پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال ششم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۶
صص. ۲۰-۱

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 بیگلو - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
علی محمدی - دانشجوی پست دکتری زمین‌شناسی، دانشگاه ETH زوریخ، سوئیس.

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

چکیده

پادگانه های دریاچه‌ای و خطوط ساحلی قدیمی دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین شواهد ژئومورفولوژیکی دریاچه ارومیه هستند که بررسی آن‌ها ازلحاظ 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 رسوب شناسی با بررسی دانه‌بندی با استفاده از الک شیکر مرطوب و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها در نرم‌افزار گردیستات 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 ماسه و گراول تغییریافته است. با بالا آمدن سطح آب دریاچه و همزمان شکل‌گیری پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، مقدار CaO افزایش‌یافته که علت آن را می‌توان با بالا رفتن مقدار کربنات کلسیم رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی ازجمله پوسته‌های 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 حمل شده 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.

* نویسنده مسئول: E-mail: Ar.salehipour@gmail.com

مقدمه

یکی از شاخصه‌های مهم ژئومورفولوژیکی و رسوب‌شناختی رسوبات کواترنری در دریاچه ارومیه پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه است. پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه درواقع خطوط ساحلی قدیمی این دریاچه هستند که در اثر رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای شکل‌گرفته‌اند. پادگانه‌های دریاچه‌ای و خطوط ساحلی قدیمی ارومیه، حاوی شواهد بسیار زیادی ازجمله 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، دریاچه شناسی،پالئوکلیماتولوژی، زیست دیرینه‌شناسی برخوردار است. در سطح جهان پادگانه‌های دریایی و دریاچه‌ای نوسانات سطح دریا را در طول دوران کواترنری به‌صورت شواهد ژئومورفیک در خود جا داده‌اند و تغییر سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها و دریاچه‌های جهان به‌عنوان شاهدی از تغییرات اقلیمی عهد کواترنری به‌حساب 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[1] 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 درنتیجه آن وقوع پیشروی‌ها[2] و پس‌روی [3] در خطوط ساحلی به وقوع می‌پیوندد. درصورتی‌که 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[4]، ۱۹۹۸،۵۲۸). ازاین‌رو اکثر توالی‌های پادگانه‌های دریایی و دریاچه‌ای این زمان به‌واسطه ترکیبی از بالا آمدن تکتونیکی سواحل و نوسانات سطح دریاها دریاچه‌ها در کواترنری شکل‌گرفته‌اند.

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 بالاآمدگی آن‌ها با استفاده از کربن ۱۴ انجام‌گرفته است. کزوقلو (۲۰۱۰،۱۱۲۴) 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(۲۰۰۰،۱۳۷) ،منحنی تغییرات سطح آب دریای مرده بین ۱۵ تا ۵۵ هزار سال قبل از جلگه ماس ادا[5] را با استفاده از پادگانه‌های دریای مرده را موردمطالعه قراردادند. شرمن و همکاران(۲۰۰۰،۲۷) 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 انجام‌گرفته است. شوایتزر[6] در سال ۱۹۷۵ چهار پادگانه در ارتفاع‌های ۳۰، ۶۵-۶۰، ۸۵-۸۰ و ۱۱۵ متری بالاتر از سطح آن زمان دریاچه شناسایی 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[1] 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. شهرابی (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 کلانتری موردمطالعه قراردادند. 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 موردمطالعه 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 ازلحاظ محیط رسوبی موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار داده است. پادگانه کچه باشی در غرب دریاچه در منطقه قهرمانلو را صبوری (۱۳۸۹، ۱۸۴) موردمطالعه 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، ،731974). 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. به‌عنوان‌مثال 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،،7519974).

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 ، ۱۴۴۸و ۲۰۱۱، ۷۰۱، جنسن و همکاران، ۱۹۹۷،۳۰۰، گلدنبرگ و همکاران، ۱۹۵۸، ۱۸۱).Al و Ti در برابر هوازدگی مقاومت بالایی دارند و جز عناصری هستند که حفظ‌شدگی خوبی دارند(وی و همکاران،۲۰۰۳،۱۳۱، نسبیت 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 هوازدگی شیمیایی می‌توانند مقاومت کنند(نسبیت و مارکویچ، ،۱۹۹۷،۳۸۷۲ و نسبیت 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(مککین و آلر،۱۹۸۴ ، ۲۹۹، و چن و همکارن،۲۰۱۰ ، ۱۴۴۸، یارینکیچ و همکاران،۲۰۰۰،۱۵، دیموند و همکاران، ۱۹۹۲،۱۶۸، زایل و همکارن، ۲۰۰۱)؛ بنابراین Ti and Al شاخص‌های مناسبی هستند که می‌توانند برای تغییرات انرژی حمل‌ونقل استفاده شوند(چن و همکاران،۲۰۱۳، ۳۹) .عنصر CaO به‌عنوان شاخص‌ترین عنصر در تعیین محیط دریاچه‌ای مورداستفاده قرار گرفت.

در دریاچه ارومیه مطالعات متعددی از دیدگاه دریاچه شناسی با تأکید بر مطالعات رسوب‌شناسی، ژئوشیمی رسوبی، هیدروشیمی باهدف مطالعه تحولات دیرینه این دریاچه انجام‌گرفته است. شهرابی مطالعه جامعی را بر روی دریاچه ارومیه در سال ۱۳۷۳ داشته است و این دریاچه را از دیدگاه هیدروشیمی، رسوب‌شناسی و پالئوکلیماتولوژی موردمطالعه قرارداده

[1] -Vita Finzi

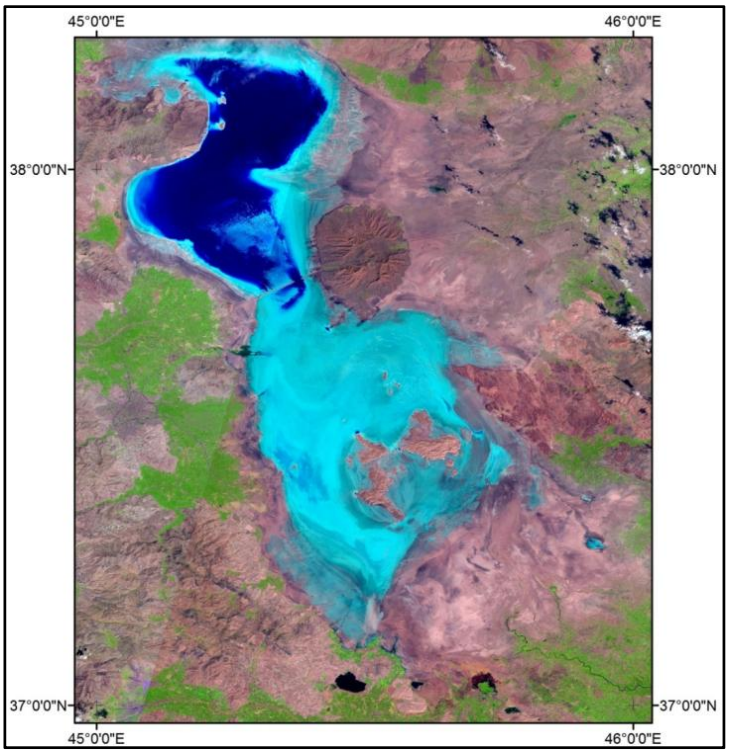
است. لک و همکاران (۱۳۹۰،۳۴۳) به بررسی پالئوکلیماتولوژی دریاچه ارومیه با استفاده از مطالعات مغزه‌های رسوبی پرداخته‌اند و روندهای نوسانات سطح آب دریاچه را موردبررسی قراردادند. و پس‌ازآن دیگر رسوب‌شناسان ازجمله شاه‌حسینی (۱۳۸۲،۱۱۲)رسوب‌شناسی و محیط تشکیل نهشته‌های کربناته بیوژنیک جوان در اطراف دریاچه ارومیه 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. مهاجرباوقار (۱۳۷۹،۵۴)ژئوشیمی و منشأ شوری آب دریاچه ارومیه را موردمطالعه قرار داده است. ، محمدی (۱۳۸۴،)تاریخچه رسوب‌گذاری هولوسن،دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه مغزه‌های تهیه‌شده در مسیر بزرگراه شهید کلانتری را موردمطالعه قرار داده است.

