تأثیر آب‌های شور بر تغییر ویژگی‌های مهندسی ماسه‌سنگ‌ها

زینب جورکش[۱*]، رسول اجل‌لوئیان[۲]، امیرحسین صادقپور[۳] و محمدجواد کلانتر هرمزی[۴]

[۱]کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
[۲]دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
[۳]استادیار، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
[۴]کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۰۹/ ۰۳/ ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۲۹/ ۰۹/ ۱۳۹۵

چکیده

در این پژوهش تأثیر شوری بر ویژگی‌های مهندسی ماسه‌سنگ‌ها بررسی شده است. بدین منظور دو نوع ماسه‌سنگ مربوط به تکیه‌گاه و سنگ‌چین محافظ سد ونیار (در استان آذربایجان شرقی) و سه نوع آب (آشامیدنی، نیمه‌شور و شور) برای اشباع ماسه‌سنگ‌های اشاره شده مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش‌های جذب آب، مقاومت تراکمی تک‌محوری، بار نقطه‌ای، ذوب و انجماد، سرعت صوت و دوام در برابر خشک و تر شدن در بازه‌های زمانی مختلف روی نمونه‌های سنگی اشباع انجام شد. پس از ۵ ماه قرارگیری نمونه ماسه‌سنگ‌های نوع ۱ و۲ در آب شور، مقاومت تراکمی تک‌محوری به ترتیب ۱۳ و ۴ درصد و پس از ۱۰ ماه به ترتیب ۱۲و ۰/۲ درصد کاهش مقاومت نسبت به حالت آب آشامیدنی نشان داد. میزان کاهش دوام پس از ۱۰ چرخه، با افزایش شوری (از آب آشامیدنی تا شور) برای سنگ نوع ۱ از ۲/۳ % تا ۴/۲ % و برای سنگ نوع ۲ از ۱/۸ % تا ۳/۲ % تغییر کرد. سرعت صوت در نمونه‌های خشک ماسه‌سنگ‌های نوع ۱ و ۲ به ترتیب ۴۴۵۰ و ۴۹۵۰ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد که با بالا رفتن شوری به ۴۶۹۹ و ۵۲۵۵ متر بر ثانیه رسید. آب شور روی دوام در برابر ذوب و انجماد تقریباً بدون تأثیر بوده است.

کلیدواژه‌ها: ماسه‌سنگ، سد ونیار، شوری، مقاومت تراکمی تک‌محوری، دوام، سرعت صوت.

***نویسنده مسئول:** زینب جورکش
E-mail: Geologist.fj20@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

پروژه سد مخزنی «ونیار» در استان آذربایجان شرقی در شمال باختری ایران از یک سد اصلی و حدود ۱۰ سد و سازه کنترل شوری در بالادست تشکیل شده است و برخی از سازه‌های این پروژه در معرض آب‌های شور قرار دارد. از آنجا که بدنه و تکیه‌گاه برخی از سازه‌های کنترل شوری و سد اصلی واقع بر رودخانه آجی‌چای (سد ونیار) در معرض آب‌های شور و نیمه‌شور قرار می‌گیرند و ویژگی‌های رفتاری سنگ‌ها بر پایه وضعیت اشباع در آب‌های آشامیدنی تعیین شده است؛ بررسی تغییر ویژگی‌های سنگ‌های بدنه و تکیه‌گاه در طی زمان ضروری به نظر می‌رسد. بررسی پیشینه نشان می‌دهد که در مناطق بسیاری از ایران و جهان، مسئله زمین‌های شور و یا آب‌های شور وجود دارد. به همین علت در مورد جنبه‌های مختلف شوری بررسی‌های بسیاری انجام شده است. همچنین در مورد تأثیر آب شور بر متغیرهای رفتاری سنگ در طی زمان اظهار نظر خاص یا مطالعه مستقلی انجام شده ولی در زمینه این نوع سنگ خاص (ماسه‌سنگ کوارتزی) و با وضعیت شوری مورد نظر در این پروژه، پیشینه پژوهشی وجود ندارد و بنابراین با توجه به گسترش شوری و مورد خاص این طرح و طرح‌های مشابه، ضرورت انجام آن قابل توجه است.

این پژوهش برای مدل کردن شرایط واقعی محل انجام شده است. در این رابطه مطالعاتی انجام شده که در ادامه به‌طور مختصر به آنها اشاره می‌شود.

Ghobadi and Momeni (2011) تأثیر هوازدگی و pH را بر سنگ‌های گرانیتی مطالعه کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که این سنگ‌ها دوام بسیار بالایی دارند؛ ولی در درازمدت، تحت تأثیر هوازدگی و کاهش pH می‌توانند دچار آسیب‌های جدی شوند و مقاومت آنها کاهش یابد. البته نوع سنگ نیز تأثیرگذار بوده است. به‌طوری که در سنگ‌های اسیدی‌تر، کاهش pH بدون تأثیر یا با تأثیر کمتری همراه بود. Ghobadi and Mousavi (2014) با بررسی تأثیر pH و محلول نمکی بر دوام ماسه‌سنگ‌ها نشان دادند که کاهش pH، کاهش شاخص دوام سنگ را به‌دنبال دارد و در محلول‌های نمکی، سدیم‌سولفات، تأثیر بیشتری نسبت به سدیم‌کلرید در کاهش دوام دارد. نتایج مطالعه قبادی و کاپله‌ای (۱۳۹۳) در بررسی اثر pH آب بر ترکیب شیمیایی و دوام‌پذیری واحدهای سنگی سازند قم نشان داد که شرایط محلول اسیدی روی سنگ‌های غنی از کربنات کلسیم موثر است در حالی که سنگ‌های دارای سیلیس زیاد، تحت تأثیر این شرایط قرار نمی‌گیرند و دوام‌پذیری این گروه از سنگ‌ها به بافت سنگ وابستگی زیادی دارد. نتایج آزمایش دوام انجام شده توسط Gupta and Ahmed (2007) در pHهای متفاوت نشان داد که سنگ‌های ریزدانه نسبت به سنگ‌های درشت‌دانه به‌دلیل داشتن سطح در معرض بیشتر، حساس‌تر و در نتیجه در برابر اسید تجزیه‌پذیرتر هستند. Summersby et al. (2013) با آزمایش روی ماسه‌سنگ‌رس‌دار، تأثیر غلظت و نوع محلول را بر شاخص دوام بررسی کرند. نتایج حاصله طی ۴ چرخه نشان داد که تأثیر کاتیون‌ها بر کاهش دوام به صورت Cu^{2+} $K^{+}< H_2O < Mg^{2+}<$ است. همچنین مطالعه Çelik et al. (2014) روی توف مشخص کرد که تأثیر آب بر متغیر دوام و مقاومت سبب کاهش عمر سازه می‌شود. طبق نتایج به دست آمده، مقاومت تراکمی تک‌محوری نمونه‌های غوطه‌ور در آب به مدت ۱ و ۴۸ ساعت به ترتیب به میزان ۳۱/۹۶ و ۴۳/۹۹ درصد نسبت به نمونه خشک کاهش یافت. همچنین برای تعیین تأثیر ذوب و انجماد، پس از قرارگیری نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آب، مقاومت نمونه‌های خشک شده و خشک نشده پس از فرایند ذوب و انجماد به‌ترتیب حدود ۵/۴ % و ۳۳/۸ % کاهش نشان داد.

