ویژگیهای زمین شناسی مهندسی نهشته های نرم دریاچه ارومیه

نوشته : دکتر حسین جلالی * ، محمدرضا نیکودل** و مهندس محمد حسن نبوی*

The characteristics of the engineering geology of Uromieh Lake soft sediments

By: Dr.H.Jalaly *& M.R.Nikoudel**and M.H.Nabavi*

چکیده

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه داخلی ایران است که در شمال باختری کشور به صورت یک حوضه بسته میان کوهساری شکل گرفته است. این دریاچه با درازای ۱۴۰ کیلومتر و پهنای متغیر بین ۱۵ تا ۵۰ کیلومتر دارای میانگین مساحتی در حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. از مجموعه نظریات مختلف چنین برمی‌آید که دریاچه ارومیه احتمالاً بازمانده‌ای از دریای تتیس و بخشی از دریای مدیترانه بوده که اکنون جدامانده و از اواخر میوسن شکل گرفته و کم کم کوچکتر شده است. در حالت کنونی دریاچه ارومیه به صورت یک زون فرونشست تکتونیکی می‌باشد که در پیرامون و مرزهای آن چندین گسله مهم را می‌توان باز شناخت. سنگ کف نهشته‌های نرم و آبدار دریاچه که بطور عمده از سیلت ورس تشکیل یافته است در بیشتر جاها از نهشته‌های کهن‌تری تشکیل شده که برونزد آنها را در زمینهای پیرامون دریاچه و در پادگانه‌های بلند می‌توان دید که فسیل‌های موجود در آنها نشانهٔ محیط نه چندان شور محیط رسوبی آنزمان می‌باشد.

نهشته‌های نرم دریاچه ارومیه بیشتر از بار رسوبی رودابها و سیلابهای جنوبی و شمالی آن تامین می‌شود که منشاء آنها بطور عمده نهشته‌های دریاچه‌ای سازند مراغه، شیلها و ماسه‌سنگهای کرتاسه و نئوژن، آهکهای سازند قم و توده‌های گرانیتی می‌باشد.

جنس نهشته‌های دریاچه بیشتر رس، سیلت، کمی ماسه ریزدانه و خیلی کم رسوب شیمیایی درجا می‌باشد. نهشته‌های آواری آن بیشتر از نوع چند آمیزه‌اند که در آنها کوارتز، کلسیت و میکا فراوانتر از بقیه می‌باشند. کانی‌های رسی در این نهشته‌های آواری بیشتر از نوع ایلیت، کائولینیت و کلریت می‌باشند. در نهشته‌های درجازا کانی آراگونیت بیشترین مقدار را دارد.

مقدار مواد آلی موجود در نهشته‌های دریاچه ارومیه عموماً کمتر از پنج درصد است ولی در مانداب‌ها و باتلاقهای شور دریاچه این مقدار به پانزده درصد نیز می‌رسد. در حالت میانگین غلظت نمک در آب دریاچه به ۲۵۰ گرم در لیتر می‌رسد. با توجه به میزان شوری آب دریاچه ارومیه و مقدار قابل ملاحظه رسوب وارد شده به آن، جز در محل مصب رودخانه‌ها این نهشته‌ها عملاً از نوع مواد معلق در آب می‌باشند، که بطور همگن و افقی در سطح دریاچه پخش می‌شوند. با توجه به غلظت آب دریاچه مدت زمان زیادی طول میکشد تا این نهشته‌ها ته نشین شوند.

براساس بررسی‌های انجام شده و گمانه‌هائی که در امتداد بزرگراه شهید کلانتری حفر شده است مشاهده می‌گردد که نهشته‌های نرم دریاچه ارومیه از لایه‌بندی بسیار ظریفی برخوردار می‌باشد.

در سواحل ارومیه و تبریز در نمونه‌های استخراج شده در اعماق، لایه‌های ماسه‌ای بسیار ظریفی با ضخامت حداکثر تا دو میلیمتر قابل رویت می‌باشند. وجود یا عدم وجود این لایه‌های ماسه‌ای می‌تواند ویژگیهای مهندسی نهشته‌ها را بنحو قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر قرار دهد. میزان ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون تا عمق ۱۵۰ متری بطور متوسط ۹۵ درصد است که خود حاکی از ریزدانه بودن نهشته‌ها می‌باشد. مصالح بخش میانی دریاچه بطور عمده در حد فاصل رس

لاغر (CL) تا لای (ML) قرار دارند. فعالیت نهشته‌ها از سطح به عمق از یک روند تقلیلی برخوردار می‌باشد. با افزایش فعالیت نهشته‌ها زاویه اصطکاک داخلی، ضریب نفوذپذیری (K) و ضریب تحکیم (C_v) کاهش یافته و اندیس فشردگی (C_c) افزایش می‌یابد. معمولاً حساسیت نهشته‌های قشر فوقانی بیش از قشرهای تحتانی است. از بررسی نتایج مربوط به آزمایشهای برش پره‌ای و نفوذ استاندارد و آزمایش مقاومت تک محوری چنین برمی‌آید که مقاومت برشی نهشته‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای با عمق افزایش می‌یابد و حساسیت نهشته‌ها تا عمق ۴۰ الی ۴۵ متری کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شناسی مهندسی، نهشته‌های نرم، دریاچه ارومیه

Abstract

Uromieh Lake, which forms a closed, intermontane basin, located in northwest of Iran and is the biggest lake in the country. The lake has 5000 square kilometers area, with 140 km length and 15 to 50 km widths.

Based on interpretations upon tectonic evolution of the region, Uormieh Lake is considered as a remnant portion of Tethys Ocean. The present situation of the lake shows that, it is surrounded by a few faults and forms a tectonic depression.

Saturated clay and silt deposits overlying on bed rocks show evidence of marine fossils and demonstrate that earlier deposited environment of the lake was not so much salty.

The source of soft sediments in the lake which were transported through north and south runoffs and floods are mainly comes from playa deposits of Maragheh Formation, Certaceous and Neogene shale and sandstone, limestone of Qum Formation, and granitc intrusives. Besides these silt and clay sediments, detrital sediments in form of small sandy grains and insitu chermical deposits in lesser amounts are also seen in the sediments. These detrital deposits which are colored and composed of quartz, mica, and calcite are more frequent. Clay minerals are illite, kaolinite, and chlorite. Aragonite composes most parts of chemical deposits.

The amount of organic material in sediment of the lake is almost 5% but in salty lagoons of the lake this amount increase to 15%. The mean content of salt is 250 g/lit. Due to this salt content in water of the lake, except at the conjunction of rivers to the lake it takes time for suspended sediments to deposit.

Based on direct observation and through core loging form boreholes which were drilled along Shahid Kalantary freeway, The soft sediments of the lake have fine bedding. In samples collected from core logging along the lake coast in Tabriz and Uormieh region, fine sandy layers with up to 2 millimetrs in thickness can be seen. The existences of these layers can considerably effect engineering characteristics of the deposits. Grains smaller than 75 micron, can be seen down to 150 - meter depth and constitute 95% of the deposits, obviously show their fine - grained nature.

Sediments in the middle parts of the lake mainly consist of fine clay (CL)to silt (ML). Their activities decrease from surface to depth. By increase in activity of sediments,the amounts of internal friction, permeability coefficient (k), and consolidation index (Cv) decrease, but compaction index (Cc) increase. In general, sensitivity of top layer sediments is more than buttom one. Detail analysis on results of vane shear experiments, SPT, and uniaxial compressive strength demonstrate that shear strength of the sediments considerably increase with depth and that their sensitivity decrease in 40-45 meters depth.

Key Words: Engineering geology, Soft sediments, Uromieh Lake

مقدمه

نهشته‌های دریایی و دریاچه‌ای بخش قابل توجهی از نهشته‌های زمین کره را تشکیل می‌دهند. توجه به این نهشته‌ها بویژه هنگامی که قرار باشد پروژه‌های عمرانی رو یا درون آنها احداث گردد اهمیت فراوانی دارد. با توجه به اینکه ویژگیهای نهشته‌ها را شرایط و محیط تشکیل آنها مشخص می‌کند، آگاهی و شناخت از محیط تشکیل آنها ضروری بنظر می‌رسد. بهمین خاطر به منظور آگاهی از ویژگیهای این نهشته‌ها و با توجه به گسترش نهشته‌های دریایی و دریاچه‌ای و اهمیت قابل توجه دریاچه‌های ایران در اولین قدم به بررسی ویژگیهای یکی از ویژه دریاچه‌های کنونی دنیا یعنی دریاچه ارومیه می‌پردازیم. در این بررسی که در قالب بخشی از رساله دکتری به انجام رسیده است از کارهای انجام شده توسط شهرابی و کلتس، مهندسان مشاور آب نیرو و نمونه‌های برداشته شده توسط آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده است.

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه داخلی ایران است که در شمال باختری کشور در استانهای آذربایجان خاوری و باختری بین (۳۷،۰۳ تا ۳۸،۱۶) عرض شمالی و (۴۵ تا ۴۵،۵۸) طول خاوری بصورت یک حوضه بسته میان کوهساری با مساحت تقریبی ۵۰۰۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است. (شکل ۱).