باوجوداینکه مطالعات متعددی در رابطه با شناسایی و مطالعه پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه با دیدگاه‌های ژئومورفولوژیکی، رسوب‌شناختی بر روی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه توسط دانشمندان و محققین درگذشته انجام‌گرفته است،ولی این تحقیقات به‌طور پراکنده و منطقه‌ای انجام‌گرفته 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 انجام‌گرفته است.

منطقه موردمطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران و در منطقه آذربایجان ، بین مختصات′۷ °۴۴ تا′۵۳ °۴۷ طول شرقی و′۴۰ °۳۵ تا′۳۰ °۳۸ عرض شمالی واقع‌شده است. این دریاچه در پست‌ترین فرونشست آذربایجان قرار دارد که اطراف آن را کوه‌های مرتفع با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر فراگرفته است و به‌وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس، دامنه جنوبی کوه سبلان(حوضه آبریز آجی چای) و دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند 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، مهابادچای، گادارچای، باراندوزچای، شهرچای، روضه‌چای، نازلوچای، زولاچای، تسوج‌چای، آجی‌چای و صوفی‌چای می‌باشند. آجی‌چای از رسوب‌های نمکی نئوژن شرق تبریز عبور می کند و در حمل مقدار قابل‌ملاحظه‌ای نمک به دریاچه نقش دارد (آقانباتی، 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 آی دریاچه به‌صورت 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 هیدرواقلیمی چند (دهه) گذشته و به دلیل تبخیر زیاد منابع آبی، وسعت دریاچه کاهش‌یافته، درنتیجه خطوط ساحلی دست‌خوش تغییرهای قابل‌توجهی گشته است و ارتفاع سطح آب آن از ۱۹۹۵ تاکنون بیش از ۸ متر کاهش‌یافته 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 کیلومترمربع در سال

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



شکل ۱: تصویر ماهواره‌ای دریاچه ارومیه (شهریور ۱۳۹۲)

داده ها و روش ها

از تصاویر ماهواره‌ای لندست۷ 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 موردمطالعه و بازسازی محدوده‌های دریاچه‌ای قدیمی که در مطالعات گذشته یافته شده است، با استفاده از تکنیک‌های GISو RS موقعیت مناطق احتمالی حضور پادگانه‌های دریاچه‌ای بر روی این تصاویر بازسازی گردید. با انجام مطالعات میدانی گسترده در منطقه موردمطالعه 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 به‌واسطه حفاری با هدف معدنکاری یا جاده‌سازی ایجادشده بود. پس از شناسایی پادگانه‌های دریاچه‌ای به‌منظور 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 ثبت‌شده 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 به‌منظور تعیین مقدار عناصر و XRF با هدف تعیین درصد عناصر رسوبی استفاده شد. اندازه ذرات موجود در رسوبات درواقع موید انرژی عامل حمل‌ونقل می‌باشد .یکی از ابزار مهم در بررسی محیط رسوبی در زمان شکل‌گیری پادگانه‌های دریاچه‌ای تجزیه‌وتحلیل 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 بپردازیم. ازاین‌رو تعداد ۱۰۷ نمونه رسوب برداشت‌شده از پادگانه‌های دریاچه‌ای با استفاده از الک شیکر مرطوب، در فراکسیون‌های۶۳، 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 سایزر استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده در نرم‌افزار گردیستات ۴ مورد تجزیه‌وتحلیل 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 جورشدگی، کشیدگی و کج شدگی رسوبات می‌توان انرژی محیط رسوبی در زمان رسوب‌گذاری و نیز تا حدودی خود محیط رسوبی را مشخص نمود. به‌طور 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 به‌عنوان شاخصی برای بالا آمدن سطح آب دریاچه محاسبه گردد. مقدار رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی و تغییرات آن در رسوبات به‌عنوان شاخص مهمی برای بررسی شرایط محیطی و همچنین نوسانات سطح آب دریاها و دریاچه‌ها مورداستفاده 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 ازجمله 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 ($SO3$) نسبت به کربنات کلسیم می‌تواند نشان‌دهنده پس‌روی سطح آب دریاچه و رسوب‌گذاری رسوبات محیط خشکی(آواری) باشد. به‌منظور بررسی و تجزیه‌وتحلیل 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 برداشت‌شده به تفسیر تغییرات محیط‌های رسوبی و ارتباط آن با نوسانات پادگانه‌های دریاچه‌ای پرداخته شد.