در مجموع با توجه به مطالعات صورت گرفته، سنگ‌هایی که دوام بسیار بالایی دارند؛ ممکن است در درازمدت، تحت تأثیر هوازدگی و کاهش pH، دچار آسیب‌های جدی شوند و مقاومت آنها کاهش یابد. البته نوع سنگ نیز تأثیرگذار بوده، به‌طوری که در سنگ‌های اسیدی‌تر، کاهش pH بدون تأثیر یا با تأثیر کمتری همراه بوده است. با افزایش تعداد چرخه‌های خشک و تر شدن، ضعیف شدن پیوندهای میان‌دانه‌ای آسان‌تر می‌شود که تأثیر تعداد چرخه در آزمایش دوام را نشان می‌دهد. سنگ‌های ریزدانه نسبت به سنگ‌های درشت‌دانه به دلیل داشتن سطح در معرض بیشتر، حساس‌تر و در نتیجه در برابر اسید تجزیه‌پذیرتر هستند.

۲- مواد و روش‌ها

برای انجام مطالعات آزمایشگاهی ابتدا باید نمونه‌برداری و سپس نمونه‌گیری انجام شود. در پژوهش حاضر سنگ‌چین محافظ و تکیه‌گاه سد دارای دو نمونه ماسه‌سنگ است. به منظور بررسی تأثیر درازمدت شوری بر خواص مهندسی ماسه‌سنگ‌ها، از

آب و سنگ‌چین‌های محافظ (ریپ رپ) نمونه‌برداری انجام و تکیه‌گاه سد مطالعه شد. آب شور (آب سرشاخه کرچای) و آب نیمه‌شور (آب رودخانه آجی‌چای، تونل ورودی سد ونیار) توسط کارگاه سدسازی ونیار نمونه‌برداری و همچنین از نمونه‌های سنگی برای آزمایش‌های متفاوت، مغزه‌گیری شد (شکل ۱).

به منظور بررسی تأثیر نوع آب بر رفتار مهندسی سنگ‌چین‌های محافظ و تکیه‌گاه سد، آزمایش‌های آزمایشگاهی با استفاده از آب شهری، آب نیمه‌شور (آب رودخانه آجی‌چای) و آب شور (آب سرشاخه کرچای) در طول زمان روی ماسه‌سنگ‌ها انجام گرفت که در این بخش، چگونگی آماده‌سازی نمونه‌ها و روش استاندارد آزمایش‌ها، ارائه شده است.

برای انجام آزمون تراکمی تک‌محوری، بار نقطه‌ای، جذب آب و اولتراسونیک (سرعت صوت) نمونه‌های استوانه‌ای آماده شد. نمونه‌های سنگی شامل نمونه ۱ و نمونه ۲ است.

در این پژوهش آزمون دوام خشک و تر شدن طبق استاندارد انجام پذیرفت (ASTM D3744/D3744M, 1995). به منظور انجام آزمایش دوام، از ۲ نوع ماسه‌سنگ ۸۰ قطعه ۴۰ تا ۶۰ گرمی به‌صورت تا حد امکان کروی تهیه و هر ۱۰ قطعه برای یک وضعیت آزمایش استفاده شد. قطعات نمونه درون آب آشامیدنی، نیمه‌شور و شور قرار داده شد و در طول زمان ۳۰۰ روز و طی ۱۱ مرحله، آزمون دوام انجام گرفت. در وضعیت آب آشامیدنی و نیمه‌شور، آب موجود در دستگاه آزمون دوام آشامیدنی و نیمه‌شور بود؛ ولی برای نمونه‌های موجود در تماس آب شور دو حالت در نظر گرفته شد؛ در حالت اول، نمونه در آب شور قرار داده و آزمایش با آب شور انجام شد و در حالت دوم، نمونه در آب شور قرار داده و با آزمون دوام آب آشامیدنی انجام شد (شور- آشامیدنی)؛ و تا حد امکان از ایجاد بلور بر سطح نمونه‌های موجود در آب شور جلوگیری به عمل آمد.

آزمایش تعیین درصد رطوبت با توجه به استانداردهای ISRM (1980) و ASTM D2216 (1999) صورت پذیرفت. نمونه‌های استوانه‌ای ۱ و ۲ در سه نوع آب آشامیدنی آزمایشگاه، نیمه‌شور و شور قرار داده و این آزمایش به‌صورت ماهانه انجام شد.

آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری طبق استاندارد انجام شد (ASTM D2938, 1995). آزمون تعیین شاخص مقاومت بار نقطه‌ای طبق استاندارد انجام پذیرفت (ASTM D5731, 1999 and ISRM, 1985). در این پژوهش از دو روش استفاده شد. این آزمون روی هر دو نمونه ماسه‌سنگ قطری و بلوکی- کلوخه‌ای پس از اشباع شدن در هر سه نوع آب به‌مدت ۱ سال به صورت اشباع و همچنین خشک انجام گرفت.

اندازه‌گیری سرعت صوت به روش موج صوتی با بسامد بالا و به‌صورت انتشار موج طبق استاندارد انجام شد (ASTM D5731, 1999 and ISRM, 1980). نمونه‌های استوانه‌ای درون هر سه نوع آب قرار داده شدند و به‌صورت ماهانه به مدت ۳۰۰ روز (۱۰ بار) و هر بار حدود ۳ تا ۷ مرتبه روی هر نمونه آزمایش و سپس میانگین‌گیری انجام شد.

۳- ویژگی‌های پایه نمونه‌ها

در این بخش به ویژگی‌های نمونه‌های آب و سنگ مورد آزمایش پرداخته می‌شود. نمونه آب‌های مورد استفاده در این طرح، شامل آب آشامیدنی، نیمه‌شور و شور هستند. به منظور بررسی تأثیر املاح موجود در آب، تجزیه شیمیایی نمونه‌ها انجام شد.

در جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی هر سه نوع آب رسم شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، در آب‌های شور و نیمه‌شور، سدیم بیش از ۹۵ درصد کل کاتیون‌ها و کلرید بیش از ۹۴ درصد کل آنیون‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند؛ که می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل نمک هالیت (NaCl) باشد. در آب آشامیدنی، نمک تشکیل شده می‌تواند سولفات سدیم باشد که مخرب‌تر از نمک هالیت است (Ghobadi and Mousavi, 2014)؛ ولی به‌دلیل مقادیر بسیار کم یون‌های تشکیل‌دهنده، امکان تشکیل آن بسیار کم و یا ناممکن است. با توجه به اینکه درصد کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب نیمه‌شور و شور تقریباً برابر است؛ به‌نظر می‌رسد تغییرات احتمالی ایجاد شده در ویژگی‌های مهندسی سنگ ناشی از تفاوت در غلظت آنها بوده و نقش نوع کاتیون و آنیون در تغییر رفتار سنگ کمتر باشد. همچنین چگالی TDS، و pH آب‌ها در جدول ۲ آمده است.

نمونه‌های سنگ از جنس ماسه‌سنگ هستند که به دو دسته با نام ۱ و ۲ تقسیم می‌شوند که ماسه‌سنگ نوع ۱ دانه‌ریزتر از نوع ۲ است (شکل ۲). برخی از ویژگی‌ها فیزیکی و مکانیکی هر دو ماسه‌سنگ در جدول ۳ آمده است.