این دریاچه در منطقه نیمه خشک با زمستانهای سرد و نسبتاً کم بارش، بهار ملایم با بارش کم و تابستان گرم و خشک با میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلیمتر در جلگه‌ها و بیش از ۷۰۰ میلیمتر در نقاط کوهستانی واقع بوده که با حوضهٔ آبریزی معادل با ۵۱۴۶۰ کیلومتر مربع بیش از ۳/۱ درصد حوضهٔ آبریز کل ایران را به خود اختصاص داده است. حدود ۶۷/۴ درصد این حوضه را مناطق کوهستانی، ۱۷/۵ درصد را دشتهای آبرفتی و ۱۵/۱ درصد را باتلاقها و شورهزارهای اطراف دریاچه تشکیل می‌دهد. [جلالی، نیکوبل ۱۳۷۵]

دشتهای شمال خاوری و جنوبی دریاچه دارای شیب کمی می‌باشند بطوریکه در سالهای پرآب که ارتفاع سطح دریاچه افزایش می‌یابد قسمتهایی از اراضی واقع دراین مناطق به زیر آب می‌رود. بجز دشتهای واقع در مناطق شمال خاوری و جنوبی دریاچه که دارای شیب کم می‌باشند، در سایر مناطق شیب دشتها و کوهپایه‌ها نسبتاً زیاد می‌باشد.

میانگین ارتفاع دریاچه از سطح دریا تا قبل از طغیان آبی (۴۸-۱۳۴۷) ۱۲۷۴ متر بوده که در این تراز سطحی معادل ۴۵۰۰ کیلومتر مربع داشته است. در طغیان آبی مذکور تراز دریاچه به ۱۲۷۷ متر با سطحی معادل ۵۴۰۰ کیلومتر مربع رسید و در سالهای اخیر تراز دریاچه رو به افزایش نهاد بطوریکه در خرداد ۷۴ به ۱۲۸۷/۶ متر رسید و سطح آن از ۵۸۰۰ کیلومتر مربع فراتر رفت. [جلالی و همکاران ۱۳۷۱]

زمین‌شناسی

شناخت ویژگیهای زمین‌شناسی منطقه با توجه به موضوع مورد بررسی اهداف زیر را دنبال می‌کند. ۱- رسوبزایی در گسترهٔ آبگیر و سرانجام افزایش ضخامت رسوب کف دریاچه ۲- انحلال سنگها و اثر در ترکیب نمکهای موجود در آب دریاچه ۳- فرسایش پذیری و نیرومندی سیلابها با توجه به گسترهٔ آبگیر هر رودخانه.

براساس نقشه‌های زمین‌شناسی موجود مجموعه‌ای از انواع مختلف سنگهای آذرین، دگرگونی و رسوبی با سن پرکامبرین تا عهد حاضر در گسترهٔ آبگیر دریاچهٔ ارومیه برونزد دارند. صرفنظر از تفاوتهای چندی که بین بخش خاوری و باختری گستره موجود است، توالی نسبتاً کاملی (باستثناء چند نبود) از نهشته‌های مختلف زمین‌شناسی در اطراف دریاچهٔ ارومیه دیده می‌شوند که اکثر آنها با سازندهای کوههای البرز قابل مقایسه می‌باشند. [شهرابی ۱۳۷۳]

در بخش باختری این گستره ضخامتی در حدود ۱۵۰۰۰ متر از سنگهای گوناگون سازندهای مختلفی را تشکیل می‌دهند که قدیمی‌ترین آنها سازند باباندر، مربوط به پرکامبرین (PreCambrian) و جوانترین آن نهشته‌های عهد حاضر می‌باشند که ریختار کنونی را در بخش باختری این دریاچه بوجود آورده است. در این منطقه انواع مختلف سنگهای رسوبی به همراه سنگهای دگرگون پرکامبرین در رخسارهٔ آمفیبولیتی شامل آمفیبولیت، گنیس و شیست به همراه مرمر و سنگهای آتشفشانی اسیدی وجود دارد.

بخش باختری کوههای سهند، همراه با کوهپایه‌های فرورفتگی مراغه، بناب، و باختر تبریز حدود دریاچه را در بخش جنوب خاوری، خاور و شمال خاوری تشکیل می‌دهد. رخنمونهای فراوان و متعددی از سنگهای آتشفشانی، آذرآواری و همچنین رسوبی در آن دیده می‌شود، سنگهای رسوبی در این بخش دارای قدمتی از کامبرین زیرین تا عهد حاضر هستند. بیش از ۱۳۰۰۰ متر از نهشته‌های دورهای زمین‌شناسی در این بخش اندازه‌گیری شده است. [شهرابی ۱۳۵۶] رودخانه‌ها و آبراهه‌های دائمی و فصلی فراوانی از این کوهها سرچشمه می‌گیرند که بخشی از آب آنها به

دریاچه می‌ریزد و بخشی نیز مورد استفادهٔ کشاورزی قرار می‌گیرد.

در بخش جنوبی دریاچه کوههائی قرار دارند که بالای مدار (۳۶،۴۵) عرض شمالی واقع می‌شوند. بلندترین چکاد این کوهها ۲۳۷۰ متر از سطح دریا بلندی دارد، بیش از ده هزار متر از سنگهای زمانهای مختلف در این کوهها وجود دارد که نقشه و گزارش مربوط به آنها در دست تهیه است. چهار رودخانهٔ اصلی زرینه رود، سیمینه رود، مهاباد و رودخانهٔ گدار که از تأمین کنندههای اصلی آب دریاچه هستند از این منطقه سرچشمه می‌گیرند. [ج. افتخار نژاد ۱۹۸۰]

در بخش شمالی دریاچه کوههائی با روند تقریبی خاوری - باختری تا شمال باختری- جنوب خاوری شامل کوههای میشو و مرو و کوهپایه‌های شمال - شمال باختری تبریز می‌باشد. سازندهای تشکیل دهندهٔ آنها به قدمت پرکامبرین تا عهد حاضر می‌باشند [شهرابی ۱۳۷۳] رودخانهٔ تلخه رود یا آجی چای که یکی از رودهای اصلی دریاچه ارومیه از نظر رسوب آوری است و دارای جریان شمالی- جنوبی در طول دریاچه می‌باشد، از این منطقه می‌آید. این رودخانه آوردی کمتر از ۸/۵ درصد سالانهٔ ورودی به دریاچه را تشکیل می‌دهد در حالیکه رسوب وارده از آن به دریاچه به ۵۰ درصد کل نهشته‌های ریخته شده به دریاچه بالغ می‌شود. [جلالی، نیکودل ۱۳۷۵]

آنچه که در رابطه باسنگهای گسترهٔ آبگیر دریاچهٔ ارومیه از نظر شناخت ویژگیهای مهندسی نهشته‌ها حائز اهمیت می‌باشد فرسایش پذیری و مقدار رسوبی است که تولید می‌نمایند و از راه رودخانه‌ها به دریاچه سرازیر می‌گردد. از نظر فرسایش و در نتیجه رسوبزایی سنگهای اطراف دریاچهٔ ارومیه بترتیب اهمیت عبارتند از :

۱- مارنهای گچ و نمکدار نئوژن در حوضه آبگیر تلخه رود که فرسایش پذیرترین‌اند.

۲- مارنهای گچی و ماسه‌سنگ قرمز نئوژن که بیشترین گسترش آن، در حوضهٔ تلخه رود است.

۳- کنگلومرای سست دامنهٔ جنوبی میشو داغ و شمال دشت سلماس.

۴- رسوبهای دریاچه‌ای - آبرآوری سازند مراغه.

۵- مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرای نئوژن که بخش اعظم گسترش آن در حوضهٔ تلخه رود واقع می‌باشد. [جلالی، نیکودل ۱۳۷۵]

بنابراین فرسایش پذیرترین سنگها در حوضهٔ تلخه رود قرار دارد و به همین علت بیشترین رسوبزایی نیز در این حوضه می‌باشد. پس از تلخه رود سنگهای با فرسایش‌پذیری بیشتر بترتیب در حوضهٔ آبگیر رودهای زرینه رود و پس از آن شهر چای، باراندوز و مهاباد رود بروتزد دارند. شکل‌گیری گسترهٔ بزرگی از آبرفتها در راستای این رودها بازگوی رسوب‌آوری زیاد آنها می‌باشد.

سایر سنگهایی که در حوضهٔ آبریز دریاچه مشاهده می‌شوند رسوبزایی کمتری دارند و اثر چندان مهمی در افزایش رسوب دریاچه ندارند و تنها در جائی که به علت خردشدگی واریزه‌های زیادی وجود دارد رسوبزایی آنها افزایش می‌یابد. شکل ۲ نقشهٔ پتانسیل فرسایشی سنگهای مختلف اطراف دریاچه را نشان می‌دهد. [جلالی، نیکودل ۱۳۷۵]

وضعیت ساختاری

دریاچهٔ ارومیه یک دریاچهٔ تکتونیکی است که از دیدگاه زمین‌ساخت ورقی در قسمتی از پهنهٔ زمینساختی خمیری (Tectonic Mush Zone) بین ورقهای عربستان - اوراسیا(مکنزی ۱۹۷۶) و خرده ورقه‌های (Microplates) ایران و ترکیه که بین ورقهای مزبور فشرده شده‌اند قرار گرفته است. این حوضه بر امتداد یک سیستم فعال از گسله‌های فشاری واقع شده است که حرکات و فعالیت آنها عامل اصلی هماهنگی سیستم آبگیری این دریاچه شده‌اند. [شهرابی ۱۳۷۳]

دریاچهٔ ارومیه در یک فروافتادگی (Depression) بلندی در استان آذربایجان قرار گرفته که در حال حاضر از سطح دریاهای آزاد حدود ۱۲۷۶/۷ متر ارتفاع دارد. (پس از ۴ سال خشکسالی نسبی ۱۳۷۴ تاکنون)

بخشی از حوضهٔ آبریز دریاچه ارومیه که در شمال می‌باشد در زمان پلیستوسن جزء حوضه آبریز خزر بوده که آبهای آن از طریق رود ارس در دریای خزر تخلیه می‌شده است ولی فعالیت گسل شمال تبریز و شاخه‌های فرعی آن سبب بالا آمدن زمینهای این بخش و در نتیجه ایجاد خط تقسیم آب جدیدی بصورت امروزی برای آن شده است (افتخارنژاد ۱۹۸۱) زمین لرزه‌هایی با بزرگی بیش از ۷/۳ ریشتر (مانند سلماس ۱۹۳۰) و اندکی کمتر مانند ماکو (۱۹۶۸) و مهاباد (۱۹۷۰) گواه جنبایی این گسله و شاخه‌های فرعی آن می‌باشد و کاملاً محتمل است که همراه گسله‌هایی چون زرینه رود از عوامل اصلی ایجاد فرونشست دریاچه ارومیه می‌باشد. [نقل از گزارش مطالعات زمین‌شناسی دریاچه ارومیه ۱۳۷۱]

گروهی از زمین‌شناسان اعتقاد دارند که دریاچه ارومیه بازمانده دریای تتیس و بخشی از دریای مدیترانه بوده که اکنون جدا مانده و از اواخر میوسن شکل گرفته است البته این دریاچه در زمان میوسن گستره بزرگتری را در بر می‌گرفته و تا میانه و تبریز ادامه داشته است و تراز آن

حداقل ۷۰ متر بالاتر از رقوم فعلی بوده است. دریاچه ارومیه در اثر دو رویداد زیر کوچکتر شده و سرانجام به وضعیت کنونی رسیده است.