یافته‌ها و بحث

پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه

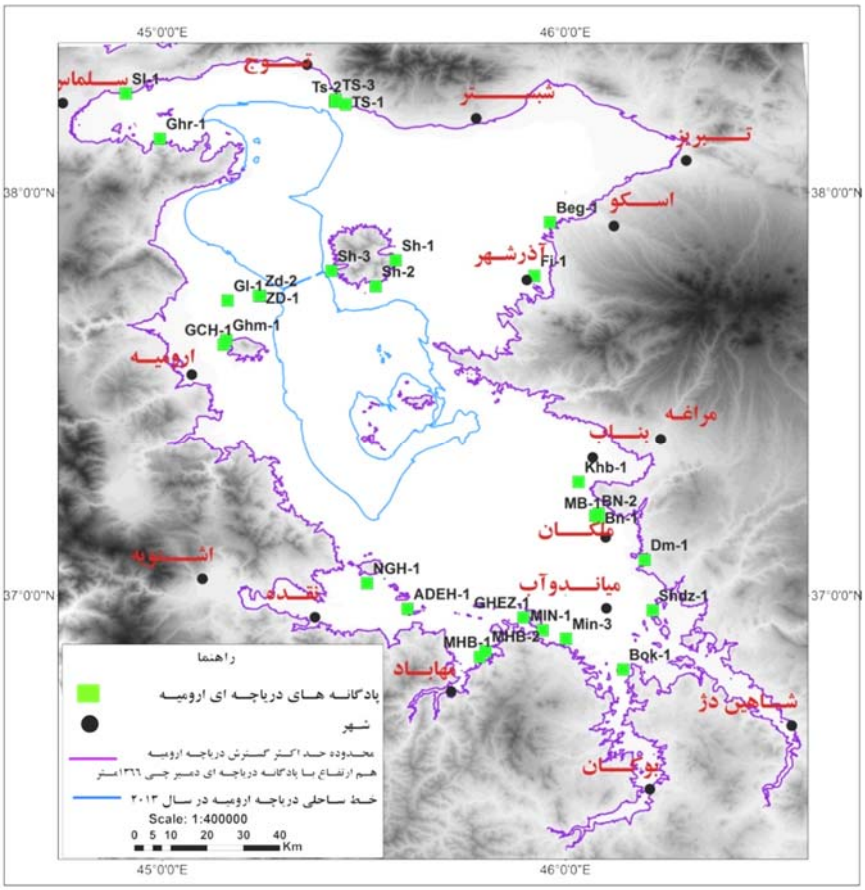
در بررسی‌های میدانی تعداد ۲۴ پادگانه دریاچه‌ای در رسوبات کواترنری حاشیه دریاچه ارومیه مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفت. بیشترین پراکندگی پادگانه‌های دریاچه‌ای به ترتیب در بخش جنوبی، میانی و شمالی مشاهده می‌شود. پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه در بخش‌های جنوبی، میانی و شمالی این دریاچه پراکنده هستند. با توجه به الگوی پراکندگی پادگانه‌ها بیشترین تمرکز پادگانه‌ها به ترتیب در بخش جنوبی، میانی و شمالی دریاچه ارومیه قرارگرفته است (شکل۲). 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 ازاین‌رو 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 افکنه هایی 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. ازاین‌رو 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.

ازلحاظ فاصله طولی از خط ساحلی کنونی تعدادی از پادگانه‌ها در فاصله کمی از ساحل قرارگرفته‌اند ولی پادگانه‌هایی همانند پادگانه بوکان (۷۲ کیلومتر)، مهاباد (۴۵ کیلومتر) و میاندوآب (۶۵ کیلومتر) با خط ساحلی کنونی (سال ۱۳۹۳) فاصله‌دارند که نشان‌دهنده گسترش بسیار زیاد پهنه آبی دریاچه ارومیه درگذشته است. ازلحاظ 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 به‌مراتب بیشتر از سطوح ارتفاعی است که شوایتزر و سایر محققین گذشته به آن اشاره نموده‌اند.

جدول۱: مشخصات پادگانه‌های دریاچه‌ای شناسایی‌شده در دریاچه ارومیه (سطح آب دریاچه، ۱۲۷۰ متر)

ارتفاع از سطح دریاچه	ارتفاع پادگانه (متر)	منطقه	شماره پادگانه	ارتفاع از سطح دریاچه	ارتفاع پادگانه (متر)	منطقه	شماره پادگانه
۵۰/۲	۱۳۲۰/۲	سلماس– قره ضیا	۱Gh-	۵۴	۱۳۲۴	ملکان–بناب ۱	۳ML-
۸۴/۶	۱۳۵۴/۶	سلماس به تسوج	۱Sl-	۴۵	۱۳۱۵	ملکان–بناب ۴	۴ML-
۶۶/۲	۱۳۶۶/۲	تسوج به شبستر	۲Tasuj-	۴۴	۱۳۱۴	ملکان–بناب ۵	۵ML-
۷۲/۷	۱۳۴۲/۷	زنبیل داغی	۱ZD-	۴۵	۱۳۱۵	ملکان–بناب ۶	۶ML-
۶۴/۲	۱۳۳۴/۲	گلمانخانه–کچه باشی	۱GCH-	۹۶/۶	۱۳۶۶/۶	ملکان– دمیرچی	۱Dm-
۳۵/۴	۱۳۱۴/۴	گلمانخانه– قهرمانلو	۱Gha-	۵۱/۵	۱۳۲۱,۵	الخچی–بیگلو	۱Beg-
۳۳/۷	۱۳۱۳/۷	جزیره اسلامی ۳	۳Sh-	۶۵/۸	۱۳۳۵,۸	مهاباد–گوگ تپه	۲MHB-
۶۲	۱۳۳۲	جزیره اسلامی ۲	۲Sh-	۵۵/۹	۱۳۲۵,۹	قز قلعه– مهاباد	۱GHEZ-
۲۷/۱	۱۲۹۷/۱	جزیره اسلامی ۱	۱Sh-	۵۸/۹	۱۳۲۸/۹	میاندوآب ۱	۱MIN-
۳۷/۹	۱۳۰۷/۹	خانه برق	۱Khb-	۵۳/۸	۱۳۲۳/۸	میاندوآب ۳	۳Min-
۶۹/۶	۱۳۳۹,۶	ملکان ۳	۳Bn-	۶۵/۴	۱۳۳۵/۴	میاندوآب–شاهین‌دژ	۱Shdz-
۵۷/۲	۱۳۲۷/۲	بوکان	۱Bok-	۵۲/۵	۱۳۲۲/۵	نقده حسنلو	۱Ngh-



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

شواهد رسوبی پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه

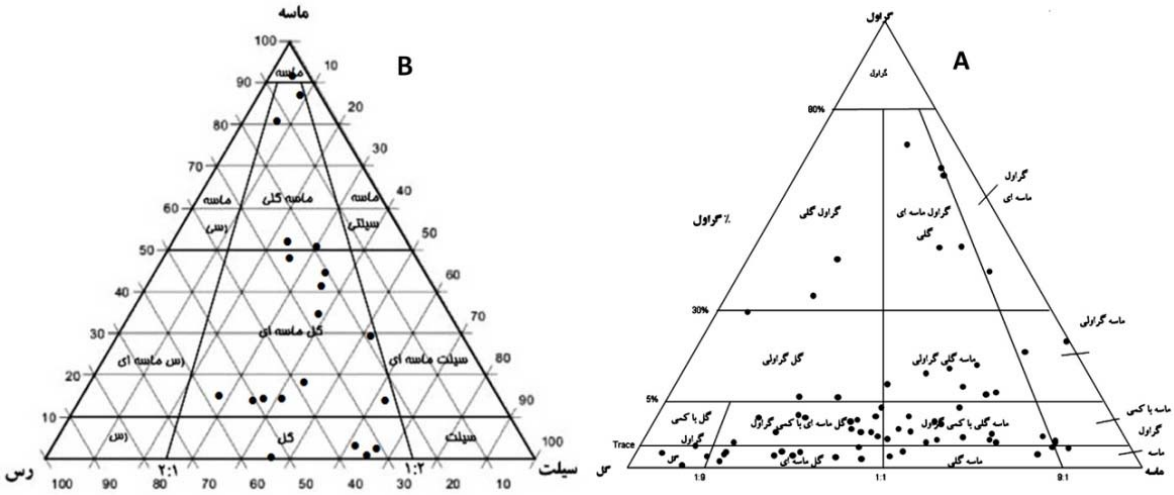
الف: دانه‌بندی رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای

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.