۴- بررسی تأثیر آب شور بر متغیرهای مهندسی سنگ

۴- ۱. شاخص دوام خشک و تر شدن

نمودار تغییرات شاخص دوام سنگ نمونه‌های ۱ و ۲ با افزایش زمان ماندگاری در آب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. دوام سنگ در هر چهار وضعیت آزمایش شده و تا بازه زمانی ۲۷۰ روز بیشتر از ۹۵ درصد است که به سنگ‌های با شاخص دوام به شدت مقاوم اشاره دارد و همان‌گونه که در شکل ۵ و ۶ دیده می‌شود؛ نمونه‌ها پس از گذشت زمان ۳۰۰ روز همچنان تقریباً سالم مانده‌اند و تنها پیرامون آنها گرد شده است. این موضوع می‌تواند به علت ترکیب کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها (بیشتر کوارتز) و درصد کم تخلخل آنها باشد. افت شاخص دوام در همه بازه‌های زمانی برای نمونه ۱ بیشتر از نمونه ۲ است. به عبارت دیگر اگر چه شاخص دوام همه نمونه‌های مورد مطالعه در اثر نگهداری در شرایط آب شور کاهش می‌یابد؛ اما کاهش آن یکسان نیست و تابع ویژگی‌های فیزیکی سنگ است. جذب آب و تخلخل بیشتر سنگ سبب افزایش مقدار افت شاخص دوام می‌شود و افزایش چگالی و مقاوم بودن کانی‌ها در برابر شرایط اسیدی و سیمان دولومیتی سنگ به کاهش افت دوام آن می‌انجامد.

به‌طور کلی، در هر ۱۰ بازه زمانی شاخص دوام با آب نیمه‌شور کمتر از آب آشامیدنی است که دلیل این امر ممکن است تبلور نمک در منافذ سنگ به دلیل چرخه‌های خشک و تر شدن و در نتیجه ایجاد درزه و شکاف مویین باشد. برخلاف انتظار برای نمونه ۱ تا ۱۲۰ روز و برای نمونه ۲ تا ۶۰ روز شاخص دوام با آب شور بیشتر از آب آشامیدنی و نیمه‌شور است. این افزایش به نظر دروغین می رسد؛ چرا که به علت شوری بیش از حد و تبخیر در مرحله خشک شدن، بلورهای نمک زیادی بر سطح و درون قطعات رسوب کردند که با چشم نیز دیده می‌شوند (امکان جدا کردن آنها و اندازه‌گیری وزن قطعات نبوده است). یکی از شواهد تأییدکننده این مطلب کمتر بودن شاخص دوام حالت شور- آشامیدنی نسبت به حالت شور است. ولی پس از زمان‌های یاد شده شاخص دوام با آب شور کمتر از آب آشامیدنی و نیمه‌شور می‌شود که می‌تواند نمایانگر تأثیر درازمدت آب شور، تبلور نمک و ایجاد ریزشکاف‌ها باشد. در حالت آشامیدنی- شور همان‌طورکه پیش‌تر گفته شد، نمونه‌ها در آب شور قرار گرفتند و آزمایش با آب آشامیدنی انجام شد.

درصد کاهش شاخص دوام در نمونه ۱، به‌ترتیب در حالت آشامیدنی، نیمه‌شور، شور و آشامیدنی- شور، ۲/۳%، ۳/۵ %، ۴/۳ % و ۳/۹ % و در نمونه ۲، درصد افت شاخص دوام ۱/۹ %، ۲/۳%، ۳/۳ % و ۳/۱% است. در هر دو نمونه میزان افت شاخص دوام در حالت شور> آشامیدنی- شور> نیمه‌شور> آشامیدنی است.

بر پایه نتایج حاصل، چنین دریافت می‌شود که افت شاخص دوام سنگ در شرایط اشباع از آب‌های شور و نیمه‌شور، بیشتر است و حالت بحرانی‌تری نسبت به شرایط مشابه در آب معمولی ایجاد می‌کند. همچنین با گذشت زمان، تفاوت میان نمونه‌ها، در آب‌های مختلف افزایش می‌یابد و به این ترتیب افت شاخص دوام نمونه‌های تحت تأثیر آب شور بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر، دوام مصالح، تحت اثر آب شور در درازمدت با روند سریع‌تری کاهش می‌یابد.

۴– ۲. دوام ذوب و انجماد

نتایج حاصل از ۵۵ چرخه ذوب و انجماد نمونه‌های غوطه‌ور در هر سه نوع آب آشامیدنی، نیمه‌شور و شور در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است. بررسی مطالعات موجود نشان می دهد که آسیب سنگ در مناطق سرد بستگی به دما، نوع سنگ و میزان رطوبت دارد (Matsuoka, 1990)؛ بنابراین متغیرهای مؤثر در گسیختگی سنگ در مناطق سردسیر تابع تخلخل اولیه، توزیع اندازه منافذ و کانی‌های تشکیل دهنده آن هستند (Amoroso and Fassina, 1983; Nakamura, 1996). نمونه‌های سنگی مورد مطالعه به دلیل تخلخل به نسبت کم و کانی‌های مقاوم کوارتز و میکروکلین در برابر فرایند ذوب و انجماد مقاوم هستند و کاهش وزن قابل چشم‌پوشی از خود نشان دادند و نمونه‌ها پس از انجام آزمون تقریباً بدون تغییر باقی ماندند. همچنین با توجه به انجماد دیرتر آب‌های نیمه‌شور و شور امکان تشکیل بلورهای یخ کمتر است و در نتیجه، احتمال کاهش وزن در حالت غوطه‌ور در آب‌های شور و نیمه‌شور می‌تواند کمتر باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که شوری آب موجود در محیط نمونه، تأثیر محسوسی بر وضعیت دوام سنگ در برابر ذوب و انجماد ندارد.

۴– ۳. درصد جذب آب

میزان درصد جذب آب، بر چگالی، حجم آب موجود در منافذ و تخلخل تأثیرگذار است. میزان درصد جذب آب نمونه‌های ۱ و ۲ در طی زمان ۳۰۰ روز در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می‌شود. با توجه به چگالی کمتر آب آشامیدنی، وزن نمونه سنگی و در پی آن درصد جذب آب کاهش می‌یابد. تبلور مقداری نمک بر سطح نمونه در حالت شور بر افزایش وزن نمونه تأثیرگذار است. بنابراین سنگین‌تر بودن آب‌های شور و تبلور نمک به مقدار کم روی سطح نمونه‌ها سبب افزایش آب محتوا به‌صورت دروغین می‌شود. این مسئله در نمونه ۲ به روشنی دیده می‌شود (شکل ۸). در نمونه ۱ در حالت نیمه‌شور از این قانون پیروی نمی‌شود که می‌تواند به دلیل اختلاف در چگالی اولیه نمونه‌های موجود در هر سه نوع آب باشد (چگالی اولیه یا خشک نمونه‌های موجود در آب نیمه‌شور> شور> آشامیدنی است). میزان جذب آب در نمونه شور می‌تواند به دلیل انحلال، کاهش و به دلیل تشکیل کانی‌های رسی، تبلور نمک و چگالی بیشتر آب شور، افزایش یابد (ولی در حد امکان، سطح نمونه از نمک‌ها پاک شد). در پایان این گونه به نظر می‌رسد که جذب آب در نمونه غوطه‌ور در آب آشامیدنی به دلیل چگالی کمتر آب، بیشتر از دو نمونه آب دیگر است.

