ویژگی‌های رسوب‌شناسی و منشأ نهشته‌های دریاچه ارومیه درحاشیه بزرگراه شهید کلانتری

عبدالحسین امینی[۱*]، مجید شاه‌حسینی[۱]، علی محمدی[۱] و مصطفی شهرابی[۲]

[۱] پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۲] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۵

چکیده

در این مقاله ویژگی‌های رسوب‌شناسی مغزه‌های تهیه شده از ۴ گمانه در مجموع به ستبرای ۳۴۰ متر و رسوبات سطحی از بستر دریاچه ارومیه در حاشیه بزرگراه شهید کلانتری مورد بررسی قرارگرفته‌اند. به منظور تعیین نقش فرایندهای اصلی در رسوبگذاری با تکیه بر ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی، نسبت اجزای آواری به اجزای شیمیایی و بیولوژیکی در نمونه‌ها مشخص شده است. به منظور تعیین منشأ اجزای آواری، ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی آنها با انواع به دست آمده از بار معلق رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه مقایسه شده است. به منظور تجزیه و تحلیل تغییرات به وجود آمده در دریاچه در طول زمان، ویژگی‌های رسوب‌شناسی تراس‌های آبرفتی حاشیه دریاچه نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بررسی‌حاضر نشان می‌دهد که بین ۲۵ تا ۴۰ درصد اجزای سازنده رسوبات توسط جریان‌های مختلف در دریاچه (آبی، بادی) به محل رسوبگذاری حمل شده‌اند (آواری) و ۶۰ تا ۷۵ درصد رسوبات شیمیایی یا بیوشیمیایی هستند. مطالعه حاضر نشان می‌دهد که گسترش ذرات شیمیایی به طور عمده در دوره‌های تراز پایین آب و شرایطی که دریاچه به ندرت از خشکی تغذیه می‌شده صورت پذیرفته است. گسترش رسوبات بیولوژیکی به طور عمده توسط موجودات جانوری و گیاهی موجود در دریاچه و در بازه‌های زمانی صورت گرفته که شرایط برای تشکیل ذرات شیمیایی فراهم نبوده یا در کمترین مقدار بوده است (بالا بودن نسبی سطح آب). منشأ ذرات آواری به رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه نسبت داده شده است که به صورت بار بستر و بار معلق به محل رسوبگذاری حمل شده‌اند. بر اساس طرح پراکنش و ویژگی‌های اصلی ذرات آواری مورد مطالعه، رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه (به عنوان عوامل اصلی تأمین کننده این ذرات) به سه گروه (بسیارمؤثر، با تأثیر متوسط، و تأثیر ناچیز) تقسیم شده‌اند. این مطالعه افزون‌بر پذیرش نقش غیرقابل انکار دایک‌های احداثی در تغییر سامانه رسوبگذاری به اولویت‌دهی به نقش فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی در هرگونه برنامه‌ریزی احتمالی در کنترل تجمع رسوبات در حاشیه بزرگراه تأکید دارد.

کلید واژه‌ها: دریاچه ارومیه، رسوب‌شناسی، بررسی منشأ رسوبات، رسوبات دریاچه‌ای

***نویسنده مسئول:** عبدالحسین امینی

۱- مقدمه

دریاچه ارومیه به عنوان یک محیط رسوبی درون قاره‌ای (Intra-continental environment) و فوق اشباع (hypersaline) با شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی، زیست‌شناسی و زیست‌محیطی خاص خود از دیرباز مورد توجه پژوهشگران علوم مختلف قرار داشته و از جنبه‌های متفاوتی مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته است (e.g. Keltz and Shahrabi, 1986). گذر بزرگراه شهید کلانتری از محل این دریاچه و لزوم احداث دایک و پل در محل میان‌گذر، مطالعات متنابهی را در گستره‌ای بسیار وسیع (به طور مثال ژئوتکنیک، زمین‌شناسی محیط زیست، اقلیم‌شناسی، لرزه‌خیزی، و هیدرولوژی) در طی ۲۵ سال گذشته سبب شده که نتایج این مطالعات به صورت مقالات علمی، گزارشات رسمی، پایان‌نامه‌های کارشناسی‌ارشد، یا گزارش‌های داخلی وزارت راه و ترابری منتشر شده است (مثال: Bottema, 1986; Shahrabi, 1992; Farzaneh, 1994; Toloei, 1996; Mohajerbaveghar, 1997; Ahmadi, 2002, Shahosseini, 2003; Amini, 2005; Mohammadi, 2005). احداث ۱۴ کیلومتر دایک همراه با یک پل با دهانه حدود ۱۴۰۰ متر در محل میانگذر بحث‌هایی در خصوص تغییر اقلیم دریاچه و سامانه رسوبگذاری در آن ایجاد نموده است (e.g. Barzegar and Sadighan, 1991). تغییر در وضعیت رسوبگذاری در حاشیه دایک‌های احداث شده حتی در بررسی‌های اولیه (بویژه روی داده‌های ماهواره‌ای) هم به راحتی قابل درک است. مشاهده این تغییرها انگیزه اصلی در شروع چنین مطالعه‌ای در منطقه شد. افزون‌بر این، وجود مغزه تا ژرفای ۱۰۰ متری از رسوبات بستر دریاچه در محل گمانه‌های حفاری شده در دهانه پل اصلی زمینه بسیار مساعدی برای بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی بستر و تجزیه وتحلیل تغییر در رسوبگذاری از ژرفا تا سطح فراهم می‌نمود. مطالعه حاضر با بررسی دقیق مشخصه‌های رسوب‌شناسی و منشأ نهشته‌های دریاچه در حاشیه بزرگراه شهید کلانتری سهم فرایندهای شیمیایی، بیولوژیکی و آواری را در تجمع رسوبات در این بخش از حوضه مورد ارزیابی قرار می‌دهد. لازم به ذکر است که مطالعه حاضر زمانی آغاز شد که احداث دایک باختری میان‌گذر به طول ۱۲کیلومتر به اتمام رسیده و احداث دایک خاوری به طول ۲کیلومتر در مراحل پایانی خود قرار داشت. پیش از شروع این مطالعه، محل احداث پل اصلی به طول تقریبی ۱۴۰۰ متر مشخص شده و چهارگمانه در مجموع به طول ۳۴۰ متر (BH1 = 100m, BH2= 100m, BH3 = 40m, BH4 = 100m) در طول دهانه پل برای انجام مطالعات ژئوتکنیکی در بستر دریاچه حفاری شده بود (شکل ۱). وجود مغزه‌های مذکور فرصت مناسبی برای این بررسی ایجاد نمود تا در کنار نمونه‌های تهیه شده از بستر دریاچه در نزدیکی دایک‌ها (شکل ۱) بتوان ویژگی‌های رسوب‌شناسی و منشأ این نهشته‌ها و هر گونه تغییر احتمالی در روند رسوبگذاری پس از احداث دایک‌ها را مورد ارزیابی قرار داد.

۲- موقعیت گمانه‌ها و محل‌های نمونه‌برداری

گمانه‌های (Boreholes) حفاری شده در محل دهانه پل اصلی به ترتیب از باختر به خاور شامل BH3، BH2، BH1 و BH4 هستند که با استفاده از پایه‌های مربوط به پل قدیمی موجود در محل میان‌گذر حفاری شده‌اند (شکل ۱). ویژگی‌های این گمانه‌ها شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و ستبرای مغزه‌های به دست آمده از هر گمانه و موقعیت آنها در محل دهانه به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ ذکر شده است. به دلیل محدودیت‌های نمونه‌برداری در حاشیه دایک‌ها به نمونه‌های سطحی از بستر دریاچه (ژرفای ۲۰-۴۰ سانتی‌متری) اکتفا شده است (شکل ۱). با توجه به وضعیت دایک‌ها و نحوه تجمع رسوبات در حاشیه آنها بویژه حاشیه جنوبی دایک باختری، در مطالعه حاضر تأکید اصلی بر روی نقش رسوبات آواری (حمل شده از خارج دریاچه)

حاشیه بزرگراه بوده است. بر این اساس و با توجه به این که ورود رسوبات آواری به دریاچه به طور عمده از نیمه جنوبی (جنوب بزرگراه) صورت می‌گیرد و با توجه به وضعیت جریان‌های چیره در دریاچه (جنوبی- شمالی) به طور عمده بررسی‌های رسوب‌شناسی بر روی نیمه جنوبی دایک‌ها متمرکز شده است.

با تکیه بر میزان و نوع بار رسوبی رودخانه‌های تغذیه‌کننده و با در نظر گرفتن موقعیت آنها نسبت به محل میان‌گذر (شکل ۲) مجموعه رودخانه‌های حاشیه دریاچه در دو گروه اصلی (مؤثر در تأمین ذرات آواری و غیرمؤثر در تأمین ذرات آواری به حاشیه بزرگراه) تقسیم شدند (جدول ۲). در این مطالعه مشخص شد که در بین رودخانه‌های مؤثر در تأمین ذرات آواری به دریاچه و رسوبگذاری در حاشیه بزرگراه نقش اصلی را رودخانه‌های باختری دریاچه (شهرچای، نازلوچای، باراندوزچای و روضه‌چای) بر عهده دارند، از این رو نمونه‌برداری به بار معلق آنها در محل مصب منحصر شد. به منظور تجزیه و تحلیل نقش دیگر رودخانه‌ها در تأمین ذرات آواری به حاشیه بزرگراه در بین رودخانه‌های جنوب- جنوب باختری نمونه‌برداری از مصب رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود و در بین رودخانه‌های خاور دریاچه نمونه‌برداری از مصب رودخانه آجی‌چای نیز صورت گرفته است.

۳- روش‌های مطالعه

برای مطالعه دقیق ترکیب کانی‌شناسی و بررسی ویژگی‌های بافتی از مغزه‌های موجود (BH4 تا BH1) پلاگ‌هایی (Plugs) به قطر سه سانتی‌متر و طول ۷سانتی‌متر تهیه شد (شکل ۳). فاصله نمونه‌برداری از مغزه‌ها به طور عمده براساس ویژگی‌های ظاهری رسوبات (سنگ‌شناسی) تنظیم شد. در بازه‌هایی که تغییرات سنگ‌شناسی یکنواخت بوده، نمونه‌برداری با فواصل یک متری و در بازه‌های با تنوع شدید، سنگ‌شناسی نمونه‌برداری بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی در فواصل ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری صورت پذیرفته است. بر این اساس، ۱۱۵ نمونه از گمانه اول (BH1)، ۱۰۸ نمونه از گمانه دوم (BH2)، ۵۶ نمونه از گمانه سوم (BH3) و ۱۱۷ نمونه از گمانه چهارم (BH4) تهیه شد. بررسی ساخت‌های رسوبی به طور مستقیم و بر روی مغزه‌ها و با تکیه بر ویژگی‌های ماکروسکپی و نمونه دستی صورت پذیرفت. نمونه‌برداری از بستر دریاچه با استفاده از لوله پولیکای مقاوم و به طور مستقیم و با فشار دست صورت پذیرفت. نمونه‌برداری از بستر دریاچه در فاصله حدود ۵۰ متری از دایک‌ها انجام شده است. چون تجمع رسوبات در حاشیه دایک‌ها (پس از احداث میان‌گذر) در این فاصله مشهودتر است چنین فاصله‌ای برای نمونه‌برداری انتخاب شده، افزون‌بر این که توجه لازم صورت گرفته تا این نمونه‌ها تأثیری از فشار دایک‌ها بر بستر نپذیرفته باشند. وجود لامینه‌بندی ظریف در رسوبات تهیه شده از بستر، عدم مشاهده آشفتگی در آنها و عدم حضورکانی‌های از منشأ سنگ‌های استفاده شده در دایک عدم تأثیر یا تأثیر اندک آنها از دایک‌ها را نشان می‌دهند. البته شستگی بخشی از رسوبات بستر و جابه‌جایی محلی آنها در اثر بالا آمدگی بخش‌های نزدیک‌تر به دایک‌ها امکان‌پذیر است که در این صورت هم به دلیل جابه‌جایی اندک رسوبات درون حوضه تأثیری در نتیجه این بررسی به وجود نمی‌آید. ژرفای نمونه‌برداری از بستر، بسته به شرایط رسوبات از ۲۰ الی ۴۰ سانتی‌متر متغیر بوده است. به دلیل این‌که رسوبگذاری در حاشیه بزرگراه تنها از بار معلق (Suspension load) رودخانه‌های اطراف متأثر شده و بار بستر(bed load) این رودخانه‌ها در حاشیه دریاچه و محل ورودی آنها به دریاچه ته‌نشین شده است، در نمونه‌برداری از رودخانه‌ها به بار معلق آنها اکتفا شد. نمونه‌برداری از بار معلق رودخانه‌ها در اواسط فروردین ماه و کم و بیش همزمان با بیشترین دبی سالانه رودخانه‌ها صورت گرفت. محل نمونه‌برداری نقطه تلاقی رودخانه و دریاچه انتخاب شد. نمونه‌برداری با استفاده از ظروف ۴ لیتری و در میانه ژرفا (حدود ۳۰ سانتی‌متری از سطح آب) صورت پذیرفت.