الف – گسلش ناحیه‌ای که نشانه‌های آن بخوبی در نهشته‌های صدفدار قابل پیگیری است و در اثر آن بخش محوری دریاچه کنونی ارومیه پایین افتاده و نهشته‌ها نیز به پایین رفتن آن (فرونشست) یاری داده‌اند.

ب – فرا رسیدن بار رسوبی تلخه‌رود، زرینه‌رود و تشکیل بادبزنهای آبرفتی بزرگ که نتیجه آن پس رفت آب و ایجاد دشت بزرگ میان در ضلع شرقی دریاچه بوده است. [نقل از گزارش مطالعات زمین‌شناسی دریاچه ارومیه ۱۳۷۱]

مهمترین گسله‌های کواترنر که در محدوده دریاچه ارومیه شناخته شده‌اند عبارتند از گسله‌های تبریز، تسوج، برکشلو، سلماس، دریک، صوفیان – شرفخانه و مجموعه‌ای از گسله‌های کوچک که روندهای مختلفی را دارند. (قرشی، بربریان ۱۳۶۶) آنچه که از بررسی این گسله‌های کوچک بدست می‌آید این است که در سنگ کف دریاچه در سنگهای رسوبی میوسن گسله‌هایی وجود دارد که شناسایی آنها نیازمند بررسی لرزه‌نگاری دقیقی در دریاچه می‌باشد. [جلالی، نیکودل ۱۳۷۵]

ریخت‌شناسی دریاچه ارومیه

دریاچه تکتونیکی ارومیه بزرگترین دریاچه ایران و نسبتاً اشباع از نمک است[۱] که در یک حوضه بسته قرار گرفته است درازای آن ۱۴۰ کیلومتر و پهنای آن بین ۱۵ (کم پهناترین قسمت تا ۵۰ کیلومتر (پهن‌ترین قسمت) متغیر بوده و مساحت آن بین ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این تغییر مساحت به علت بالا و پایین رفتن سطح آب دریاچه در اثر تغییر میزان ریزش‌های جوی بر حوضه می‌باشد. در یک نگاه از دیدگاه ریخت‌شناسی دریاچه را می‌توان به چهار بخش تقسیم نمود. که بی‌تردید به ساختار و چگونگی شکل‌گیری کنونی آن وابسته است. [جلالی، نیکودل ۱۳۷۵]

۱– بخش شمالی: قسمتی از دریاچه است که گرداگرد شبه جزیره قوشچی واقع بوده و برپایه گزارشهای موجود ژرفترین نقطه دریاچه در باختر این بخش و نزدیک جزیره‌های موازی کنار شبه جزیره قوشچی می‌باشد. که تا ۱۶ متر اندازه‌گیری شده است و شورترین آب دریاچه نیز در این ناحیه قرار دارد. کناره خاوری شبه جزیره کم و بیش بصورت خط شمالی– جنوبی است که وجود یک گسله را آشکار می‌سازد و ژرفترین نقطه روی این گسله قرار دارد. دو خلیج در این بخش یکی در شمال شبه جزیره قوشچی و دیگری در جنوب آن واقع است. خلیج شمالی پیشروی بیشتری به سوی دشت سلماس دارد. مهمترین رودی که به این بخش می‌ریزد زولاچای است که میانگین ورودی آن به دریاچه کمتر از ۸۰ میلیون متر مکعب در سال است.

۲– بخش میانی: بصورت یک چهارگوش مربع مانند بوده و کم پهناترین قسمت دریاچه نیز میباشد. بزرگراه شهید کلانتری از حدود محوری آن میگذرد. این بخش در میان کوه چیقلو در خاور، کوههای بزداغی و زنبیل در باختر جای دارد. ژرفترین عمق این بخش حدود ۸ متر اندازه‌گیری شده است. رودهای نازلو، روضه و شهر چای از سوی باختر به این بخش از دریاچه میریزند و چون تنگترین قسمت دریاچه میباشد جریان سطحی حرکت دریاچه‌ای با توجه به شرایط هیدرودینامیک ناشی از وزش باد برآن شدیدتر است.

۳– بخش جنوبی – این بخش مهمترین و بزرگترین قسمت دریاچه است که در میان آن مجموعه‌ای از جزیره‌ها وجود دارد که محدوده کم و بیش مشخصی دارند و می‌توان آن را بخش چهارم بشمار آورد. در بخش جنوبی گسله‌های بزرگی چون گسله رحمانلو، گسله زرینه رود و گسله‌های کوچکتر را می‌توان باز شناخت.

تغییر سطح آب دریاچه بیشتر از هرجای دیگر در بخش جنوبی آن اثر میگذارد و شکل دریاچه را تغییر می‌دهد. رودهای پرآب زرینه رود، سیمینه رود، مهاباد رود و گادار چای به این بخش از دریاچه می‌ریزند، و در نتیجه آب آن شوری کمتری دارد. در بخش خاوری این ناحیه یک خلیج بزرگ (شیرامین – داش کسن) و یک شبه جزیره کوچک دارد که به هنگام ترسالی خلیج یاد شده بزرگتر می‌شود و باریکه‌ای از آب آن از خاور کوه چیقلو گذشته و به بخش شمال دریاچه می‌رسد و جزیره اسلامی از خشکی جدا می‌شود.

۴– بخش جزیره‌ها: در میانه بخش جنوبی دریاچه یک قسمت کم و بیش سراسری به صورت یک بیضی دراز در راستای ۱۶۵ درجه وجود

۱– (در حالیکه در پاره‌ای نقاط دریاچه شوری کل (TDS) آب دریاچه از ۳۵۰ گرم در لیتر تجاوز می‌نماید بلورهای نمک در کف دریاچه در آبهای ساحلی دیده می‌شود. این مقدار شوری زمانی حاصل می‌شود که تراز آب دریاچه از ۱۲۷۳ متر کمتر باشد. اکنون که در حالت میانگین ۱۲۷۶ متر است یعنی آب آن شیرین‌تر از مقدار مذکور است به حدود ۲۵۰ تا ۲۸۰ گرم در لیتر (بسته به نقاط آن) می‌رسد

دارد که در آن جزیره‌ها زیادی بوجود آمده‌اند. این جزیره‌ها در حقیقت بلندترین نقطه‌ها و قسمتهای یک سرزمین غرق شده است. از روی عکسهای هوایی چنین برمی‌آید که در حالت کلی ژرفای دریاچه کم و موج نقش‌ها روی نهشته‌های کف دریاچه دیده می‌شوند. از ویژگی‌های مهم این بخش از دریاچه وجود گسله‌ها و شکستگیهای زیاد است که در راستای آنها جزیره‌ها آرایش یافته و یا تقسیم شده‌اند و کناره آنها نیز کم و بیش در راستای گسله‌هاست. جنوبی‌ترین جزیره‌ها که کم و بیش در کناره کنونی دریاچه در جنوب دیده می‌شوند ازگروه جزیره‌های دوقوزلر می‌باشند (شکل ۲)[جلالی، نیکوئل ۱۳۷۵]

کیفیت آب دریاچه:

آب دریاچه از دیدگاه تقسیم‌بندی آبها بسیار شور (Hypersaline) و از دسته کلرید سدیم سولفات بشمار می‌آید که مقدار میانگین نمک حل شده در آب آن ۲۴۰ تا ۲۵۰ گرم در لیتر در تراز ۱۲۷۶ متر است که غلظتی بسیار بالا و در حدود ۸ برابر غلظت املاح دریاهای آزاد می‌باشد. گاه در دوران خشکسالی در تراز ۱۲۷۳ متر این غلظت به ۳۳۰ تا ۳۴۰ گرم و در دوران ترسالی در تراز ۱۲۷۸ این غلظت به ۱۴۰ تا ۱۶۰ گرم در لیتر می‌رسد نمکهای موجود به ترتیب فراوانی شامل کلرور سدیم، کلرور منیزیم، سولفات سدیم می‌باشند. [طلوعی و همکاران ۱۳۷۶]

میزان هر یک از املاح موجود برحسب گرم در لیتر و همچنین درصدآنها نسبت به کل املاح در جدول (۱) ارائه شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود درصد بزرگی از املاح (۵۷/۷۵) را کلر تشکیل می‌دهد. پس از آن سدیم و سپس سولفات و منیزیم قرار می‌گیرد از

نام یون	میزان غلظت یون	درصد غلظت یون نسبت به کل املاح
T.D.S	۲۳۵	۱۰۰
Mg	۶/۴۷	۲/۵۵
Ca	۰/۷۱	۰/۲۸
Na	۸۳/۰۲	۳۲/۸۱
Cl	۱۴۶	۵۷/۷۵
K	۲/۰۶	۰/۸۱
SO_4	۱۰/۹۲	۴/۳۲
Ca_3	۰/۲	۰/۰۸
Br	۰/۱۹	۰/۰۷۵
Si	۲/۴	۰/۹۵
جمع کل	۲۵۲/۰۷	۹۹/۶۲۵

جدول ۱- میزان املاح موجود در آب ارومیه بر حسب گرم در لیتر

مجموع املاح چنین نتیجه می‌شود که بخش قابل توجهی (بیش از ۸۷٪) از املاح موجود در آب دریاچه را نمک طعام تشکیل می‌دهد با توجه به میزان املاح موجود در آب دریاچه ارومیه، وزن مخصوص آب آن نیز از وزن مخصوص آب دریاهای آزاد بیشتر بوده در شرایط متعارف دارای رابطه زیر می‌باشد.