۴– ۴. مقاومت تراکمی تک‌محوری

یکی از عامل‌های مهم تأثیرگذار بر مقاومت، میزان و جنس سیمان میان ذرات است. هر چه مقدار سیمان میان ذرات و مقاومت آن، بالاتر باشد؛ مقاومت سنگ افزایش می‌یابد. اندازه کانی‌ها و دانه‌های سازنده سنگ نیز به‌عنوان یک عامل زمین‌شناسی مهم تأثیر زیادی بر مقاومت مکانیکی سنگ دارند. مقاومت تسلیم سنگ‌ها با کاهش اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد و به‌طور کلی، کوچک بودن اندازه دانه سبب زیاد شدن مقاومت سنگ می‌شود و وقتی میانگین اندازه دانه‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر باشد؛ این تأثیر بیشتر خواهد بود (Brattli, 1992). هر دو نمونه ماسه‌سنگ به‌صورت خشک و غوطه‌ور در آب‌های آشامیدنی، نیمه‌شور و شور در مدت ۱۰ ماه و در طی ۲ مرحله مورد این آزمایش قرار گرفتند. مقاومت سنگ در حالت اشباع از آب نسبت به حالت خشک، کاهش می‌یابد. هر دو نمونه در ۵ ماه اول پس از غوطه‌وری در هر سه نوع آب، کاهش مقاومت نشان می‌دهند (شکل ۹). درصد کاهش مقاومت نمونه ۱، در هر سه حالت غوطه‌وری نسبت به حالت خشک، برای آب آشامیدنی برابر با ۴/۶ %، برای آب نیمه‌شور دارای مقدار ۱۴/۸ % و آب شور به مقدار ۱۷ % است و افت مقاومت برای نمونه ۲، در هر سه حالت آشامیدنی، نیمه‌شور و شور، به‌ترتیب ۴ %، ۹ %، ۱۵/۶ %، است. میزان افت کاهش مقاومت در نمونه ۱ بیشتر از نمونه ۲ است که می‌تواند به دلیل وجود میکروترک‌ها، انحلال و هوازدگی بیشتر باشد. همچنین بر پایه نتایج مطالعات موجود، سنگ‌های ریزدانه به دلیل داشتن سطح در معرض بیشتر، نسبت به سنگ‌های درشت‌دانه حساس‌تر و در نتیجه در برابر اسید، تجزیه‌پذیرتر هستند (Gupta and Ahmed, 2007). پس از ۱۰ ماه، درصد کاهش مقاومت نمونه ۱، در هر سه حالت غوطه‌وری نسبت به حالت خشک، برای آب آشامیدنی برابر با ۶/۰، برای آب نیمه‌شور دارای مقدار ۵/۵ و برای آب شور به مقدار ۱۰/۶، خواهد بود و افت مقاومت برای نمونه ۲، در هر سه حالت آشامیدنی، نیمه‌شور و شور، به‌ترتیب ۷/۷ %، ۵/۵ %، ۷/۹ %، است (شکل ۱۰). در هر دو نمونه در ۵ ماه دوم مقاومت میانگین نمونه‌های غوطه‌ور در آب آشامیدنی همچنان کاهش می‌یابد؛ ولی در حالت‌های غوطه‌ور در آب‌های نیمه‌شور و شور نه تنها کاهش دیده نمی‌شود؛ بلکه افزایش در میزان مقاومت سنگ دیده می‌شود. در بررسی نمونه‌ها پس از آزمون تک‌محوری، مرکز مغزه‌های مربوط به حالت شور، رطوبت کمتری نشان می‌دهند. این گونه به نظر می‌رسد که در ۵ ماه اول، سطح نمونه‌ها و کمی زیر آن در آب نیمه‌شور و شور، با آب اسیدی دچار واکنش شده‌اند و در نتیجه انحلال و هوازدگی در پی داشته و سبب کاهش مقاومت شده است؛ ولی در ۵ ماه دوم –شاید وجود یون‌ها و املاح– سبب ایجاد پیوند و در نتیجه افزایش مقاومت شده است. در پایان هر چند وجود آب سبب تغییر در میزان مقاومت نمونه‌های ماسه‌سنگی شده است؛ ولی بر پایه رده‌بندی Deere and Miller (1966) هر دو نمونه و در همه حالت‌ها، سنگ در رده C با مقاومت و نسبت مدولی متوسط قرار دارد.

بنابراین باید گفت که مقاومت تراکمی تک‌محوری نمونه‌های موجود در آب آشامیدنی روند کاهشی نشان می‌دهد؛ در حالی که نمونه‌های سنگی موجود در آب نیمه‌شور و شور ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابند که می‌تواند بیانگر اثر املاح باشد.

۴– ۵. مقاومت بار نقطه‌ای

نمونه ۱ و ۲ به مدت یک سال در هر سه نوع آب آشامیدنی، نیمه‌شور و شور غوطه‌ور بودند و سپس هم به‌صورت خشک و هم به‌صورت اشباع از هر سه نوع آب مورد آزمون بار نقطه‌ای قرار گرفتند. نتایج میانگین شاخص مقاومت بار نقطه‌ای حاصل از این آزمون در جدول ۶ آمده است. در همه حالت‌ها، شاخص بار نقطه‌ای نمونه ۱ دارای مقدار کمتری نسبت به نمونه ۲ است؛ که می‌تواند به‌دلیل میکروترک‌ها و انحلال و هوازدگی بیشتر باشد. در هر دو نمونه، Is(50) نمونه‌های موجود در آب آشامیدنی و شور کمتر از نمونه‌های مربوط در آب نیمه‌شور است. در طول آزمایش نمونه‌های مربوط به آب نیمه‌شور و به‌ویژه آب شور ابتدا پوسته پوسته شدند و سپس نمونه‌های موجود در آب نیمه‌شور مقاومت بالایی نسبت نمونه‌های آب آشامیدنی نشان دادند. علت این موضوع می‌تواند این‌گونه بیان شود که در مراحل ابتدایی قرار دادن نمونه‌ها در آب نیمه‌شور و شور، تأثیر pH را می‌توان دید؛ چرا که روی سطح نمونه تأثیر گذاشته و سبب پوسته پوسته شدن آن می‌شود؛ ولی با گذر زمان، تأثیر پیوند میان دانه‌ها توسط املاح دیگر بیشتر از تأثیر اسیدیته آب است. با این حال نمونه‌ها پس از غوطه‌وری در آب‌های مختلف همچنان در یک رده مقاومتی قرار دارند که بر پایه رده‌بندی Deere (1968)، متوسط است. بر پایه رده‌بندی Bieniawski (1975) در رده B و با مقاومت بالا و در رده‌بندی Broch and Franklin (1972) در رده با مقاومت خیلی بالا قرار دارند. ذکر این نکته لازم است که علت اختلاف مقاومت تراکمی تک‌محوری و مقادیر Is در آب شور می‌تواند به دلیل مدت زمان بیشتر قرارگیری (حدود دو ماه بیشتر) و تأثیر بیشتر آب شور باشد.

۴– ۶. سرعت صوت

برای تعیین سرعت صوت، مدت زمان گذر آن بر حسب µs اندازه‌گیری می‌شود؛ بدین صورت که با داشتن طول نمونه، سرعت راغ می‌توان از نسبت این طول به مدت زمان لازم برای گذر موج صوتی اندازه‌گیری کرد. سرعت صوت در نمونه مرطوب، به چگالی اولیه نمونه سنگی و چگالی آب موجود در منافذ آن بستگی دارد. نمونه مرطوب سرعت صوت بیشتری را نسبت به حالت خشک آن، نشان می‌دهد که به دلیل بیشتر بودن سرعت صوت در آب (موجود در منافذ) نسبت به هواست. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲، تغییرات سرعت صوت در هر دو نمونه در طی ۳۰۰ روز نشان داده شده است. سرعت در ماسه‌سنگ نوع ۲ نسبت به نوع ۱ به‌صورت خشک بالاتر است که می‌تواند به‌دلیل میکروترک‌ها در نمونه ۱ باشد. سرعت صوت در هر سه حالت دچار

نوساناتی در طول زمان شده است که می‌تواند به‌دلیل انحلال و هوازدگی (در حالت نیمه‌شور و شور) باشد. به‌طورکلی، به نظر می رسد که به دلیل چگال‌تر بودن آب شور و غلظت بیشتر املاح در آب نیمه‌شور و شور، نسبت به آب آشامیدنی موجود در منافذ، با گذر زمان، سرعت صوت بیشتر می‌شود؛ ولی در حالت نیمه‌شور نمونه‌های نوع ۱ که از ابتدا خود نمونه سنگی چگالی بیشتری داشت، تأثیر نوع آب کمتر است.

در مجموع، با گذشت زمان، به دلیل افزایش میزان جذب آب، سرعت صوت در سنگ افزایش می‌یابد؛ ولی باید دقت داشت که نوع آب موجود در منافذ (چگالی و املاح آن) نیز می‌تواند روی سرعت صوت اثر بگذارد؛ به‌طوری که با بالا رفتن میزان شوری و املاح در آب، سرعت صوت هم بالا می‌رود.

۵- نتیجه‌گیری

بر پایه نتایج حاصل، چنین دریافت می‌شود که افت شاخص دوام سنگ در شرایط اشباع از آب‌های شور و نیمه‌شور، بیشتر است و حالت بحرانی‌تری نسبت به شرایط مشابه در آب معمولی ایجاد می‌کند. همچنین با گذشت زمان، تفاوت میان نمونه‌ها، در آب‌های مختلف افزایش می‌یابد و به‌این ترتیب افت شاخص دوام نمونه‌های تحت تأثیر آب شور بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر دوام مصالح، در اثر آب شور در درازمدت با روند سریع‌تری کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر و مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران دیگر به نظر می‌رسد که با افزایش تعداد چرخه، دوام سنگ کاهش می‌یابد و همچنین نوع و pH محلول و ویژگی‌های سنگ، نقش بسزایی در افت شاخص دوام دارد.

شوری آب، سبب پایین آمدن انجماد و تشکیل نشدن بلورهای یخ می‌شود. از این رو شوری آب در محیط نمونه بر وضعیت دوام ماسه‌سنگ‌ها در برابر ذوب و انجماد تأثیر محسوسی ندارد.

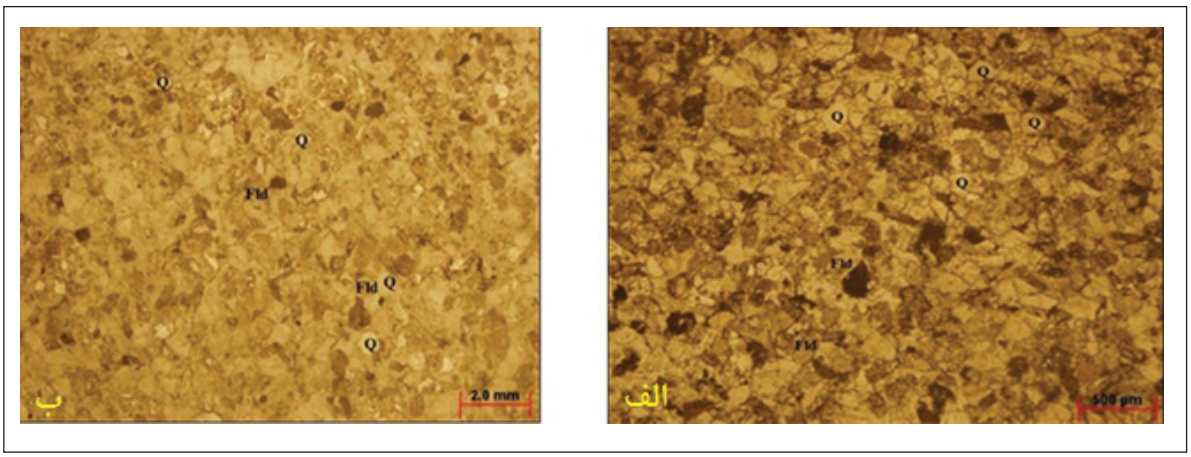
افزایش دروغین جذب آب نمونه‌های موجود در آب شور، به دلیل سنگین‌تر بودن آن و تبلور نمک است.

وجود آب سبب کاهش مقاومت تراکمی تک‌محوری سنگ می‌شود؛ در حالی که نمونه‌های سنگی در آب‌های شور و نیمه‌شور پس از ۱۰ ماه، افزایش می‌یابد که می تواند بیان‌گر وجود املاح باشد.

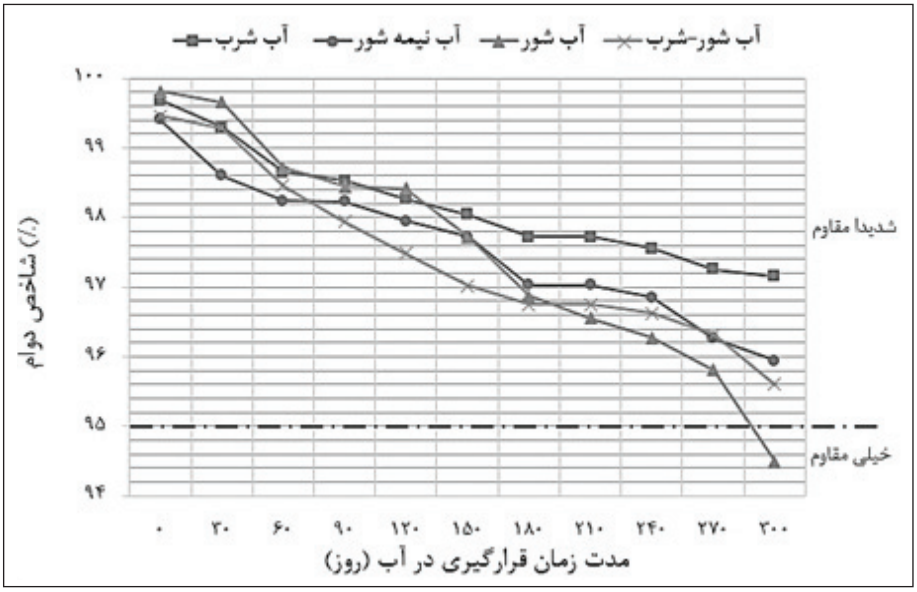
در هر دو نمونه شاخص مقاومت بار نقطه‌ای، نمونه‌های موجود در آب آشامیدنی و شور کمتر از نمونه‌های مربوط در آب نیمه‌شور است.

به دلیل افزایش میزان جذب آب در طی زمان، سرعت صوت افزایش می‌یابد؛ ولی به دلیل تأثیرگذار بودن نوع آب، با بالا رفتن شوری و افزایش املاح، سرعت نیز بالا می‌رود.

