دانشگاه تربیت مدرس

گروه زمین شناسی مهندسی

آزمایشگاه سنگ ساختمانی

ویژگیهای فنی سنگ مرمریت سیاه تم

درخواست کننده: شرکت رادستون

تهیه کننده:

دکتر محمدرضا نیکودل

دکتر احمد ذلولی

خرداد ۱۴۰۲

۱

1 مقدمه ۴

۲ مواد و روشها ۴

۱-۲) نمونه ۴

3-1) آنالیز شیمیایی ۴

۱-۴) جذب آب مویینه ۵

۱-۵) ویژگیهای فیزیکی ۵

۱-۶) ویژگیهای مقاومتی ۶

۱-۸) مقاومت سایشی ۶

۱-۷) اندازه گیری سرعت موج ۷

۱-۸) آزمایش رنگ سنجی ۷

۱-۹) آزمون تبلور نمک ۸

۱-۱۰) آزمون انجماد-آب شدن ۸

۱-۱۱) آزمایش دوام در برابر اسید ۸

۱-۱۲) آزمایش شوک حرارتی ۸

۱-۱۳) آزمایش تر-خشک شدن ۸

۱-۱۴) آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی ۸

۳ نتایج ۹

۱-۱۵) نتایج آزمونهای شیمیایی ۹

۱-۱۶) ویژگیهای فیزیکی ۹

۱-۱۷) جذب آب موئینه ۱۰

۱-۱۸) ویژگیهای مقاومتی ۱۰

۱-۱۹) مقاومت سایشی ۱۱

۱-۲۲) آزمایش تبلور نمک ۱۱

۱-۲۳) آزمایش انجماد-آب شدن ۱۳

۱-۲۴) آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن ۱۵

۱-۲۵) آزمایش دوام در برابر چرخه های اسید سولفوریک ۱۶

آدرس: تهران، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی مهندسی، آزمایشگاه سنگ ساختمانی
تلفن: ۸۲۸۸۳۴۸۹، ۸۲۸۸۵۰۱۲

۲۶-۱) آزمایش دوام در برابر شوک حرارتی ۱۸

۲-۱ آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی ۱۹

۴ نتیجه گیری و پیشنهادات ۲۱

۱ مقدمه

این گزارش نتایج آزمونهای آزمایشگاهی سنگ مرمریت سیاه تم را بررسی کرده و کاربریهای مختلف آن را با توجه به نتایج آزمونهای آزمایشگاهی ارایه می‌دهد.

۲ مواد و روشها

۱-۲) نمونه

این گزارش شامل روش و نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی فنی سنگ مرمریت سیاه تم تهیه شده در شرکت سنگ رادستون می‌باشد (شکل ۱).

شکل ۱ سنگ مرمریت سیاه تم

۱-۳) آنالیز شیمیایی

برای تعیین عناصر از آزمایش طیف سنجی فلورسانس (XRF) استفاده شد. نمونه‌ها با قطر کمتر از ۶۰ میکرومتر آسیاب شدند. پودر سنگ تهیه شده دستگاه Philips مدل PW 2404 مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۲).

آدرس: تهران، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی مهندسی، آزمایشگاه سنگ ساختمانی
تلفن: ۸۲۸۸۳۴۸۹، ۸۲۸۸۵۰۱۲

شکل ۲ الف: دستگاه XRF و ب: دستگاه XRF

۱-۴) جذب آب مویینه

آزمایش جذب آب مویینگی مطابق با استاندارد EN 1925:1999 شد. نمونه‌های خشک شده در گرمخانه درون یک حوضچه آبی قرار گرفتند که ارتفاع آب درون حوضچه به اندازه ۳ ±۰,۵ میلی متر بود. جذب آب در واحد سطح نمونه‌ها در فواصل زمانی منظم ۳ ، ۱۰ ، ۳۰ ، ۶۰ ، ۱۲۰ ، ۱۸۰ دقیقه و ۸، ۲۴ ، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بدست آمد.

۱-۵) ویژگی‌های فیزیکی

نمونه هایی با ابعاد ۷ × ۷ × ۷ سانتی متر با استفاده از روش اشباع- غوطه‌وری طبق استاندارد اروپا EN 1936 (2006) آزمایش شدند. ابتدا نمونه‌ها با آب شرب شسته شده و سپس در گرمخانه با دمای ۲ ± ۸۰ درجه سانتیگراد خشک شدند تا به وزن ثابت برسند. نمونه های خشک با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت کاملاً در آب تحت فشار خلا ۰/۸ بار قرار گرفتند. نمونه‌ها از آب خارج کرده و با پارچه‌ای مرطوب پاک شده و وزن اشباع و غوطه ور ثبت شدند. چگالی خشک و اشباع، تخلخل موثر و جذب آب تحت فشار خلا برای نمونه ها بدست آمد. سرانجام، مقادیر میانگین و انحراف استاندارد هر پارامتر برای نمونه های مورد مطالعه به دست آمد.

۱-۶) ویژگی‌های مقاومتی

آزمون مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه هایی با ابعاد ۷ × ۷ × ۷ نجام شد. نمونه ها با نرخ بار ثابت ۱-۰/۵ مگاپاسکال بر ثانیه بارگذاری شدند.

آزمون مقاومت خمشی مطابق با EN 12372:1997 با استفاده از روش خمش ۳ نقطه‌ای انجام شد. برای این آزمون، از نمونه‌های با طول و عرض ۶ × ۱۵ سانتی متر و ضخامت متفاوت ۲ سانتی متر استفاده شد.

شکل ۳ اندازه گیری مقاومت خمشی برای سنگ مرمریت سیاه تم

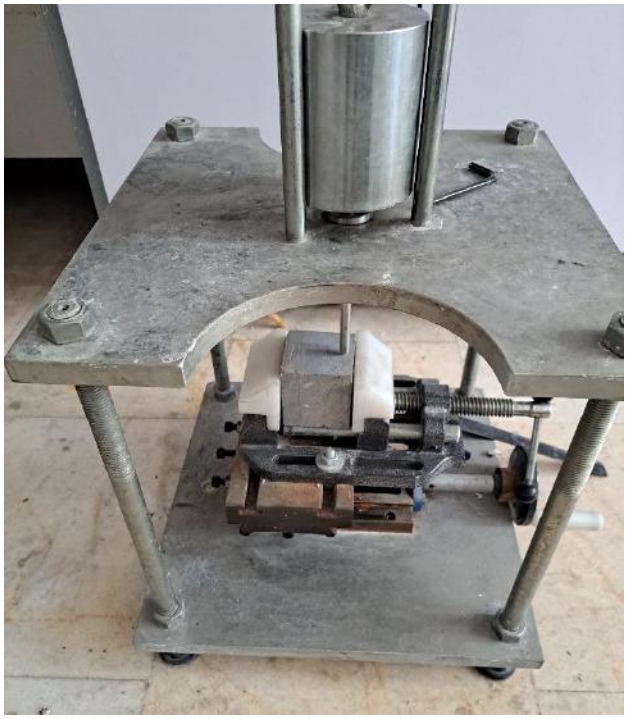
۱-۸) مقاومت سایشی

برای اندازه گیری مقاومت سایشی از دستگاه سرشار استفاده شد (**شکل ۴**). یک پین فولادی استوانه‌ای، که راس آن مخروطی دوار با زاویه راس ۹۰ و نوک نقطه ای است، برای انجام آزمایش سرشار مورد استفاده قرار می‌گیرد. پین مزبور تحت بار استاتیکی ۷۰ نیوتن (۷ کیلوگرم) بر روی سطح سنگ قرار می گیرد و به فاصله ۱۰ میلی متر بر روی آن کشیده می‌شود. نمونه ای سنگ مکعبی با ابعاد ۷ سانتی متر انتخاب شد تا بر روی فک‌های گیره محکم گردد. این نمونه بر روی گیره بسته شده و سطح بالایی سنگ به صورت افقی قرار گرفت. در هر آزمایش پنج پین بر روی نمونه کشیده شد. این کار در دو جهت مختلف انجام شد و در نهایت میانگین ۱۰ اندازه گیری صورت گرفته به عنوان نتیجه آزمایش گزارش شد. پهن شدگی ناشی از سایش نوک پین با استفاده از یک میکروسکوپ ۲۴ ایکس که به میکرومتری با دقت ۰/۰۱ میلی متر مجهز است، اندازه گیری شد. اندازه‌گیری قطر پهن شده نوک

پین، در دو امتداد عمود بر هم انجام شده و مقدار میانگین آن تعیین شد. با انجام آزمایش و تعیین میانگین پهن شدگی نوک پین‌ها، مقدار اندیس سایش سرشار (CAI) توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$CAI=10d$$

که در آن d قطر پهن شدگی سایشی نوک پین بر حسب میلیمتر است.



شکل ۴ آزمایش سرشار

۱-۷) اندازه گیری سرعت موج

سرعت موج P در حالت خشک با استفاده از دستگاه Pundit Lab انجام شد. اندازه گیری سرعت موج بر روی ۵ در حالت سالم و در طول چرخه‌های شبیه سازی هوازدگی انجام شد. اندازه‌گیری سرعت موج با استفاده از فرستنده‌ها و گیرنده‌هایی با قطر ۲ سانتی متر در فرکانس ۵۴ کیلوهرتز مطابق استاندارد انجام شد.

۱-۸) آزمایش رنگ سنجی

رنگ نمونه‌ها با استفاده از رنگ سنج قابل حمل مدل WR-10 اندازه گیری شد (در هر نمونه ۲۰ نقطه روی سطح اندازه‌گیری انجام شد). از پارامترهای رنگ سیستم CIELAB درخشندگی (L*)، مختصات قرمز به سبز (a*) مختصات آبی به زرد (b*) استفاده شد. علاوه بر این، تغییر رنگ AE* با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

۱-۹) آزمون تبلور نمک

تخریب ناشی از تبلور نمک با استفاده از استاندارد RILEM (1999) تا ۲۰ سیکل انجام شد. چرخه‌ها شامل چهار مرحله بود: در مرحله اول، همه نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در محلول ۱۴ درصد وزنی سولفات سدیم غوطه‌ور شدند. در مرحله دوم، همه نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق در هوای آزاد قرار گرفتند. در مرحله سوم، نمونه‌ها در گرمخانه با دمای ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۶ ساعت خشک شدند و نهایتا نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق خنک شدند. در پایان هر ۲ چرخه، نمونه‌ها شسته شدند تا بلورهای نمک در سطح نمونه از بین بروند.

۱-۱۰) آزمون انجماد-آب شدن

آزمایش انجماد-آب شدن طبق استاندارد EN 12371(2010)، تا ۲۰ سیکل انجام شد. در ابتدا، نمونه‌ها در آب شرب در فشار خلا اشباع شدند. سپس نمونه‌های اشباع شده درون فریزر قرار گرفتند و در دمای منفی ۲۴ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت منجمد شدند. پس از خارج شدن از فریزر، نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در حمام آب در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند.

۱-۱۱) آزمایش دوام در برابر اسید

دوام نمونه‌ها در برابر اسید با استفاده از محلول اسید سولفوریک با اسیدیته ۴/۵ در حالت سکون (Passive) ارزیابی شد. نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در محلول غوطه ور شدند و سپس به مدت ۱۲ ساعت در گرمخانه با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. این آزمون برای ۲۰ سیکل انجام شد.

۱-۱۲) آزمایش شوک حرارتی

در این آزمایش ابتدا نمونه‌ها درون یک گرمخانه با دمای ۱۲۰ درجه قرار داده شدند و پس از ۲ ساعت درون آب شرب در دمای آزمایشگاه غوطه ور شدند. این چرخه ۲۰ بار تکرار شد.

۱-۱۳) آزمایش تر-خشک شدن

در این آزمایش ابتدا نمونه ها ۱۲ ساعت دورن آب شرب در دمای آزمایشگاه غوطه ور شد سپس درون یک گرمخانه با دمای ۷۰ درجه قرار داده شد. این چرخه ۲۰ بار تکرار شد.

۱-۱۴) آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی

به منظور ارزیابی عملکرد سنگ در برایند فرایندهای ترکیبی (تبلور نمک، شوک حرارتی، دوام در برابر اسید و انجماد-آب شدن) این آزمایش انجام شد. ابتدا نمونه‌ها تحت ۲ چرخه تبلور نمک قرار گرفتند (شبیه سازی فصل بهار) سپس نمونه ها ۲ چرخه شوک حرارتی (شبیه سازی فصل تابستان) را تجربه کردند و در ادامه نمونه‌ها تا ۲

چرخه درون محلول اسیدی (شبیه سازی فصل پاییز) قرار داده شدند، سپس نمونه‌ها تا ۲ چرخه در فریزر قرار گرفتند(شبیه سازی فصل زمستان). این آزمایش تا ۲۰ چرخه انجام شد.

۳ نتایج

۱-۱۵) نتایج آزمونهای شیمیایی

نتایج آزمایش XRF نشان داد که افت در اثر احتراق (L.O.I) برابر ۴۳/۰۵ درصد بوده است که در سنگ های کربناته این مقدار طبیعی میباشد .مقدار بالای CaO به دلیل وجود کانی کلسیت است. یکی دیگر از عناصر فراوان در سنگ اکسید های آهن می باشد .اکسید آهن درون رگه های سنگ موجود می باشد .ریزترکهای موجود در سنگ در برخی بلوکها با کلسیت و در برخی با اکسید اهن پر شده اند.

L.O.I (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	K_2O (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	TiO_2 (%)	Cl (%)	SO_3 (%)	Sr (%)
۴۳/۰۵	۰/۴۳	۰/۲۱۲	۰/۰۲۶	۵۳/۷۴	۰/۰۴	۱/۶۳	۰/۶	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۵	۰/۲۱

۱-۱۶) ویژگیهای فیزیکی

نتایج بررسی ویژگی‌های فیزیکی سنگ مرمریت سیاه تم در جدول ۲ نشان داده شده است (جدول ۱). میانگین دانسیته خشک ۲/۷۰ و اشباع برابر ۲/۷۰ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. بر اساس مقدار تخلخل و جذب آب، مرمریت سیاه تم در دسته سنگ‌های با تخلخل پایین و جذب آب خیلی پایین قرار دارد. بر مبنای چگالی، در رده سنگ‌های با چگالی بالا (۲/۲-۲۵/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب) قرار دارند.

جدول ۱ ویژگیهای فیزیکی نمونه مرمریت سیاه تم

نمونه	چگالی خشک	چگالی اشباع	تخلخل	جذب آب در فشار خلاء
۱	۲/۷	۲/۷۰	۰/۱۶	۰/۰۶
۲	۲/۷	۲/۷۱	۰/۱۵	۰/۰۶
۳	۲/۶۸	۲/۶۸	۰/۳۰	۰/۱۱
۴	۲/۷	۲/۷۱	۰/۱۹	۰/۰۷
۵	۲/۷۱	۲/۷۱	۰/۱۵	۰/۰۶
۶	۲/۷۱	۲/۷۱	۰/۱۱	۰/۰۴
۷	۲/۷۱	۲/۷۱	۰/۱۴	۰/۰۵
۸	۲/۷۱	۲/۷۱	۰/۱۱	۰/۰۴
۹	۲/۷۰	۲/۷۱	۰/۱۵	۰/۰۵
۱۰	۲/۷۱	۲/۷۱	۰/۱۷	۰/۰۶
میانگین	۲/۷۰	۲/۷۰	۰/۱۶	۰/۰۶

۱-۱۷) جذب آب موئینه

جذب آب مویینه برای سنگ‌هایی که به عنوان سنگ نما بخصوص نمای بیرونی استفاده می‌شوند از اهمیت خاصی برخوردار است. بررسی جذب آب موئینه در بازه‌های مختلف در طول ۹۶ ساعت نشان داد که مقدار میانگین جذب آب پس از گذشت ۹۶ ساعت برابر ۰/۳۴ کیلوگرم بر مترمربع می باشد. سنگ مرمریت سیاه تم از لحاظ جذب آب مویینه در رده سنگ های با جذب آب مویینه پایین قرار می گیرند.

جدول ۲ جذب آب موئینه نمونه مرمریت سیاه تم

زمان (دقیقه)	نمونه ها					میانگین (کیلوگرم بر متر مربع)
	۱	۲	۳	۴	۵	
۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳
۱۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴
۳۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶
۶۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۷
۱۲۰	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۰
۱۸۰	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۳۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۳
۴۸۰	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۶
۱۴۴۰	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۷۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۲۸
۲۸۸۰	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۸۱	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۳۲
۴۳۲۰	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۸۴	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۳۳
۵۷۶۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۸۶	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۳۴

۱-۱۸) ویژگی‌های مقاومتی

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری نشان داد که میانگین مقاومت فشاری ۴۳/۹۰ مگاپاسکال است. سنگ از لحاظ مقاومت فشاری در رده سنگهایی با مقاومت پایین (۲۰-۵۰ مگائاسکال) قرار می گیرد. در این آزمایش حداکثر مقاومت فشار تک محوری بدست آمده برابر با ۶۹/۴۶ مگاپاسکال و حداقل مقاومت به دست آمده برابر با ۲۷/۷۷ مگاپاسکال است .اختلاف زیاد بین نتایج بدست آمده به دلیل عدم دقت در آماده سازی نمونه های ارسال شده و همچنین وجود رگه های متعدد کلسیت و اکسیده آهن در نمونه می باشد .نمونه های دارای رگه پرشده با کلسیت مقاومت بالا نشان می دهند ولی بلوکهای دارای رگه های پر شده با اکسید اهن مقاومت پایینی نشان می دهند. نتایج حاصل از مقاومت خمشی سنگ نشان میدهد که مقاومت خمشی میانگین این سنگ ۱۲/۲۹ مگاپاسکال است.

جدول 4 ویژگی های مکانیکی مرمریت سیاه تم

نمونه	مقاومت فشاری تک محوری (مگاپاسکال)	مقاومت خمشی (مگاپاسکال)
۱	۶۹/۴۶	۱۰/۴۸
۲	۳۴/۷۰	۱۵/۳۶
۳	۴۷/۴۸	۱۱/۵۲
۴	۴۲/۰۰	۱۳/۹۷
۵	۲۷/۷۷	۱۰/۱۳
۶	۴۲/۰۰	-
میانگین	**۴۳/۹۰**	**۱۲/۲۹**

۱-۱۹) مقاومت سایشی

نتایج آزمایش مقاومت سایشی نشان داد که شاخص سرشار سنگ از ۱/۵۶ تا ۱/۸۶ با مقدار میانگین ۱/۷۳ تغییر می‌کند. بر طبق نتایج آزمون سرشار و مقایسه با طبقه بندی ارائه شده (**جدول ۳**)، سنگ در رده سنگهایی با شاخص مقاومت سایشی متوسط قرار دارد.

جدول ۳ طبقه بندی بر مبنای شاخص سرشار

شاخص سایش سرشار	طبقه بندی
کمتر از ۰,۳	خیلی نرم
۰/۳-۰/۵	نرم
۰/۵-۱	نسبتا ترم
۱-۲	متوسط
۲-۴	سخت
۴-۶	خیلی سخت

۱-۲۰) آزمایش تبلور نمک

آزمایش تبلور نمک تا ۲۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ، وزن خشک و سرعت موج اولیه بعد از ۲ چرخه مورد بررسی قرار گرفت.

تغییرات در وزن نمونه‌ها و سرعت موج اولیه بعد از چرخه ۲۰ چرخه برای سنگ در جدول ۴ نشان داده شده است. در انتهای چرخه ۲۰ افت وزنی در حدود ۱/۶۴ درصد مشاهده شد (شکل ۸). بر اساس افت وزنی بدست آمده این

سنگ مقاومت نسبتا خوبی در برابر تبلور نمک نشان داده است. درانتهای چرخه ۲۰ میانگین کاهش سرعت موج ۴/۴۲درصد به دست آمد. این سنگ از لحاظ پارامترهای مقاومتی در رده خوب در برابر هوازدگی نمک قرار دارد.

جدول ۴ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های تبلور نمک

چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات
۰	۰/۰۰	۶۳۰۴	۰/۰۰
۲	+۰/۰۳	۶۳۷۲	۱/۰۸
۴	-۰/۱۸	۶۳۲۶	۰/۳۴
۶	-۰/۵۹	۶۳۳۷	۰/۵۱
۸	-۰/۶۹	۶۲۶۱	-۰/۶۸
۱۰	-۰/۷۲	۶۲۳۹	-۱/۰۴
۱۲	-۱/۰۲	۶۱۸۵	-۱/۸۹
۱۴	-۱/۲۱	۶۱۱۶	-۲/۹۸
۱۶	-۱/۳۱	۶۱۱۴	-۳/۰۳
۱۸	-۱/۴۳	۶۱۰۰	-۳/۲۵
۲۰	-۱/۶۴	۶۰۲۶	-۴/۴۲

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲۰ چرخه بررسی شد. مقدار تغییرات رنگ (ΔE= 12/02) بعد از ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح دیده شود (ΔE=5 آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). نتایج نشان می‌دهد که این ستگ با گذشت زمان در برابر هوازدگی نمک دچار تغییر رنگ خواهد شد. علت تغییر رنگ شوره زدگی سنگ در معرض محلول سولفات سدیم است. این شوره زدگی طبیعی نبوده و به خاطر نمک می باشد.

جدول ۵ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های تبلور نمک

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۶۶/۴۸	-۰/۶۱	۰/۷۶	۰/۰۰
۲	۶۳/۴۹	-۰/۷۸	۰/۱۰	۳/۰۷
۴	۶۳/۴۳	-۰/۷۹	۰/۱۸	۳/۱۱
۶	۶۴/۶۳	-۰/۶۶	۰/۳۳	۱/۹۰
۸	۵۸/۸۱	-۰/۶۲	۰/۵۱	۷/۶۸
۱۰	۶۰/۵۰	-۰/۶۱	۰/۲۷	۶/۰۰
۱۲	۶۱/۰۲	-۰/۴۲	۰/۶۴	۵/۴۷
۱۴	۵۸/۴۰	-۰/۷۴	۰/۴۱	۸/۰۹
۱۶	۵۶/۰۶	-۰/۵۰	۰/۸۸	۱۰/۴۲
۱۸	۵۵/۳۳	-۰/۵۷	۰/۶۹	۱۱/۱۵

آدرس: تهران، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی مهندسی، آزمایشگاه سنگ ساختمانی
تلفن: ۸۲۸۸۳۴۸۹، ۸۲۸۸۵۰۱۲

۱۲/۰۲	۰/۷۴	-۰/۸۱	۵۴/۴۷	۲۰

شکل ۹ تغییر در ظاهر نمونه پس از آزمایش تبلور نمک بعد از ۲۰ چرخه

۱-۲۱)آزمایش انجماد-آب شدن

آزمایش انجماد-آب شدن تا ۲۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی (وزن و سرعت موج) بعد از هر ۲ چرخه بررسی شد (جدول ۶). بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۲۰ مقدار افت وزنی حدود ۰/۰۷ درصد است و سنگ در رده سنگهایی با دوام بالا قرار دارد. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۲۰ چرخه مقدار کاهش سرعت موج حدود ۴/۴۸ درصد می‌باشد. از لحاظ پارامترهای مهندسی(افت وزنی و سرعت موج)، سنگ دارای دوام خوبی است.

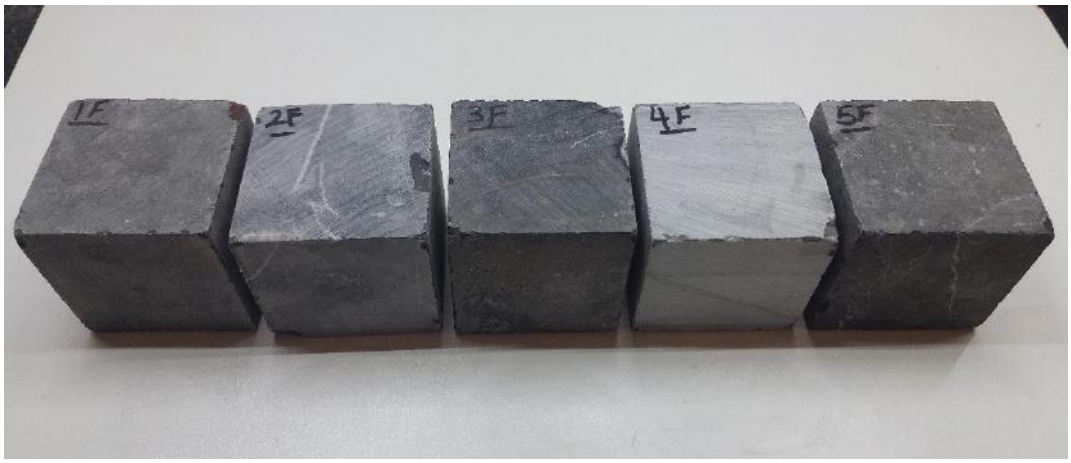
جدول ۶ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های انجماد-آب شدن

چرخه	تغییرات وزن نمونه (درصد)	سرعت موج (متر بر ثانیه)	تغییرات (درصد)
۰	۰/۰۰	۶۲۰۸	۰/۰۰
۲	۰/۰۰	۶۱۸۵	-۰/۳۷
۴	-۰/۰۲	۶۱۵۶	-۰/۸۴
۶	-۰/۰۳	۶۱۴۲	-۱/۰۶
۸	-۰/۰۴	۶۱۳۸	-۱/۱۳
۱۰	-۰/۰۴	۶۱۳۰	-۱/۲۶
۱۲	-۰/۰۵	۶۱۲۰	-۱/۴۲
۱۴	-۰/۰۵	۶۱۱۱	-۱/۵۶
۱۶	-۰/۰۵	۶۱۰۵	-۱/۶۶
۱۸	-۰/۰۵	۶۰۲۲	-۲/۹۹
۲۰	-۰/۰۷	۵۹۳۰	-۴/۴۸

تغییرات در رنگ نمونه بعد از هر ۲ چرخه بررسی شد (جدول ۷). همانطوری که مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ (ΔE =12/80) بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد (ΔE=۵ آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). بر اساس نتایج سنگ با گذشت زمان در برابر انجماد دچار تغییر رنگ خواهد شد. البته سنگ دچار زنگ زدگی نمی شود چون پارامتر b تقریبا ثابت است.

جدول ۷ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های انجماد-آب شدن

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۵۳/۳۹	۰/۱۱	۱/۵۹	۰/۰۰
۲	۵۰/۲۰	۰/۰۹	۱/۸۷	۳/۲۰
۴	۵۰/۰۰	۰/۱۷	۱/۸۳	۳/۴۰
۶	۴۹/۳۷	۰/۲۰	۱/۷۸	۴/۰۲
۸	۴۸/۹۴	۰/۲۶	۲/۱۳	۴/۴۸
۱۰	۴۸/۰۰	۰/۲۸	۲/۲۱	۵/۴۲
۱۲	۴۸/۰۴	۰/۲۳	۲/۱۷	۵/۳۸
۱۴	۴۷/۸۴	۰/۱۹	۲/۳۱	۵/۵۹
۲۰	۴۵/۵۷	-۰/۰۴	۲/۲۰	۷/۸۴
۱۸	۴۵/۰۱	۰/۰۲	۲/۱۵	۸/۴۰
۱۶	۴۰/۵۹	-۰/۰۳	۱/۸۲	۱۲/۸۰



شکل ۱۰ تغییر در ظاهر نمونه پس از آزمایش انجماد- آب شدن پس از ۲۰ چرخه

۱-۲۲) آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن

آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن بر روی مرمریت سیاه تم تا ۲۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی هر ۲ چرخه بررسی شد.

همانطوری که در جدول ۸ مشاهده می‌شود بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۲۰، وزن در طول آزمایش در حدود ۰/۰۴ تغییر می‌کند و سنگ در دسته سنگ های با دوام بالا قرار می گیرد. بررسی سرعت موج نشان می دهد که پس از گذشت ۲۰ چرخه این پارامتر در حدود ۳/۷۰ درصد کاهش نسبت به مقدار اولیه خود دارد. هیچگونه ترک و شکستگی در سطح سنگ مشاهده نشد. از لحاظ پارامترهای مهندسی(افت وزنی و سرعت موج)، سنگ دارای دوام خوبی در برابر چرخه خشک شدن است.

جدول ۸ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های تر-خشک شدن

چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات
۰	۰/۰۰	۶۲۹۵	۰/۰۰
۲	-۰/۰۱	۶۲۸۵	-۰/۱۵
۴	-۰/۰۱	۶۲۶۶	-۰/۴۶
۶	-۰/۰۱	۶۲۵۴	-۰/۶۵
۸	-۰/۰۱	۶۲۳۲	-۱/۰۰
۱۰	-۰/۰۱	۶۲۲۲	-۱/۱۶
۱۲	-۰/۰۲	۶۱۹۰	-۱/۶۷
۱۴	-۰/۰۲	۶۱۸۰	-۱/۸۳
۱۶	-۰/۰۳	۶۱۶۴	-۲/۰۸
۱۸	-۰/۰۳	۶۱۳۳	-۲/۵۸
۲۰	-۰/۰۴	۶۰۶۲	-۳/۷۰

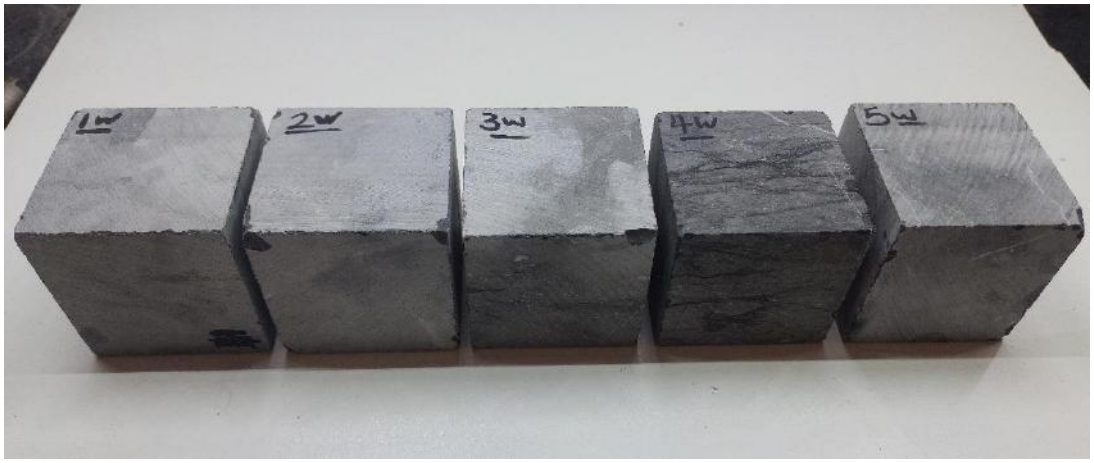
تغییرات در رنگ نمونه بعد از هر ۲۰ چرخه تر و خشک شدن بررسی شد (مقدار تغییر رنگ (ΔE =5/65) بعد از گذشت ۲۰ چرخه کمی بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد (ΔE=۵) آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). این سنگ در برابر تر و خشک شدن تقریبا مقاوم است (شکل ۱۰).

جدول ۹). همانطوری که مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ (ΔE =5/65) بعد از گذشت ۲۰ چرخه کمی بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد (ΔE=۵) آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). این سنگ در برابر تر و خشک شدن تقریبا مقاوم است (شکل ۱۰).

جدول ۹ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های تر-خشک شدن

چرخه	L	a	b	ΔE

۰/۰۰	۱/۰۲	-۰/۴۷	۶۶/۶۴	صفر
۱/۳۳	۱/۵۵	-۰/۲۸	۶۵/۴۴	۲
۱/۸۴	۱/۱۶	-۰/۳۴	۶۴/۸۱	۴
۱/۱۰	۱/۲۳	-۰/۳۴	۶۵/۵۷	۶
۲/۲۱	۱/۱۸	-۰/۳۰	۶۴/۴۵	۸
۲/۳۰	۱/۲۴	-۰/۲۷	۶۴/۳۶	۱۰
۲/۹۴	۱/۳۷	-۰/۲۵	۶۳/۷۳	۱۲
۴/۷۶	۱/۵۹	-۰/۳۰	۶۱/۹۲	۱۴
۴/۴۲	۱/۸۱	-۰/۲۴	۶۲/۳۰	۱۸
۳/۹۹	۱/۹۷	-۰/۲۴	۶۲/۷۸	۲۰
۵/۶۵	۱/۳۵	-۰/۳۹	۶۱	۱۶



شکل ۱۱ تغییر در ظاهر نمونه پس از آزمایش تر-خشک شدن پس از ۲۰ چرخه

۱-۲۳) آزمایش دوام در برابر چرخه های اسید سولفوریک

آزمایش دوام در برابر اسید برای شبیه سازی تاثیر بارانهای اسیدی بر روی سنگ تا ۲۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی در هر ۲ چرخه بررسی شد.

همانطوری که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود بررسی افت وزنی تا چرخه ۲۰ نشان می دهد که کاهش وزن رخ داده برابر با ۰/۱۹ درصد بوده و سنگ در دسته سنگ های حساس به اسید قرار دارد. بررسی سرعت موج نشان می دهد که پس از گذشت ۲۰ چرخه این پارامتر در حدود ۲/۶۶ درصد کاهش نسبت به مقدار اولیه خود دارد.

جدول ۱۰ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های تر-خشک شدن در اسید

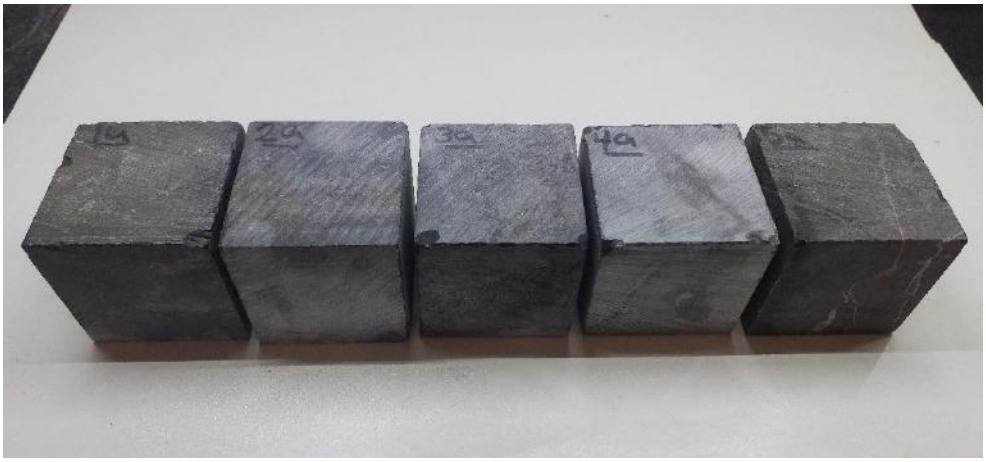
درصد تغییرات	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات وزن نمونه	چرخه
۰/۰۰	۶۳۰۵	۰/۰۰	۰

۲	-۰/۰۱	۶۲۷۹	-۰/۴۲
۴	-۰/۰۴	۶۲۷۰	-۰/۵۶
۶	-۰/۰۶	۶۲۶۵	-۰/۶۳
۸	۰/۰۸	۶۲۵۴	-۰/۸۱
۱۰	-۰/۱۱	۶۲۴۲	-۱/۰۰
۱۲	-۰/۱۱	۶۲۳۱	-۱/۱۷
۱۴	-۰/۱۳	۶۲۲۸	-۱/۲۲
۱۶	-۰/۱۳	۶۲۰۹	-۱/۵۲
۱۸	-۰/۱۴	۶۲۰۳	-۱/۶۲
۲۰	-۰/۱۹	۶۱۳۷	-۲/۶۶

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲ چرخه بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۲ مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ (ΔE =12/14) بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد. (ΔE=۵ آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). این سنگ در طولانی مدت در برابر اسید دچار تغییر رنگ خواهد شد. (شکل).

جدول ۱۱ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های اسید

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۵۰/۲۴	-۰/۱۰	۲/۱۶	۰/۰۰
۲	۵۲/۴۷	-۰/۰۴	۲/۶۵	۲/۲۸
۴	۴۹/۸۷	-۰/۴۴	۱/۶۰	۰/۷۵
۶	۴۹/۸۱	-۰/۲۵	۱/۷۶	۰/۶۰
۸	۴۹/۲۵	-۰/۳۰	۱/۷۲	۱/۱۰
۱۰	۴۸/۱۱	-۰/۰۲	۲/۳۸	۲/۱۵
۱۲	۴۷/۶۷	-۰/۲۶	۳/۰۲	۲/۷۱
۱۴	۴۷/۰۲	-۰/۲۸	۲/۸۱	۳/۳۰
۱۶	۴۳/۷۳	-۰/۰۴	۳/۶۸	۶/۶۹
۱۸	۳۹/۹۲	-۰/۵۴	۲/۴۹	۱۰/۳۴
۲۰	۳۸/۱۶	-۰/۷۴	۳/۱۲	۱۲/۱۴



شکل ۱۲ تغییر در ظاهر نمونه پس از آزمایش در محلول اسید سولفوریک پس از ۲۰ چرخه

۱-۲۴) آزمایش دوام در برابر شوک حرارتی

آزمایش دوام در برابر شوک حرارتی بر روی سنگ تا ۲۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی در هر ۲ چرخه بررسی شد.

همانطوری که در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود وزن نمونه در طول ۲۰ چرخه شوک حرارتی تغییری پیدا نکرد. بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۲۰ مقدار افت وزنی حدود ۰/۰۶ درصد است و سنگ در رده سنگهایی با دوام بالا قرار دارد. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۲۰ چرخه مقدار سرعت موج حدود ۲/۵۵ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد. هیچگونه ترک و شکستگی در سطح سنگ مشاهده نشد. از لحاظ پارامترهای مهندسی(افت وزنی و سرعت موج)، سنگ دارای دوام خوبی است.

جدول ۱۲ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های شوک حرارتی

چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات
۰	۰/۰۰	۶۱۸۹	۰/۰۰
۲	-۰/۰۲	۶۱۵۴	-۰/۵۷
۴	-۰/۰۳	۶۱۴۵	-۰/۷۱
۶	-۰/۰۳	۶۱۲۱	-۱/۱۰
۸	-۰/۰۲	۶۱۰۵	-۱/۳۶
۱۰	-۰/۰۴	۶۰۹۸	-۱/۴۷
۱۲	-۰/۰۴	۶۰۷۸	-۱/۷۹
۱۴	-۰/۰۵	۶۰۶۶	-۱/۹۹
۱۶	-۰/۰۴	۶۰۶۵	-۲/۰۰
۱۸	-۰/۰۵	۶۰۵۵	-۲/۱۷
۲۰	-۰/۰۶	۶۰۳۱	-۲/۵۵

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲ چرخه بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۴ مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ (ΔE =3/44) بعد از گذشت ۲۰ چرخه کمتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد (۵ =ΔE آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). این سنگ در برابر شوک حرارتی مقاوم بوده و تغییر رنگ زیادی از خود نشان نمی‌دهد (شکل).

جدول ۱۳ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های شوک حرارتی

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۵۳/۲۶	۰/۰۸	۲/۱۶	۰/۰۰
۲	۵۲/۰۶	۰/۱۵	۲/۲۰	۱/۲۰
۴	۵۱/۷۷	۰/۱۳	۲/۲۹	۱/۵۰
۶	۵۱/۳۲	۰/۳۲	۲/۲۸	۱/۹۶
۸	۵۱/۱۱	۰/۳۳	۲/۴۳	۲/۱۸
۱۰	۵۱/۴۶	۰/۳۸	۲/۴۶	۱/۸۵
۱۲	۵۱/۱۴	۰/۳۴	۲/۴۸	۲/۱۶
۱۴	۵۰/۴۸	۰/۲۰	۲/۵۷	۲/۸۱
۱۶	۵۰/۳۳	۰/۳۲	۲/۳۷	۲/۹۵
۱۸	۵۰/۸۰	۰/۲۴	۲/۴۶	۲/۴۹
۲۰	۴۹/۸۷	۰/۳۳	۲/۶۶	۳/۴۴

شکل ۱۳ تغییر در ظاهر نمونه پس از آزمایش شوک حرارتی پس از ۲۰ چرخه

۲-۱ آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی

آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی بر روی سنگ تا ۲۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگی‌های فیزیکی بعد از ۲ چرخه بررسی شد.

بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۲۰ مقدار افت وزنی حدود ۱/۴۱ درصد است و سنگ در رده سنگهایی با دوام پایین قرار دارد. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۲۰ چرخه مقدار سرعت موج حدود ۵/۴۵ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد. هیچگونه ترک و شکستگی در سطح سنگ مشاهده نشد. از لحاظ پارامترهای مهندسی(افت وزنی و سرعت موج)، سنگ دارای دوام خوبی است.

جدول ۱۴ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های فرایندهای ترکیبی

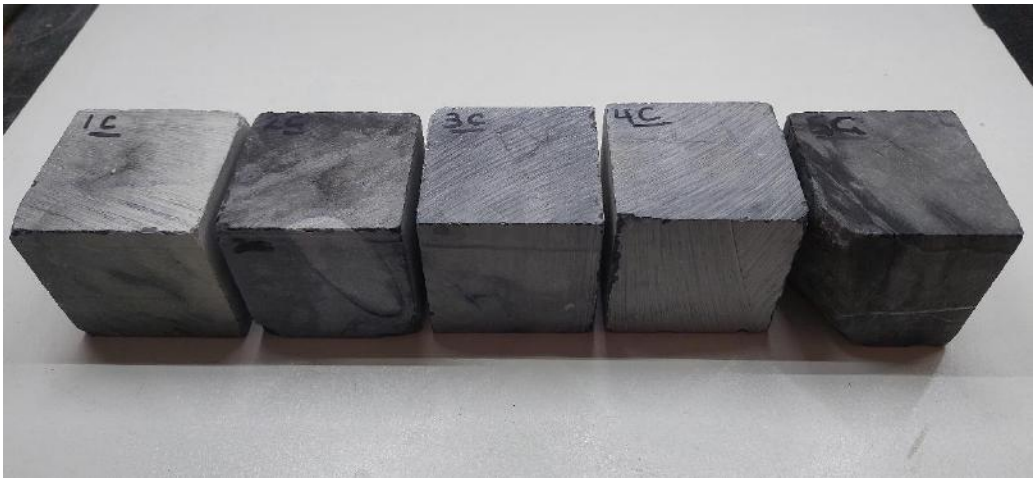
چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات
۰	۰/۰۰	۶۱۱۱	۰/۰۰
۲	-۰/۵۲	۶۱۶۳	+۰/۸۶
۴	-۰/۸۳	۶۰۶۳	-۰/۷۸
۶	-۱/۰۴	۵۹۸۱	-۲/۱۲
۸	-۱/۰۴	۵۹۳۴	-۲/۹۰
۱۰	-۱/۰۶	۵۹۶۸	-۲/۳۳
۱۲	-۱/۰۹	۵۹۵۳	-۲/۵۹
۱۴	-۱/۰۷	۵۹۵۶	-۲/۵۴
۱۶	-۱/۱۰	۵۹۵۴	-۲/۵۷
۱۸	-۱/۱۶	۵۸۷۰	-۳/۹۳
۲۰	-۱.۴۱	۵۷۷۸	-۵.۴۵

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲ چرخه بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۶ مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ (ΔE =7/74) بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد (۵ =ΔE آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). نتایج نشان می‌دهد که این سنگ در برابر ترکیبی از فرایندهای هوازدگی در طول عمر سازه در طولانی مدت دچار تغییر رنگ خواهد شد (شکل).

جدول ۱۵ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های فرایندهای ترکیبی

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۵۷/۲۸	-۰/۱۷	۱/۴۹	۰/۰۰
۲	۵۸/۲۹	۰/۰۲	۳/۲۵	۲/۰۴
۴	۵۸/۷۱	-۰/۳۱	۲/۹۳	۲/۰۳
۶	۵۹/۵۶	-۰/۲۶	۲/۷۱	۲/۵۸
۸	۶۱/۹۸	-۰/۲۲	۱/۳۷	۴/۷۰
۱۰	۶۱/۹۳	-۰/۲۰	۱/۴۹	۴/۶۵
۱۲	۶۳/۳۲	-۰/۳۴	۲/۰۹	۶/۰۷
۱۴	۶۱/۷۲	-۰/۳۱	۲/۰۶	۴/۴۸
۱۶	۶۱/۸۶	-۰/۳۴	۲/۰۸	۴/۶۲
۱۸	۶۲/۳۳	-۰/۲۷	۳/۰۶	۵/۲۹

۷/۷۴	۱/۵۷	-۰/۵۶	۶۵/۰۱	۲۰



شکل ۱۴ تغییر در ظاهر نمونه پس از آزمایش در فرایندهای ترکیبی پس از ۲۰ چرخه

۴ نتیجه گیری و پیشنهادات

جدول ۱۶ و ۱۷ کیفیت سنگ مرمریت سیاه تم را از نظر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی و دوام در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد. در جدول ۱۸ کاربریهای بهینه سنگ بر اساس نتایج آزمایشگاهی ارائه شده است.

جدول ۱۶ کیفیت سنگ مرمریت سیاه تم از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی

پارامتر	توضیحات	کیفیت
چگالی	زیاد	-
تخلخل	پایین	خیلی خوب

جذب آب تحت فشار خلا	پایین	خیلی خوب
جذب آب موئینه	پایین	خیلی خوب
مقاومت فشاری	پایین	زیاد
مقاومت خمشی	متوسط	متوسط

جدول ۱۷ کیفیت سنگ مرمریت سیاه تم از نظر دوام

پارامتر	ویژگی های مهندسی	تغییرات رنگ
تبلور نمک	خوب	تغییر رنگ
ذوب انجماد	خوب	تغییر رنگ
تر و خشک شدن	خیلی خوب	بدون تغییر رنگ قابل توجه
مقاومت در برابر اسید	حساس	تغییر رنگ
مقاومت در برابر شوک حرارتی	خوب	بدون تغییر رنگ قابل توجه
مقاومت در برابر فرایندهای ترکیبی	پایین	تغییر رنگ

جدول ۱۸ موارد پیشنهادی جهت کاربرد سنگ مرمریت سیاه تم

موارد استفاده	توصیه ها
نمای خارجی	برای مناطق شهری با احتمال رسوب اسید توصیه نمی‌شود بر اساس نتایج آزمایشگاهی حلال اسیدی تاثیر منفی روی این سنگ دارد برای مناطقی که احتمال شوک حرارتی وجود دارد توصیه می‌شود برای مناطق ساحلی و مناطقی که احتمال تبلور نمک وجود دارد و همچنین مناطق سردسیر توصیه نمی شود
سنگ کف در محیط خارجی	برای مناطق خشک توصیه می‌شود. در محیط‌های مرطوب، به دلیل داشتن جذب آب متوسط، ممکن است آب باعث تخریب سنگ در طول عمر مفید آن شود.
دکوراسیون داخلی	توصیه می‌شود
سنگ پله در محیط داخلی	توصیه می‌شود
پوشش دیوارهای داخل ساختمان	توصیه می‌شود
سنگ کف در محیط داخلی	توصیه می‌شود در صورتی که آب حاوی املاح نباشد