$\gamma_w = ۰/۰۰۰۶\ CO + ۱/۰۰۶۸$

که γ برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و Co غلظت املاح برحسب گرم در لیتر می‌باشد. یعنی در حالت عادی که غلظت آن ۲۴۰ گرم در لیتر است وزن مخصوص آب در حدود ۱/۱۵۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد (شکل ۴)

PH آب دریاچه ارومیه در نقاط مختلف از ۷/۶ تا ۷/۲ متغیر می‌باشد که از نظر PH آبی معمولی است. کیفیت آب دریاچه تابع میزان بارندگی و تبخیر از سطح دریاچه و محل نمونه‌برداری می‌باشد به صورتی که نمونه‌های برداشته شده از بخش جنوبی دریاچه تفاوت قابل توجهی با سایر بخش‌ها دارد. تغیر کیفیت آب در بخش شمالی کمتر از بخش جنوبی می‌باشد.

با توجه به کیفیت آب دریاچه و حضور میزان سولفات قابل ملاحظه، بایستی اثر آنرا بر سازه‌های احداث شده و یا در حال احداث مورد بررسی قرار داد و از مصالح مقاوم در برابر عوامل خورنده استفاده نمود. بررسی‌های انجام شده بر روی توام بتن معمولی و بتن پلیمری و سنگهای مختلف نشانگر این مطلب است که از بتن خاص و سنگهای مشخصی باید استفاده نمود. [جلالی، نیکوئل ۱۳۷۵]

خصوصیات نهشته‌های دریاچه از نظر زمین‌شناسی مهندسی:

نهشته‌های دریاچه ارومیه جز در محل ورود رودخانه‌ها که در دلتاها به مقدار قابل توجهی همراه با ماسه می‌باشد، عموماً دانه‌ریز بوده و حفاری‌های انجام شده در امتداد بزرگراه شهید کلانتری حاکی از ریزدانه بودن نهشته‌ها تا اعماق نسبتاً زیاد بویژه در نواحی مرکزی دریاچه می‌باشد. علاوه بر ریزدانه بودن، نهشته‌ها از لایه‌بندی نازکی نیز برخوردار می‌باشند. بعنوان مثال در گمانه اکتشافی RB.6 که از روی بستر خاکریز فعلی بزرگراه در سال ۱۳۷۱ که تا عمق حدود ۱۸۰ متری نهشته‌های حفاری شده اولین لایه ماسه‌ای قابل قبول که حدود ۲/۵ متر ضخامت داشته در عمق ۱۳۲ متری بوده که لایه بعدی در ۵ متری آن با ضخامت

کمتر مشاهده شده است. در همین عمق گمانه اکتشافی بصورت آرتزین عمل نموده آب بسیار شور همراه H_2S فوران نموده که فشار آن تا ۲/۵ آتمسفر برآورد گردیده است شوری این آب در لایه ماسه‌ای مزبور حدوداً ۱/۵ برابر شوری آب دریاچه در زمان مطالعه بوده و با حالت شورترین آب دریاچه همخوانی داشته است. گمانه‌های اکتشافی CB1 و CB2 که در بخش میانی دریاچه حفاری شده‌اند نیز حاکی از ریزدانه بودن نهشته‌ها در بخش فوقانی تا اعماق زیادی می‌باشند. (شکل ۵)

در نهشته‌های فوقانی دریاچه بویژه قسمت ۳۰ تا ۴۵ متری بالایی آن که در حالت آب کاملاً شور رسوب نموده است مشاهده می‌گردد که سیمانی شدن نهشته‌ها تحت اثر پدیده فیزیکی و شیمیایی بویژه در حضور املاح فراوان و کلرورها، باعث ایجاد مقاومت در هر لایه نازک رسوب سالانه شده و با افزایش نیروی کششی بین ذراتی بویژه با آزاد شدن الکترودها از مولکولهای ریزدانه نهشته‌ها و بالا رفتن نیروی واندروال (Van der val) این روند ادامه می‌یابد.

تغییر سطح آب دریاچه که موجب تغییر میزان املاح موجود در آب دریاچه می‌شود و همچنین آهنگ رسوبگذاری، دانه‌بندی نهشته‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد بنحویکه افزایش غلظت آب سبب می‌گردد که علاوه بر تغییرجنس نهشته برجای گذاشته شده مانع تهنشین شدن ذرهای ریزگردد این امر بهمراه بالا بودن آب محتوی نهشته‌ها که بیش از حد روانی آنهاست سبب گردیده که بخش فوقانی نهشته‌های برجای گذاشته شده در دریاچه ارومیه بویژه در قسمتهای میانی دریاچه از مقاومت بسیار کمی برخوردار باشند به طوریکه امکان تهیه نمونه دست نخورده با نمونه‌گیر استاندارد تا عمق ۸ متری از کف دریاچه مقدور نمی‌باشد.

کانی‌های رسی موجود در نهشته‌های دریاچه ارومیه بطور عمده کائولینیت، کلریت، ایلیت و کمتر مونت موریلونیت می‌باشند بهمین علت حد روانی این نهشته‌ها کمتر از ۵۰ می‌باشد. این نهشته‌ها از نظر طبقه‌بندی خاک عموماً در رده CL تا ML قرار می‌گیرند. (شکل ۶)

بررسی‌ها و آزمایشهای صحرایی نشان داده است که در محدوده میانی دریاچه بویژه در حوالی بزرگراه شهید کلانتری از عمق بستر دریاچه تا عمق ۴۵ متری نهشته‌های کاملاً حساس بوده یعنی نسبت مقاومت دست‌خورده به دست خورده عملاً بین ۴ تا ۶ تغییر می‌کند. البته در اعماق پایین‌تر نیز حساسیت آنها قابل توجه است ولی تا عمق ۴۵ متری آزمایش برش پره‌ای نسبت مقاومت حالت دست خورده و دست نخورده را مستقیماً نشان می‌دهد. (شکل‌های ۷ و ۸)

فعالیت نهشته‌های ریزدانه که براساس نسبت شاخص خمیرایی آنها به درصد وزنی ذرات کوچکتر از دو میکرون محاسبه می‌گردد، برای نهشته‌های ریزدانهٔ دریاچهٔ ارومیه بر روی نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌های مختلف تعیین شده که در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود این نهشته‌ها عموماً در محدودهٔ فعال قرار می‌گیرند و از نظر توان انبساطی نیز در محدودهٔ نهشته‌های متوسط شونده جای دارند.

نتایج آزمایش نفوذ استاندارد SPT نشان می‌دهد که تعداد ضربات این آزمایش از عمق ۳۰ تا ۵۰ متری بین ۵ تا ۱۴ و سپس بصورت نسبتاً خطی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش مقاومت برشی نسبت به عمق می‌باشد. شکل ۱۰ چگونگی تغییر عدد SPT را با عمق در نهشته‌های بخش میانی دریاچه نشان می‌دهد.

مقاومت برشی خاک در اعماق ۳۵ تا ۵۵ متری به ۴۰ تا ۷۰ کیلو پاسکال می‌رسد بنابر این مشخص می‌گردد که قشرهای فوقانی نهشته‌ها، حداقل تا عمق ۵۵ متر در بخش میانی دریاچه و تا اعماق کمتر در نزدیکی سواحل (حداقل ۱۵ متری) تحکیم نیافته می‌باشند. (شکل‌های ۱۱ و ۱۴)

وجود پدیده سیمانی شدن در ورقهای نازک قشرهای مختلف فوقانی نهشته‌های بستر دریاچه سبب گردیده است که تحکیم لایه‌های زیرین براحتی صورت نگیرد و موجب حساسیت خاک شود این پدیده نتیجه‌ای از چنین محیط رسوبگذاری و املاح موجود در آن می‌باشد. علاوه بر پدیده سیمانی شدن دو پارامتر دیگر یعنی بندش (Thixotropy) [بازگشت بخشی یا تمام مقاومت خاک در اثر بازسازی ساختار نهشته‌ها توسط عوامل طبیعی با گذشت زمان] (Nash, 1992) و آب محتوی لایه‌ها در تغییر مقاومت لایه‌های نهشته‌های بستر دریاچه بویژه در اعماق ۵۰ تا ۷۰ متری اولیه اهمیت فراوان دارد. دراین نهشته‌ها ساختار طبیعی تشکیل شده اهمیت زیادی دارد و باید بگونه‌ای عمل شود که از انهدام ساختار خاک جلوگیری شود. (شکل ۱۲) میانگین مقاومتهای برشی بدست آمده براساس نتایج آزمایش مقاومت تک محوری و آزمایشهای صحرایی نفوذ استاندارد و برش پره‌ای تا محدوده‌ای که امکان انجام آزمایش وجود داشته است بیش از مقاومت بدست آمده از آزمایش برش پره‌ای را نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود مقاومتهای بدست‌آمده از آزمایش برش پره‌ای تا محدوده‌ای که امکان انجام آزمایش وجود داشته است بیش از مقاومت بدست آمده از آزمایش نفوذ استاندارد و مقاومت تک محوری می‌باشد. علت این امر را می‌توان به اهمیت ساختار نهشته‌ها و حضور پدیدهٔ سیمانی شدن آن نسبت داد، زیرا در آزمایش برش پره‌ای ساختار خاک کمتر بهم ریخته و

مقاومت واقعی‌تری را ارائه می‌دهد (Sorokina, 1995) علاوه بر این تفاوت میان این سه روش یاد شده نشانگر حساسیت نهشته‌های ریزدانهٔ دریاچهٔ اورمیه می‌باشد. نهشته‌های بخش تحتانی که به مرور زمان تحت تاثیر وزن نهشته‌های لایه‌های فوقانی تحکیم یافته‌اند با وجود اینکه دانه‌ریز هستند از مقاومت نسبتاً خوبی برخوردار می‌باشند در این بخش، از نهشته‌های در اعماق پایین عدسی گونه‌های نسبتاً بزرگی از ماسه ریزدانه یافت می‌شوند که حاوی آب تحت فشار می‌باشند.