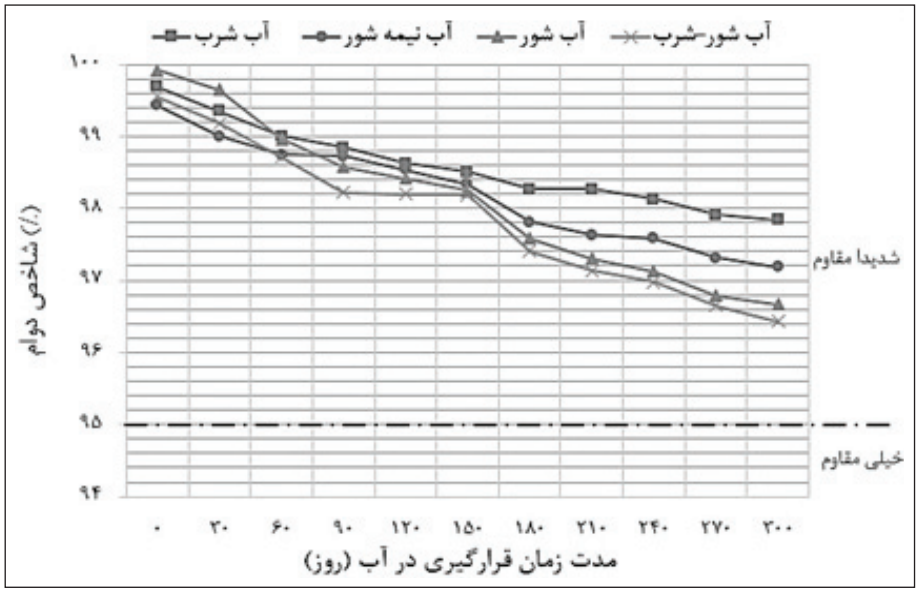
شکل ۱- الف) نمونه‌های اولیه ماسه سنگی و آب شور و نیمه‌شور؛ ب) مغزه‌گیری نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه.



شکل ۲- مقاطع میکروسکوپی در حالت PPL، الف) ماسه‌سنگ‌ها، نوع ۱؛ ب) ماسه‌سنگ نوع ۲، Q (کوارتز)، Fld (فلدسپار).



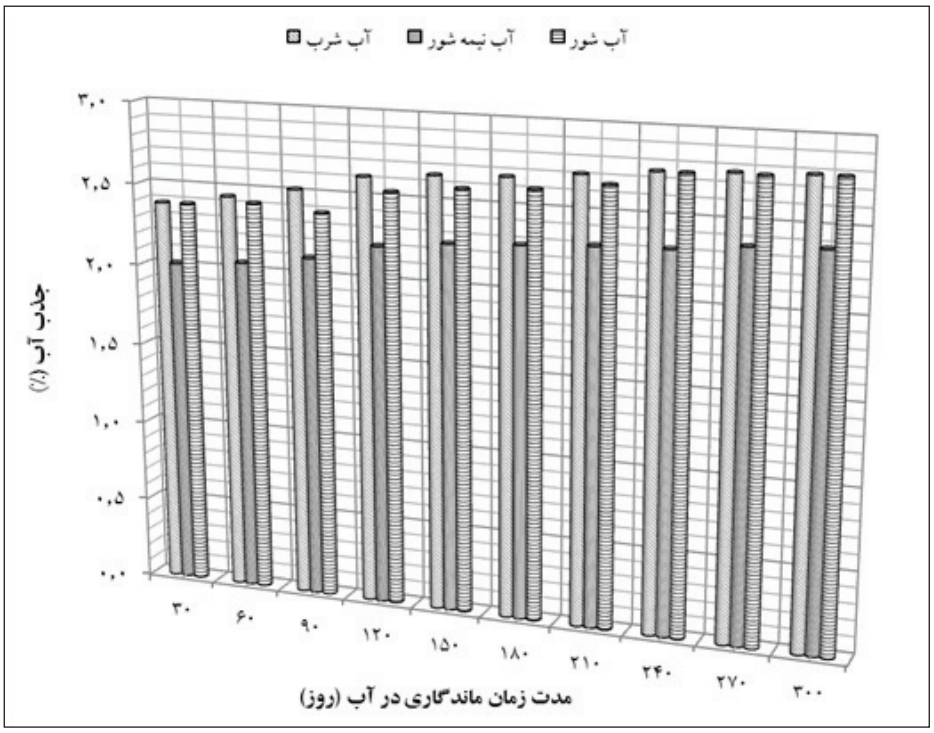
شکل ۳- شاخص دوام نمونه ۱ در طی ۳۰۰ روز اشباع نمونه‌ها در آب برای ۴ وضعیت آب آشامیدنی، آب نیمه‌شور، آب شور و آب شور- آشامیدنی.



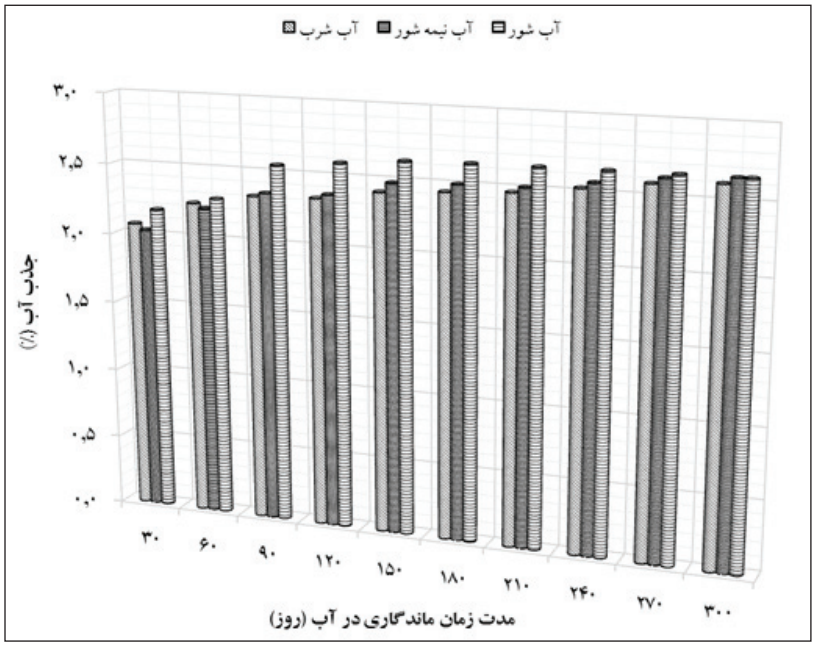
شکل ۴- شاخص دوام نمونه ۲ در طی ۳۰۰ روز اشباع نمونه‌ها در آب برای ۴ وضعیت آب آشامیدنی، آب نیمه‌شور، آب شور و آب شور- آشامیدنی.

شکل ۵- نمونه ۱: الف) پیش از آزمون دوام؛ ب) پس از گذشت ۳۰۰ روز اشباع نمونه ها در آب در چهار حالت مختلف.

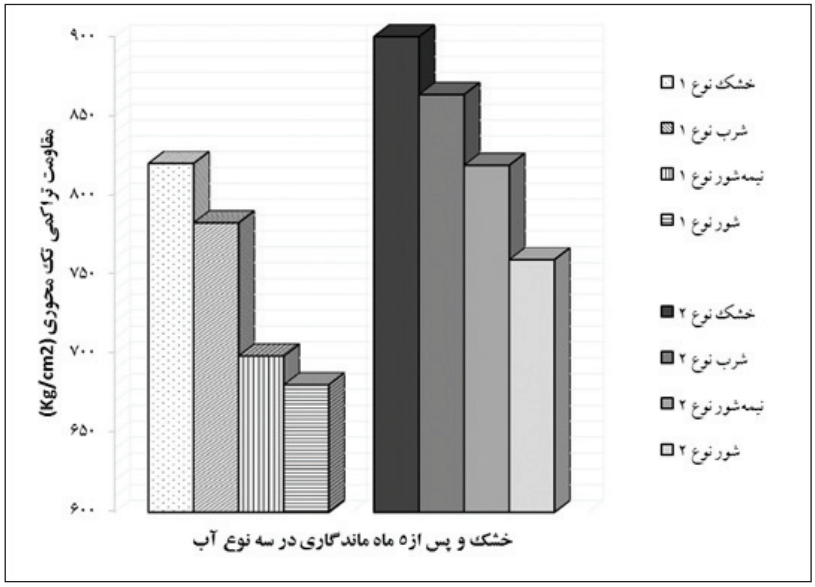
شکل ۶- نمونه ۲: الف) پیش از آزمون دوام؛ ب) پس از گذشت ۳۰۰ روز اشباع نمونه ها در آب در چهار حالت مختلف.



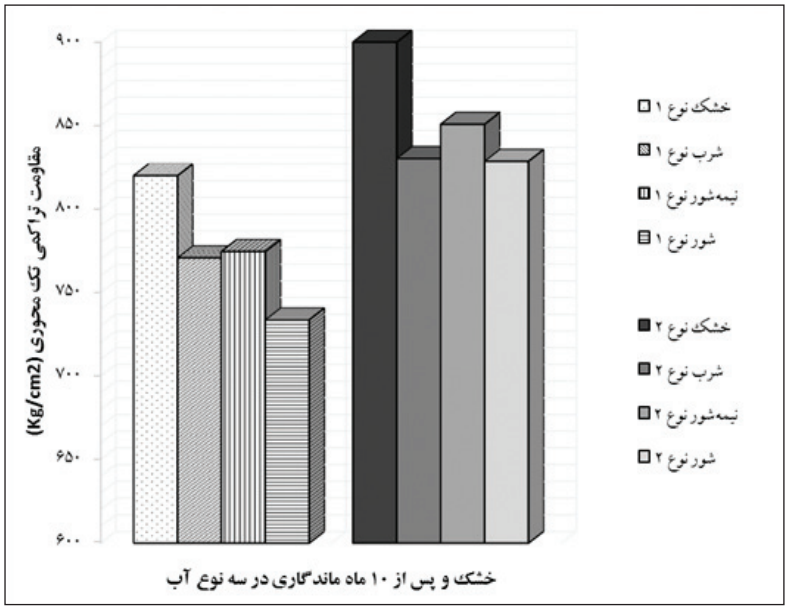
شکل ۷- تغییرات درصد جذب آب نمونه ۱ در طی ۳۰۰ روز اشباع نمونه‌ها در آب.



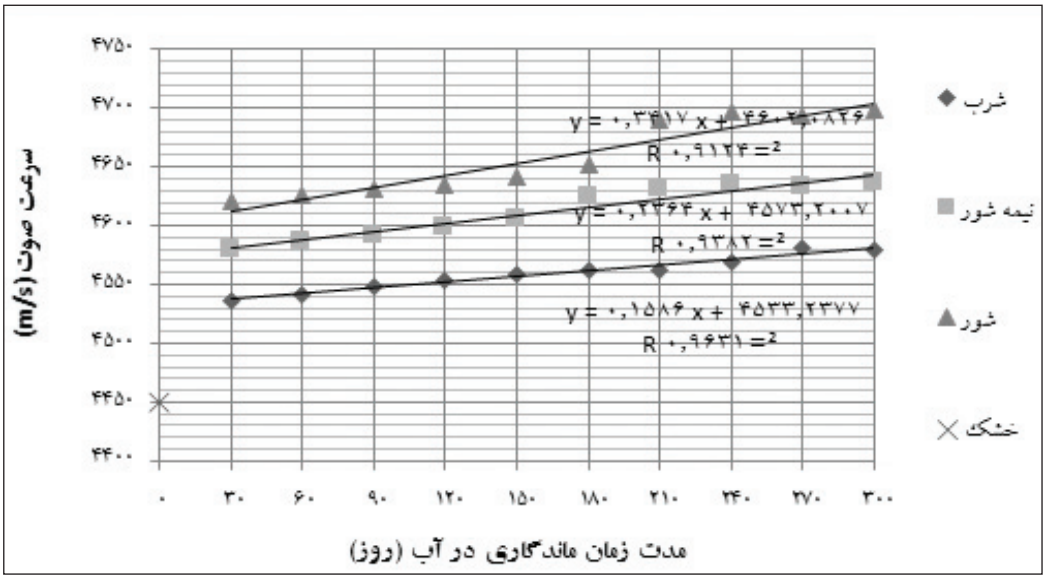
شکل ۸- تغییرات درصد جذب آب نمونه ۲ در طی ۳۰۰ روز اشباع نمونه‌ها در آب.



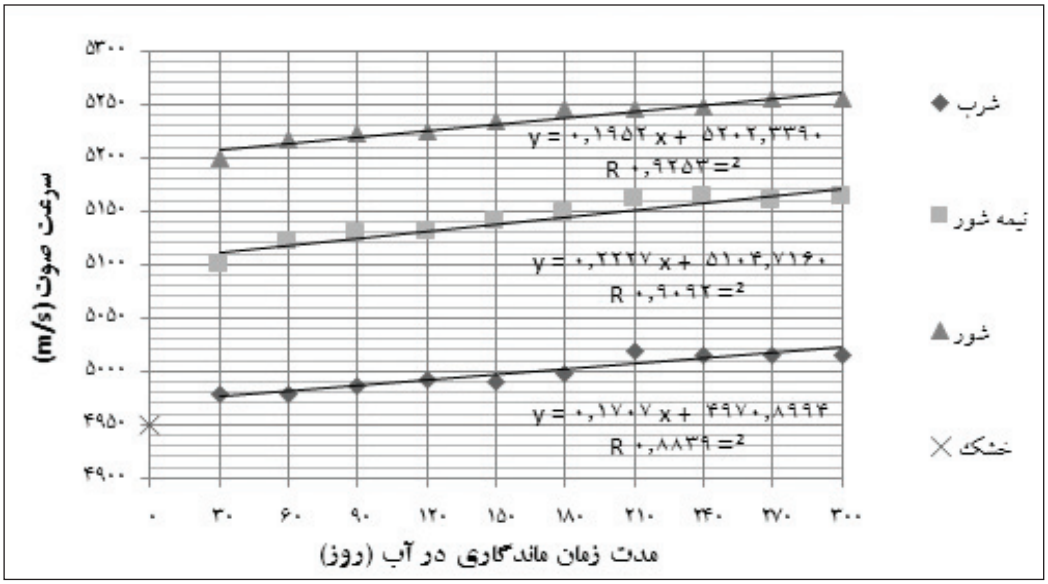
شکل ۹- تغییرات مقاومت تراکمی تک‌محوری نمونه ۱ و۲ به‌صورت خشک و پس از ۵ ماه ماندگاری در آب.



شکل ۱۰- تغییرات مقاومت تراکمی تک‌محوری نمونه ۱و ۲ به‌صورت خشک و پس از ۱۰ ماه ماندگاری در آب.



شکل ۱۱- تغییرات سرعت صوت نمونه ۱ در طی ۳۰۰ روز اشباع نمونه‌ها در آب.



شکل ۱۲- تغییرات سرعت صوت نمونه ۲ در طی ۳۰۰ روز اشباع نمونه‌ها در آب.

جدول ۱- نتایج تجزیه آب‌های استفاده شده (غلظت‌ها بر حسب ppm).

نوع آب	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}
آشامیدنی	۶۱	۳/۶	۲۸	۱۹	۱۰۶	۴۳	۲۱۰	۰/۸۶
نیمه‌شور	۸۲۸۱	۳۲	۱۲۶	۲۱۶	۱۴۰۵۰	۱۳۹	۷۰۵	۲/۷
شور	۵۹۳۷۵	۵۰	۴۷۶	۶۳۱	۱۰۱۰۳۷	۳۵۵	۱۷۹۰	۷/۱

جدول ۲- نتایج چگالی، TDS ،pH آب آشامیدنی، نیمه‌شور و شور.

نوع آب	آشامیدنی	نیمه‌شور	شور
چگالی (gr/cm^3)	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۱۶
pH	۶/۳۷	۵/۷۴	۵/۲۴
TDS (ppm)	۱۰۴۰	۳۸۸۰	۲۷۰۴۶۰

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها.

نوع ماسه‌سنگ	رنگ	سیمان	میکروترک	لایه‌بندی	کانی‌ها	چگالی خشک (gr/cm^3)	وزن مخصوص حقیقی
۱	خاکستری	کلسیتی- دولومیتی	ندارد	ندارد	کوارتز، میکروکلین	۲/۵۰	۲/۷۲
۲	متمایل به قرمز	دولومیتی- کلسیتی	ندارد	ندارد	کوارتز، میکروکلین	۲/۵۲	۲/۶۸

جدول ۴- نتایج به دست آمده از آزمون ذوب و انجماد مربوط به نمونه ۱.

نمونه ۱	وزن اولیه (g)	وزن ثانویه(g)	کاهش وزن (%)
آشامیدنی	۳۳۰/۴۹	۳۲۹/۷۱	۰/۲۴
نیمه‌شور	۳۳۵/۴۵	۳۳۴/۶۹	۰/۲۳
شور	۳۸۰/۵۶	۳۸۰/۰۳	۰/۱۴

جدول ۵- نتایج به دست آمده از آزمون ذوب و انجماد مربوط به نمونه ۲.

نمونه ۲	وزن اولیه(g)	وزن ثانویه (g)	کاهش وزن (%)
آشامیدنی	۲۹۳/۶۷	۲۹۲/۹۸	۰/۲۳
نیمه شور	۳۴۷/۲	۳۴۶/۵۱	۰/۲۰
شور	۳۹۷/۱۷	۳۹۶/۴۵	۰/۱۸

جدول ۶- نتایج شاخص مقاومت بار نقطه‌ای به‌صورت خشک و پس از ۱ سال ماندگاری در ۳ نوع آب (آشامیدنی، نیمه‌شور و شور).

وضعیت نمونه	$I_s(50)$ (MPa)	
	نمونه ۱	نمونه ۲
خشک	۴/۹۷	۵/۱۰
آشامیدنی	۴/۵۵	۴/۸۴
نیمه‌شور	۴/۵۷	۴/۸۸
شور	۴/۵۳	۴/۸۲

کتابنگاری

قبادی، م. ح. و کاپله‌ای، م.، ۱۳۹۳- اثر pH آب روی ترکیب شیمیایی و دوام‌پذیری واحدهای سنگی سازند قم در شمال شرق همدان، نشریه زمین‌شناسی مهندسی.

References

AASTM (American Society for Testing and Material), 1995- Annual Book of ASTM Standards. 04.03 West Conshohocken, PA

ASTM (American Society for Testing and Material), 1999- Annual Book of ASTM Standards. 04.08 West Conshohocken, PA.

Amoroso, G. G. and Fassina, V., 1983- Stone decay and conservation: atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection. Elsevier Science Publishers.

Bieniawski, Z. T., 1975- The point load test in geotechnical practice. Engg Geol 9: 1-11.

Brattli, B. J., 1992- The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates. Engineering Geology 33: 303-317.

Broch, E. and Franklin, J., 1972- The point-load strength test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 669-676.

Çelik, M. Y., Akbulut, H. and Ergül, A., 2014- Water absorption process effect on strength of Ayazini tuff, such as the uniaxial compressive strength (UCS), flexural strength and freeze and thaw effect. Environmental Earth Sciences 71: 4247-4259.

Deere, D. U. and Miller, R., 1966- Engineering classification and index properties for intact rock. DTIC Document.

Deere, D., 1968- Geological Considerations, Rock Mechanics in Engineering Practice. Editores Staggy, R. G., Zienkiewicz, D. C., John Wiley, New York.

Ghobadi, M. and Momeni, A., 2011- Assessment of granitic rocks degradability susceptive to acid solutions in urban area. Environmental Earth Sciences, 64: 753-760.

Ghobadi, M. and Mousavi, S., 2014- The effect of pH and salty solutions on durability of sandstones of the Aghajari Formation in Khouzestan province, southwest of Iran- Arabian Journal of Geosciences, 7: 641-653.

Gupta, V. and Ahmed, I., 2007- The effect of pH of water and mineralogical properties on the slake durability (degradability) of different rocks from the Lesser Himalaya, India. Engineering Geology, 95: 79-87.

ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1980- Basic Geotechnical Description of Rock Masses. Int. J. Rock Mech. Min. SCI. Geomech. Abstr., 18: 85-110.

I ISRM (International Society for Rock Mechanics): Commission on Testing Methods, 1985- Suggested methods for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. SCI. Geomech. Abstr., 22: 51-60.

Matsuoka, N., 1990- Mechanisms of rock breakdown by frost action: an experimental approach. Cold Regions Science and Technology, 17: 253-270.

Nakamura, Y., 1996- Experimental study of rock deterioration and weathering. Tsuchi To Kiso JSSMFE, 44: 55-60.

Summersby, L., Hagan, P., Saydam, S. and Wang, S. R., 2013- Changes in rock properties following immersion in various chemimcal solutions. 309-404.

The effect of brine waters on engineering characteristics changes of sandstones

Z. Jorkesh[1*], R. Ajalloeian[2], A. H. Sadeghpour[3] and M. J. Kalantar Hormozi[4]

[1]M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

[2]Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

[3]Assistant Professor, Faculty of Architecture and Art, Kashan University, Kashan, Iran

[4]M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Received: 2016 May 29 Accepted: 2016 December 19

Abstract

In this research, the effect of salinity on engineering characteristics of sandstones is investigated. For this purpose, two sandstones from abutments and rock fill (Rip-Rap) of Vanyar dam (in Eastern Azerbaijan province) were selected in addition to three water samples (drinking water, semi-brine and brine) to saturate these rock samples. Water content, uniaxial compressive, point load, thawing and freezing, sound velocity, and durability tests were carried out on dry and saturated samples at different time intervals. After 5 months of submerging type 1 and 2 sandstones in brine water, the uniaxial compressive strength values were decreased 13 and 4%, respectively, and after 10 months to 12 and 0.2%, respectively, compared to those of samples prepared using drinking water. By increasing the salinity of the water, the durability values after 10 cycles changed from 2.3 to 4.2% and from 1.8 to 3.2% for sandstones types 1 and 2, respectively. The sound velocity in a dry sample of sandstones types 1 and 2 was measured as 4450 and 4950 m/sec, respectively, while they reached 4699 and 5255 m/sec, respectively, by increasing salinity. The results show that brine water almost has no effect on thawing and freezing.

Keywords: Sandstone, Vanyar dam, Salinity, Uniaxial compressive strength, Durability, Sound velocity.

For Persian Version see pages 251 to 260

*Corresponding author: Z. Jorkesh; E-mail: Geologist.fj20@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional