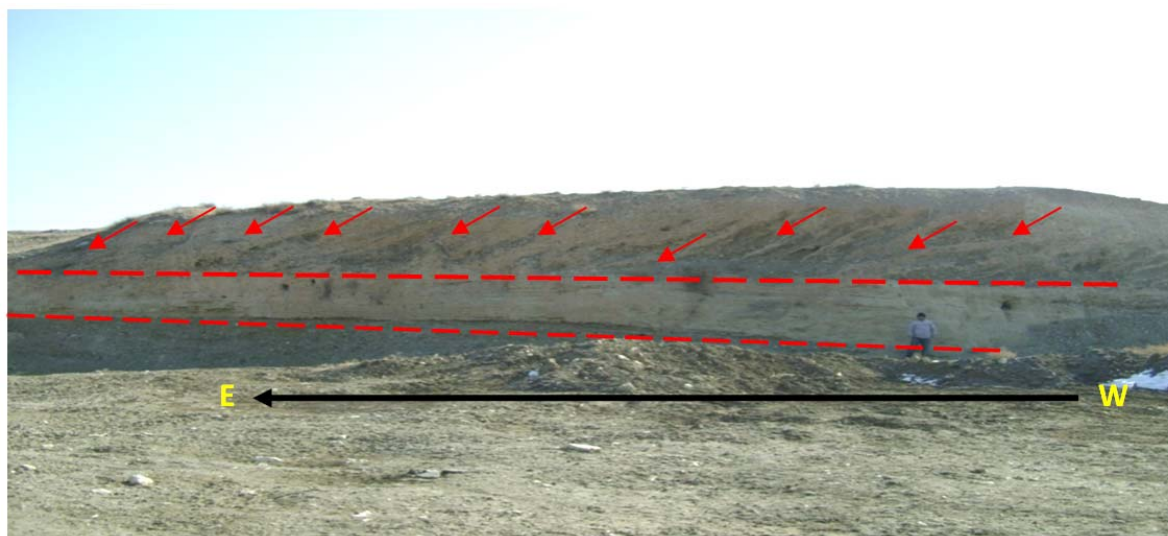


شکل ۶: A: نمودار جورشدگی نمونه‌های رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، B: نمودار فراوانی کشیدگی رسوبات دریاچه‌ای دریاچه‌ای ارومیه، C: نمودار فراوانی کج شدگی رسوبات دریاچه‌ای دریاچه‌ای ارومیه

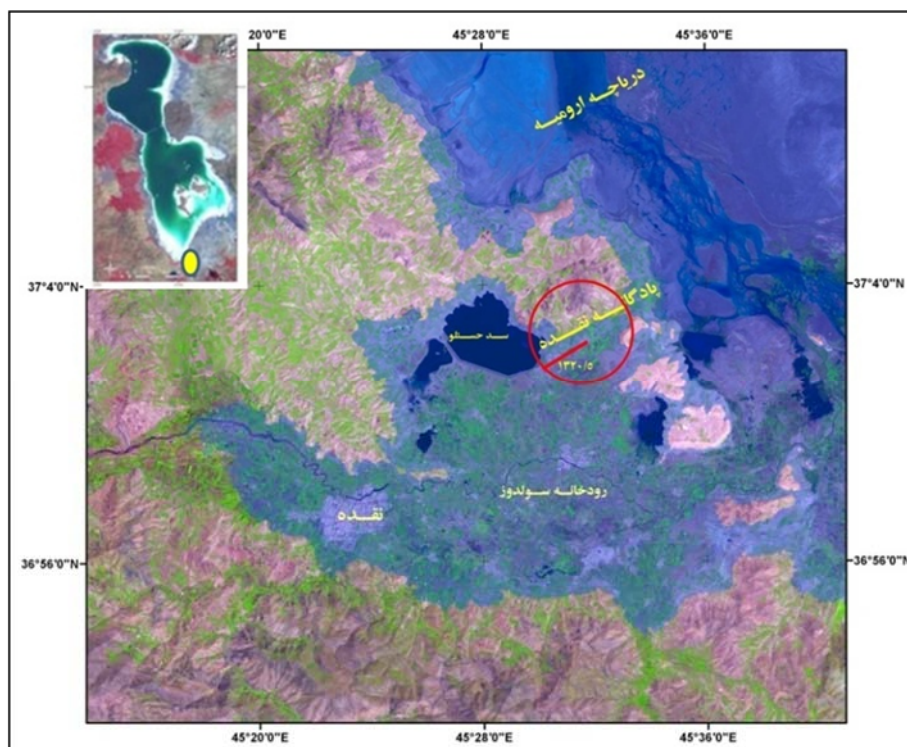
با توجه به نتایج مطالعات دانه‌بندی رسوبات دریاچه‌ای ۴۵/۶ درصد نمونه‌ها در محدوده گل، تعداد ۴۲/۶ درصد در محدوده ماسه و ۱۱/۸ درصد در محدوده گراول قرار دارد. حجم بالای تپ رسوبی گل در نمونه‌های رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای،

رسوب‌گذاری آن‌ها در محیطی آرام و کم انرژی همانند یک دریاچه‌ای یا محیط تالابی یا چاله‌های بسته محلی را تأیید می‌نماید. اضافه شدن رسوبات با منشأ بیوشیمیایی (بیولوژیکی) به‌خصوص پوسته‌های صدف (که نشان‌دهنده بالا آمدن سطح آب دریاچه و تغییر محیط رسوبی از یک محیط خشکی به رسوبات دریاچه‌ای است) و به همراه رسوبات رودخانه‌ای در حد گراول و ماسه نشان‌دهنده دوره‌های طغیانی رودخانه‌ها و اضافه شدن آن‌ها به رسوبات دریاچه‌ای و همچنین پس‌روی دوره‌ای دریاچه و کاهش عمق آب و امکان ورود رسوبات آواری به محل رسوب‌گذاری پادگانه‌ها می‌باشد، می‌تواند بر دانه‌بندی رسوبات تأثیر بگذارد. این امر باعث می‌شود ۹۵/۳ درصد رسوبات دارای جورشدگی بد و خیلی بد باشند. ولی کج شدگی رسوبات به سمت مثبت و به‌طرف راست نیز نشان‌دهنده وجود محیطی کم انرژی در زمان بالا آمدن سطح آب دریا (بالا آمدن بسیار تدریجی سطح آب) و هم‌زمان با رسوب‌گذاری پادگانه‌های دریاچه‌ای بوده است.

به‌منظور ارائه بهتر ویژگی‌های رسوب‌شناسی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، ویژگی‌های رسوبی پادگانه دریاچه‌ای نقده به‌عنوان نمونه تشریح می‌گردد. ارتفاع این پادگانه از سطح دریا ۱۳۲۲/۸ متر و در ارتفاع ۵۲/۸ متری سطح کنونی دریاچه ارومیه قرار دارد. ضخامت این پادگانه در حدود ۲۴۰ سانتی‌متر است (شکل ۷). شواهد فسیلی انواع مختلف گاستروپودها و حتی دوکفه‌ای‌ها به‌خوبی در بین لایه‌های رسوبی قابل مشاهده است. به‌واسطه ضخامت بالای لایه‌های رسوبات دریاچه‌ای این پادگانه، توالی لایه دارای صدف دوکفه‌ای و گاستروپود به‌خوبی قابل مشاهده است و در آن می‌توان ۷ لایه با توالی‌های مختلف رسوبی مشخص نمود همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود از لحاظ جغرافیایی این پادگانه در بخش انتهایی مخروط افکنه رودخانه سولدوز قرار گرفته است. شیب این منطقه کمتر از ۵ درجه است و حضور پهنه‌های کوهستانی در انتهای مسیر رودخانه به‌عنوان موانعی در برابر جریان‌های سیلابی در انتهای رودخانه و مئاندرها قرار گرفته است که حاصل آن‌ها تشکیل محیطی است که شرایط مساعدی را برای رسوب‌گذاری وسیع فراهم آورده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود چند تالاب در این منطقه وجود دارد که بزرگ‌ترین این تالاب‌ها، تالاب حسن لو است که با احداث سد به‌عنوان مخزن آبی در این منطقه بهره‌برداری می‌شود. توپوگرافی کم شیب این منطقه باعث می‌شود که محیطی آرام از لحاظ رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای در زمان بالا بودن سطح آب دریاچه در این پهنه حاکم باشد. از این رو یکی از دلایل شکل‌گیری این پادگانه با این ضخامت در این منطقه را می‌توان احتمالاً رسوب‌گذاری آن‌ها در محیط‌های آرام دریاچه یا احتمالاً تالاب‌های حاشیه قدیمی دریاچه ارومیه دانست.

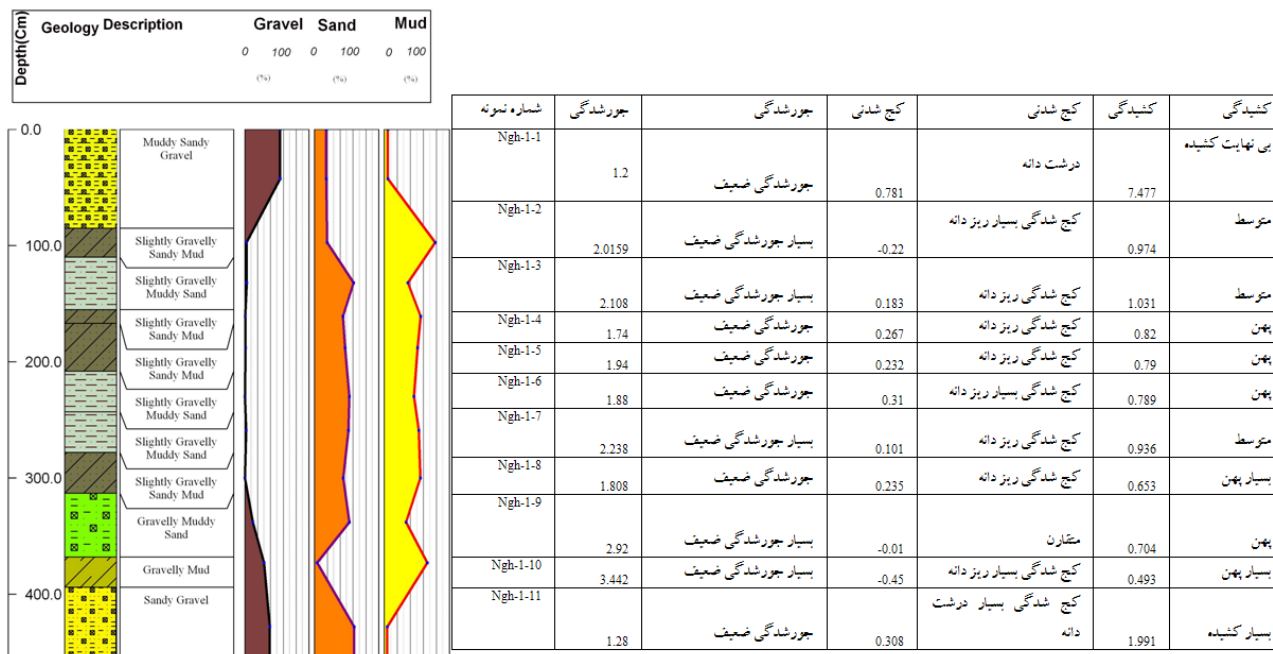


شکل ۷: پادگانه دریاچه‌ای نقده (دید از شمال)



شکل ۸: موقعیت پادگانه نقره و شبیه سازی پهنه های تحت تأثیر بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه (رنگ آبی در عکس) هم ارتفاع با پادگانه دریاچه ای نقره (تصویر ماهواره لندست ۸، ۲۰۱۵)

همان طور که در شکل ۹ مشاهده می شود، این پادگانه دارای لایه بندی رسوبی متعددی است که حکایت از تغییرات محیطی متنوع در این پادگانه به خصوص از دیدگاه زیستی و تنوع گونه ها و جنس صدف های موجود در این پادگانه و همچنین تغییر دانه بندی رسوبی است. رسوبات دریاچه ای در بین دولایه رسوب رودخانه ای Ngh-1-1 بالاترین لایه و Ngh-1-11 پایین ترین لایه قرار گرفته است. لایه تحتانی (Ngh-1-11) که رسوبات دریاچه ای روی آن قرار گرفته است دارای تیپ رسوبی ماسه گلی گراولی است که حاوی رسوبات رودخانه ای و جورشدگی این رسوب ها ضعیف و نشان دهنده انرژی بالای محیط در زمان رسوب گذاری و حاوی به رسوبات رودخانه است. بر روی این رسوبات، لایه های رسوبی دریاچه ای قرار گرفته است که ضخامتی بیش از ۲ متر دارد. تیپ رسوبی این لایه ها شامل، گل گراولی، گل ماسه ای با کمی گراول، گراول گلی، ماسه گلی با کمی گراول، گراول ماسه ای گلی است که همه آن ها نشان دهند رسوب گذاری در محیطی آرام و کم انرژی است. از لایه Ngh-1-2 به تدریج مقدار گل در رسوبات دریاچه ای افزایش می یابد و در لایه Ngh-1-10 و Ngh-1-7 به حداکثر خود می رسد. رسوب گذاری در محیط دریاچه ای به واسطه نوسانات سطح آب و همچنین تغییرات شرایط محیطی با شدت و ضعف ادامه دارد که تأثیر آن را می توان در تیپ رسوبی رسوبات مشاهده نمود. جورشدگی ضعیف و بسیار ضعیف در این لایه ها به واسطه حضور پوسته های صدف به خصوص در فراکسیون های درشت دانه ۲ میلی متر و ۱ میلی متر است. این امر در کشیدگی رسوبات نیز به خوبی قابل مشاهده است و اکثر کشیدگی رسوب های موجود در این لایه ها دارای کشیدگی پهن، بسیار پهن و متوسط می باشند. علاوه بر آن کج شدگی نیز به سمت رسوبات ریزدانه در رسوبات دریاچه ای و در رسوبات رودخانه ای به سمت درشت دانه است.

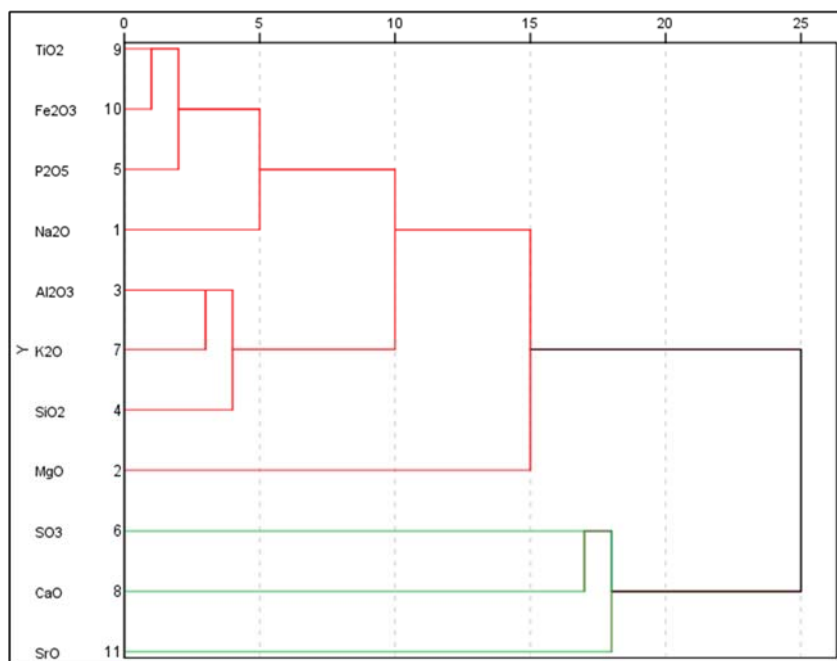


شکل ۹: ستون چینه‌ای پادگانه دریاچه‌ای نقده

ب: ژئوشیمی رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای

به منظور بررسی تعیین و تفکیک محیط رسوب گذاری به محیط‌های رسوب گذاری آواری و دریاچه‌ای و تعیین نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه این در پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه از داده‌های XRF و ICP استفاده گردید. نتایج آنالیز تعدادی از عناصر رسوبی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت که عبارت‌اند از درصد عناصر اصلی SiO_2 ، CaO ، Al_2O_3 ، U و مولیبدن (Mo)، وانادیوم (V)، کادمیوم (Cd)، تلوریوم (Tl) مورد بررسی قرار گرفت. با تحلیل و مشاهده داده‌های به دست آمده عناصر رسوبی و همچنین آنالیز خوشه‌ای مشاهده می‌شود که با بالا آمدن سطح آب دریاچه و تغییر محیط رسوبی از محیط آواری به دریاچه‌ای، درصد و مقدار عناصر رسوبی تغییر می‌یابد (شکل ۱۰). با توجه به این آنالیز عناصر در دو گروه همبستگی نشان می‌دهند. عناصری که در اولین گروه همبستگی را نشان می‌دهد در شاخه اول عناصر (خطوط سبز رنگ در شکل ۱۰)، کربنات کلسیم CaO ، استرانسیوم (Str)، اکسید فسفر (P_2O_5) است. شاخص‌ترین عنصر که همزمان با افزایش سطح آب دریاچه افزایش نشان می‌دهد و با کاهش آن کاهش می‌یابد CaO است. افزایش مقدار CaO در رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها در بیشتر موارد، به دلیل افزایش مقدار رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی از جمله پوسته‌های صدف در رسوبات است که حاوی کربنات کلسیم می‌باشند. علاوه بر آن مقدار استرانسیوم (Str)، اکسید فسفر (P_2O_5) همبستگی مثبتی با افزایش سطح آب دریاچه نشان می‌دهد. عناصری که در دومین گروه همبستگی را نشان می‌دهد عناصر اصلی سیلیس (SiO_2)، آلومینیم (Al_2O_3)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید آهن (Fe_2O_3)، تیتان (TiO_2)، اکسید پتاسیم (K_2O)، اکسید سدیم (Na_2O) و اکسید سولفور (SO_3) همزمان با افزایش سطح آب دریاچه کاهش می‌یابد (خطوط قرمز در شکل ۹). این عناصر شاخص منشأ آواری رسوبات است. در واقع رسوباتی که توسط رودخانه‌ها حمل می‌شوند و منشأ برون حوضه‌ای دارند (رسوبات آواری) دارای مقادیر بالاتری از این رسوبات هستند. پس هرگاه سطح آب دریاچه افزایش داشته است، مقادیر عناصر CaO و استرانسیوم که شاخص رسوبات درون حوضه‌ای و بیوشیمیایی هستند، افزایش نشان می‌دهد اما با کاهش سطح آب دریاچه، مقادیر عناصر آهن، آلومینیم، منیزیم

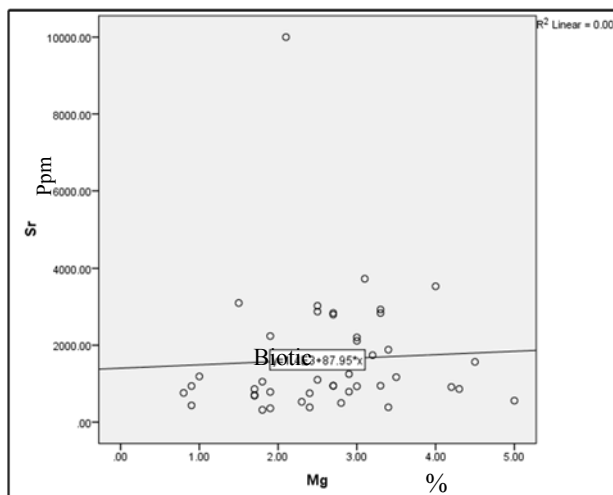
و تیتان که شاخص رسوبات آواری می‌باشند، افزایش می‌یابد. کادمیوم، گوگرد، مولیبدن و اورانیوم، ارتباط چندانی با تغییرات سطح آب دریاچه نشان نمی‌دهند.



شکل ۱۰: آنالیز خوشه‌ای و همبستگی عناصر رسوبی در داده‌های ژئوشیمیایی

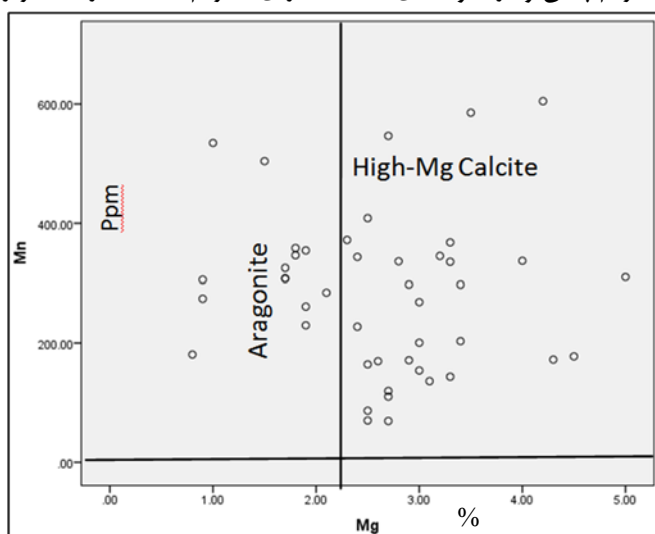
مقدار منیزیم در نمونه‌های پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه بین ۰٫۹ تا ۵ درصد در تغییر است. آراگونیت حاوی یک درصد منیزیم است در صورتی که کلسیت دارای منیزیم زیاد از ۱ تا ۳٫۲ درصد منیزیم می‌باشد (آدابی، ۱۳۸۳، ۴۷). تقریباً تمام رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها دارای کلسیت با منیزیم زیاد می‌باشد.

با بررسی نتایج داده‌های ICP در رابطه با عنصر استرانسیم این نتیجه به دست می‌آید که بیشترین و کمترین مقدار استرانسیم در نمونه‌های رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها از ۳۱۸ Ppm تا ۳۷۲۹ Ppm می‌باشد. تغییرات مقدار Sr در نمونه‌های مورد مطالعه عمدتاً به واسطه تغییرات نسبی در مقدار آراگونیت و کلسیت می‌باشد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود اکثر نمونه‌های رسوب موجود در پادگانه‌های دریاچه‌ای کلسیت بیوتیک می‌باشد (شکل، ۱۱).



شکل ۱۱: تغییرات Sr و Mg در نمونه‌های رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌های ارومیه

مقدار منیزیم در رسوبات دریاچه‌های پادگانه‌های دریاچه‌ای بین ۶۹ تا ۹۷۹ در تغییر است. مقدار منگنز در کلسیت و آراگونیت زیستی^۱ متغیر می‌باشد. شرایط احیایی موجود در هنگام رشد ارگانسیم‌ها، منجر به افزایش مقادیر منگنز در کربنات‌های ارگانیکی می‌گردد. آراگونیت و کلسیت غیر زیستی^۲ در مناطق تروپیکال، دارای تمرکز منگنز به مقدار کمتر از ۵۰ پی‌ام است (آدابی می‌باشند) (وایزر، ۱۲، ۱۹۸۳). در رسوبات کربناته مناطق معتدله عهد حاضر، مقدار منگنز بیش از ۳۰۰ پی‌ام است (آدابی و راثو، ۱۹۹۱، ۲۵۷). در حالی که این مقدار در کربنات‌های آراگونیتی آب‌های گرم کم‌عمق تروپیکال عهد حاضر به حدود ۲۰ پی‌ام کاهش می‌یابد (آدابی، ۴۸، ۱۳۸۳). از آنجایی که کمینه مقدار منگنز ۶۹ و بیشینه آن ۹۷۶ پی‌ام است (آدابی، ۴۸، ۱۳۸۳) می‌باشد زیستی بودن کلسیت‌ها و همچنین تعلق آن‌ها را به مناطق معتدل تأیید می‌نماید. با بررسی تغییرات منیزیم به منگنز نشان می‌دهد که در نمونه‌های آراگونیتی با منیزیم پایین و در نمونه‌های کلسیت دارای منیزیم بالا، مقدار منگنز زیاد می‌باشد (شکل ۱۲).



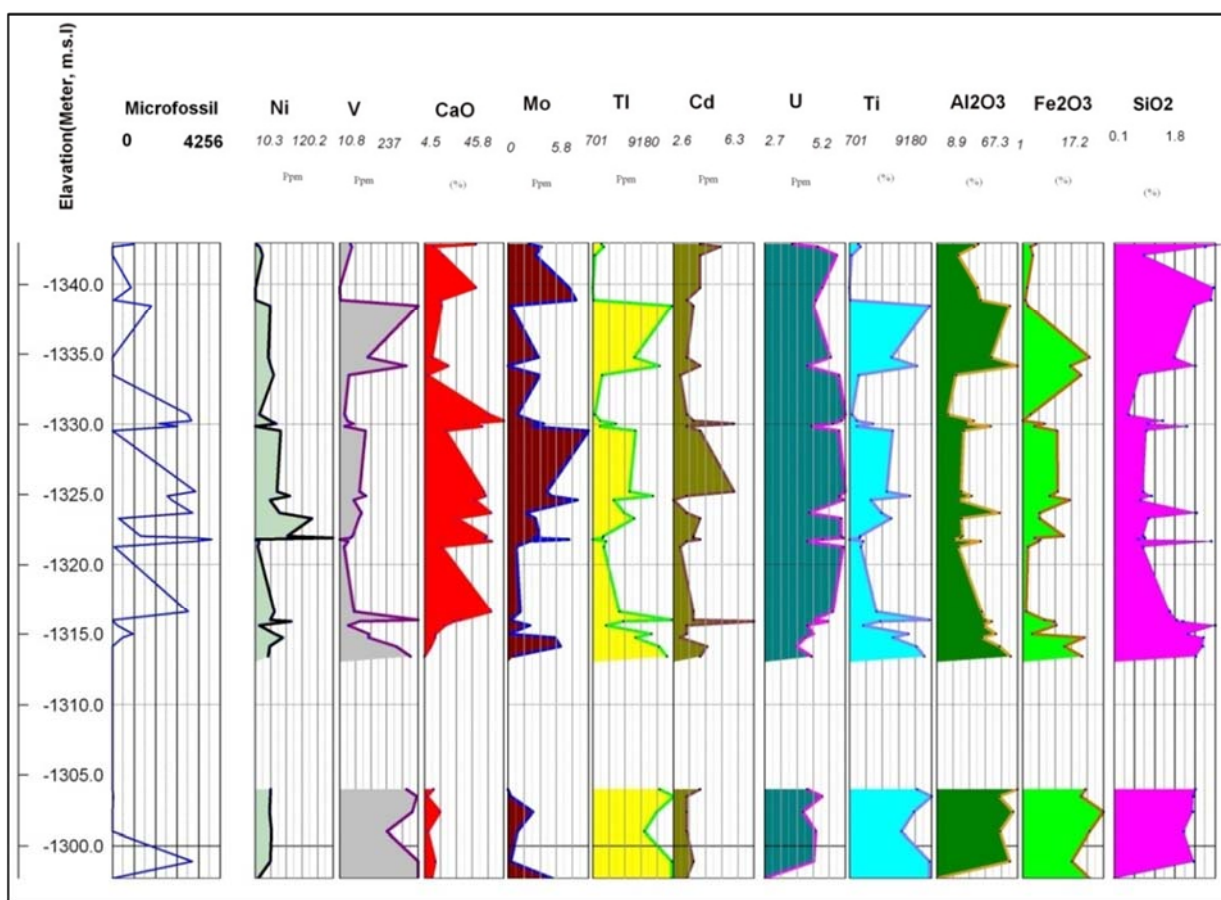
شکل ۱۲: تغییرات Mn و Mg در نمونه‌های رسوبات دریاچه‌های پادگانه‌های ارومیه

نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در کواترنری و تأثیر آن بر تغییرات درصد عناصر رسوبی پادگانه‌های دریاچه‌ای در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در این دیاگرام درصد عناصر به دست آمده از داده‌های XRF، SiO_2 ، CaO ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و همچنین مقدار U ، Cd ، Ti ، Mo ، V ، Ni ، تعدادی از پادگانه‌ها از پایین‌ترین سطح پادگانه‌ها (Sh-1) ۱۲۹۸ متر تا ارتفاع ۱۳۴۲ متر (Bn-3) استفاده شد. به دلیل اینکه بین بالاترین سطح پادگانه نمایش داده شده در این دیاگرام Bn-3 و بالاترین پادگانه دمیچی در حدود ۲۰ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد به منظور نمایش بهتر تغییرات عناصر، داده‌های پادگانه Dm-1 مورد استفاده در این دیاگرام استفاده نشد. بررسی تغییرات درصد عناصر نسبت به افزایش ارتفاعی پادگانه‌ها نشان می‌دهد که درصد CaO در اولین پادگانه (Sh-1) نسبت به سایر پادگانه‌ها بسیار کم است. این کمبود CaO را می‌توان با کم بودن مقدار رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی در تشکیل این رسوبات و همچنین بالاتر بودن نقش رسوبات آواری حمل شده در محل قرارگیری این پادگانه در ارتباط دانست. این امر همزمان با افزایش سایر عناصر SiO_2 ، CaO ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و همچنین مقدار Ti ، Mo ، V ، Ni است که بیشتر آن‌ها توسط رودخانه‌ها به محل حمل شده‌اند. البته مقدار Cd و U با افزایش CaO افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع و به تدریج افزایش مقدار CaO در رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای نسبت به

¹ - Biotic

² - Abiotic

سایر عناصر در رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای افزایش می‌یابد. افزایش مقدار CaO به ۴۹ درصد خصوصاً در ارتفاع ۱۳۱۶ متر تا ۱۳۳۱ متر نشان‌دهنده افزایش مقدار رسوبات بیولوژیک و پوسته صدف‌ها از جمله فرامین فرا، گاستروپودا، استراکدا و همچنین دوکفه‌ای‌ها است. همان‌طور که در ستون اول (فراوانی میکرو فسیل‌ها) در ستون چینه‌ای مشاهده می‌شود، با بررسی آن می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش CaO در محیط، وابستگی بسیار زیادی با رسوبات با منشأ بیوژنیک دارد و افزایش مقدار میکرو فسیل‌ها در ستون چینه‌ای در رسوبات دریاچه‌ای، با افزایش مقدار CaO و کاهش سایر عناصر با منشأ آواری همراه بوده است و این امر نشان‌دهنده تغییر شرایط محیطی و از محیط رسوب‌گذاری رودخانه‌ای به دریاچه‌ای است که در این محیط مناسب شدن آن برای رشد گونه‌های مختلف در این دریاچه را به همراه داشته است.



شکل ۱: دیاگرام تغییرات عناصر رسوبی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه با تغییر ارتفاع و فراوانی تعداد میکرو فسیل‌ها

نتیجه‌گیری

رسوبات نمونه‌برداری شده از برش‌های پادگانه‌های دریاچه‌ای حاوی رسوبات دریاچه‌ای و غیر دریاچه‌ای است که استفاده از مطالعات رسوب‌شناسی و روش‌های تجزیه و تحلیل این رسوبات علاوه بر اینکه خصوصیات محیط رسوب‌گذاری را در زمان نهشته شدن رسوبات آشکار می‌نماید، بلکه می‌تواند نشان‌دهنده نوسانات و پیش روی و پس روی سطح آب دریاچه ارومیه نیز باشد. یکی از شاخصه‌های اصلی در تفکیک محیط رسوب‌گذاری دریاچه‌ای از غیر دریاچه‌ای حضور یا عدم حضور پوسته‌های صدف در رسوبات دریاچه‌ای و فقدان آن در رسوبات غیر دریاچه‌ای است. در رسوبات دریاچه حجم بالای تپ رسوبی گل نسبت به ماسه و گراول در نمونه‌های نشان‌دهنده رسوب‌گذاری آن‌ها در محیطی آرام و کم انرژی است که در نتیجه نهشته‌گذاری آرام رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای است و می‌توان افزایش آن را در رسوبات مورد مطالعه

نشان‌دهنده بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه و کم شدن مقدار گل و افزایش بیشتر میزان ماسه و گراول را نتیجه پایین آمدن سطح آب دریاچه و رسوب‌گذاری در محیطی پر انرژی همانند رسوبات رودخانه‌ای دانست با وجود اینکه ۴۶/۸ از نمونه رسوبات دریاچه‌ای مورد مطالعه در محدوده گل قرار دارند ولی با این وجود ۵۳/۲ در صد باقی رسوبات در محدوده ماسه و گراول قرار دارند. این حجم از ماسه و گراول در رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها به واسطه اضافه شدن رسوبات با منشأ بیوشیمیایی (بیولوژیکی) به خصوص پوسته‌های صدف است. حضور آن حجم زیاد از پوسته‌های صدف که مقدار آن گاهی به بیش از ۸۰ درصد وزن رسوبات می‌رسد و حضور پوسته‌های صدف همانند گاستروپود در فراکسیون‌های بالای ۲ میلی‌متر (گراول) است و جزو رسوبات درون حوضه‌ای به حساب می‌آیند. در سایر موارد بالا بودن میزان گراول و ماسه در رسوبات دریاچه‌ای که حاوی خرده‌های سنگ است، به واسطه حمل رسوبات رودخانه‌ها در حد گراول و ماسه در دوره‌های طغیانی رودخانه‌ها و اضافه شدن آن‌ها به رسوبات دانه‌ریز دریاچه‌ای و همچنین پس‌روی دوره‌ای دریاچه و کاهش عمق آب و امکان ورود رسوبات آواری به محل رسوب‌گذاری پادگانه‌ها و بالا بودن مقدار ماسه و همچنین وجود گراول در رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها نشان‌دهنده تأثیر عوامل ثانویه در ترکیب دانه‌بندی رسوبات است. این امر باعث می‌شود ۹۵/۳ درصد رسوبات دارای جورشدگی بد و خیلی بد باشند که این امر نشان‌دهنده این امر نیست که در محیطی پر انرژی شکل گرفته‌اند بلکه همان‌طور که در بالا ذکر شد این امر تحت تأثیر حضور خرده صدف‌ها در اندازه گراول و ماسه در رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها است. کج شدگی رسوبات نیز نشان‌دهنده وجود محیطی کم انرژی در زمان بالا آمدن سطح آب دریا (بالا آمدن بسیار تدریجی سطح آب) و هم‌زمان با آن در زمان رسوب‌گذاری پادگانه‌های دریاچه‌ای بوده است. پس از پس‌روی آب دریاچه، رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای قطع می‌شود و دوباره فرایندهای حاکم بر محیط خشکی از جمله رسوب‌گذاری رسوبات رودخانه‌ای، مخروط‌افکنه‌ای، واریزه‌ای و همچنین خاک‌زایی بر روی رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌های دریاچه‌ای حاکم می‌شوند و رسوبات دریاچه‌ای را در زیر خود مدفون می‌نمایند که این روند در تمامی پادگانه‌ها مشاهده می‌شود. آنجایی که اکثر پادگانه‌های دریاچه در ارتفاع بالاتری نسبت به ارتفاع کنونی دریاچه ارومیه و در بخش‌های حاشیه‌ای قرار دارند احتمال رسوب‌گذاری این حجم رسوبات ریزدانه در یک محیط تالابی یا چاله‌های بسته محلی در حاشیه دریاچه که هم‌زمان محیط‌های کم انرژی هستند در زمان بالا آمدن سطح آب دریاچه بسیار زیاد است. بالا آمدن سطح آب دریاچه هم‌زمان با تغییر محیط رسوبی از یک محیط رسوب‌گذاری خشکی به محیط رسوب‌گذاری دریاچه‌ای همراه است. بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه علاوه بر اینکه کاهش قطر ذرات رسوبی که نشان‌دهنده کاهش انرژی محیط رسوب‌گذاری است را به همراه دارد، بلکه تغییراتی در مقدار و درصد عناصر رسوبی به خصوص میزان CaO به عنوان یکی از شاخصه‌های رسوبات دریاچه‌ای و کاهش عناصر موجود در رسوبات آواری همانند Fe_2O_3 ، CaO ، Al_2O_3 و همچنین مقدار V ، Ni ، Ti ، Mo ، به همراه دارد که از تغییرات این عناصر می‌توان به عنوان شاخصه‌ای برای بررسی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه استفاده نمود. افزایش میزان CaO در رسوبات دریاچه‌ای به واسطه افزایش میزان رسوبات بیولوژیک همانند خرده صدف‌ها است که در محیط دریاچه‌ای نهشته‌گذاری شده‌اند. بررسی تغییرات درصد عناصر رسوبی و رابطه آن با افزایش ارتفاع پادگانه‌ها نشان می‌دهد میزان CaO با بالا رفتن ارتفاع پادگانه‌ها افزایش یافته که دلیل آن را می‌توان مساعد شدن شرایط زیستی برای زندگی موجودات زنده در آب دریاچه ارومیه و افزایش فراوانی پوسته‌های صدف در رسوبات دریاچه ارومیه دانست. درصد CaO در اولین پادگانه (Sh-1) نسبت به سایر پادگانه‌ها بسیار کم است. این کمبود CaO به دلیل مقدار رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی به واسطه شرایط نامساعد محیطی برای زیست موجودات احتمالاً به واسطه بالا بودن میزان شوری آب است. در رسوبات این پادگانه درصد پایین میزان CaO را می‌توان به فراوانی بیشتر رسوبات آواری حمل شده به در محل رسوب‌گذاری این پادگانه در ارتباط دانست. این امر هم‌زمان با افزایش سایر عناصر SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، CaO و همچنین مقدار V ، Ni ، Ti ، Mo همراه است که بیشتر آن‌ها توسط رودخانه‌ها به محل حمل شده‌اند. با افزایش ارتفاع پادگانه‌ها که با بالا آمدن سطح آب دریاچه همراه است، به تدریج افزایش مقدار CaO در رسوبات پادگانه‌های

دریاچه‌ای نسبت به سایر عناصر آواری در رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای افزایش می‌یابد. افزایش مقدار CaO به ۴۹ درصد خصوصاً در ارتفاع ۱۳۱۶ متر تا ۱۳۳۱ متر (۳۶ تا ۶۱ متر بالاتر از سطح کنونی آب دریاچه، ۱۳۷۰ متر) نشان‌دهنده افزایش فراوانی پوسته صدف‌ها از جمله فرامینیفرا، گاستروپودا، استراکدا و همچنین دو کفه‌ای‌ها در نتیجه مساعد شدن شرایط محیطی برای زیست موجودات زنده است. با بالا رفتن سطح آب دریاچه به‌خصوص در پادگانه‌هایی که در بین سطوح ارتفاعی ۱۳۲۰ تا ۱۳۴۵ متر (۵۰ تا ۷۵ متر بالاتر از سطح کنونی آب دریاچه، ۱۳۷۰ متر) قرار گرفته‌اند، مشاهده می‌شود که فراوانی پوسته‌های صدف در این مطالعه به حداکثر مقدار گسترش خود از لحاظ فراوانی و تنوع گونه‌ها می‌رسند. بالا آمدن سطح آب دریاچه هرچند با افزایش CaO در رسوبات دریاچه‌ای همراه است ولی سایر عناصر سایر عناصر Fe_2O_3 ، CaO ، Al_2O_3 ، SiO_2 و همچنین مقدار Ti ، Mo ، V ، Ni کاهش چشم‌گیری پیدا نموده و غلبه رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای را بر رسوبات خشکی نشان می‌دهد.

تشکر و قدردانی

از همکاری جناب آقای دکتر بهار فیروزی سرکار خانم دهقان چناری، آقایان محمدی، درویشی، دیسه، نجفی‌ها، حسین یار، بهبهانی، معینی، شکبیا کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- آدابی، محمدحسین، ۱۳۸۳، ژئوشیمی رسوبی، آراین زمین.
- آقا نباتی، علی، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- بربریان، مانوئل و قرشی، منوچهر، ۱۳۶۶، پژوهش بر لرزه زمین‌ساخت کاربردی و خطر زمین‌لرزه، گسلش در دریاچه ارومیه و چگونگی زایش آن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شاه‌حسینی، مجید، امینی، عبدالحسین و شهرابی، مصطفی، ۱۳۸۲، مطالعه رسوب‌شناسی و محیط تشکیل نهشته‌های کربناته بیوژنیک جوان در اطراف دریاچه ارومیه و بررسی ارتباط آن‌ها با دریاچه، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- شهرابی، مصطفی، ۱۳۷۲، شرح زمین‌شناسی چهارگوش ارومیه، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور.
- شهرابی، مصطفی، ۱۳۶۶، دریاچه‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی دریاچه ارومیه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شهرابی، مصطفی، ۱۳۷۳، دریاها و دریاچه‌های ایران، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران.
- صالحی پور میلانی، علیرضا، ۱۳۹۰، بازسازی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- صالحی پور میلانی، علیرضا، یمانی، مجتبی، مقیمی، ابرهیم، لک، راضیه، جعفر بیگلر، منصور، ۱۳۹۴، بازسازی پالئوهیدرولوژی و پالئواکولوژی دریاچه ارومیه در کوتاه‌ترنری (بامطالعه‌ی پادگانه‌های دریاچه‌ای، هیدروژئومورفولوژی، ۱۴۳-۱۷۳)
- صبوری، جعفر، علی‌محمدیان، حبیب، مغفوری مقدم و لک، راضیه، ۱۳۸۹، مطالعه سنگواره‌ها، محیط رسوبی و تعیین سن مطلق پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، چهاردهمین همایش زمین‌شناسی ایران، ارومیه
- طالبی راد، فرزین، ۱۳۷۷، ژئوشیمی و ترمودینامیک ژنز کانیه‌های تبخیری در محیط‌های دریایی و دریاچه‌ای با نظر ویژه به شورابه‌های دریاچه ارومیه، اداره کل منابع طبیعی آذربایجان شرقی

- طلوعی، جواد، ۱۳۷۵، مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی و هیدروژئوشیمیایی و شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضه رسوبی تبخیری دریاچه ارومیه، رساله کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه تهران مسیر بزرگراه شهید کلاتری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.
- فرزانه، احمد. ۱۳۷۳، رسوب‌شناسی غرب دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت‌معلم
- لک، راضیه، درویشی خاتونی جواد، محمدی علی، ۱۳۹۰، مطالعات پالئولیمنولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه، زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی کاربردی)، دوره ۷، شماره ۴، ۳۴۳ تا ۳۵۸
- محمدی، علی، ۱۳۸۴، بررسی تاریخچه رسوب‌گذاری هولوسن، دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه مغزه‌های تهیه شده در مسیر بزرگراه شهید کلاتری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.
- موسوی حرمی، رحیم، ۱۳۸۱، رسوب‌شناسی، انتشارات به نشر (آستان قدس رضوی)، چاپ هشتم.
- مغفوری مقدم، ۱۳۷۱، رسوب‌شناسی رسوبات پلیستوسن گستره دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکده علوم.
- مهاجر باوقار، ن، غضبان، ف، ۱۳۷۶، ژئوشیمی و منشأ شوری آب دریاچه ارومیه، اولین همایش زمین‌شناسی دریایی، ایران، چابهار
- Adabi, M. hand Rao, C.P., 1991, petrography and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of upper Jurassic carbonate (Mozdoran formation), Sarakhs area, Iran, *Sedimentary Geology*, V72, P 253-267.
- Arz, Helge W., Pätzold, Jürgen., Wefer, Gerold, m., 1998, Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off northeastern Brazil. *Quaternary Research*, 50(2), 124-135
- Bartov, Y., 1999, *The Geology of the Lisan Formation at the Massada Plain and the Lisan Peninsula.* Unpublished M.Sc. thesis. The Hebrew University of Jerusalem [In Hebrew with an English abstract].
- Chen, H.Y., Clark, A.H., and Kyser, T.K., 2011, Contrasted hydrothermal fluids in the Marcona-Mina Justa iron-oxide Cu (-Au-Ag) deposits, south-central Perú: *Mineralium Deposita*, v. 46, p. 677-706
- Chen, H.Y., Clark, A.H., and Kyser, T.K., 2010, *The Marcona magnetite deposit, Ica, Central-South Peru: A product of hydrous, iron oxide-rich melt: Economic Geology*, v. 105, p. 1441-1456
- Chen, H.Y., Cooke, D.R., and Baker, M.J., 2013, *Mesozoic IOCG Mineralization in the Central Andes and the Gondwana Supercontinent Breakup: Economic Geology*, v. 108, p. 37-44
- Dymond, J., Suess, E. and Lyle, M., 1992, Barium in deep-sea sediment: A geochemical proxy for paleoproductivity. *Paleoceanography* 7, 163-181.
- Folk Robert, 1974. *A Review of Grain-size Parameters*, *Sedimentology*, Vol 6, pp 73-93.
- Goldberg, E. D., and G. Arrhenius., 1958, *Chemistry of pelagic sediments*, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 13, 153-212.
- Johnson, ME., Libbey, LK., 1997, *Global Review of Upper Pleistocene (Substage 5e) Rocky Shores: Tectonic Segregation, Substrate Variation, and Biological Diversity'*, *Journal of Coastal Research*, vol. 13, No. 2, pp. 297-307.
- Klump, J., Hebbeln, D. and Wefer, G., 2000, *the impact of sediment provenance on barium-based productivity estimates. Mar. Geol.* 169, 259-271.
- Kuzucuog Lu, Catrherina., Christol, Aurelien., Mouralis, Damase., Dog˘ u, Ali-Fuat, Akko˘ Pru., Ebru, Fort, Monique., Brunstein, DANIEL., Zorer, Halil., Fontugne, Michel., Karabiyk lu, Mustafa., Scallet, Stephane., Reyss, Jean-Louis and Guilou, Herve., 2010,

- Formation of the Upper Pleistocene terraces of Lake Van (Turkey), Journal Of Quaternary Sciences*, 25(7) 1124–1131.
- Machlus M., Enzel, Y., Goldstein, S., Marco, S., Stein, M., 2000, *Reconstructing low levels of Lake Lisan by correlating fan delta and lacustrine deposits. Quaternary International* 73-74, pp 137–144.
 - Mackin, J. E., and Aller, R. C., 1984, *Diagenesis of dissolved aluminum organic-rich estuarine sediments. Geochim. Cosmochim. Acta* 48, pp299–313.
 - Mackin, J. E., and Aller, R. C., 1984, *Diagenesis of dissolved aluminum in organic-rich estuarine sediments. Geochim. Cosmochim. Acta* 48, pp299–313.
 - Mangini, A., Eisenhauer, A. and Walter, P., 1990, *Response of Manganese in the ocean to the climatic cycles in the Quaternary. Paleoceanography* 5, pp811– 821.
 - Murray, R. W., and M. Leinen, 1996, *scavenged excess Al and its relationship to bulk Ti in biogenic sediment from the central equatorial Pacific Ocean, Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, pp3869– 3878.
 - Nesbitt, H. W. and Markovics, G., 1997, *Weathering of grandioritic crust, long-term storage of elements in weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments. Geochim. Cosmochim. Acta* 61(8), pp1653–1670.
 - Nesbitt, H. W. and Young, G. M. (1982) *Early Proterozoic climate and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature* 299, pp715–717
 - Pirazzoli, P. A., 2005, *Marine Terraces. in M. L. Scheartz, ed., pp. 632-633. Encyclopedia of Coastal Science. Springer, New York, New York.*
 - Schramm, A., Stein, M., and Goldstein S. L. (2000). *Calibration of 14C time scale to >40 ka by 234U-230Th dating of Lake Lisan sediments (last glacial Dead Sea). Earth and Planetary Science Letters* 175, pp 27–40
 - Schweizer, g., 1975, *Untersuchungen zur Physiogeographie von Ost-Anatolien und Nordwestiran. Geomorphologische, klima- und hydrogeographische Studien im Vansee- und Rezaiehsee-Gebiet. Tübinger Geogr. Stud.* 60, Tübingen
 - Veizer, J., 1983, *Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique. In Arthur, M. A., Anderson, T. F., Kaplan, I. R., Veizer, J., and Land, L. S. (Eds.): Stable Isotopes in Sedimentary Geology, Tulsa, Okla: Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Short Course, No.10, pp. 31-1 to 3-100.*
 - Wei, G. J., Liu, Y., Li, X. H., Chen, M. H. and Wei, W. C., 2003, *High-resolution elemental records from the South China Sea and their paleoproductivity implications. Paleoceanography*. 124-139
 - Yarincik, K.M., Murray, R.W. and Peterson, L.C., 2000, *Climatically sensitive eolian and hemipelagic deposition in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578,000 years: Results from Al/Ti and K/Al. Paleoceanography* 15.