نتیجه‌گیری :

دریاچه ارومیه یک حوضه تبخیری است که دارای سیستم هیدرولوژیکی پیچیده‌ای می‌باشد. این دریاچه شباهت بسیار زیادی به دریاچه بزرگ نمک (Great Salt Lake) آمریکا دارد. این دریاچه طبق تقسیم‌بندی ژئوشیمیایی در ردیف شورابهای CL , SO_4 قرار دارد که توالی کانی‌های تبخیری در این دریاچه عبارتند از کربنات کلسیم، ژیپس، هالیت، کیزریت، کانی‌های پتاسیم‌دار نظیر کارنالیت و پلی هالیت. [مهاجر و همکاران ۱۳۷۶]

از نظر ساختاری دریاچه ارومیه یک دریاچه تکتونیکی است که در یک فرو افتادگی بلند در استان آذربایجان قرار دارد. گسله‌های لرزه‌ای فعال در شمال و یا فعال احتمالی در اطراف دریاچه وجود دارند که هراز چندگاهی جنبشهایی بوجود می‌آورند که بر بستر نرم و کف دریاچه اثر می‌گذارند.

سنگهای با سن پرکامبرین تا عهد حاضر در حوضه آبریز این دریاچه با توان فرسایشی متفاوت وجود دارد که عامل مهمی در تامین میزان رسوب وارده به دریاچه و تغییر املاح آن می‌باشد.

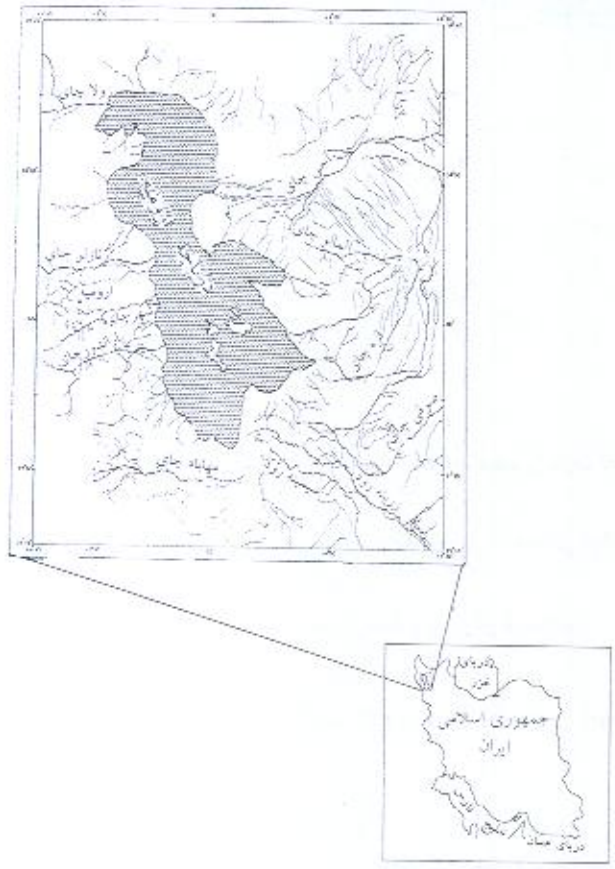
برخلاف آنچه که در نوشتارها منتشر شده است عمق نهشته‌های نرم ۴۵ متر نمی‌باشد و سنگ بستر دراین عمق قرار ندارد بلکه حداقل در بخش میانی منطقهٔ عبور بزرگراه، ضخامت نهشته‌های بیش از ۲۰۰ متر می‌باشد. نهشته‌های دریاچه ارومیه بجز در محل ورود رودخانه‌ها عموماً دانه‌ریز بوده و با توجه به محیط رسوبی و غلظت محلولی که در آن رسوب نموده‌اند می‌توان آنها را به دو بخش سست و تحکیم نیافته فوقانی (حداقل تا عمق ۳۰ تا ۴۵ متری) و بخش متراکم و تحکیم یافته تحتانی تقسیم نمود.

با توجه به جنس و ساختار نهشته‌های تشکیل شده در این دریاچه و اهمیت حفظ اسکلت خاک در آنها باید در اینگونه خاکها در هنگام اجرای عملیات عمرانی به گونه‌ای عمل شود که ساختار خاک منهدم نگردد و یا در صورت ضرورت اجرای سریع عملیات اجرایی ابتدا نهشته‌های نرم بهسازی شده آنگاه عملیات اجرایی آغاز گردد.

با توجه به نوع آب دریاچه و میزان نمک محلول در آب، سازه‌های احداث شده در آن باید با مصالحی ساخته شوند که از دوام قابل قبولی برخوردار باشند. آزمایشهای انجام گرفته در مورد بتن بادوام نشانگر این نکته است که بتن ساخته شده با عیار ۴۲۰ کیلوگرم سیمان و حدود ۳۲ کیلوگرم میکروسیلیس و رعایت ضریب آب به سیمان ۰/۳۲ تا ۰/۳۵ همواره دوام آن در مقابل آب شور دریاچه و پدیده یخبندان و نوب در حد بسیار خوبی تامین است، و نیز لازم است که ضخامت بتن آرماتورها همواره بیش از۶ سانتیمتر باشد.

سپاسگزاری :

از معاونت محترم ساخت بنادر و فرودگاههای وزارت راه و ترابری و آقای مهندس بیات و مهندسان مشاور آب نیرو و آقای مهندس مصطفی شهرابی جهت دراختیار گذاشتن منابع و فراهم کردن امکان این بررسی تشکر می‌نماییم.



شکل ۱- موقعیت دریاچه ارومیه در ایران و گستره آبگیران

راهنما

0 10 20 30 40 km

دریاچه

آبرفت و پادگانه های جوان

نمکزار و باتلاق

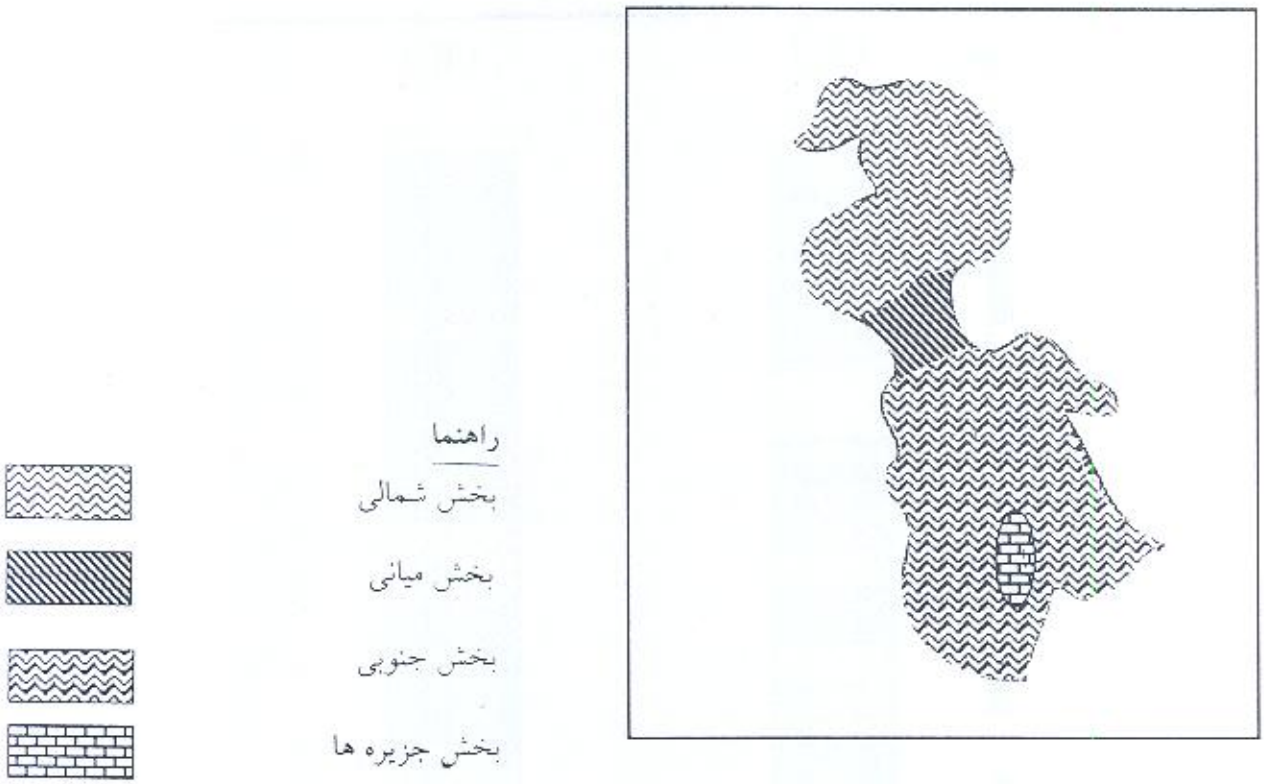
سنگهای رسوبی با سیمان ضعیف و مارن (فرسایش پذیرترین واحد)