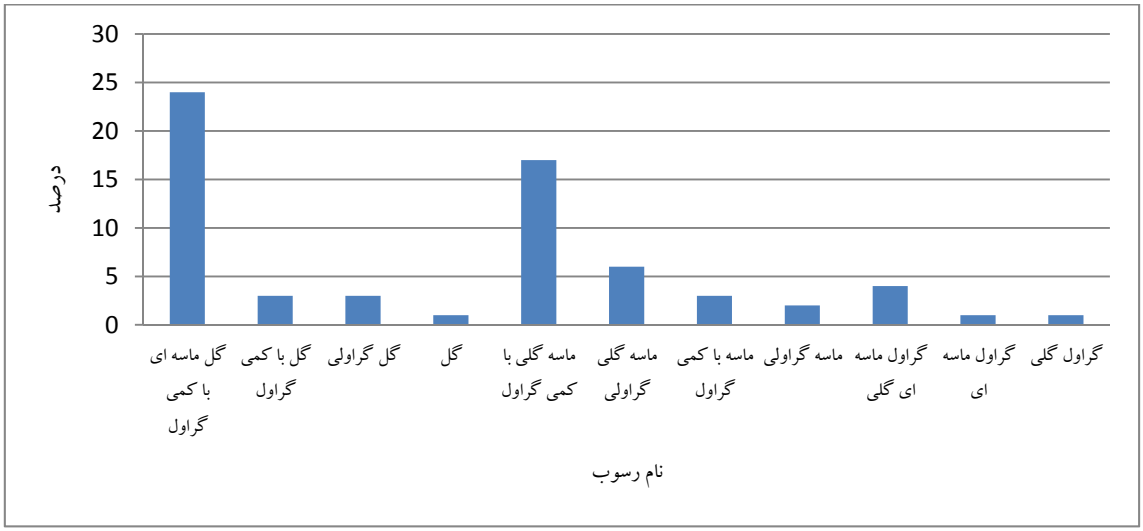
از بین نمونه‌های دانه‌بندی شده در رسوبات دریاچه‌ای بر اساس روش فولک تعداد ۳۱ نمونه (۴۷/۷ درصد) در محدوده گل، تعداد ۲۸ نمونه (۴۳/۱ درصد) در محدوده ماسه و ۶ نمونه (۹/۲ درصد) در محدوده گراول قرار دارد.

همان‌گونه که شکل ۳ دیده می‌شود عمده ذرات بر روی ضلع گل و ماسه واقع‌شده است که ۹۰/۸ درصد کل اجزا را به خود اختصاص داده است.



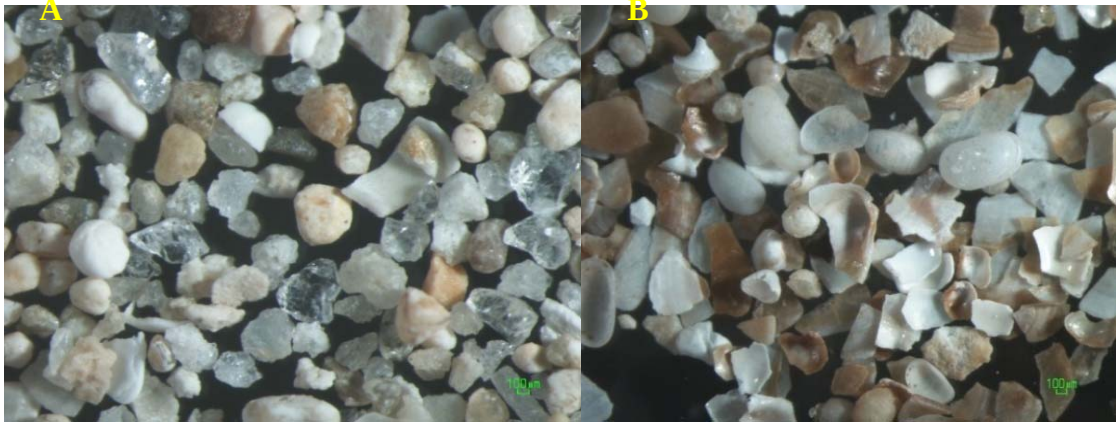
شکل ۳: پراکندگی رسوبات دریاچه‌ای بر روی مثلث طبقه‌بندی رسوب A: برای رسوبات درشت‌دانه، B: برای رسوبات ریزدانه(فولک، ۱۹۷٤)

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بیشترین فراوانی مربوط به گل ماسه‌ای با کمی گراول و ماسه گلی با کمی گراول است.



شکل ٤: فراوانی تیپ‌های رسوبی در رسوبات دریاچه‌ای ارومیه

در کنار آن حضور ذرات بیولوژیک ازجمله میکرو فسیل‌ها که به‌طور غالب در همه نمونه‌های رسوبات دریاچه‌ای حضورداشته و به‌عنوان یکی از شاخصه‌های اصلی برای تشخیص پادگانه‌ها به شمار می‌روند، در تغییر اندازه ذرات رسوبی بی‌تأثیر نمی‌باشد. حجم این فسیل‌ها در برخی از نمونه رسوبات پادگانه‌ها تقریباً به بیش از ۸۰ درصد می‌رسد(شکل، 5A). این خرده صدف‌ها حاوی فرامین فرا، گاستروپودا، استراکدا و همچنین دوکفه‌ای‌ها است که متعلق به محیط‌های آبی لب‌شور 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، ۶ B 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.

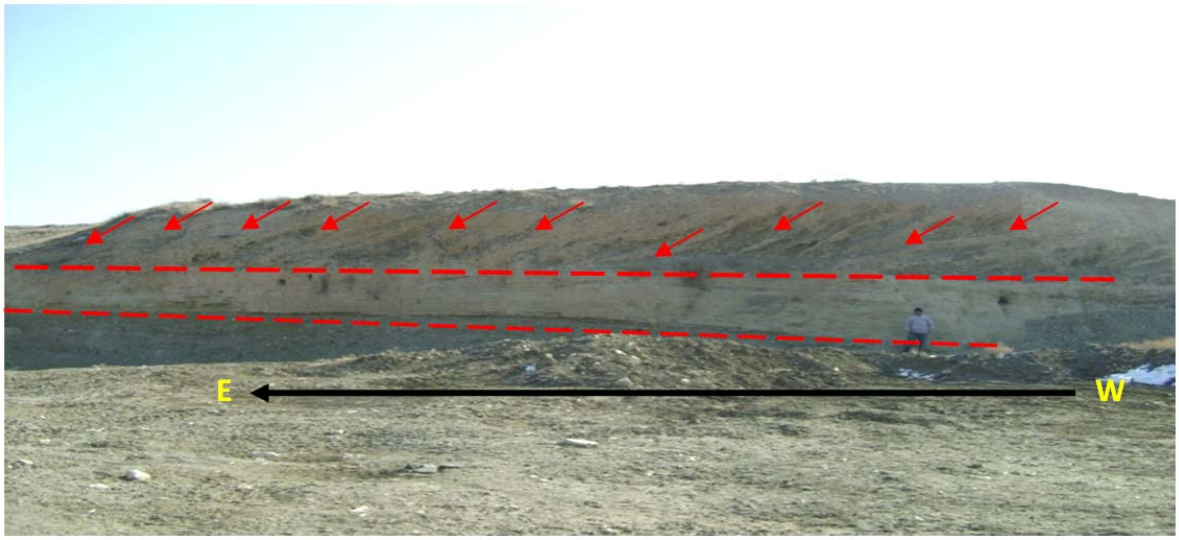
در رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای کج شدگی به سمت رسوبات ریزدانه است(شکل۶ C) و بیش از ۵۱ درصد رسوبات دارای کج شدگی ریزدانه و به‌شدت ریزدانه است. علاوه بر آن ۳۴ درصد از نمونه‌ها کج شدگی متقارنی دارند.

شکل ٦: A:نمودار جورشدگی نمونه‌های رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه،B: نمودار فراوانی کشیدگی رسوبات در پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه،C: نمودار فراوانی کج شدگی رسوبات در پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه

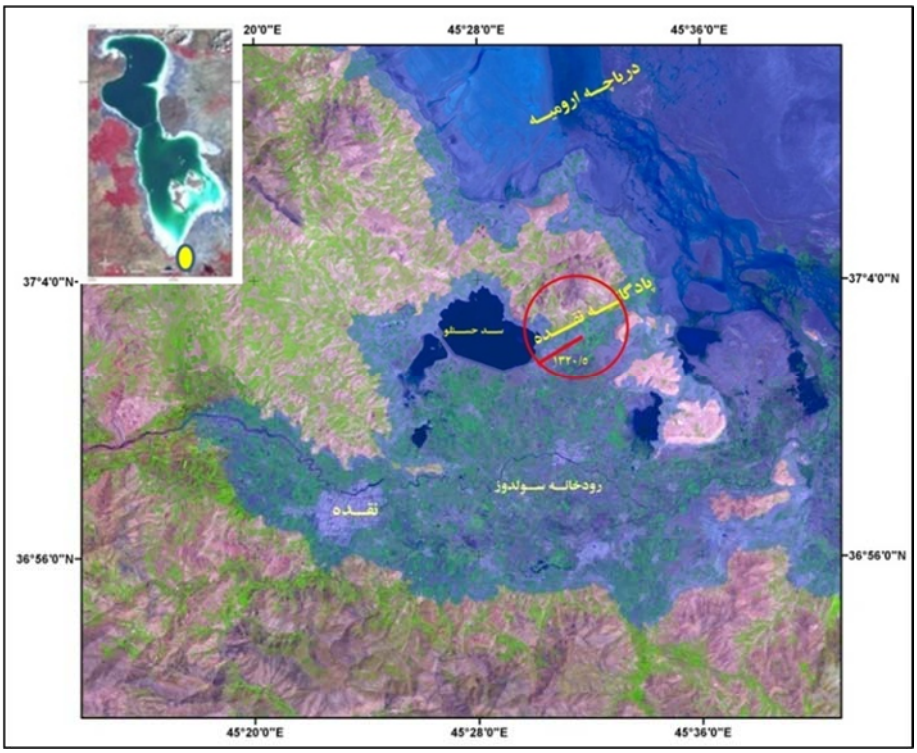
با توجه به نتایج مطالعات دانه‌بندی رسوبات دریاچه‌ای ۴۵/۶ درصد نمونه‌ها در محدوده گل، تعداد ۴۲/۶ درصد در محدوده ماسه و ۱۱/۸ درصد در محدوده گراول قرار دارد. حجم بالای تیپ رسوبی گل در نمونه‌های رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای،

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 گاستروپود ها و حتی دوکفه‌ای‌ها به‌خوبی در بین لایه‌های رسوبی قابل‌مشاهده است. به‌واسطه ضخامت بالای لایه‌های رسوبات دریاچه‌ای این پادگانه، توالی لایه دارای صدف دوکفه‌ای و گاستروپود به‌خوبی قابل‌مشاهده است و در آن می‌توان ۷ لایه با توالی‌های مختلف رسوبی مشخص نمود همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود ازلحاظ جغرافیایی این پادگانه در بخش انتهایی مخروط‌افکنه رودخانه سولدوز قرارگرفته 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 قرارگرفته 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 سدی به‌عنوان مخزن آبی در این منطقه بهره‌برداری می‌شود. توپوگرافی کم شیب این منطقه باعث می‌شود که محیطی آرام ازلحاظ رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه‌ای در زمان بالا بودن سطح آب دریاچه در این پهنه حاکم باشد. ازاین‌رو 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.

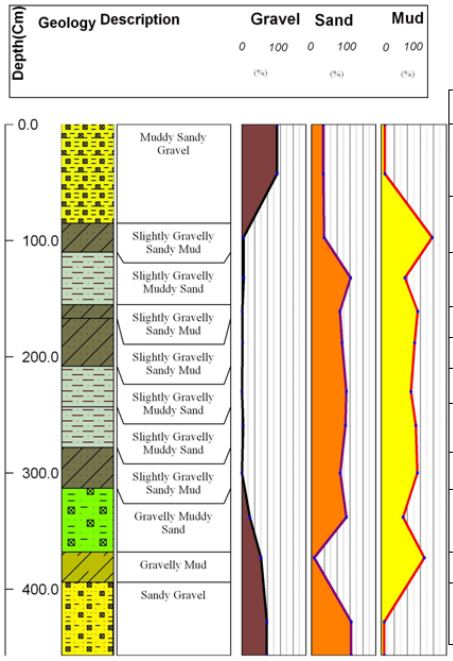


شکل۷ : پادگانه دریاچه‌ای نقده (دید از شمال)



شکل ۸: موقعیت پادگانه نقده و شبیه سازی پهنه های تحت تأثیر بالا آمدن سطح آب دریاچه ارومیه(رنگ آبی در عکس) هم ارتفاع با پادگانه دریاچه ای نقده(تصویر ماهواره لندست ۸ ، 2015)

همان‌طور که در شکل ۹مشاهده می‌شود، این پادگانه دارای لایه‌بندی رسوبی متعددی است که حکایت از تغییرات محیطی متنوع در این پادگانه به‌خصوص از دیدگاه زیستی و تنوع گونه‌ها و جنس صدف‌های موجود در این پادگانه و همچنین تغییر دانه‌بندی رسوبی است. رسوبات دریاچه‌ای در بین دولایه رسوب رودخانه‌ای Ngh-1-1 بالاترین لایه وNgh-1-11 پایین‌ترین لایه قرارگرفته است. لایه تحتانی(Ngh-1-11) که رسوبات دریاچه‌ای روی آن قرارگرفته است دارای تیپ رسوبی ماسه گلی گراولی است که حاوی رسوبات رودخانه‌ای و جورشدگی این رسوب‌ها ضعیف و نشان‌دهنده انرژی بالای محیط در زمان رسوب‌گذاری و حاوی به رسوبات رودخانه است. بر روی این رسوبات، لایه‌های رسوبی دریاچه‌ای قرارگرفته است که ضخامتی بیش از ۲ متر دارد. تیپ رسوبی این لایه‌ها شامل، گل گراولی، گل ماسه‌ای با کمی گراول، گراول گلی، ماسه گلی با کمی گراول، گراول ماسه‌ای گلی است که همه آن‌ها نشان دهند رسوب‌گذاری در محیطی آرام و کم انرژی است. از لایه Ngh-1-2 به‌تدریج مقدار گل در رسوبات دریاچه‌ای افزایش می‌یابد و در لایه Ngh-1-10 و Ngh-1-7 به حداکثر خود می‌رسد. رسوب‌گذاری در محیط دریاچه‌ای به‌واسطه نوسانات سطح آب و همچنین تغییرات شرایط محیطی با شدت و ضعف ادامه دارد که تأثیر آن را می‌توان در تیپ رسوبی رسوبات مشاهده نمود. جورشدگی ضعیف و بسیار ضعیف در این لایه‌ها به‌واسطه حضور پوسته‌های صدف به‌خصوص در فراکسیون‌های درشت‌دانه ۲ میلی‌متر و ۱ میلی‌متر است. این امر در کشیدگی رسوبات نیز به‌خوبی قابل‌مشاهده است و اکثر کشیدگی رسوب‌های موجود در این لایه‌ها دارای کشیدگی پهن، بسیار پهن و متوسط می‌باشند. علاوه بر آن کج شدگی نیز به سمت رسوبات ریزدانه در رسوبات دریاچه‌ای و در رسوبات رودخانه‌ای به سمت درشت‌دانه است.



شماره نمونه	جورشدگی	جورشدگی	کج شدنی	کج شدنی	کشیدگی	کشیدگی
Ngh-1-1	1.2	جورشدگی ضعیف	0.781	درشت دانه	7.477	بی نهایت کشیده
Ngh-1-2	2.0159	بسیار جورشدگی ضعیف	-0.22	کج شدگی بسیار ریز دانه	0.974	متوسط
Ngh-1-3	2.108	بسیار جورشدگی ضعیف	0.183	کج شدگی ریز دانه	1.031	متوسط
Ngh-1-4	1.74	جورشدگی ضعیف	0.267	کج شدگی ریز دانه	0.82	پهن
Ngh-1-5	1.94	جورشدگی ضعیف	0.232	کج شدگی ریز دانه	0.79	پهن
Ngh-1-6	1.88	جورشدگی ضعیف	0.31	کج شدگی بسیار ریز دانه	0.789	پهن
Ngh-1-7	2.238	بسیار جورشدگی ضعیف	0.101	کج شدگی ریز دانه	0.936	متوسط
Ngh-1-8	1.808	جورشدگی ضعیف	0.235	کج شدگی ریز دانه	0.653	بسیار پهن
Ngh-1-9	2.92	بسیار جورشدگی ضعیف	-0.01	متقارن	0.704	پهن
Ngh-1-10	3.442	بسیار جورشدگی ضعیف	-0.45	کج شدگی بسیار ریز دانه	0.493	بسیار پهن
Ngh-1-11	1.28	جورشدگی ضعیف	0.308	کج شدگی بسیار درشت دانه	1.991	بسیار کشیده

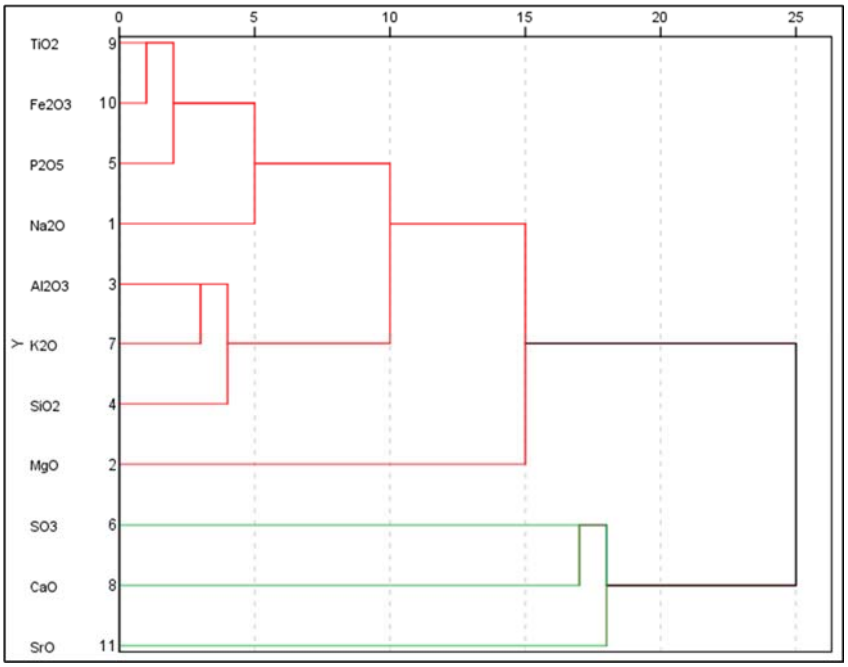
شکل ۹: ستون چینه‌ای پادگانه دریاچه‌ای نقده

ب: ژئوشیمی رسوبات پادگانه‌های دریاچه‌ای

به‌منظور بررسی تعیین و تفکیک محیط رسوب گزاری به محیط‌های رسوب‌گذاری 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 مورداستفاده قرار گرفت که عبارت‌اند از درصد عناصر اصلی SiO_2، $Al2O_3$ CaO، MgO Fe_2O_3، TiO_2، K_2O وNa_2O گوگرد (S) است. همچنین از بین داده‌های به‌دست‌آمده از آنالیزهای ICP اورانیوم (U) و مولیبدن (Mo)، وانادیوم (V)، کادمیوم (Cd)، تلوریوم (Tl) موردبررسی قرار گرفت.

با تحلیل و مشاهده داده‌های به‌دست‌آمده 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 (Sr)، اکسید فسفر (P2O5) 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 ازجمله پوسته‌های صدف در رسوبات است که حاوی کربنات کلسیم می‌باشند. علاوه بر آن مقدار استرانسیوم (Sr)، اکسید فسفر (P2O5) 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 (SO3) همزمان با افزایش سطح آب دریاچه کاهش می‌یابد (خطوط قرمز در شکل،۹).این عناصر شاخص منشأ آواری رسوبات است. درواقع 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

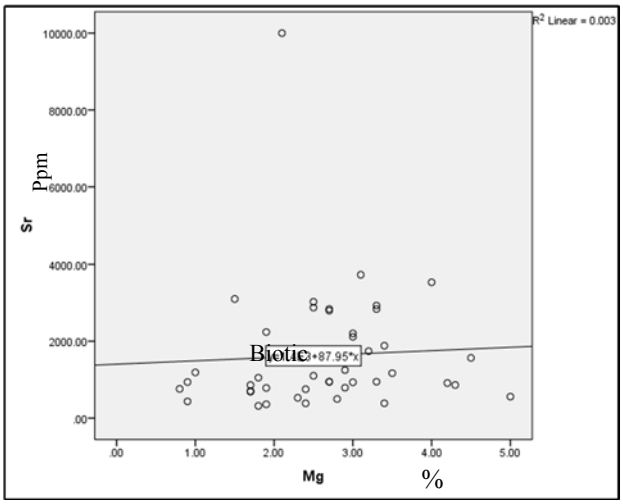
و تیتان که شاخص رسوبات آواری می‌باشند، افزایش می‌یابد. کادمیوم، گوگرد، مولیبدن و اورانیوم، ارتباط چندانی با تغییرات سطح آب دریاچه نشان نمی‌دهند.



شکل ۱۰: آنالیز خوشه‌ای و همبستگی عناصر رسوبی در داده های ژئوشیمیایی

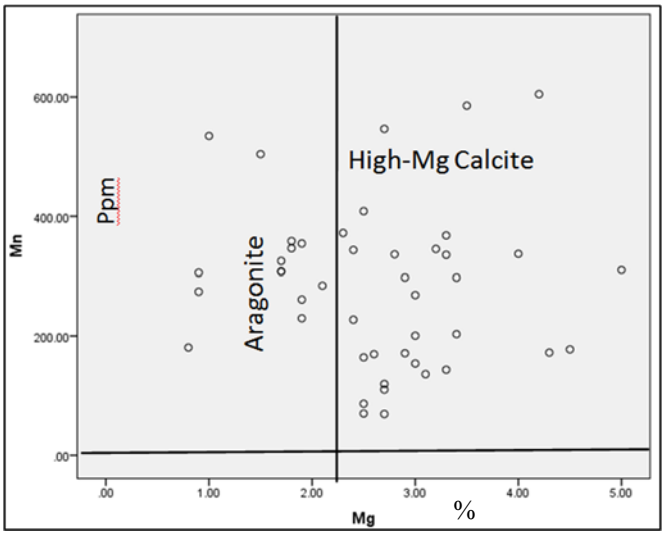
مقدار منیزیم در نمونه‌های پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه بین ۰,۹ تا ۵ درصد در تغییر است. آراگونیت حاوی یک درصد منیزیم است درصورتی‌که کلسیت دارای منیزیم زیاد از ۱ تا ۳,۲ درصد منیزیم می‌باشد (آدابی، ۱۳۸۳،۴۷). تقریباً تمام رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها دارای کلسیت با منیزیم زیاد می‌باشد.

با بررسی نتایج داده‌های ICPدر رابطه با عنصر استرانسیم این نتیجه به دست می‌آید که بیشترین و کمترین مقدار استرانسیم در نمونه‌های رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها از PPm۳۱۸ تا Ppm ۳۷۲۹ می‌باشد. تغییرات مقدار Sr در نمونه‌های موردمطالعه عمدتاً به‌واسطه 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 دریاچه‌ای پادگانه‌های دریاچه‌ای بین ۶۹ تا ۹۷۹ در تغییر است. مقدار منگنز در کلسیت و آراگونیت زیستی[1] متغیر می‌باشد. شرایط احیایی موجود در هنگام رشد ارگانیسم‌ها، منجر به افزایش مقادیر منگنز در کربنات‌های ارگانیکی می‌گردد. آراگونیت و کلسیت غیر زیستی[2] در مناطق تروپیکال، دارای تمرکز منگنز به مقدار کمتر از ۵۰ پی پی‌ام می‌باشند (وایزر،۱۹۸۳،۱۲). در رسوبات کربناته مناطق معتدله عهد حاضر، مقدار منگنز بیش از ۳۰۰ پی پی‌ام است (آدابی و رائو، ۱۹۹۱، ۲۵۷). درحالی‌که این مقدار در کربنات‌های آراگونیتی آب‌های گرم کم‌عمق تروپیکال عهد حاضر به حدود ۲۰ پی پی‌ام کاهش می‌یابد (آدابی،۱۳۸۳،۴۸). ازآنجایی‌که کمینه مقدار منگنز ۶۹ و بیشینه آن ۹۷۶ می‌باشد زیستی بودن کلسیت ها و همچنین تعلق آن‌ها را به مناطق معتدل تائید 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(شکل۱۲،).

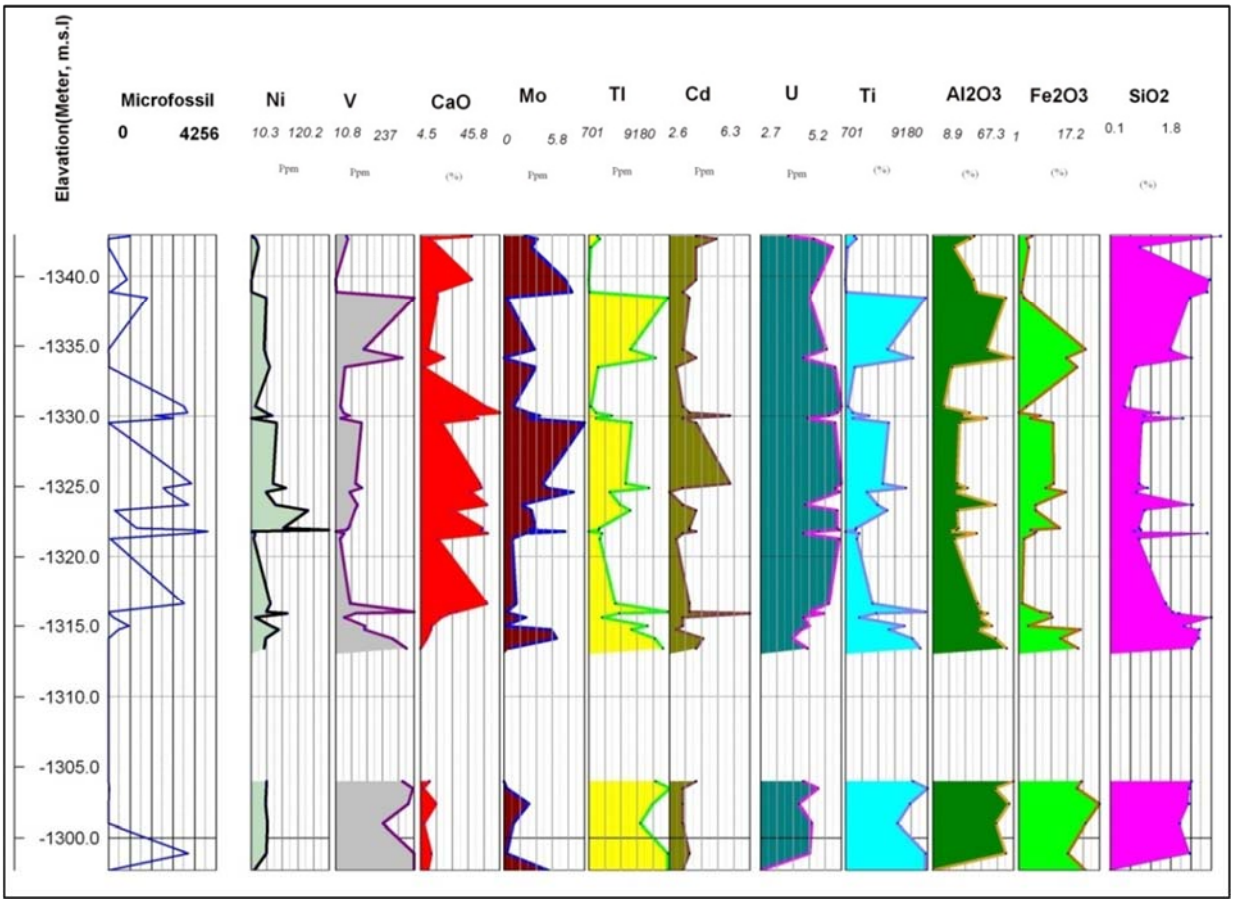


شکل ۱۲: تغییرات Mnو Mgدر نمونه‌های رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌های ارومیه

نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در کواترنری و تأثیر آن بر تغییرات درصد عناصر رسوبی پادگانه‌های دریاچه‌ای در شکل ۱۳ نشان داده‌شده است. در این دیاگرام درصد عناصر به‌دست‌آمده از داده‌های XRF، SiO_2، $Al2O_3$، CaO، Fe_2O_3 و همچنین مقدار V،Ni، Mo، Ti، Cd، U، 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 داده‌شده در این دیاگرام Bn-3و با بالاترین پادگانه دمیرچی در حدود ۲۰ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد به‌منظور نمایش بهتر تغییرات عناصر، داده‌های پادگانه Dm-1مورداستفاده 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 باکم 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، $CaO،Al2O_3$، Fe_2O_3 و همچنین مقدار V،Ni، Mo، Ti، است که بیشتر آن‌ها توسط رودخانه‌ها به محل حمل شده‌اند. البته مقدار Cd و u با افزایش CaO افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع و به‌تدریج 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 ازجمله 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 بایوژنیک 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 تجزیه‌وتحلیل این رسوبات علاوه بر اینکه خصوصیات محیط رسوب‌گذاری را در زمان نهشته شدن رسوبات آشکار می‌نماید، بلکه می‌تواند نشان‌دهنده نوسانات و پیش روی و پس‌روی 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 تیپ رسوبی گل نسبت به ماسه و گراول در نمونه‌های نشان‌دهنده رسوب‌گذاری آن‌ها در محیطی آرام و کم انرژی است که درنتیجه نهشته‌گذاری آرام رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای است و می‌توان افزایش آن را در رسوبات موردمطالعه

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 باوجوداینکه ۴۶/۸ از نمونه رسوبات دریاچه‌ای موردمطالعه در محدوده گل قرار دارند ولی بااین‌وجود ۵۳/۲ در صد باقی رسوبات در محدوده ماسه و گراول قرار دارند. این حجم از ماسه و گراول در رسوبات دریاچه‌ای پادگانه‌ها به‌واسطه اضافه شدن رسوبات با منشأ بیوشیمیایی (بیولوژیکی) به‌خصوص پوسته‌های صدف است. حضور ان 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 به‌حساب می‌آیند. در سایر موارد بالا بودن میزان گراول و ماسه در رسوبات دریاچه‌ای که حاوی خرده‌های سنگ است، به‌واسطه 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 شکل‌گرفته‌اند 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 ازجمله رسوب‌گذاری رسوبات رودخانه‌ای، مخروط‌افکنه ای، 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 به‌خصوص میزانCaO به‌عنوان یکی از شاخصه‌های رسوبات دریاچه‌ای و کاهش عناصر موجود در رسوبات آواری همانند، $Al2O3$ ،CaO ،Fe_2O_3 و همچنین مقدار V،Ni، Mo، Ti، به همراه دارد که از تغییرات این عناصر می‌توان به‌عنوان شاخصه‌ای برای بررسی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه استفاده نمود . افزایش میزان CaO در رسوبات دریاچه‌ای به‌واسطه 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 افزایش‌یافته 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 به‌واسطه شرایط نامساعد محیطی برای زیست موجودات احتمالاً به‌واسطه 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، $Al2O3$، CaO، Fe_2O_3 و همچنین مقدار V،Ni، Mo، Tiهمراه است که بیشتر آن‌ها توسط رودخانه‌ها به محل حمل شده‌اند. با افزایش ارتفاع پادگانه‌ها که با بالا آمدن سطح آب دریاچه همراه است، به‌تدریج 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، ۱۳۷۰متر)نشان‌دهنده افزایش فراوانی پوسته صدف‌ها ازجمله فرامینیفرا، گاستروپودا، استراکدا و همچنین دوکفه‌ای‌ها درنتیجه 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، ۱۳۷۰متر)قرارگرفته‌اند، مشاهده می‌شود که فراوانی پوسته‌های صدف در این مطالعه به حداکثر مقدار گسترش خود ازلحاظ فراوانی و تنوع گونه‌ها می‌رسند. بالا آمدن سطح آب دریاچه هرچند با افزایش CaO در رسوبات دریاچه‌ای همراه است ولی سایر عناصر سایر عناصر SiO_2، $CaO,Al2O_3$ ،Fe_2O_3 و همچنین مقدار Ni،V، Mo، Ti 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، شکیبا کمال تشکر و قدردانی راداریم.

منابع

- آدابی، محمدحسین، ۱۳۸۳،ژئوشیمی رسوبی، آرین زمین.
- آقا نباتی، علی، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- بربریان،مانوئل و قرشی،منوچهر،۱۳۶۶،پژوهش بر لرزهٔ زمین‌ساخت کاربردی و خطر زمین‌لرزه، گسلش در دریاچهٔ 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، مقیاس۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور.
- شهرابی، مصطفی ،۱۳۶۶، دریاچه‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی دریاچهٔ 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 بیگلو، منصور، ۱۳۹۴،بازسازی پالئوهیدرولوژی و پالئواکولوژی دریاچه ی ارومیه در کواترنری (بامطالعه‌ی پادگانه‌های دریاچه‌ای، هیدروژئومورفولوژی، ۱۴۳-۱۷۳
- صبوری، جعفر، علیمحمدیان،حبیب، مغفوری مقدم و لک،راضیه،۱۳۸۹،مطالعهٔ سنگواره‌ها، محیط رسوبی و تعیین سن مطلق پادگانه‌های دریاچه‌ای ارومیه، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارومیه
- طالبی راد، فرزین، ۱۳۷۷،ژئوشیمی و ترمودینامیک ژنز کانیهای تبخیری در محیط های دریایی و دریاچه‌ای با نظر ویژه به شورابه های دریاچه ارومیه، اداره کل منابع طبیعی آذربایجان شرقی

- طلوعی،جواد،۱۳۷۵، مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی و هیدروشیمیایی و شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضه رسوبی تبخیری دریاچه ارومیه، رساله کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه تهران مسیر بزرگراه شهید کلانتری، 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 کلانتری، 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 گسترهٔ دریاچهٔ ارومیه، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکدهٔ 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 terracesof Lake Van (Turkey), Journal Of Quaternary SSciences , 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 climatee 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-Untersuchungen zur Physiogeographie von Ost-anatolien und Nordwestiran. Geomorphologische, klima- und hydrogeographische Studien im Vansee- und Rezaiyehsee-Gebiet. Tübinger Geogr. Stud. 60, Tübin- gen*
- *Veizer, J., 1983 , Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique. In Arthure, 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.*