در بررسی ویژگی‌های بافتی پارامترهای اصلی (اندازه و شکل) مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته‌اند. برای بررسی‌های دانه‌سنجی (granulometry) از سری غربال‌های استاندارد (Lewis & McConchie, 1994b) به روش تر (wet size analysis) و استفاده از اختلاف سرعت سقوط ذرات در آب مقطر (قانون استوکس- Stocks' law) استفاده شده است. جدایش ذرات در حد رس (ریزتر از ۴ میکرون) با استفاده از روش‌های نوین جدایش کانی‌های رسی (Clay separation) و با استفاده از دستگاه‌های سانتریفوژ رقومی صورت پذیرفته است (Lewis and McConchie, 1994b). مطالعه شکل ذرات (گردشدگی و کرویت) با استفاده از بینوکولرهای با بزرگنمایی بالا (X 400) و میکروسکوپ الکترونی رویشی (Scanning Electron Microscope) صورت گرفت.

برای مطالعه ترکیب کانی‌شناسی رسوبات با توجه به ماهیت دانه‌ریز آنها و امکانات در دسترس، مراحل متعددی بر روی رسوبات اعمال شد. برای مطالعه نوع و مقدار کانی‌های تبخیری (evaporites) به دلیل قابلیت حلالیت بالای این کانی‌ها در آب شیرین، از روش شستشو با آب مقطر (Lewis & McConchie, 1994a) استفاده شد. در این روش با شستشوی متناوب رسوب با آب مقطر و تبخیر آب حاصل از شستشو و عبور کرده از صافی مقدار تبخیری‌های موجود در رسوبات اندازه‌گیری شد. در بررسی ترکیب تبخیری‌ها از دستگاه اشعه X (XRD) و روش‌های سنگ‌نگاری استفاده شده است. برای تهیه مقاطع نازک از رسوبات آنها را در قالب‌هایی به ابعاد ۳ در ۲ سانتی‌متر ریخته و با اضافه نمودن رزین مقطع‌گیری، آنها را به هم چسباندیم تا تهیه مقطع امکان‌پذیر باشد. میزان کربنات کلسیم موجود در رسوبات به روش کلسی‌متری و به دو روش حجمی (روش بارنارد) و تیتراسیون تعیین شد (Lewis & McConchie, 1994b). برای افزایش دقت کار، بر روی هر نمونه دو روش مذکور اعمال و میانگین نتایج حاصل به عنوان میزان کربنات کلسیم نمونه در نظر گرفته شد. میزان مواد آلی موجود در رسوبات نیز با روش‌های سوزانیدن در ۱۰۵°C و اکسیده نمودن با آب اکسیژنه خالص تعیین شد (Lewis & McConchie, 1994b). بر روی هر نمونه در حال تجزیه هر دو روش اعمال و میانگین نتایج به عنوان میزان ماده آلی نمونه در نظر گرفته شد.

برای مطالعه ترکیب کانی‌های رسی از پراش اشعه X (X-Ray Diffraction) با تکیه بر روش‌های پیشنهادی Moore & Reynolds (1988) استفاده شد. برای مطالعه ترکیب کانی‌شناسی ذرات در حد سیلت و رس، نمونه‌هایی که مواد آلی، بخش تبخیری و اجزاء کربنات‌های آنها پیش‌تر با روش‌های یادشده جدا شده بود با استفاده از مایع بروموفورم ($d=2/85\ gr/cm^3$) بر دو بخش سنگین و سبک تقسیم شدند. از کانی‌های سنگین و سبک به طور جداگانه مقاطع نازک- صیقلی (Thin-Polished Section) تهیه شد و کانی‌شناسی آنها با استفاده از روش‌های متداول سنگ‌نگاری مورد بررسی قرار گرفت. برای کنترل ضریب اطمینان روش‌های استفاده شده در مطالعه ترکیب کانی‌شناسی تعدادی از نمونه‌های مورد مطالعه به صورت حجمی (Bulk) نیز به روش پراش اشعه X (XRD) تجزیه شده‌اند.

۴- ویژگی‌های رسوب‌شناسی

برای بررسی ویژگی‌های رسوبات، سه پارامتر اصلی آنها شامل بافت، ساخت، و ترکیب مورد مطالعه دقیق قرار گرفته است. با توجه به اهداف مطالعه، در مبحث ترکیب بر روی ترکیب کانی‌شناسی، و در مبحث بافت بر روی اندازه و شکل ذرات تأکید شده است. با توجه به نقش ناچیز فابریک در تجزیه و تحلیل محیط رسوبی و به دلیل تغییر آن در نمونه‌های دست خورده، از بررسی آن در این مطالعه صرف

نظر شده است. برخلاف وجود ساخت‌های رسوبی محدود در رسوبات، مطالعه ساخت‌های رسوبی در مغزه‌ها با دقت کامل مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱. ترکیب (Composition)

مطالعات دقیق کانی‌شناسی بر روی نمونه‌های تهیه شده از مغزه‌ها، بستر دریاچه و بار معلق رودخانه‌های مطالعه شده وجود آراگونیت، کلسیت، کوارتز، فلدسپار، ژیپس، هالیت، قطعه‌های شیشه آتشفشانی، میکا، کانی‌های سنگین (به طور عمده شامل سولفیدهای آهن و پیروکسن) دولومیت، پلت (Pellet) ، دانه‌های پوشش‌دار (مخلوط چندکانی)، مواد آلی و کانی‌های رسی را در رسوبات نشان می‌دهد. به دلیل ماهیت متفاوت کانی‌های سازنده رسوبات از نظر زایشی (Genetically) و اهمیت بررسی فرایندهای مؤثر در تشکیل ذرات رسوبی در تعیین منشأ آنها (به عنوان یکی از اهداف اصلی این مطالعه) مجموعه کانی‌های یادشده در سه گروه مجزا شامل ذرات شیمیایی (Chemical)، بیوشیمیایی (Biochemical) و آواری (Terrigenous) مورد بررسی قرار می‌گیرند (جدول ۳). تقسیم بندی ذرات بر این اساس باعث می‌شود تا فرایندهای اصلی کنترل‌کنندهٔ رسوبگذاری در مکان (بخش‌های مختلف دریاچه) و زمان (محدوده‌های ویژه از حیات دریاچه) به خوبی شناخته شوند. لازمه پیش‌بینی میزان رسوبگذاری در بخش‌های مختلف دریاچه و ارائه هر گونه پیشنهاد احتمالی برای کنترل رسوبگذاری در هر بخش از دریاچه (مثل حاشیه بزرگراه یا دهانه پل) شناخت دقیق این فرایندهای رسوبگذاری در بخش‌های مختلف دریاچه و تغییرات آنها در طول زمان است.

ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی رسوبات و پراکندگی آنها در بخش‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که ژیپس، آراگونیت (به صورت گل آراگونیتی) هالیت و بخشی از ذرات پوشش‌دار موجود در رسوبات به طریقه شیمیایی گسترش پیدا کرده‌اند.

ذرات پلت (Pellet) که بیشتر به صورت پلت‌های مدفوعی (Fecal pellet) هستند و بخشی از ذرات پوشش‌دار به روش بیولوژیکی گسترش پیدا کرده‌اند. پلت‌های یادشده به طور عمده دارای اشکال میله‌ای با گردشدگی خوب هستند که از نظر ترکیب، آراگونیتی تا کلسیتی هستند (شکل ۴). در موارد متعددی آثار پیریتی شدن در بخش‌هایی از آنها مشاهده می‌شود که این امر به وجود اکسیدهای آهن همراه با کربنات در ترکیب این ذرات نسبت داده می‌شود.

ذرات کوارتز، فلدسپارها، بخشی از ذرات کلسیت، شیشه‌های آتشفشانی، پیروکسن‌ها، ذرات میکا، بخشی از سولفیدهای آهن، بخشی از ذرات دولومیتی، بیشتر کانی‌های رسی موجود در رسوبات و بخشی از مواد آلی به صورت آواری به محیط‌های مورد بررسی حمل شده‌اند. برخلاف تنوع زیاد کانی‌شناسی، فراوانی ذرات آواری در مقایسه با ذرات شیمیایی و بیوشیمیایی کمتر است (جدول ۳). مطالعه کانی‌های رسی و میکاها به عنوان بخش اصلی اجزاء آواری نشان می‌دهد که کانی‌های رسی موجود در رسوبات به طور عمده از نوع ایلیت، کائولن و مونت‌موریلونیت هستند (شکل ۵). براساس ترکیب کانی‌های رسی (فراوانی کائولینیت) و در نظر گرفتن شرایط لازم برای پایداری آن (pH اسیدی) نیز می‌توان حمل آنها را از بخش حاشیه یا برون حوضه نتیجه گیری نمود (Eugster and Hardie, 1978; Carrozi, 1993).

بررسی تغییرات اجزاء شیمیایی، بیولوژیکی و آواری در طول مغزه‌های مورد بررسی(شکل۶) نشان می‌دهد که رسوبگذاری در این بخش از حوضه تابع شرایط بسیار متعددی بوده و عواملی چون تغییر در رژیم جریان‌های رودخانه، جهت و شدت جریان‌های باد در سطح دریاچه، اختلاف چگالی آب ورودی و آب دریاچه و نوسانات سطح آب دریاچه از کنترل‌کنندگان اصلی این تغییرات بوده‌اند. تنوع شدید ذرات آواری (از نظر ترکیب) نیز نشان از سهیم بودن فرایندهای متعدد و منشأهای متنوع در تأمین رسوبات آواری به این بخش از حوضه رسوبی دارد. از نظر اندازه (Size) نیز کاهش محسوسی (اگرچه جزئی) در اندازه ذرات آواری در محل گمانه‌ها از خاور به باختر مشاهده می‌شود. چنین روندی در رسوبات تهیه شده از بستر دریاچه در حاشیه دایک‌ها محسوس نسیت .

افزون‌بر ذرات رسوبی یادشده (شیمیایی، بیولوژیکی و آواری) در نمونه‌های مورد مطالعه، کانی‌هایی مشاهده می‌شوند که به نظر می‌رسد گسترش آنها پس از رسوبگذاری و در محیط دیاژنز صورت گرفته است. افزایش در فراوانی این کانی‌ها با ژرفا و وجود شواهد مستند در مطالعات سنگ‌نگاری و SEM مانند پیریتی شدن برخی از پلت‌های مدفوعی (شکل ۴)، دیاژنتیک بودن آنها را به خوبی اثبات می‌نماید. این پدیده در پلت‌های موجود در بخش‌های زیرین مغزه‌ها مشهود است. پیریت‌های جانشین شده در پلت‌های مدفوعی از جمله کانی‌های دیاژنتیک موجود در رسوبات هستند که به فراوانی در بخش‌های مختلف قابل مشاهده هستند. بر این اساس پیریت به دو صورت آواری و دیاژنتیک در مغزه‌های مورد مطالعه حضور دارد. به نظر می‌رسد که بخشی از دولومیت‌های موجود در رسوبات نیز حاصل دولومیتی شدن کربنات کلسیم‌هایی هستند که به روش شیمیایی یا بیوشیمیایی در حوضه رسوب کرده‌اند. منشأ بخشی از دولومیت‌های موجود در رسوبات به حمل توسط باد از حاشیه دریاچه (پهنه‌های گلی) نسبت داده می‌شود. گسترش کانی‌های رسی در محیط دیاژنز (بویژه در بخش‌های ژرف) به احتمال حاصل دگرسانی کانی‌های ناپایداری چون فلدسپار نیز هست که امکان تفکیک آنها از انواع آواری در این مطالعه وجود ندارد. حضور فلدسپار تازه در رسوبات نشان می‌دهد که دگرسانی فلدسپار و گسترش کانی‌های رسی دیاژنتیک چندان قابل ملاحظه نبوده است.

۴-۲. بافت (Texture)

ذرات شیمیایی و بیولوژیکی از نظر اندازه بسیار متنوع بوده و در حد گراول (بین ۴-۲ میلی‌متر) ، ماسه تا گل مشاهده می‌شوند. با توجه به عوامل اصلی کنترل‌کننده تشکیل این ذرات اندازه ذرات تابع ترکیب شیمیایی آنها بوده به طوری که ذرات در حد گراول محدود به ذرات پوشش‌دار (coated grains)، انتراکلاست‌ها و برخی از تیغه‌های ژیپس موجود در رسوبات می‌شود (شکل ۷). پلت‌ها به عنوان فراوان‌ترین ذرات غیرآواری در رسوبات سطحی به طور عمده در حد ماسه متوسط تا ماسه درشت ظاهر می‌شوند. این ذرات در بخش‌های مختلف مغزه‌ها نیز مشاهده می‌شوند (شکل ۴) به طوری که فراوانی آنها از سطح به ژرفا کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. انواع موجود در افق‌های پایین‌تر به طور عمده پیریتی شده‌اند و به احتمال همین تغییر دیاژنتیک باعث حفظ آنها در رسوبات شده است. این ذرات در بخش‌هایی از مغزه‌ها دچار خردشدگی شدید شده و به ذرات کوچک‌تر (ماسه ریز تا سیلت) تبدیل شده‌اند. آراگونیت با منشأ شیمیایی در رسوبات به صورت گل (اندازه ریزتر از ۶۳ میکرون) حضور دارد که تغییر شکل‌هایی را پس از رسوبگذاری نیز متحمل شده است.

مؤلفه شکل (shape) در این ذرات نیز متغیر بوده و به طور عمده توسط ترکیب کنترل شده است. پلت‌ها با ظاهر بیضوی در بررسی‌های میکروسکوپی و به صورت میله‌های استوانه‌ای با گردشدگی خوب در بررسی‌های SEM در رسوبات حضور دارند که آثار خردگی و پیریتی شدن در سطح آنها مشهود است (شکل ۴). ذرات پوشش‌دار نیز به صورت کروی تا بیضوی مشاهده می‌شوند که در آنها کربنات کلسیم یا ژیپس در اطراف یک هسته اولیه (ذرات آواری، یا خرده اسکلتی) رشد نموده است (شکل ۸). بافت کربنات کلسیم به صورت مماسی یا عمود بر دیواره با ساختمان متحدالمرکز تا شعاعی متغیر است. بافت شعاعی این ذرات پوشش‌دار در مطالعات میکروسکوپی به راحتی ترکیب آراگونیتی غشای آنها را مشخص می‌سازد.

بررسی بافت ذرات شیمیایی و بیوشیمیایی در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد

که شکل و اندازه آنها به شدت تحت تأثیر فرایندهای دیاژنتیک قرار گرفته است، به طوری که با افزایش ژرفا، بخش‌های غنی از ذرات شیمیایی و بیوشیمیایی ظاهر توده‌ای (massive) به خود گرفته و تغییر شکل‌های محسوسی در شکل ذرات از حالت کروی به بیضوی و میله‌ای مشاهده می‌شود. با وجود این، حفظ شکل اولیه رسوبی در بخش‌هایی از توالی‌ها نشان از انسجام نسبی این ذرات در هنگام رسوبگذاری و پیش از تدفین آنها را دارد.

بررسی‌های گرانولومتری نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد ذرات آواری در حد رس (clay) و ۳۰ درصد آنها در اندازه سیلت (silt) ماسه متوسط تا ماسه خیلی‌ریز (medium to very fine sand) هستند. فراوانی این اجزاء در گمانه‌های مورد مطالعه و تغییرات آنها در بخش‌های مختلف در جدول ۳ و شکل ۶ نشان داده شده است. ذرات پیروکسن، قطعات آتشفشانی، و بخشی از فلدسپارها، درشت‌ترین ذرات آواری موجود در رسوبات (ماسه متوسط تا ماسه‌ریز) را تشکیل می‌دهند. کانی‌های کوارتز، بخشی از فلدسپارها، کلسیت و کانی‌های سولفیدی (به‌طور عمده پیریت) در حد ماسه ریز تاسیلت ظاهر می‌شوند. کانی‌های رسی (شامل میکاها) و مواد آلی آواری نیز به طور عمده در حد رس در رسوبات حضور دارند. پراکندگی ذرات در نمونه‌ها تغییر محسوسی در اندازه ذرات از خاور به باختر (دهانه پل) را نشان می‌دهد ولی در نمونه‌های بستر هیچ تغییر محسوسی در اندازه ذرات دیده نمی‌شود. این شیوه پراکنش به نقش منشأ در تأمین رسوبات آواری نسبت داده می‌شود. بر اساس مؤلفه شکل، ذرات آواری در حد ماسه تا سیلت به طور عمده به صورت اتومورف (Euhedral) با شکل بلوری منظم تا نیمه منظم مشاهده می‌شوند (شکل ۹). این ذرات به طور عمده از کرویت و گردشدگی پایینی برخوردارند و به صورت زاویه‌دار (Angular) در رسوبات حضور دارند.

۴-۳. ساخت (Structure)

متداول‌ترین ساخت‌های رسوبی قابل مشاهده در نمونه‌ها، لایه‌بندی موازی (Parallel Lamination) است که به صورت افقی (horizontal) تا موجی (wavey) مشاهده می‌شود (شکل ۱۰). آثاری از تغییرشکل رسوبات در حالت نرم (soft sediment deformation) نیز به‌طور محلی مشاهده می‌شود. این امر به‌طور عمده به سرعت رسوبگذاری و تغییر در ترکیب کانی‌شناسی رسوبات و عکس‌العمل آنها در برابر تراکم ناشی از وزن طبقات بالایی نسبت داده می‌شود. تنوع کانی‌شناسی و رفتار متفاوت کانی‌ها در برابر تراکم ناشی از وزن طبقات بالایی منجر به گسترش ساخت‌های عدسی شکل در برخی رسوبات شده است. افق‌های غنی از ژیپس توده‌های گلی چنین ساخت‌رسوبی را نشان می‌دهند (شکل ۱۰). در تعدادی از مغزه‌ها آثار خفیفی از دانه‌بندی تدریجی به صورت تغییر در اندازه ذرات از ماسه متوسط تا ماسه‌ریز به سیلت و رس مشاهده می‌شود. در روی بخش غنی از سیلت و رس این نمونه‌ها به طور معمول آثاری از فعالیت دوباره رژیم جریان رسوبگذاری (Reactivation surface) نیز مشاهده می‌شود. مجموعه عوارض یاد شده نشان از ورود ذرات رسوبی به صورت معلق به محل رسوبگذاری توسط جریانی را دارد که به تدریج شدت آن کاهش یافته است. گسترش سطح یادشده به افزایش رژیم جریان و ورود دوباره رسوبات اشاره می‌نماید. گسترش این ساخت‌ها به محدوده‌های زمانی نسبت داده می‌شود که در طی آنها ذرات رسوبی با برتری بخش‌های آواری به محل رسوبگذاری حمل شده‌اند.

گسترش افق‌های غنی از قطعات کنده شده گل (mud clast) به صورت ذرات آواری درون حوضه‌ای (intraclast) در درون افق‌های گلی با ماهیت توده‌ای نیز از دیگر ساخت‌های رسوبی قابل مشاهده است (شکل ۷). گسترش این ساخت‌های رسوبی نیز به تغییرات شدید رژیم جریان در محیط رسوبگذاری نسبت داده می‌شود به طوری که گل‌های کربناتی (با ترکیب به طور عمده آراگونیتی) در زمان آرامش و رژیم پایین جریان در محیط رسوبگذاری گسترش یافته‌اند. غنی بودن آب دریاچه از کاتیون‌ها و آنیون‌های سیمان ساز باعث شده تا این گل‌ها در مدت زمان کوتاه یک سیمانی شدن اولیه را متحمل شده و به صورت قشرهای به نسبت سخت در آیند. تغییر رژیم جریان در محیط رسوبگذاری که به احتمال، به ورود رسوبات معلق همراه جریان‌های هیدرولیکی (جریان‌های متأثر از رژیم رودخانه و باد) مربوط است، یک اختلال نسبی در حوضه ایجاد نموده و گل‌های نهشته شده پیشین دچار فرسایش شده (انتراکلاست) و همراه ذرات در حد سیلت و رسی (گل) دوباره نهشته شده‌اند.

گسترش ساخت‌های متداول پهنه‌های گلی، مانند ترک‌های گلی، ژیپس‌های دم چلچله‌ای ژیپس‌های سرنیزه‌ای، ساخت تی‌پی (Tepee)، سال‌چینه (Varve) در نهشته‌های حاشیه دریاچه به فراوانی مشاهده می‌شوند (شکل ۱۱) که در برخی گزارش‌ها منتشر شده در مورد دریاچه به پاره‌ای از آنها اشاره شده است (Shahosseini, 2003). بالاآمدگی لایه‌های گل در مجاورت دایک‌های ایجاد شده در دریاچه به صورت دیاپیر (diapir) ناشی از فشار وزن دایک بر بستر دریاچه از عوارضی است که منجر به گسترش ساخت‌های رسوبی ناشی از فرار آب (Water escape structure) و دیاپیر گلی (mud diapir) در رسوبات حاشیه دایک‌ها شده است. کاهش در فراوانی ساخت‌های رسوبی با افزایش ژرفا در تمام گمانه‌ها به خوبی آشکار است. این امر به تغییر شکل رسوبات پس از نهشته شدن اشاره می‌نماید. این تغییر شکل در رسوبات به فراوانی کانی‌های ناپایدار و اشباع فضای بین ذرات از آب و همچنین حضور مواد آلی در بین ذرات نسبت داده می‌شود. این نتیجه از بررسی تغییر در ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی رسوبات در طول گمانه‌ها نیز به دست می‌آید.

۵- بررسی منشا رسوبات

با توجه به هیدروشیمی آب دریاچه، مهم‌ترین عامل مؤثر در گسترش رسوبات شیمیایی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی سازنده رسوبات (Ca^{2+}، K^{+}، Na^{+}، SO_4^{2-}) است که خود متأثر از آب‌های وارده به دریاچه و میزان تبخیر از سطح آن است. با در نظر گرفتن وضعیت جریان‌های هیدرولیکی متأثر از ورود آب‌ها و رژیم باد و جریان‌های متأثر از اختلاف چگالی (Density currents) می‌توان شرایط به نسبت یکسان شیمیایی برای بخش‌های مختلف محدوده مورد مطالعه در نظر گرفت. در گسترش ذرات بیوشیمیایی در یک حوضه رسوبی، افزون‌بر پارامترهایی چون غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های سازنده ذره عواملی چون Eh ، pH، شوری، دما، فشار، و نوع و فراوانی موجودات گیاهی و جانوری نیز نقش اساسی دارند (Sandberg, 1975).

پلت‌های مدفوعی که به طور عمده ترکیب آراگونیتی تا کلسیتی دارند یک مرحله پیریتی شدن نسبی در بخش‌های زیرین گمانه‌ها نشان می‌دهند. پیریتی شدن این پلت‌ها نشان می‌دهد که این ذرات بلافاصله پس از رسوبگذاری در یک شرایط کاهیده (reduction) قرار گرفته‌اند. گسترش ذرات پلت و رسوبات غنی از پلت در افق‌های خاصی از توالی‌های رسوبی نیز نشان می‌دهد که فراوانی آنها تابع شرایط خاص محیطی بوده که در آن شرایط موجودات پلت‌ساز (خرچنگ آرتمیا) امکان رشد و توسعه داشته‌اند. بررسی فراوانی این ذرات در طول مغزه‌های مورد مطالعه و مقایسه این فراوانی با ذرات شیمیایی و آواری (شکل ۶) نشان می‌دهد که به طور عمده در شرایطی گسترش یافته‌اند که حوضه کمتر از رسوبات آواری متأثر شده و شرایط شیمیایی موجود در دریاچه (به طور عمده از نظر شوری و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها) به گونه‌ای بوده است که امکان گسترش رسوبات شیمیایی بویژه ژیپس و هالیت کاهش یافته است (بالا بودن نسبی سطح آب). پلت‌ها کم و بیش در تمام طول مغزه‌ها مشاهده می‌شوند و به طور کلی در بخش‌های ژرف‌تر

فراوانی کمتری نسبت به بخش‌های سطحی دارند. به نظر می‌رسد که حفظ آنها در بخش‌های زیرین مغزه‌ها مدیون پیریتی شدن آنها پس از رسوبگذاری است. گرچه در این مطالعه بررسی دقیق پراکندگی آنها امکان نیافت، ولی مشخص شد که ورود قابل‌توجه آواری‌ها و شوری شدید، گسترش آنها را محدود می‌نموده است. گسترش جلبک‌های مؤثر در تشکیل ذرات پوشش‌دار تابع شرایط مشابهی بوده است. به نظر می‌رسد که گسترش جلبک‌ها و موجودات پلت‌ساز در شرایط به نسبت یکسان صورت پذیرفته و به دلیل تغذیه موجودات پلت‌ساز از جلبک‌ها، گسترش آنها در ارتباط تنگاتنگ با یکدیگر بوده است. با توجه به این که جلبک‌های موجود در دریاچه (Campylodiscus, Aphanothece, Dunaliella) و خرچنگ آرتمیا به عنوان اصلی‌ترین موجودات دریاچه شناخته می‌شوند (Ahmadi, 2002)، بدیهی است که گسترش رسوبات بیوشیمیایی تابع گسترش این موجودات است.

تطابق به نسبت خوب در فراوانی مواد آلی با فراوانی آثار زیستی در بخش‌هایی از نمونه‌ها به خوبی نشان می‌دهد که گسترش بخشی از مواد آلی موجود در رسوبات به فعالیت موجودات زنده (سیانوباکتری‌ها، جلبک‌ها) مربوط است. از طرفی وجود مقدار قابل توجهی مواد آلی در رسوبات آواری تهیه شده از رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه، نشان می‌دهد که بخشی از مواد آلی موجود در رسوبات به صورت آواری و از خارج دریاچه حمل شده‌اند. بر این اساس، فراوانی مواد آلی در رسوبات به فعالیت‌های زیستی در دریاچه و میزان بار معلق وارده به آن بستگی دارد. مقایسه ترکیب کانی‌شناسی رس‌ها (شکل ۵) با انواع اندازه‌گیری شده در بار معلق رودخانه‌های باختری و جنوبی دریاچه (شکل ۱۲) نیز حمل آنها از برون حوضه و توسط رودخانه‌هایی چون زرینه‌رود، سیمینه‌رود، شهرچای، نازلوچای و باراندوزچای را به خوبی مشخص می‌سازد. فراوانی کانی‌های رسی ایلیت، کائولینیت و مونت‌موریلونیت (ایلیت>کائولن>مونت‌موریلونیت) در بار معلق رودخانه‌های یادشده نقش قابل‌ملاحظه آنها را در تأمین کانی‌های رسی محل مورد مطالعه نشان می‌دهد. پراکندگی ذرات آواری در محل گمانه‌ها و بستر دریاچه نیز اطلاعات با ارزشی در مورد منشأ و عوامل مؤثر در رسوبگذاری آنها به دست می‌دهد. به طور کلی فراوانی ذرات آواری در محل گمانه‌ها (دهانه پل) از خاور به باختر کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار این ذرات در خاوری‌ترین بخش دهانه (حدود ۴۰ درصد) مشاهده می‌شود. چنین روند تغییرات در فراوانی این ذرات در بستر دریاچه در حاشیه دایک خاوری مشاهده نمی‌شود و میزان ذرات آواری در رسوبات این بخش از حوضه حدود ۳۰ درصد است. فراوانی ذرات آواری در بستر دریاچه در حاشیه جنوبی دایک باختری حالتی مغایر با محل گمانه‌ها (دهانه اصلی) دارد. فراوانی این ذرات در حاشیه جنوبی دایک باختری از خاور به باختر افزایش می‌یابد. این نحوهٔ پراکنش در ترکیب کانی‌شناسی نشان می‌دهد که ذرات آواری غالباً به صورت بار معلق (suspension load) به محل رسوبگذاری حمل شده‌اند. مقایسه ترکیب کانی‌شناسی رسوبات مورد مطالعه باترکیب کانی‌شناسی بار معلق رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه نیز به خوبی این ادعا را تأیید می‌نماید

(مقایسه شکل‌های ۵ و ۱۲). مسلم است که حمل بخشی از ذرات آواری به محل رسوبگذاری توسط باد و از زمین‌های حاشیه دریاچه صورت گرفته است که امکان تعیین میزان و چگونگی حمل آنها به محل تهنشست در شرایط فعلی میسر نیست.

نحوهٔ پراکنش ذرات آواری در بستر دریاچه در محل گمانه‌ها نشان می‌دهد که رودخانه آجی‌چای نقش بسیار اساسی در تأمین رسوبات آواری (بویژه اجزاء دانه‌درشت مثل پیروکسن‌ها، قطعات آتشفشانی، کوارتز، فلدسپارها و میکاها به محل دهانه پل را در طول زمان برعهده داشته است. روند کاهشی در فراوانی این ذرات از خاور به باختر در محل گمانه‌ها به منشأ ورود ذرات از خاور مربوط است. به طور حتم وجود جریان‌های جنوبی شمالی در دریاچه در پراکنش رسوبات وارده از خاور و کاهش فراوانی آنهابه سمت باختر نیز مؤثر بوده‌اند. عدم وجود چنین روند تغییراتی در رسوبات بستر دریاچه در حاشیه باختری به کاهش نقش آجی‌چای در تأمین رسوبات آواری به محل دریاچه مربوط است. به نظر می‌رسد که پایین‌آمدگی تراز آب و متصل شدن جزیره اسلامی به خشکی از طریق گسترش مخروط افکنه‌های رودخانه آجی چای در بخش خاوری جزیره و از طرفی کاهش در میزان بار رسوبی رودخانه با ایجاد سدهای مخزنی بر روی آن و منحرف شدن کانال‌های انشعابی روی مخروط افکنه‌های این رودخانه به سمت شمالی جزیره اسلامی عوامل اصلی کاهش در میزان بار ورودی به این بخش از دریاچه هستند. مقایسه کانی‌شناسی رس‌های موجود در بار معلق رودخانه‌های باختر و جنوب دریاچه (شکل ۱۲) با انواع موجود در مغزه‌های مورد مطالعه (شکل ۵) و تشابه در ترکیب (ایلیت، کائولینیت و مونت‌موریلونیت) و فراوانی آنها به خوبی نشان می‌دهد که عمده کانی‌های رسی حمل شده به محل دهانه پل و حاشیه جنوبی دایک‌ها از منشأ رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه هستند. اختلاف چگالی آب ورودی با آب دریاچه همراه با وجود جریان‌های بادی با روند جنوبی- شمالی باعث شده تا این ذرات بتوانند مسافت به نسبت طولانی را حمل کنند. در این زمینه کانی‌های رسی حمل شده توسط زرینه‌رود و سیمینه‌رود نیز متأثر بوده‌اند.

فراوانی ذرات آواری (به طور عمده رس‌ها) در رسوبات بستر حاشیه جنوبی دایک باختری و روند فراوانی آنها (افزایش از خاور به باختر) نیز نشان می‌دهد که این ذرات به طور عمده به صورت بار معلق و از خارج حوضه به این منطقه حمل شده‌اند. فراوانی بیشتر آنها در بخش باختری به نیمه بسته بودن محیط (در اثر احداث دایک باختری) و تغییر در رژیم هیدرولیکی دریاچه در منطقه مورد مطالعه و عدم امکان حمل این ذرات به بخش‌های شمالی و از طرفی نزدیکی این بخش از حوضه به رودخانه‌هایی با فراوانی بار معلق (شهرچای، باراندوزچای، نازلوچای و روضه‌چای) نسبت داده می‌شود. به نظر می‌رسد که تغییرات عمده ایجاد شده در رسوبگذاری بستر دریاچه پس از احداث دایک‌ها مربوط به انباشت رسوبات آواری یاد شده در این بخش از حوضه باشد. این رسوبات با فراوانی کانی‌های رسی، ذرات کربناتی و مواد آلی آواری مشخص هستند. منشأ ذرات کربناتی آواری به سازندهای آهکی (به طور عمده سازند قم) موجود در بخش جنوب باختری دریاچه نسبت داده می‌شود. وجود شرایط باتلاقی با فراوانی پوشش گیاهی در مصب رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود وضعیت مساعدی برای گسترش مواد آلی (گیاهی) در این منطقه فراهم نموده است. در این بخش از حوضه به دلیل کاهش شوری محیط (ورود آب شیرین زرینه‌رود و سیمینه‌رود) آثاری از گاستروپودهای آب شیرین و برخی ماهی‌ها نیز مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد که منشأ اصلی مواد آلی آواری موجود در رسوبات مورد مطالعه به این بخش از دریاچه مربوط باشد. وجود شرایط مشابه در حاشیه سایر رودخانه‌های تغذیه کننده از دیگر منشأهای احتمالی مواد آلی آواری در رسوبات به شمار می‌رود.

بررسی تغییرات اجزای سازنده رسوبات (از نظر ترکیب کانی شناسی) درگمانه‌های مورد مطالعه (شکل۶) نشان می‌دهد که تغییرات فراوانی اجزای آواری در محدوده زمان تابع شرایط بسیار متعددی بوده و عواملی چون تغییر در رژیم جریان‌های رودخانه، جهت و شدت جریان‌های باد در سطح دریاچه، اختلاف چگالی آب ورودی و آب دریاچه و نوسانات سطح آب دریاچه ازکنترل کنندگان اصلی این تغییرات بوده‌اند. تنوع شدید ذرات آواری (ازنظر ترکیب) نیز نشان از سهیم بودن فرایندهای متعدد و منشأهای متنوع در تأمین رسوبات آواری به این بخش از حوضه رسوبی را دارد. این نحوهٔ پراکنش به نقش منشأ در تأمین رسوبات آواری نسبت

داده می‌شود. ذرات پیروکسن، قطعات آتشفشانی، برخی از فلدسپارها به عنوان درشت‌ترین ذرات آواری موجود در رسوبات از بخش خاوری حوضه (آجی‌چای) به محل مطالعه حمل شده‌اند. تغییر در فراوانی آنها در طول گمانه‌ها نیز به تغییر در میزان ورود مواد آواری از طریق آجی‌چای به دریاچه مربوط است. مسلم است که بالا بودن سطح آب دریاچه به عنوان پارامتر مؤثر دیگری در فراوانی آنها عمل نموده است به گونه‌ای که در زمان بالا بودن تراز آب، این ذرات به طور عمده در بخش‌های حاشیه‌ای حوضه ته‌نشین شده و کمتر به محل دهانه حمل شده‌اند. به عبارت دیگر گسترش ذرات آواری دانه درشت در محل دهانه پل به زمان‌های پایین بودن تراز آب و افزایش بار رسوبی آجی‌چای نسبت داده می‌شوند. منشأ ذرات آواری در حد ماسه خیلی ریز و سیلت، افزون‌بر آجی‌چای به رودخانه‌های جنوبی و باختری دریاچه نیز مربوط می‌شود. وجود جریان‌های چگال در دریاچه در هدایت این ذرات از بخش جنوب و باختری دریاچه به محل موردمطالعه نقش اساسی داشته‌اند. وجود ذرات آواری مشابه در رسوبات رودخانه‌های جنوبی و باختری دریاچه گویای این مطلب است. برای ذرات در حد رس نیز منشأ مشابه با انواع در حد سیلت و ماسه ریز درنظر گرفته می‌شود، اگرچه فراوانی آنها بیشتر از ذرات در حد سیلت و رس است. مشابه چنین نتیجه‌ای از بررسی ترکیب کانی‌های رسی نیز به دست می‌آید.

بررسی وضعیت شکل ذرات آواری و نقش سازوکار حمل ذرات روی شکل آنها، نشان می‌دهد که این ذرات به طور عمده به صورت بار معلق (Suspension) به درون حوضه حمل شده‌اند. در مورد بخشی از ذرات دانه‌درشت (ماسه‌های متوسط) نزدیکی محل منشأ (آبرفت‌های آجی‌چای و جزیره اسلامی) به محل رسوبگذاری نیز در ظهور چنین وضعیتی مؤثر بوده است. عدم مشاهده کانی‌های رسی با شکل اتومورف در بررسی‌های SEM نشان می‌دهد که شکل این ذرات در حین حمل و نقل دچار تغییراتی شده است. این ذرات گرچه به طور عمده به صورت بار معلق حمل شده‌اند ولی به دلیل ناپایداری شدید و فرسایش در حین حمل و نقل به طور بخشی دچار تغییر شکل شده‌اند. بر این اساس، شناسایی آنها تنها با بررسی ترکیب و با استفاده از دستگاه پراش اشعه X (XRD) امکان‌پذیر است.

کربنات کلسیم به صورت کلسیت و دولومیت و به صورت قطعات آواری با آثار حمل و نقل با شکل زاویه‌دار و نامنظم در نمونه‌ها به طور محدود مشاهده می‌شوند. شکل نامنظم این ذرات (با توجه به ناپایداری آنها در مقابل فرسایش) همراه با وجود قشرهای نازک کربناتی در برخی از مغزه‌ها نشان می‌دهد که بخشی از این ذرات به صورت درون حوضه‌ای (intraclast) هستند که از بخش‌های حاشیه‌ای و یا محل‌هایی که در آنها شرایط گسترش کربنات کلسیم فراهم بوده حمل شده‌اند. برخی از ذرات کربنات کلسیم که گردشدگی و کرویت بیشتری نشان می‌دهند و به طور عمده در اندازه ماسه ریز تا سیلت در رسوبات ظاهر می‌شوند همراه سایر ذرات آواری از خارج حوضه حمل شده‌اند. وجود کلسیت در بار معلق رودخانه‌های باختری (نازلوچای، باراندوز چای، شهرچای) نیز گویای حمل بخشی از ذرات کربناتی از خارج حوضه رسوبی به محل رسوبگذاری است. وجود آثاری از هوازدگی (اکسیدهای آهن) در حاشیه این ذرات، حمل آنها از خارج حوضه را به خوبی اثبات می‌نماید. گسترش سازند قم در بخش جنوب باختری دریاچه در تأمین این ذرات به درون حوضه نقش اساسی داشته است. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده برروی ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی رسوبات نشان می‌دهد که رسوبگذاری در محل گمانه‌ها به طور عمده از حالت معلق (Suspension) صورت گرفته است.

نتایج مربوط به مطالعه ساخت‌های رسوبی در نمونه‌های مورد مطالعه نیز به خوبی نقش رسوبگذاری از حالت معلق در تشکیل نهشته‌های بستر دریاچه را مشخص می‌سازد. با وجودی که مقدار قابل توجهی از ذرات رسوبی (متوسط ۳۰ درصد) به صورت آواری و از خارج حوضه به محل رسوبگذاری حمل شده‌اند، رسوبگذاری آنها به طور عمده از حالت معلق صورت پذیرفته و نقش عوامل دیگر مانند جریان‌های کششی (Traction currents) در تشکیل آنها بسیار ناچیز و یا صفر بوده است. در بررسی ساخت‌های رسوبی، کاهش در فراوانی ساخت‌های رسوبی با افزایش ژرفا در تمام گمانه‌ها به خوبی آشکار است. این امر به تغییر شکل قابل‌ملاحظه رسوبات پس از نهشته شدن اشاره می‌نماید. تغییر شکل رسوبات به فراوانی کانی‌های ناپایدار و اشباع فضای بین ذرات از آب و همچنین حضور مواد آلی در بین ذرات نسبت داده می‌شود. این نتیجه از بررسی تغییر در ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی رسوبات در طول گمانه‌ها نیز به دست می‌آید.

۶- نتیجه‌گیری

بررسی حاضر نشان می‌دهد که محیط حاشیه بزرگراه و دهانه پل تنها از بار معلق رودخانه‌های جنوبی (زرینه‌رود ، سیمینه‌رود) و باختری دریاچه (باراندوزچای، شهرچای، نازلوچای) متأثر شده است. بار معلق وارده از سوی رودخانه‌های یادشده به محل رسوبگذاری در شرایط سیلابی رودخانه و زمان‌های تراز پایین آب و بالا بودن میزان شوری دریاچه در بالاترین مقدار خود بوده است. مسلم است که ورود بار معلق از رودخانه‌های یادشده با میزان بار ورودی رودخانه و دبی آن نیز وابستگی مستقیم داشته است. لیکن توجه به این نکته ضروری است که در شرایط تراز بالای آب و پایین بودن شوری محیط و در نتیجه کاهش اختلاف چگالی جریان ورودی با آب دریاچه ذرات معلق موجود در جریان‌های ورودی مسیر کمتری در دریاچه طی می‌نمایند، لذا بخش محدودتری از آنها به محل رسوبگذاری در حاشیه بزرگراه رسیده‌اند. با توجه به رابطه مستقیم تراز آب دریاچه و دبی رودخانه‌های ورودی به نظر می‌رسد که مستعدترین شرایط برای حمل ذرات آواری مربوط به بار معلق رودخانه‌های یادشده دوره‌های سیلابی رودخانه‌ها در محدوده‌های پایین بودن تراز آب باشد. به عبارت دیگر جریان‌های سیلابی با رژیم جریان بالا ولی متغیر که در دوره‌ها و فصول تراز پایین آب دریاچه اتفاق می‌افتند عوامل اصلی کنترل‌کننده رسوبگذاری ذرات آواری در بخش‌های مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شوند. بر همین اساس، هر گونه برنامه‌ریزی برای کاهش ورود این بخش از ذرات رسوبی به حاشیه بزرگراه، باید با اولویت‌دهی به جریان‌های سیلابی در زمان‌های تراز پایین آب تنظیم شود.

در محدوده‌های زمانی که تراز آب پایین است، به دلیل بالا بودن نسبی شوری محیط و افزایش چگالی آب دریاچه، اختلاف چگالی آب شیرین ورودی و آب دریاچه افزایش می‌یابد و ذرات معلق حمل شده از طریق رودخانه‌ها در حجم بیشتر و اندازه‌های درشت‌تر می‌توانند به محل رسوبگذاری حمل شوند. پراکندگی ذرات آواری از نظر اندازه و ترکیب کانی‌شناسی نشان می‌دهد که رسوبات مورد مطالعه افزون بر بار معلق در حد محدودی از بار بستر رودخانه آجی‌چای نیز متأثر بوده‌اند. این تأثیر به طور عمده به دلیل نزدیکی مخروط افکنه رودخانه آجی‌چای به محل مورد مطالعه است. کاهش در میزان ذرات آواری یادشده در طول گمانه‌ها به کاهش نقش رودخانه آجی‌چای در تأمین رسوب به این بخش از حوضه نسبت داده می‌شود. مسلم است که گسترش قابل‌ملاحظه مخروط‌افکنه تلخه‌رود در اثر مجاورت با جزیره اسلامی و مهاجرت تدریجی کانال‌های انشعابی موجود در سطح این مخروط افکنه به سمت نیمه شمالی درکاهش حمل ذرات آواری به محل دریاچه بسیار مؤثر شده است. وضعیت این مخروطه‌افکنه در حال حاضر به گونه‌ای است که حتی در شرایط سیلابی به طور عمده بار رسوبی حمل شده توسط کانال‌های انشعابی به نیمه شمالی هدایت می‌شود.

گستردگی قابل ملاحظه مخروط‌افکنه رودخانه آجی‌چای با فراوانی ذرات دانه ریز در سطح آن، شرایط مناسبی برای حمل ذرات از سطح این مخروط افکنه به دریاچه توسط باد را نیز فراهم نموده است. حمل این ذرات در حد قابل‌ملاحظه و توسط جریان‌های بادی موسوم به بادهای تبریز اتفاق می‌افتد. به طور کلی عوامل اصلی کنترل کننده رسوبگذاری بخش آواری رسوبات مورد مطالعه، جریان‌های رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه در نظر گرفته می‌شوند. در این راستا، جریان‌های سیلابی رودخانه آجی‌چای در تأمین ذرات آواری در حد ماسه و سیلت و جریان‌های سیلابی رودخانه‌های شهرچای، باراندوزچای، نازلوچای، زرینه‌رود و سیمینه‌رود به عنوان عوامل اصلی کنترل‌کننده رسوبگذاری ذرات در حد رس معرفی می‌شوند. بالا بودن چگالی آب دریاچه در زمان‌های تراز پایین و وجود جریان‌های هیدرولیکی (متأثر از رژیم باد و جریان رودخانه‌ها) در هدایت ذرات آواری به محل رسوبگذاری نقش اساسی داشته‌اند.

بررسی مشخصه‌های کانی‌شناسی و بافتی رسوبات شیمیایی و پراکندگی آنها در طول گمانه‌ها و ارتباط گسترش این گروه از رسوبات با تغییرات سطح آب دریا نشان می‌دهد که کاهش سطح آب دریاچه نقش اساسی در افزایش رسوبگذاری ذرات شیمیایی داشته است. ورود کاتیون‌ها و آنیون‌های سازنده این ذرات (Cl- ، Na+ ، HCO3- ، K+ ، Mg+2 ، Ca+2، SiO4H4 ، SO4-2, CO3-2) به صورت محلول توسط آب‌های سطحی (رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه) و آب‌های زیرسطحی، مواد اولیه لازم در تشکیل این کانی‌ها را فراهم نموده است.

بررسی‌های انجام شده پیشین بر روی منشأ یون‌های موجود در دریاچه (e.g. Ghazban et al., 1998) به خوبی نقش رودخانه‌های حاشیه دریاچه (بویژه آجی‌چای) را در تأمین یون‌های مورد نیاز ذرات شیمیایی مشخص نموده است (گزارشات داخلی وزارت راه). افزایش غلظت یون‌های سازنده ذرات شیمیایی در زمان‌های تراز پایین همراه با ایجاد شرایط مناسب از نظر تغییرات pH شرایط مساعد برای رسوبگذاری این ذرات (ژیپس، آراگونیت، هالیت، کارنالیت) را فراهم نموده است. فراوانی ذرات شیمیایی در طول گمانه‌ها و نمونه‌های تهیه شده از بستر نشان می‌دهد که تغییرات غلظت یون‌های موجود در آب دریاچه که خود متأثر از تغییرات سطح آب دریاچه و ورود آب‌های شیرین بوده به عنوان عوامل اصلی کنترل‌کننده رسوبگذاری این ذرات عمل کرده‌اند. تغییر سایر پارامترهای مؤثر در تشکیل ذرات شیمیایی (دما ، pH ،Eh و ...) یا خود متأثر از تغییرات سطح آب دریاچه بوده ویا نقش جزئی در گسترش این ذرات داشته‌اند.

مقایسه ذرات شیمیایی موجود در نمونه‌های بستر (رسوبات فعلی) با انواع به دست آمده از گمانه‌ها تغییر محسوسی از نظر نوع و فراوانی نشان نمی‌دهد. این امر نقش ناچیز دایک‌های ایجاد شده در محل میان‌گذر در عوامل اصلی کنترل کننده رسوبگذاری این ذرات در دریاچه را نشان می‌دهد. در صورت نیاز به هر گونه برنامه‌ریزی برای کنترل گسترش رسوبات شیمیایی در دریاچه بررسی و کنترل تغییرات سطح آب دریاچه و پیرو آن، شوری آب دریاچه از مهم ترین مسائلی هستند که باید مدنظر قرار گیرند. این مهم از طریق کنترل میزان آب‌های ورودی با در نظر داشتن میزان تبخیر باید صورت پذیرد. بدیهی است که احداث سدهای مخزنی متعدد با اهداف کشاورزی یا تأمین آب مصرفی برخی شهرها و روستاها بر روی رودخانه‌هایی چون تلخه‌رود، شهرچای و زولاچای، تأثیر اساسی در تغییرات سطح آب و پیرو آن، گسترش رسوبات شیمیایی در دریاچه داشته باشد که باید به عنوان موضوع جداگانه‌ای مورد بررسی دقیق قرار گیرند.

با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد ترکیب کانی‌شناسی و مشخصه‌های بافتی ذرات بیوشیمیایی و پراکندگی آنها در طول گمانه‌های مورد مطالعه به خوبی مشخص می‌شود که گسترش این ذرات پیرو جمعیت‌های جانوری و گیاهی موجود در دریاچه است. هر عاملی که در گسترش یا محدود نمودن جمعیت‌های جانوری و گیاهی موجود در دریاچه نقش داشته باشد، در رسوبگذاری این ذرات مؤثر خواهد بود. بررسی این بخش از ذرات رسوبی در نمونه‌های مورد مطالعه و مقایسه فراوانی آنها با ذرات آواری و شیمیایی به خوبی نشان می‌دهد که گسترش آنها در دوره‌های مناسب برای تشکیل ذرات شیمیایی محدود شده است. این امر حاکی از آن است که گسترش رسوبات بیوشیمیایی (به تبع از گسترش جلبک‌ها و خرچنگ آرتمیا) با افزایش شوری دریاچه (غلظت یون‌های مؤثر در تشکیل ذرات شیمیایی) دچار تحول شده است. به دلیل این که گسترش رسوبات بیوشیمیایی در دریاچه در شرایط فعلی آن تابع گسترش جمعیت خرچنگ آرتمیا و جلبک‌های موجود در دریاچه است، طبیعی است که هر شرایطی که گسترش این موجودات را در دریاچه دچار اختلال نماید (شوری زیاد یا کاهش شدید یون‌های موجود درآب)، باعث اختلال در میزان رسوبگذاری ذرات بیوشیمیایی می‌شود. براین اساس در کنترل رسوبگذاری ذرات بیوشیمیایی قدم اصلی بررسی عوامل اصلی کنترل کننده گسترش موجودات جانوری و گیاهی موجود در دریاچه است که در این زمینه اطلاعات کافی در دسترس است (e.g. Ahmadi, 2002).

مقایسه فراوانی و نوع این ذرات در طول گمانه‌ها با انواع موجود در نمونه‌های بستر تغییر محسوسی در فراوانی و نوع آنها نشان نمی‌دهد. براین اساس به نظر می‌رسد که گسترش آنها همانند ذرات شیمیایی تأثیر قابل توجهی از احداث دایک‌های ایجاد شده در دریاچه نپذیرفته‌اند. در بررسی رسوبات حاشیه دریاچه و پادگانه‌های قدیمی (هولوسن) اطراف آن آثاری از بقایای دوکفه‌ای‌ها و شکم‌پایان مشخص آب شیرین به دست آمد (شکل ۱۳). فراوانی آثار یاد شده در پادگانه‌های قدیمی و عدم حضور آنها در رسوبات فعلی دریاچه نشان می‌دهد که به تدریج بر میزان شوری آب دریاچه افزوده شده است. متأسفانه در این مرحله از مطالعه، به دلیل محدودیت در تعیین سن صدف‌های یادشده امکان تعیین سن پادگانه‌های آبرفتی و در نتیجه تعیین روند افزایش شوری ممکن نشده ولی آنچه مسلم است آب دریاچه ارومیه، بر خلاف تغییرات جزئی و محلی، یک روند صعودی در میزان شوری را در طی هولوسن متحمل شده است. مسلم است که احداث سدهای مخزنی بر روی رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه بر روی این روند صعودی تأثیر بسزایی خواهد داشت.

اجزای آواری سازنده رسوبات از نظر ویژگی‌های بافتی به طور عمده در حد رس (۷۰٪ ذرات آواری)، سیلت، ماسه متوسط و ریز (۳۰ ٪ ذرات آواری) هستند که از نظر ویژگی‌های رسوب‌شناسی، اجزا در حد ماسه و سیلت قابل مقایسه با انواع موجود در بار بستر و معلق رودخانه آجی‌چای واجزای در حد رس قابل مقایسه با بار معلق رودخانه‌های بخش جنوبی و باختری دریاچه هستند. طرح پراکنش رسوبات آواری و نسبت آنها به رسوبات شیمیایی و بیولوژیکی و تغییر ویژگی‌های بافتی اجزای آواری در محل گمانه‌ها و حاشیه جنوبی دایک باختری بزرگراه امکان تقسیم رودخانه‌های حاشیه دریاچه را به دو گروه اصلی مؤثر و غیر مؤثر در تأمین بار رسوبی به محل مورد مطالعه ممکن می‌سازد (جدول ۴).

در بررسی حاضر شواهدی دال بر تأثیر رودخانه‌های نیمه شمالی (زولاچای و رودخانه‌های شمال دریاچه) در تأمین رسوبات آواری به حاشیه بزرگراه به دست نیامد. این امر به وضعیت جریان‌های هیدرولیکی موجود در دریاچه و مقدار محدود بار رسوبی رودخانه‌های شمالی (۴۲۹۳۳۸ تن در سال معادل۸/۰۶ در صد کل بار رسوبی وارده به دریاچه) مربوط است. مسلماً سد در حال احداث بر روی رودخانه زولاچای تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش مقدار بار رسوبی در این بخش از حوضه ایفا خواهد نمود. نتایج حاصل از این بررسی تأثیر رودخانه‌های نیمه جنوبی دریاچه

را در تأمین رسوب برای محل‌های مورد مطالعه به خوبی مشخص می‌سازد. بر اساس مشخصه‌های رسوب‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه و مقایسه آنها با انواع مربوط به بار معلق رودخانه‌هایی که به دریاچه می‌ریزند و با توجه به موقعیت این رودخانه‌ها نسبت به بزرگراه و وضعیت جریان‌های آبی درون دریاچه و توپوگرافی بستر دریاچه، رودخانه‌های مؤثر در تأمین ذرات آواری به حاشیه بزرگراه نیز در سه گروه مجزا (۱- جنوب، جنوب باختری و جنوب خاوری، ۲- خاوری ، ۳- باختری) قابل بررسی هستند (جدول۴).

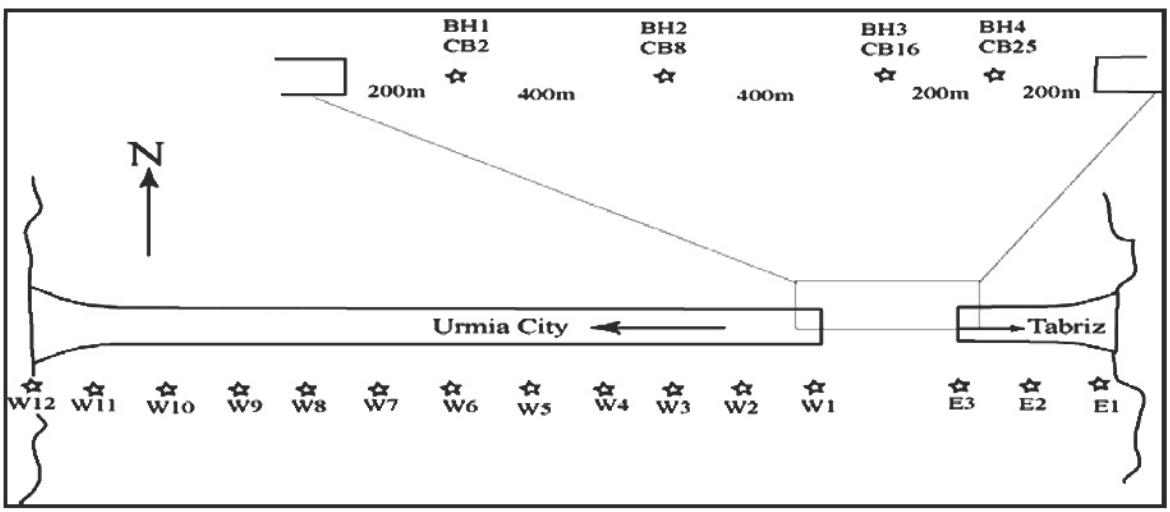
مطالعه حاضر نشان می‌دهد که رودخانه آجی‌چای نقش قابل‌ملاحظه‌ای در تأمین رسوب به حاشیه بزرگراه به صورت بار بستر داشته است به طوری که منشأ کلیه ذرات آواری در حد سیلت و درشت‌تر در محل گمانه‌ها به این رودخانه نسبت داده می‌شود. کاهش مقدار ذرات در حد سیلت و ماسه ریز در گمانه‌های مورد مطالعه به سمت بالا (شکل ۶) نشان می‌دهد که این نقش در طول زمان به دلیل گسترش دشت سیلابی وسیع در خاور جزیره اسلامی، کاهش دبی جریان ورودی به دریاچه در اثر احداث سد و انحراف تدریجی بخشی از کانال‌های انشعابی در سطح این پهنه آبرفتی به سمت نیمه شمالی دریاچه بسیار کمرنگ شده است. موقعیت پل اصلی بر روی بزرگراه نسبت به محل ورود رسوبات آواری توسط این رودخانه و پراکنش رسوبات وارده از طریق این رودخانه توسط جریان‌های هیدرولیکی در محل پل اصلی و وضعیت کانال‌های انشعابی در سطح این پهنه آبرفتی به گونه‌ای است که در صورت لزوم، امکان هدایت بار رسوبی وارده از این طریق به نیمه شمالی دریاچه ممکن است. رسوبات وارده به حریم بزرگراه از طریق رودخانه‌های جنوبی (گروه۱ از مجموعه ب) به طور عمده در حد رس (کمتر از ۴ میکرون) هستند که به دلیل وضعیت جریان‌های آبی درون حوضه و ایجاد جریان‌های چگال (در بازه‌های تراز پایین آب) به محل رسوبگذاری حمل می‌شوند. با توجه به ژرف‌تر بودن حوضه در بخش خاوری (محل دهانه) و وضعیت جریان‌های هیدرولیکی در حوضه به نظر نمی‌رسد که احداث دایک‌ها تغییر اساسی در پراکنش رسوبات مربوط به این رودخانه‌ها به وجود آورده باشد.

بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر عمده رسوبات آواری در حاشیه جنوبی دایک باختری متأثر از بار رسوبی رودخانه‌های باختر دریاچه (شهرچای، باراندوز چای، روضه‌چای و نازلوچای) هستند که سالانه ۴۹۹۶۸۳ تن رسوب (۹/۳۸ درصد بار رسوبی وارده به دریاچه) وارد دریاچه می‌نمایند. با توجه به فاصله ایستگاه‌های اندازه‌گیری بار رسوبی در این رودخانه‌ها تا محل دریاچه (۱۵ تا ۳۰ کیلومتر) و فراوانی ذرات در حد سیلت و ماسه ریز در بار معلق این رودخانه‌ها (بیش از ۴۰ ٪ بار رسوبی) که به طور عمده در محل ورود رودخانه به دریاچه ته‌نشین می‌شوند به نظر می‌رسد حدود ۲۵ درصد بار رسوبی حمل شده توسط این رودخانه‌ها، محیط اطراف بزرگراه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مسلم است که سدهای مخزنی در حال احداث بر روی برخی از این رودخانه‌ها (مانند سد شهرچای) نیز تأثیر بسزایی در کاهش بار رسوبی به این بخش از حوضه را به دنبال خواهد داشت. بر این اساس در هرگونه برنامه‌ریزی احتمالی برای بررسی دقیق‌تر یا کنترل بار رسوبی وارده به دریاچه باید اولویت اصلی بر روی رودخانه‌های باختر دریاچه (بویژه نازلوچای، باراندوزچای و شهرچای) تدوین شود. در نگاه کلی‌تر می‌توان عنوان کرد که در برنامه‌ریزی‌های آتی برای بررسی سامانه رسوبگذاری یاکنترل انباشت رسوبات در حاشیه بزرگراه اولویت‌دهی به نقش فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی، که به شدت متأثر از تغییرات سطح آب دریاچه هستند، ضروری است.

سپاسگزاری

مطالعه حاضر در قالب یک طرح تحقیقاتی مشترک بین دانشکده علوم دانشگاه تهران و طرح شهید کلانتری وزارت راه و ترابری انجام شده است. از مجری محترم طرح شهید کلانتری جناب آقای مهندس نویدی و همکاری آقایان مهندس طلایی، مهندس انجامی، مهندس مولوی به دلیل تأمین امکانات مورد نیاز این مطالعه و جناب آقای عباسی به دلیل در اختیار قرار گذاشتن شناور برای نمونه‌برداری صمیمانه تشکر می‌نماییم. از مسئولان محترم شرکت‌های ماندرو و طرح نواندیشان، بویژه آقایان مهندس امین و مهندس قاضی سعید به خاطر در اختیار گذاشتن مغزه‌های موجود از بستر دریاچه و همکاری در مطالعه این مغزه‌ها سپاسگزاریم.

از شوراهای محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده زمین‌شناسی و پردیس علوم که با تصویب طرح تحقیقاتی" بررسی مشخصات رسوب‌شناسی و منشأ رسوبات بستر دریاچه ارومیه در حاشیه بزرگراه شهید کلانتری" به شماره پرونده ۶۱۴/ ۵۱۲/۴ زمینه این مطالعه را فراهم نمودند قدردانی و تشکر می‌نماییم.



شکل۱- موقعیت گمانه‌ها (BH) و رسوبات سطحی (W) تهیه شده از بستر دریاچه.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات اصلی گمانه‌های مورد مطالعه

BH_1 / CB_1 Depth = 100m Alt. = 1293 m N, 37°, 47′, 27.0″ E, 45°, 22′, 10.2″	BH_2 / CB_5 Depth = 100m Alt. = 1294 m N, 37°, 47′, 32.5″ E, 45°, 22′, 22.7″
BH_3 / CB_{10} Depth = 40 m Alt. = 1289m N, 37°, 47′, 37.5″ E, 45°, 22′, 35.1″	BH_4 / CB_{25} Depth = 100m Alt. = 1294m N, 37°, 47′, 43.3″ E, 45°, 22′, 48.7″

جدول ۲- وضعیت رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه از نظر میزان تاثیر در تأمین ذرات آواری به حاشیه بزرگراه (Data from AbNiro Co., 1992).

نام رودخانه	بار رسوبی (تن در سال)	وضعیت در تأمین ذرات آواری
زولا چای	۱۲۲۹۲۴	غیر مؤثر یا با تأثیر ناچیز
رودخانه‌های شمال حوضه	۳۰۶۴۱۴	غیر مؤثر یا با تأثیر ناچیز
زرینه رود	۱۲۶۴۰۲۶	تأمین ذرات در حد رس- کم
سیمینه رود	۳۸۵۹۷۳	تأمین ذرات در حد رس - کم
لیلان چای	۹۳۴۴۵	تأمین ذرات در حد رس - کم
مردوق چای	۱۰۷۹۱۱	تأمین ذرات در حد رس- کم
گادار چای	۱۵۲۴۳۴	تأمین ذرات در حد رس- کم
مهاباد چای	۱۵۱۷۲	تأمین ذرات در حد رس- کم
حوزه خاور	۸۰۰۰۰	تأمین ذرات در حد رس- کم
آجی چای/تلخه رود	۲۲۹۷۲۱۵	تأمین ذرات درشت‌تر از سیلت-زیاد
شهرچای	۴۴۲۸۹	تأمین ذرات در حد سیلت و رس- متوسط
باراندوز چای	۱۴۸۶۸۵	تأمین ذرات در حد سیلت و رس- متوسط
نازلو چای	۲۷۲۹۶۶	تأمین ذرات در حد سیلت و رس- متوسط
روضه چای	۳۳۷۴۳	تأمین ذرات در حد سیلت و رس- متوسط

جدول ۳- میانگین فراوانی اجزاء اصلی سازنده رسوبات در مغزه‌های مورد مطالعه.

اجزاء سازنده	تغییرات فراوانی(درصد)	متوسط فراوانی	توضیحات
مواد آلی	۷-۲	۴	از منشأ آواری و درجازاد قابل اکسید با H_2O_2
ذرات آواری (غیر آلی)	۴۰-۲۵	۳۳	۷۰ در صد به صورت رس و ۳۰ درصد به صورت سیلت و ماسه
ذرات شیمیایی (تبخیری)	۲۰-۸	۱۶	فقط شامل ذرات قابل انحلال در آب شیرین
کربنات‌ها (شیمیایی و بیو شیمیایی)	۶۰-۴۵	۴۷	شامل انواع رسوبات با منشأ تبخیری

جدول ۴- مقدار بار رسوبی رودخانه‌های اصلی تغذیه کننده دریاچه ارومیه (Data from AbNiro, 1992).

۴-۱- رودخانه‌های غیر مؤثر یا با تأثیر ناچیز در تأمین ذرات آواری به حاشیه بزرگراه

نام رودخانه	بار رسوبی (تن در سال)	درصد (در کل دریاچه)
زولا چای	۱۲۲۹۲۴	۲/۳۱
رودخانه های شمال حوضه	۳۰۶۴۱۴	۵/۷۵
جمع کل*	۴۲۹۳۳۸	۸/۰۶

ب) رودخانه‌های خاور دریاچه

نام رودخانه	بار رسوبی (تن در سال)	درصد (در کل دریاچه)
آجی چای/تلخه رود	۲۲۹۷۲۱۵	۴۳/۱۴

ج) رودخانه‌های باختر دریاچه

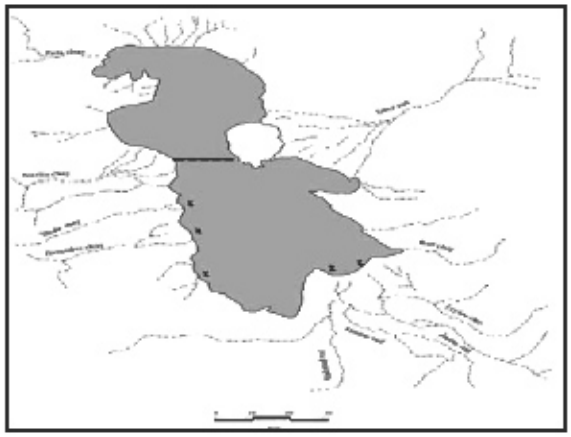
نام رودخانه	بار رسوبی (تن در سال)	درصد (در کل دریاچه)
شهرچای	۴۴۲۸۹	/۸۳
باراندوز چای	۱۴۸۶۸۵	۲/۷۹
نازلو چای	۲۷۲۹۶۶	۵/۱۳
روضه چای	۳۳۷۴۳	/۶۳
جمع کل*	۴۹۹۶۸۳	۹/۳۸

۴-۲- رودخانه‌های مؤثر در تأمین ذرات آواری به حاشیه بزرگراه

الف) رودخانه‌های جنوب،جنوب باختری و جنوب خاوری

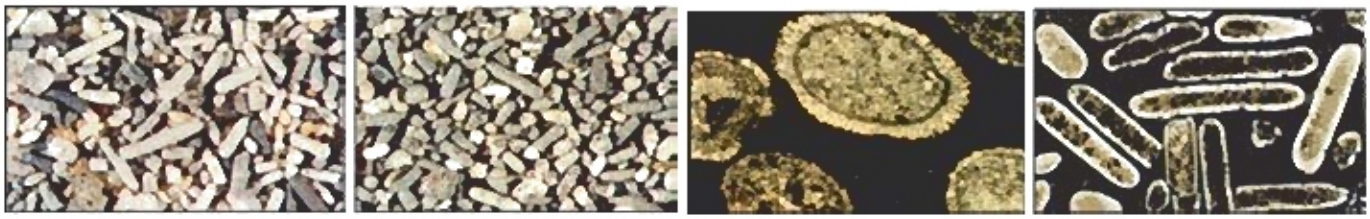
نام رودخانه	بار رسوبی (تن در سال)	درصد (در کل دریاچه)
زرینه رود	۱۲۶۴۰۲۶	۲۳/۷۴
سیمینه رود	۳۸۵۹۷۳	۷/۲۵
لیلان چای	۹۳۴۴۵	۱/۷۵
مردوق چای	۱۰۷۹۱۱	۲/۰۳
گادار چای	۱۵۲۴۳۴	۲/۸۶
مهاباد چای	۱۵۱۷۲	۰/۲۹
حوزه شرق	۸۰۰۰۰	۱/۵
جمع کل*	۲۰۹۸۹۶۱	۳۹/۴۲

* با در نظر گرفتن فاصله ایستگاه‌های اندازه‌گیری بار رسوبی از دریاچه و با توجه به احداث سد بر روی رودخانه‌های یادشده مقدار بار رسوبی وارده به دریاچه کمتر از مقدار یادشده شده خواهد بود.

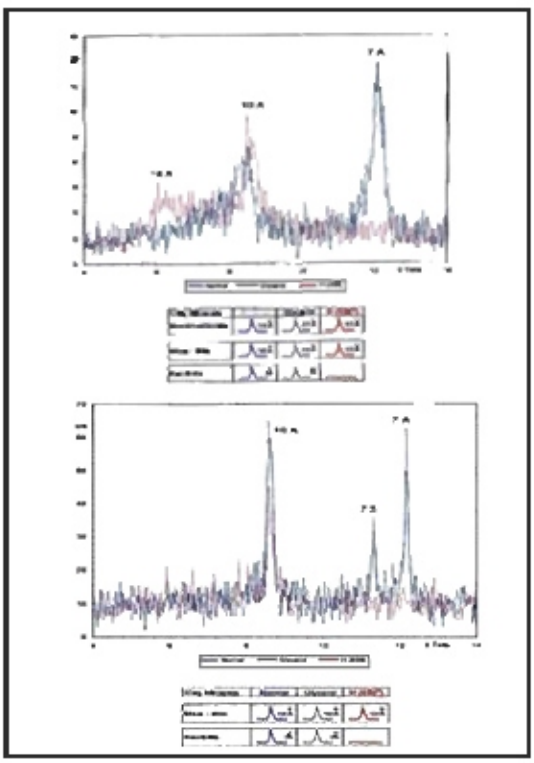


شکل ۲- موقعیت رودخانه‌های اصلی تغذیه کننده دریاچه نسبت به محل میانگذر و محل‌های نمونه‌برداری در دهانه رودخانه‌ها

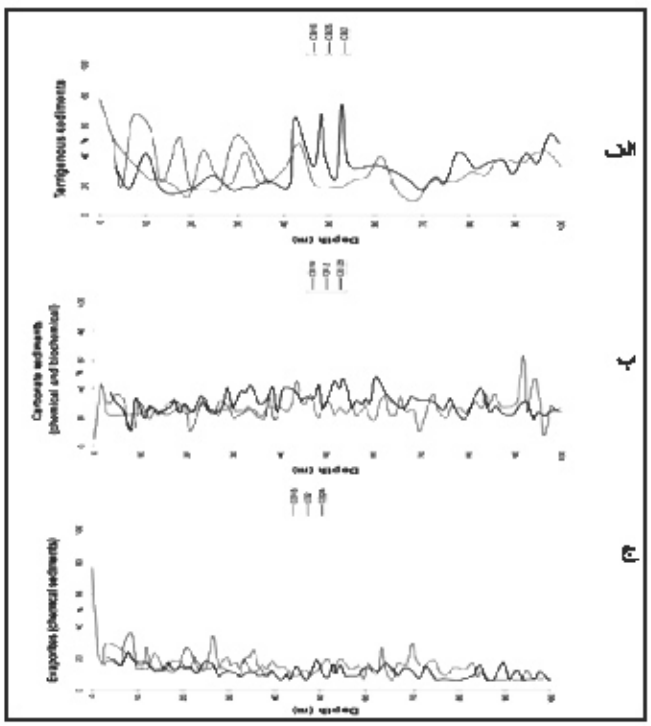
شکل۳ - نمونه‌ای از مغزه‌های مورد مطالعه، محل تهیه پلاگ روی مغزه‌ها به صورت حفره مشخص است.



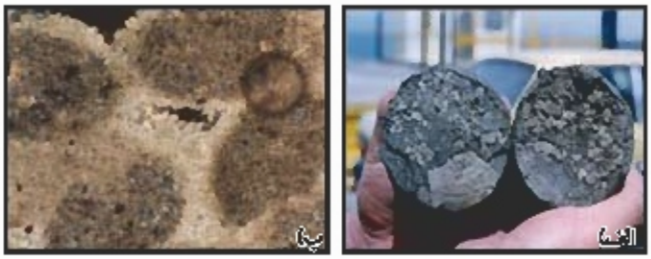
شکل۴- نمونه‌ای از پلت‌های مدفوعی (fecal pellets) موجود در مغزه‌های مورد مطالعه. الف) پلت‌های میله‌ای (شکسته و سالم) با ترکیب آواگونیتی مربوط به لایه‌های بالایی مغزه‌ها که به طور بخشی در سطح دچار خردگی شده‌اند (تصویر استریومیکروسکوپ، بزرگنمایی ۴۰). ب) تصویر میکروسکوپی از پلت‌های موجود درلایه‌های زیرین مغزه‌ها که ترکیب آواگونیتی با ماهیت شفاعی به خوبی در آن مشخص است. بخش‌های تیره در مرکز، افق‌های پوپتی شده را نشان می‌دهند (تور پلاریزه، بزرگنمایی ۴۰).



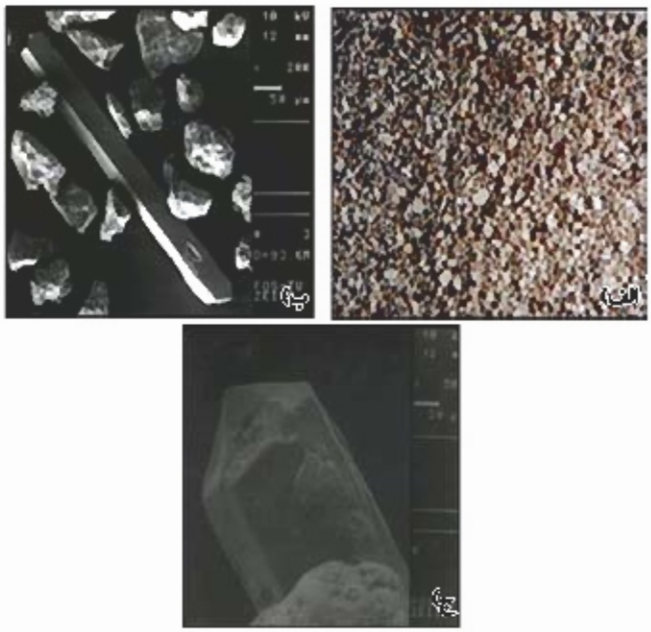
شکل ۵ - نمونه‌هایی از کانی‌های رسی موجود در مغزه‌های مورد مطالعه. نمونه راست شامل مونت‌موریلونیت+ایلیت+کائولینیت و نمونه چپ شامل ایلیت+کلریت است.(اشکال ۱۲ مقاله مشترک).



شکل ۶- پراکندگی ذرات آواری (الف)، کربناته (ب) و تبخیری (ج) در مغزه‌های مورد مطالعه و تغییرات فراوانی آنها در طول گستره‌ها. مقادیر ارائه شده برای هر ذره میانگین به دست آمده از چهار گستره است.

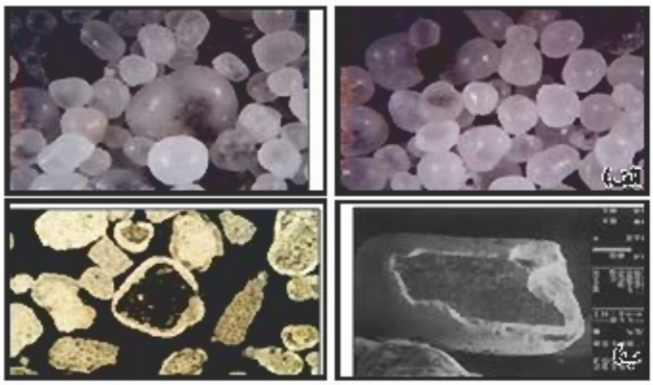


شکل ۷ – الف) وجود قطره‌های کربناتی در افق‌های خاص از مغزه‌ها به صورت قطعه‌های اینتراکلاست. ب) تصویر میکروسکوپی از قطعه‌های یادشده که نشان از ماهیت کربناته با آثار تبلور دوباره در حاشیه‌ها (سیمانی شدن) و انحلال بخشی در مرکز را دارد (نور پلاریزه، بزرگنمایی ۴۰).

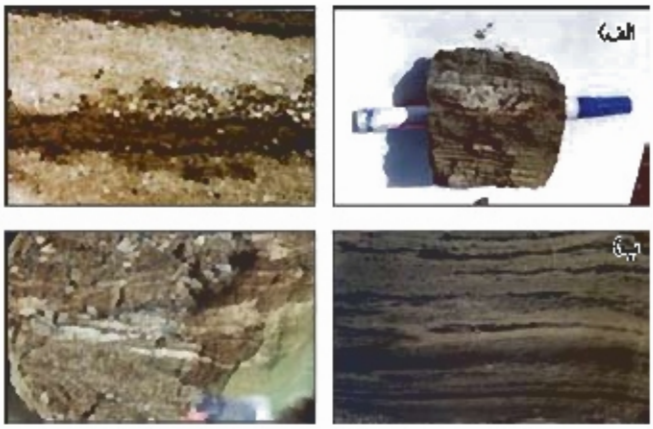


شکل ۹- الف) ذرات آواری موجود در نمونه‌های مورد مطالعه که به طور عمده دارای شکل بلوری منظم تا نیمه منظم هستند (تصویر استریومیکروسکوپ با بزرگنمایی ۳۰). تصویر SEM از ذرات آواری حاوی بلورهای اثرمورف پیروکسن (ب) و کوارتز (ج).

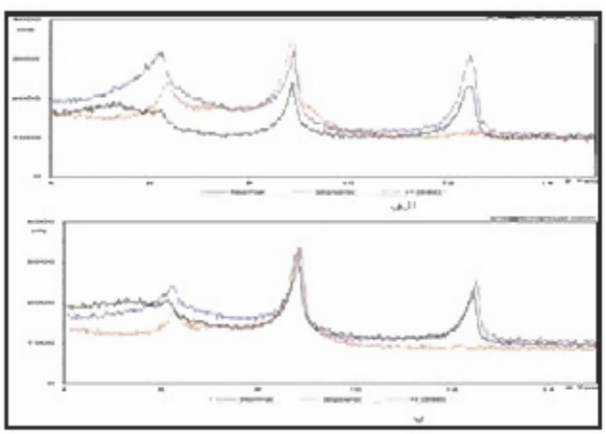
شکل۱۱- ساخت‌های رسوبی متداول در حاشیه دریاچه. الف) ترکه‌های گلی همراه با ساخت تی‌پی (Tepee). بالا، ب) فرش‌های جلبکی (algal mat) با ساخت استروماتولیتی. ج) رسوبات شیمیایی ژیپس با ساخت پشته‌ای.



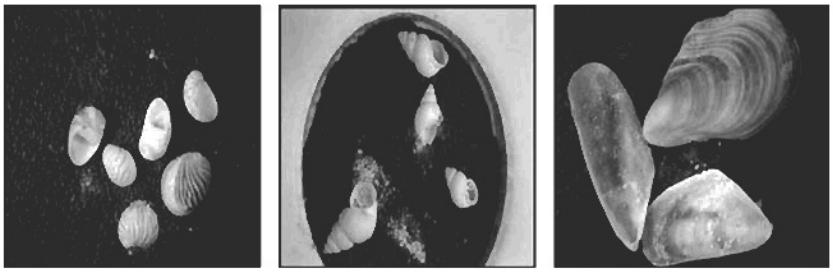
شکل ۸- الف) ذرات پوشش دار ژیپس با شکل کروی در حد گراول (ذرات شیمیایی) یا هسته‌ای از ذرات آواری(چپ) و فاقد هسته (راست). ب) تصویرمیکروسکوپی از ذرات پوشش‌دار با گسترش قشر آراگونیتی در اطراف شیشه آتشفشانی (چپ)، و تصویر SEM از گسترش قشر کربناته در اطراف یک قطعه آواری فلدسپار(راست).



شکل ۱۰- ساخت‌های متداول در رسوبات مورد مطالعه. الف) لامیناسیون موازی با ماهیت سیلت‌پهنه (راست) و تناوب رسوبات در حد سیلت و ماسه با دانه‌بندی تدریجی واقع‌های ضخ از رس (چپ). ب) لامینه‌بندی ظریف در رسوبات خفی از ماده آلی و سیلت (راست)، گسترش حفره‌های ژیپس در گل‌های با لایه‌بندی موازی (چپ).



شکل ۱۲- نمونه‌هایی از کانی‌های رسی (ایلیت، مونت‌موریلونیت و کائولن) موجود در بار معلق رودخانه‌های جنوبی (الف) و باختری دریاچه (ب). این کانی‌ها مشابه انواع موجود در مغزه‌های مورد مطالعه هستند (مقایسه با شکل ۵).



شکل ۱۳- نمونه‌هایی از فسیل‌های آب شیرین موجود در پادگانه‌های آبرفتی حاشیه دریاچه.

کتابنگاری

احمدی، م.، ۱۳۸۱ - جایگاه و نقش آرتمیا در پل ارتباطی احداث شده در دریاچه ارومیه. مجموعه مقالات همایش میانگذر دریاچه ارومیه. صفحات ۴۱-۲۷.

امینی، ع.، ۱۳۸۴ - مشخصات رسوب‌شناسی و منشأ نهشته‌های حاشیه بزرگراه شهید کلانتری در محل میانگذر دریاچه ارومیه. گزارش داخلی وزارت راه، ۶۷ صفحه.

شاه‌حسینی، م.، ۱۳۸۲ - رسوب‌شناسی بستر دریاچه ارومیه در بخش میانی بزرگراه شهید کلانتری با نگرشی بر منشأ رسوبات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، ۹۹ صفحه.

شهرابی، م.، ۱۳۷۱ - دریاها و دریاچه‌های ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۲۹۱ صفحه.

طلوعی، ج.، ۱۳۷۵ - مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی و هیدروشیمیایی و شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضه رسوبی تبخیری دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۳۳ صفحه.

غضبان، ف.، مهاجر باوقار، ن.، طلوعی، ج.، ۱۳۷۷ - ویژگی‌های رسوبی و شیمیایی دریاچه ارومیه، اقیانوس‌شناسی بهار و تابستان ۱۳۷۷، سال دوم، شماره ۲و۳، صفحه ۱۹-۱۳.

فرزانه، ا.، ۱۳۷۳ - رسوب‌شناسی غرب دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم، ۱۱۲ صفحه.

محمدی، ع.، ۱۳۸۴ - بررسی تاریخچه رسوبگذاری هولوسن دریاچه ارومیه بر اساس مغزه‌های تهیه شده در مسیر بزرگراه شهید کلانتری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۲۵ صفحه.

هماجر باوقار، ن.، ۱۳۷۶ - بررسی رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی دریاچه ارومیه در ارتباط با منشأ نمک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۴۰ صفحه.

مهندسان مشاور آب‌نیرو، ۱۳۷۱ - مطالعه رسوب دریاچه ارومیه (از مجموعه مطالعات مرحله دوم مقدماتی). گزارش داخلی وزارت راه و ترابری.

References

Barzegar, F. and Sadighan, I., 1991- Study of highway construction effects on sedimentation process in Lake Urmia (NW Iran) On the basis of satellites data. Geocartography, Interntional, 3: 63-65.

Bottema, S., 1986- A late Quaternary Pollen diagram from Lake Urmia (North Western Iran). Review of palaeobotany and palynology. 47: 241-261.

Carrozi, A.V., 1993- Sedimentary Petrography. Prentice Hall, 263p.

Eugster, H.P. and Hardie, L.A., 1978- Saline Lakes. In: Lerman, A. (ed.) Lakes, Chemistry, Geology, Physics. Springer-Verlag, New York, 237-289.

Kelts, K. and Shahrabi, M., 1986- Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, Nortwestern Iran, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 54: 105-130.

Lewis, D. W. and McConchie, D., 1994a- Analytical Sedimentology. Chapman and Hall, New York, 197 p.

Lewis, D. W. and McConchie, D., 1994b- Practical Sedimentology. Chapman and Hall, New York, 184 p.

Moore, D. M. and Reynolds, R. C., 1989- X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press, 332 p.

Sandberg, P.A., 1975- A new interpretation of Great Salt lake Ooids and of ancient non-skeletal carbonate mineralogy. Sedimentology 22: 497-503.

Shahosseini, M., 2003- Sedimentology of Urmia Lake in central part of the SHK highway, with reference to the origin of sediments. (In Persian). M.SC. thesis, University of Tehran, 99p.

Sedimentological Characteristics and Origin of Urmia Lake Deposits Along the Shahid-Kalantari Highway

A. Amini[1*], M. Shahosseini[1], A. Mohammadi[1] & M. Shahrabi[2]

[1] School of Geology, University Collage of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

[2] Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2008 January 26 Accepted: 2009 January 14

Abstract

The hypersaline Urmia Lake is the most important intra-continental environment in Iran, with distinctive geological, environmental, and biological, characteristics. The Shahid-Kalantari Highway (under construction) between Urmia and Tabriz cities passes through this lake. Some 14 km dyke is constructed in the lake for this passage and about 1400 meter is left for a bridge construction. The role of the constructed dyke on sedimentation pattern seems significant, as understood from satellite images and field observations. This study deals with sedimentological characteristics and origin of deposits along the Shahid-Kalantary Highway of Urmia Lake. Availability of 4 cores from boreholes drilled for geotechnical studies provided a good opportunity for this study. This study is carried out on the cores of the 4 boreholes (340 m thick in total) and samples collected from the sea floor along the dyke. Mineralogical, textural and structural characteristics of the sediments were studied for determination of chemical, biological and physical processes responsible for their development. Some 396 plugs from the cores (0.7 to 1 m interval) and 15 samples from the sea floor (cores of 20-40 cm long) were selected for these purposes. To investigate the role of surrounding rivers in providing detritus material to the study site, samples from suspension load of the major feeding rivers are collected. Major characteristics of these samples are studied and compared with those from the study area. All available data on the discharge and sediment load of the major feeding rivers are collected and analyzed for this study. Size and shape are two major textural characteristics investigated in this study using petrographic methods (including SEM). Chemical composition of sediments is studied by petrographic (coarse material) and XRD (fine material and clay minerals) methods. Organic mater, carbonate content, and evaporate portion of the sediments are measured using standard techniques introduced in the literature. Results from this study shows that 25 to 40 % of the studied sediments are derived from the land, through feeding rivers and 60 to 75 % of them are formed within the basin by chemical and biological processes. Quartz, feldspar, volcanic lithics, heavy minerals including pyrite and pyroxene, and clay minerals are major detrital constituents of the sediments. Kaolinite, illite, and montmorillonite are common clay minerals in the sediments, which characteristics are similar to those determined in the suspension load of feeding rivers. Some carbonates, as carbonate lithics, and organic material are also found detrital in origin. Gypsum, halite, calcite, and aragonite are the chemical components of the sediments occur as evaporate and mud crusts, or coated grains. Fecal pellets and some coated grains (produced by algae) are the main biological components of the studied sediments. Pyritization of pellets, especially in lower parts of the cores, is commonly observed, so that, pyrite is presented in the sediments both in detrital and diagenetic forms. Distribution pattern of the major constituents along the studied cores reflect the significant role of sea level fluctuation in their development. Results from this study show that the chemical components of sediments developed during the stages of sea level fall, during which the sea was barely receiving sediments from the land (dry periods). The coated grains of this origin were developed in the basin margin, where the wind-induced waves produced a relatively high energy sub-environment in the margin. The biological constituents of the sediments were developed during sea level rise (lower salinity conditions), during which environmental conditions were not suitable for development of chemical sediments. The origin of detrital material is related to the feeding rivers. TalkeRud in the eastern part of the sea had a major role in providing coarse terrigenous particles to the basin. Major characteristics of the detrital quartz, feldspars, pyroxene and volcanic lithics are similar to those find in the volcanic outcrops of the Islami Island and TalkeRud alluvial fans. The Shahr Chay, Nazlu Chay, and Barandoz Chay in the west and ZarinehRud and SiminehRud in the south had significant role in providing fine terrigenous (clay minerals) to the studied area. On the basis of distribution pattern of terrigenous sediments and their ratio to chemical and biological sediments, the feeding rivers around the lake (major suppliers of the terrigenous sediments) are classified into three groups (most, moderate and low effective). This is designed for further investigation on the controls of sediments accumulation along the highway. This study emphasizes on more significant role of chemical and biological processes on the sediments accumulation in the studied area, than that of physical processes. Due to significant role of sea level fluctuation in chemical and biological sediments development, a thorough control on sea level fluctuation (dam construction, artificial evaporation for salt acquisition, and etc.) is vital in this basin. In this regard any program for sedimentation control along the dyke must take greater consideration on chemical and biological deposition.

KeyWords: Dorak Lake, Sedimentology, Origin of sediments, Lacustrine deposits

For Persian Version see pages 57 to 68

* Corresponding author: A. Arabi; E_mail: aliarabi@kashanu.ac.ir