سنگهای رسوبی،خاکسترهای آتشفشانی،توف

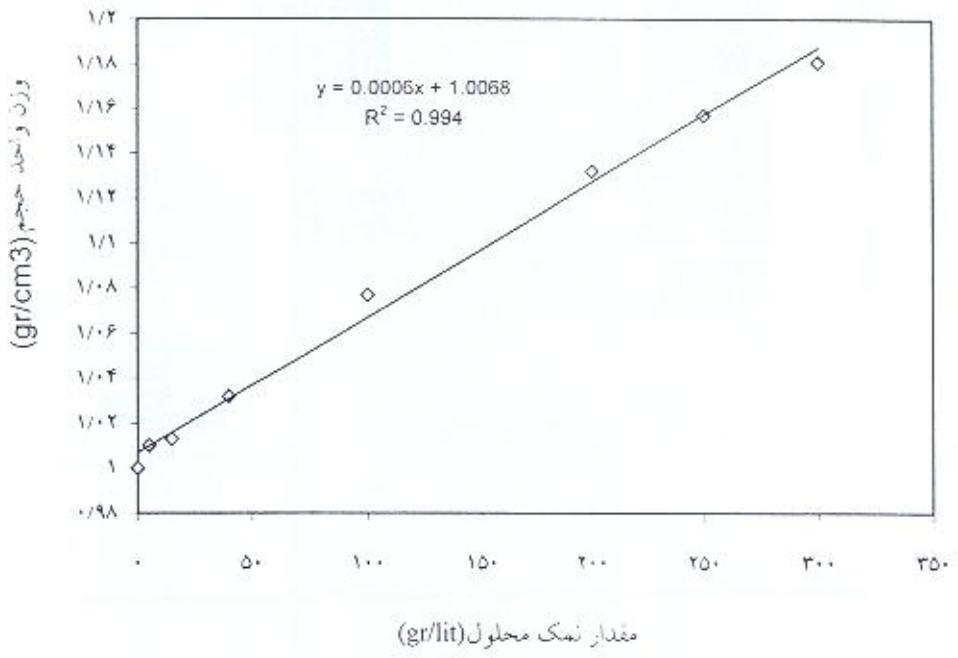
سنگهای رسوبی مقاوم در برابر فرسایش

سنگهای آذرین مقاوم در برابر فرسایش (مقاوم ترین واحد در برابر فرسایش)

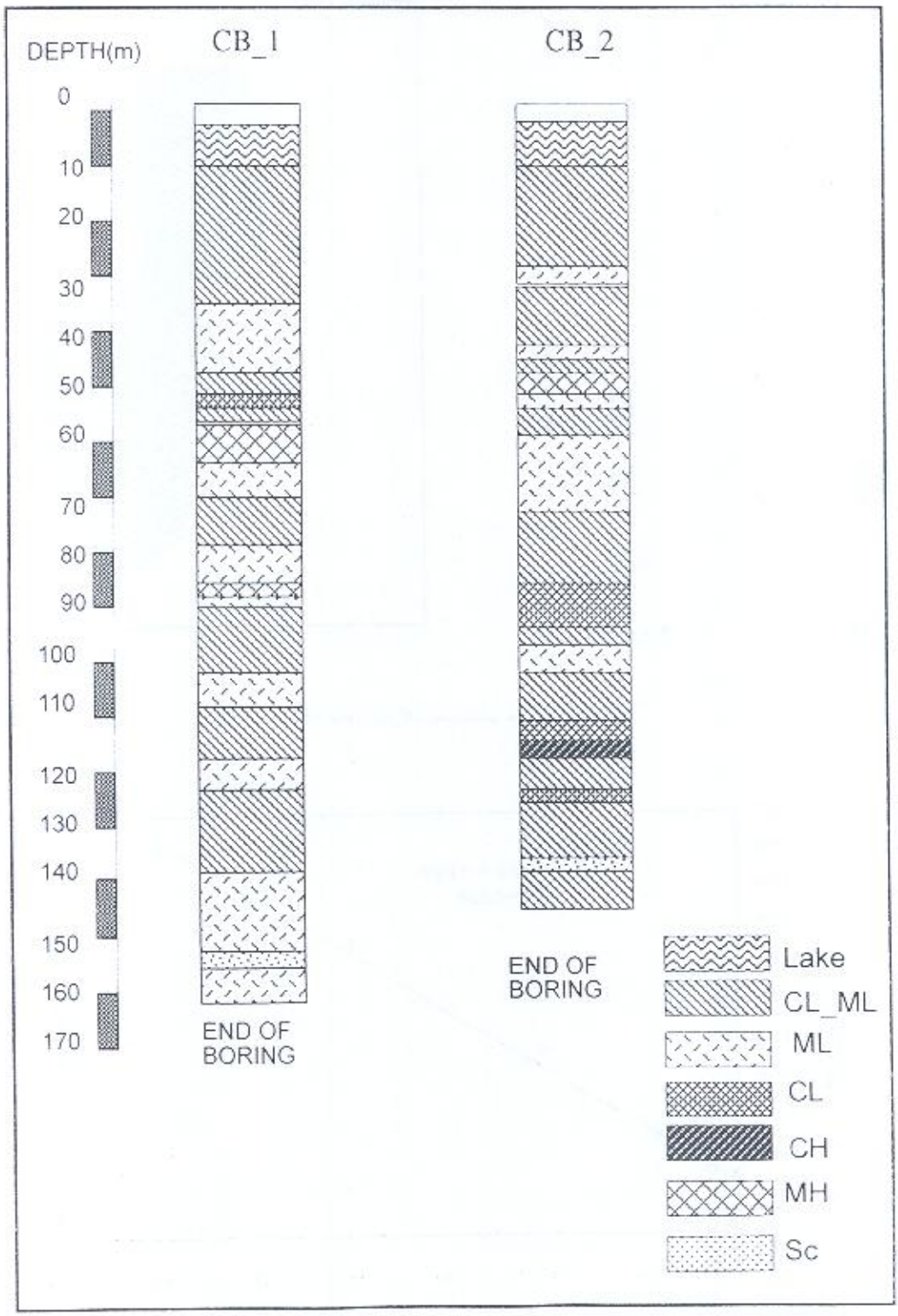
شکل ۲- پتانسیل فرسایش پذیری واحدهای لیتولوژی پیرامون دریاچه ارومیه



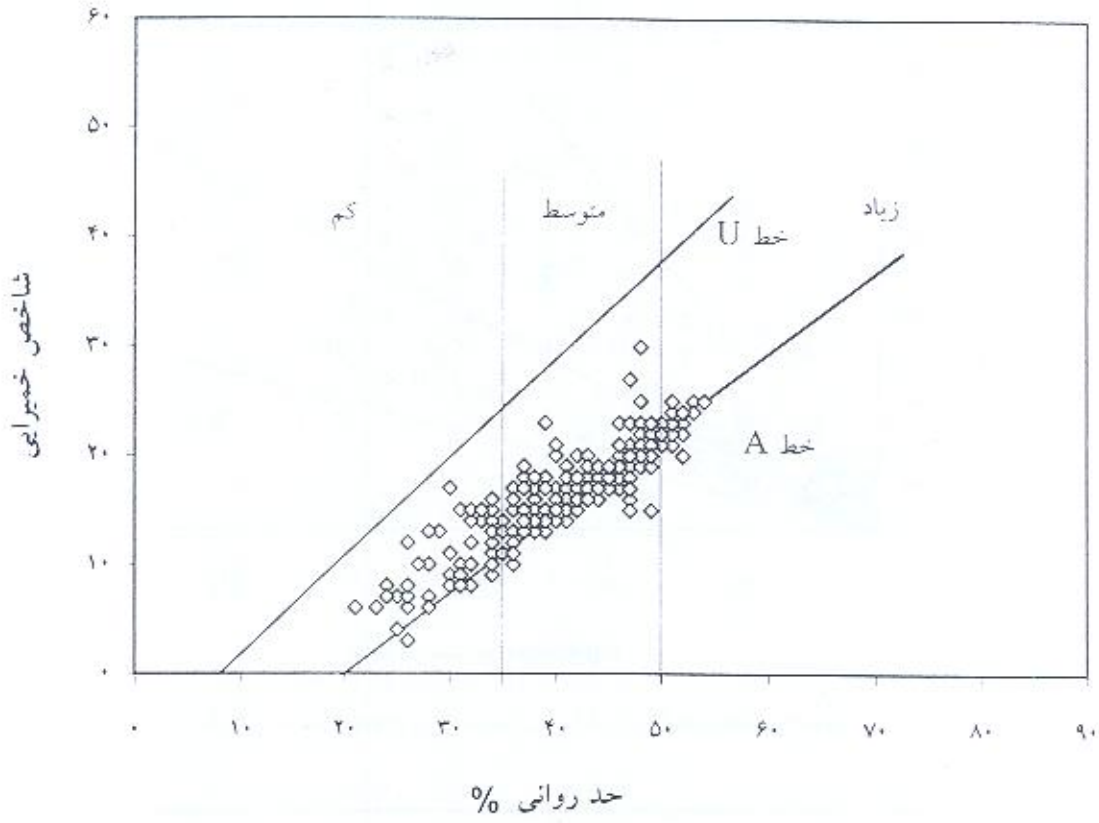
شکل ۳ - مناطق چهارگانهٔ ریخت‌شناسی دریاچه ارومیه



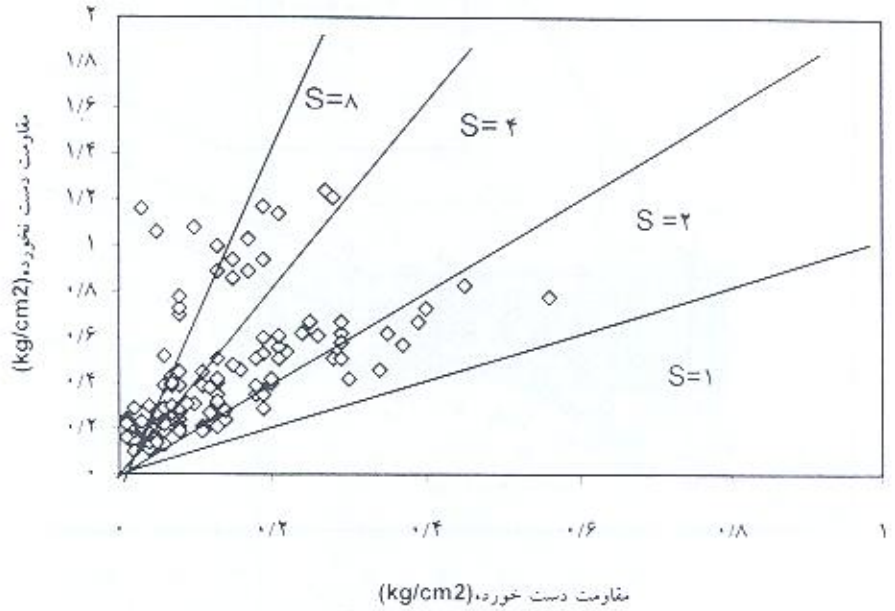
شکل ۴ - رابطهٔ بین زون واحد حجم و مقدار نمک محلول در آب دریاچه ارومیه



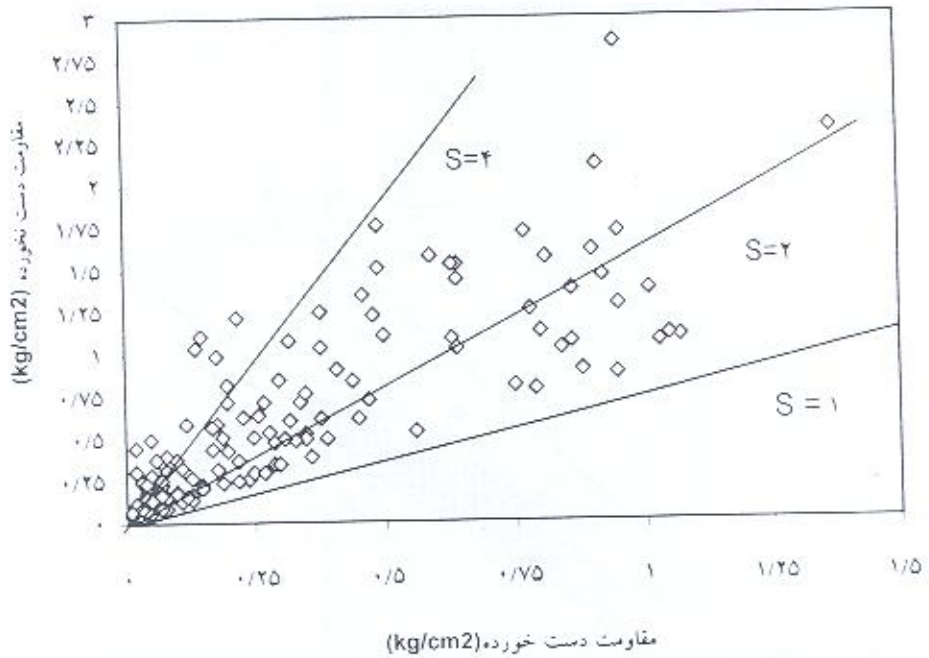
شکل ۵ - نمودار گمانه‌های CB.1 و CB.2 در بخش میانی دریاچه ارومیه



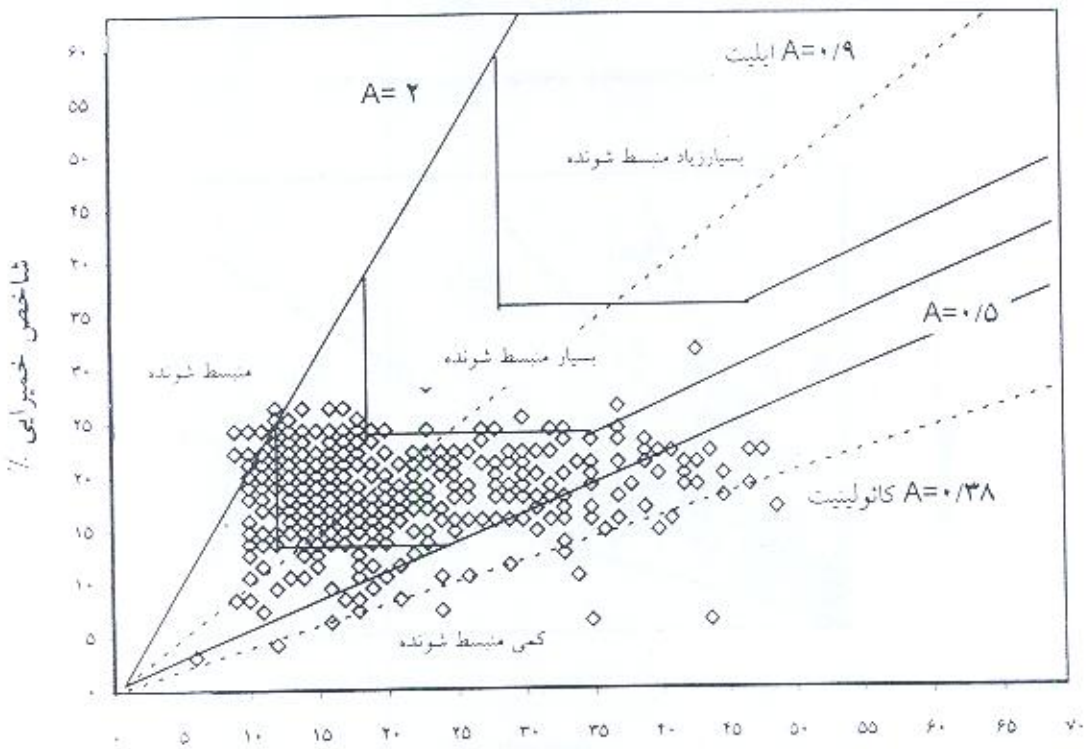
شکل ۶ - نمودار خمیرایی و نهشته‌های ریزدانهٔ دریاچه ارومیه



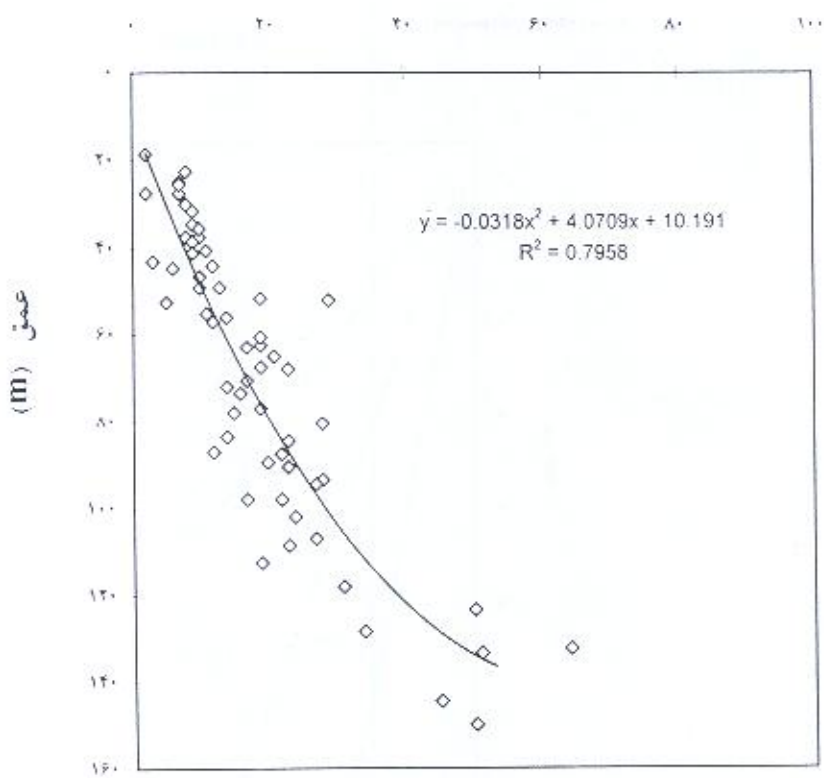
شکل ۷ - حساسیت نهشته‌های ریزدانه دریاچه ارومیه براساس نتایج آزمایش برش پره‌ای در بخش میانی



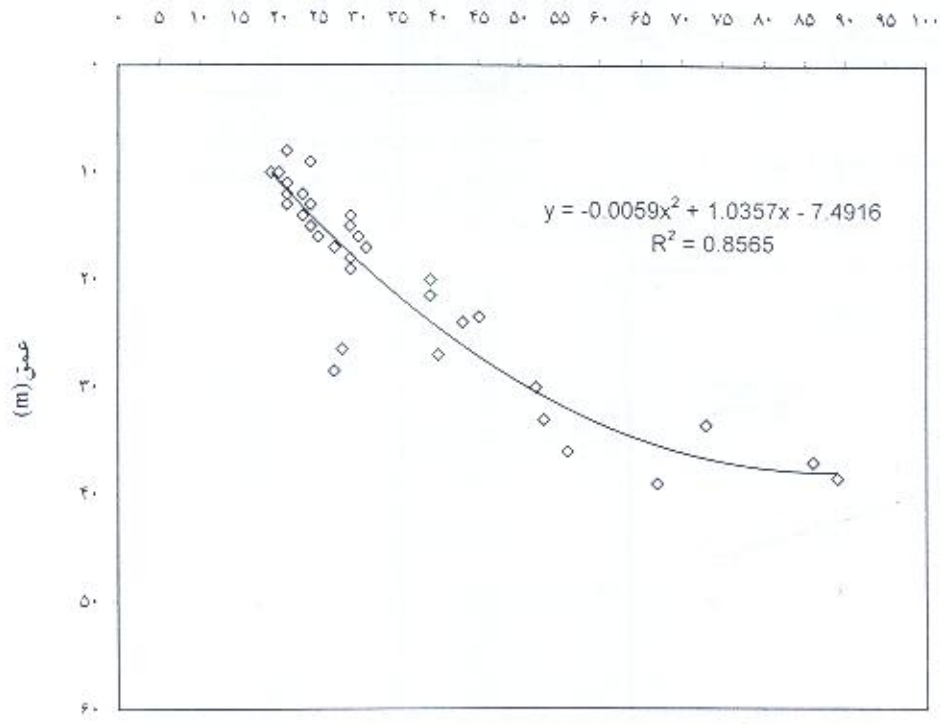
شکل ۸ - حساسیت نهشته‌های ریزدانه دریاچه ارومیه براساس نتایج آزمایش مقاومت تک محوری



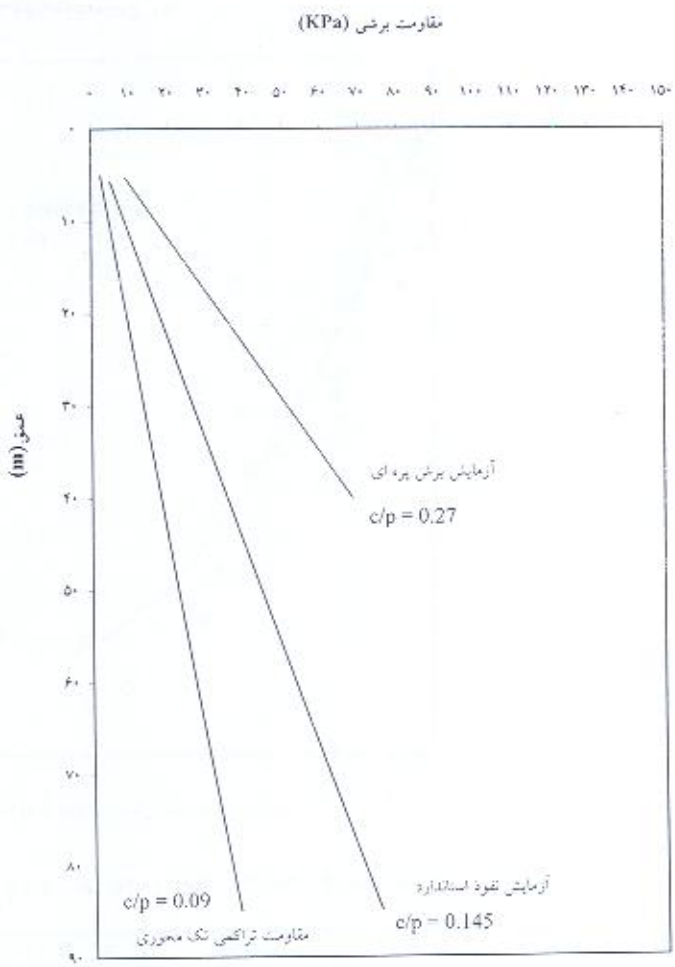
شکل ۹ - نمودار فعالیت نهشته‌های ریزدانه دریاچه ارومیه



شکل ۱۰ - تغییرات عدد نفوذ استاندارد با عمق در بخش میانی دریاچه ارومیه

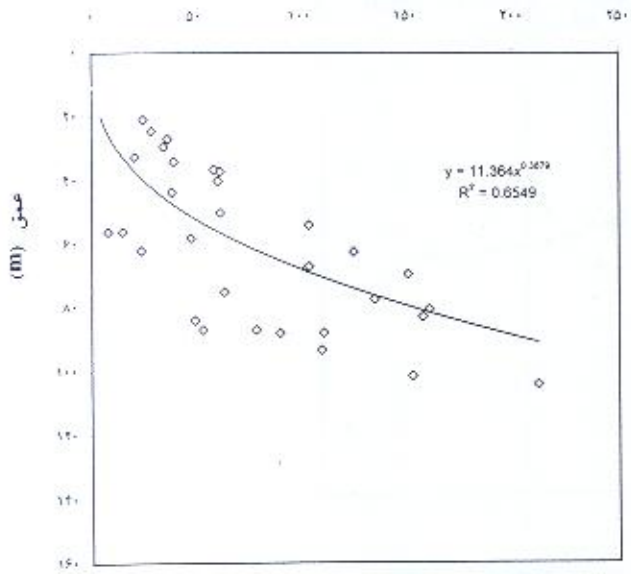


شکل ۱۱ - تغییرات مقاومت برشی با عمق براساس نتایج آزمایش برش پره‌ای در بخش میانی دریاچه

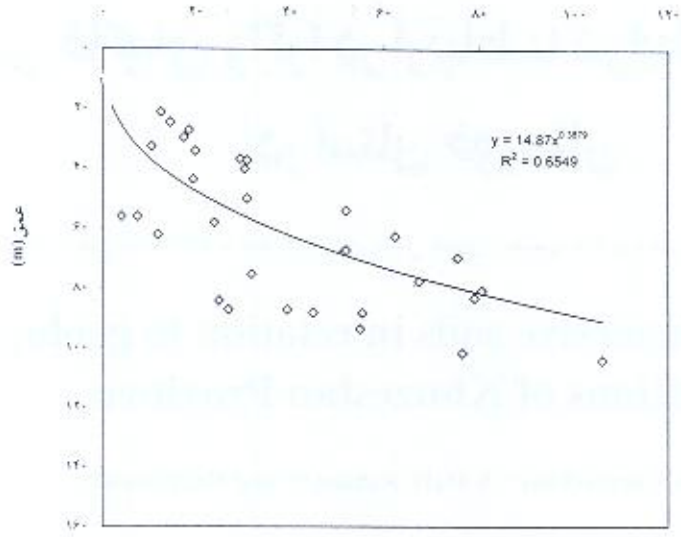


شکل ۱۲ : میانگین تغییرات مقاومت برشی اصلاح شده با عمق در بخش میانی دریاچهٔ ارومیه بر اساس آزمایش های مقاومت تک محوری، نفوذ استاندارد و برش پره ای

شکل ۱۲ - میانگین تغییرات مقاومت برشی اصلاح شده با عمق در بخش میانی دریاچهٔ ارومیه براساس آزمایش‌های مقاومت تک محوری، نفوذ استاندارد و برش پره‌ای



شکل ۱۳ - تغییرات مقاومت تراکم تک محوری با عمق در بخش میانی دریاچه



شکل ۱۴ - تغییرات مقاومت برشی با عمق براساس نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری در بخش میانی دریاچه

کتابنگاری

بربریان. م، و قرشی. م، ۱۳۶۶- پژوهش و بررسی لرزه زمینساخت کاربردی خطر زمین‌لرزه گسلش در گستره دریاچه تکتونیکی ارومیه.

جلالی. ح، و نیکودل. م، ۱۳۷۵- دریاچه ارومیه از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی، اولین کنگره زمین‌شناسی دانشگاههای ایران، کرمان

شهرابی. م، ۱۳۷۳- شرح نقشه چهارگوش ارومیه انتشارات سازمان.

شهرابی.م، ۱۳۷۳- دریاها و دریاچه‌های ایران – طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران شماره ۱۰.

طلوعی. ج، و همکاران ۱۳۷۶- هیدروشیمی دریاچه ارومیه، اولین همایش زمین‌شناسی دریایی ایران.

مهاجر باوقار، ن. و همکاران ۱۳۷۶- ژئوشیمی و منشاء آبشور دریاچه ارومیه، اولین همایش زمین‌شناسی دریایی ایران.

مهندسان مشاور آب نیرو، ۱۳۷۱- گزارش مطالعات زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی دریاچه ارومیه مربوط به مطالعات بزرگراه شهید کلانتری . .

مهندسان مشاور آب نیرو ، ۱۳۷۱- گزارش مطالعات هیدرولوژی دریاچه ارومیه مربوط به مطالعات بزرگراه شهید کلانتری . .

References

Biederman, N. 1981- Great Salt Lake : In Kirk Other Encyhclopedia of Chemical Technology, Supplement vol.; pp438-467

Eugster, H.P. & Hardie, L.A. 1987- Saline Lakes: in Lakes Chemistery, Geology and Physics, ed., A.Lherman, Spring- Verlag pub; pp.237-293

Kelts K.& Shahrabi M. 1986- Holocene Sedimentology of Hypersaline Lake Urmia. Northwest of Iran, paleochemical and paleoclimate., 54 Elsevier Sci; pub.pp.105-130

Nash. D.F.T.& Powell .J.J.M. 1992-Initial investigations of the soft clay test site at Bothkenannar Geotechnique 42,No2, 163-181.

Sorokina.G.V. 1995- Engineering Properties of weak soils at foundations of buildings. A.A BALKEMA PUBLISHERS

* Abniroo Consulting Enginneers, Tehran, Iran

** Engineering Geology Group, University of Tarbiat-e-Moddarres, Tehran, Iran

* مهندسان مشاور آب نیرو

** گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس