

دانشگاه تربیت مدرس

گروه زمین شناسی مهندسی

آزمایشگاه سنگ ساختمانی

## ویژگی‌های فنی سنگ مرمریت نجف آباد

درخواست کننده: شرکت رادستون

تهیه کننده: آزمایشگاه سنگ ساختمانی دانشگاه تربیت مدرس

خرداد ۱۴۰۲

۴	مقدمه	1
۴	مواد و روشها	۲
۴	نمونه (۱-۲)	
۴	آنالیز شیمیایی	3-1
۵	جذب آب موئینه (۱-۴)	
۵	ویژگیهای فیزیکی (۱-۵)	
۶	ویژگیهای مقاومتی (۶-۱)	
۶	مقاومت سایشی (۸-۱)	
۷	اندازه گیری سرعت موج (۷-۱)	
۷	آزمایش رنگ سنجی (۱-۸)	
۸	آزمون تبلور نمک (۱-۹)	
۸	آزمون انجماد-آب شدن (۱-۱۰)	
۸	آزمایش دوام در برابر اسید (۱-۱۱)	
۸	آزمایش شوک حرارتی (۱-۱۲)	
۸	آزمایش تر-خشک شدن (۱-۱۳)	
۸	آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی (۱-۱۴)	
۹	نتایج	۳
۹	نتایج آزمونهای شیمیایی (۱-۱۵)	
۹	ویژگیهای فیزیکی (۱۶-۱)	
۱۰	جذب آب موئینه (۱۷-۱)	
۱۰	ویژگیهای مقاومتی (۱-۱۸)	
۱۱	مقاومت سایشی (۱-۲)	
۱۱	آزمایش تبلور نمک (۱-۳)	
۱۳	آزمایش انجماد-آب شدن (۱-۴)	
۱۴	آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن (۱-۵)	
۱۶	آزمایش دوام در برابر چرخه های اسید سولفوریک (۱-۶)	
۱۷	آزمایش دوام در برابر شوک حرارتی (۱-۷)	
	۱-۲-آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی	۱۹



## ۱ مقدمه

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

## ۲ مواد و روشها

### ۲-۱ نمونه

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



شکل ۱ سنگ مرمریت نجف آباد

### ۳-۱ 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).



شکل ۲ دستگاه XRF

#### ۴-۱) جذب آب مویینه

آزمایش جذب آب مویینی 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  $0.5 \pm 3$  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.

#### ۵-۱) ویژگی‌های فیزیکی

در مجموع ۵ نمونه با ابعاد  $7 \times 7 \times 7$  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  $2 \pm 80$  درجه سانتیگراد خشک شدند تا به وزن ثابت برسند. نمونه‌های خشک با ترازوی با دقت  $0.01$  گرم وزن شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت کاملاً در آب تحت فشار خلا  $0.8$  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 نمونه‌ها بدست آمد. سرانجام، مقادیر میانگین و انحراف استاندارد هر پارامتر برای نمونه‌های مورد مطالعه به دست آمد.

### ۱-۶) ویژگی‌های مقاومتی

آزمون مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی نمونه هایی با ابعاد  $7 \times 7 \times 7$  انجام شد. نمونه ها با نرخ بار ثابت  $0.5-1$  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  $6 \times 15$  سانتی متر و ضخامت متفاوت ۲ سانتی متر استفاده شد.

### ۱-۸) مقاومت سایشی

برای اندازه گیری مقاومت سایشی از دستگاه سرشار استفاده شد (شکل ۳). یک پین فولادی استوانه‌ای، که راس آن مخروطی دوار با زاویه راس  $90^\circ$  و نوک نقطه ای است، برای انجام آزمایش سرشار مورد استفاده قرار می‌گیرد. پین مزبور تحت بار استاتیکی  $70$  نیوتن ( $7$  کیلوگرم) بر روی سطح سنگ قرار می‌گیرد و به فاصله  $10$  میلی متر بر روی آن کشیده می‌شود. نمونه ای سنگ مکعبی با ابعاد  $7$  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  $10$  اندازه گیری صورت گرفته به عنوان نتیجه آزمایش گزارش شد. پهن شدگی ناشی از سایش نوک پین با استفاده از یک میکروسکوپ  $24$  ایکس که به میکرومتری با دقت  $0.01$  میلی متر مجهز است، اندازه گیری 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 ۳ آزمایش سرشار

### (۷-۱) اندازه‌گیری سرعت موج

سرعت موج P در حالت خشک با استفاده از دستگاه Pundit Lab انجام شد. اندازه‌گیری سرعت موج بر روی ۵ در حالت سالم و در طول چرخه‌های شبیه‌سازی 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.

### (۸-۱) آزمایش رنگ سنجی

رنگ نمونه‌ها با استفاده از رنگ سنج قابل حمل مدل WR-10 اندازه‌گیری 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  $\Delta E^*$  با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

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

### ۹-۱) آزمون تبلور نمک

تخریب ناشی از تبلور نمک با استفاده از استاندارد (1999) RILEM 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 نهایتاً 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.

### ۱۰-۱) آزمون انجماد-آب شدن

آزمایش انجماد-آب شدن طبق استاندارد (2010) EN 12371، 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.

### ۱۱-۱) آزمایش دوام در برابر اسید

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

### ۱۲-۱) 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 غوطه‌ور شدند. این چرخه ۲۰ بار تکرار شد.

### ۱۳-۱) آزمایش تر-خشک شدن

در این آزمایش ابتدا نمونه‌ها ۱۲ ساعت درون آب شرب در دمای آزمایشگاه غوطه‌ور شد سپس درون یک گرمخانه با دمای ۷۰ درجه قرار داده شد. این چرخه ۲۰ بار تکرار شد.

### ۱۴-۱) آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی

به منظور ارزیابی عملکرد سنگ در برابر 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 نمونه‌ها 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.

L.O.I (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Cl (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Sr (%)
۴۳.۴۵	۰/۴۶	۰.۱۸	۰/۰۱۹	۵۳/۲۳	۰/۰۳	۱/۹۹	۰/۶۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۳۶	۰/۱۹

#### ۱-۱۶) ویژگیهای فیزیکی

نتایج بررسی ویژگی‌های فیزیکی سنگ مرمریت نجف آباد در جدول ۲ نشان داده شده است (جدول ۱). میانگین دانسیته خشک ۲/۷۲ و اشباع برابر ۲/۷۳ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. بر اساس مقدار تخلخل و جذب آب، مرمریت نجف آباد در دسته سنگ‌های با تخلخل پایین و جذب آب خیلی پایین قرار دارد. بر مبنای چگالی، در رده سنگ‌های با چگالی بالا (۲۵/۷۵-۲/۲ گرم بر سانتی متر مکعب) قرار دارند.

جدول ۱ ویژگیهای فیزیکی نمونه مرمریت نجف آباد

نمونه	چگالی خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)	چگالی اشباع (گرم بر سانتی متر مکعب)	وزن مخصوص	تخلخل (درصد)	جذب آب در فشار خلاء (درصد)
۱	۲/۷۲	۲/۷۲	۲/۷۳	۰/۲۶	۰/۱۰
۲	۲/۷۲	۲/۷۳	۲/۷۳	۰/۱۷	۰/۰۶
۳	۲/۷۲	۲/۷۲	۲/۷۳	۰/۳۲	۰/۱۲
۴	۲/۷۴	۲/۷۴	۲/۷۴	۰/۳۲	۰/۱۲
۵	۲/۷۲	۲/۷۳	۲/۷۳	۰/۲۶	۰/۱۰
میانگین	۲/۷۲	۲/۷۳	۲/۷۳	۰/۲۷	۰/۱۰

### (۱۷-۱) جذب آب موئینه

جذب آب موئینه 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 ۰/۱۸ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. سنگ مرمریت نجف آباد از لحاظ جذب آب موئینه در رده سنگ‌های با جذب آب موئینه پایین قرار می‌گیرند.

جدول ۲ جذب آب موئینه نمونه مرمریت نجف آباد

زمان (دقیقه)	نمونه‌ها					میانگین (کیلوگرم بر متر مربع)
	۱	۲	۳	۴	۵	
۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲
۱۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳
۳۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۳
۶۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۳
۱۲۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴
۱۸۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۵
۴۸۰	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵
۱۴۴۰	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۲
۲۸۸۰	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۱۵
۴۳۲۰	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۱۷
۵۷۶۰	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۱۸

### (۱۸-۱) ویژگی‌های مقاومتی

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری نشان داد که میانگین مقاومت فشاری در حدود ۸۶/۹۸ مگاپاسکال می‌باشد. سنگ از لحاظ مقاومت فشاری در رده سنگ‌هایی با مقاومت متوسط (۵۰-۱۰۰ مگاپاسکال) قرار می‌گیرد. میانگین مقاومت خمشی در حدود ۱۳/۵۲ مگاپاسکال است.

جدول 4 ویژگی‌های مکانیکی مرمریت نجف آباد

نمونه	مقاومت فشاری تک محوری (مگاپاسکال)	مقاومت خمشی (مگاپاسکال)
۱	۱۰۱/۵۶	۱۴/۷۳
۲	۷۱/۸۸	۹/۴۲
۳	۸۷/۵۰	۱۶/۴۱
میانگین	۸۶/۹۸	۱۳/۵۲

### (۲-۱) مقاومت سایشی

نتایج آزمایش مقاومت سایشی نشان داد که شاخص سرشار سنگ از  $1/34$  تا  $1/65$  با مقدار میانگین  $1/51$  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
$0/3-0/5$	نرم
$0/5-1$	نسبتاً نرم
۱-۲	متوسط
۲-۴	سخت
۴-۶	خیلی سخت

### (۳-۱) 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 برای سنگ در جدول ۴ نشان داده شده است. در انتهای چرخه ۲۰ افت وزنی در حدود  $0/49$  درصد مشاهده شد (شکل ۸). بر اساس افت وزنی بدست آمده این سنگ مقاومت متوسط در برابر تبلور نمک نشان داده است. در انتهای چرخه ۲۰ میانگین کاهش سرعت موج  $2/25$  درصد به دست آمد. این سنگ از لحاظ پارامترهای مقاومتی در رده خوب در برابر هوازدهی 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	$0/00$	۶۱۶۲	$0/00$
۲	$-0/21$	۶۲۳۸	$1/23$
۴	$-0/27$	۶۲۲۲	$0/96$
۶	$-0/29$	۶۱۲۴	$-0/62$
۸	$-0/32$	۶۱۰۹	$-0/86$
۱۰	$-0/38$	۶۱۲۰	$-0/68$
۱۲	$-0/31$	۶۱۰۱	$-1/00$
۱۴	$-0/37$	۶۰۸۷	$-1/23$

۱۶	-۰/۰۳۶	۶۰۷۳	-۱/۴۵
۱۸	-۰/۰۳۸	۶۰۴۸	-۱/۸۶
۲۰	-۰/۰۴۹	۶۰۲۴	-۲/۲۵

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲۰ چرخه بررسی شد. مقدار تغییرات رنگ ( $\Delta E = 6/33$ ) بعد از ۲۰ چرخه بیشتر از از مقداری است که با چشم غیر مسلح دیده شود ( $\Delta E = 5$ ) آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). نتایج نشان می‌دهد که این سنگ با گذشت زمان در برابر هوازگی نمک دچار تغییر رنگ نخواهد شد.

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

چرخه	L	a	b	$\Delta E$
صفر	۵۹/۴۵	-۰/۱۵	۱/۷۶	۰/۰۰
۲	۵۹/۶۷	-۰/۴۰	۱/۵۱	۰/۴۲
۴	۵۷/۴۸	-۰/۵۵	۰/۸۴	۲/۲۱
۶	۵۷/۹۸	-۰/۵۱	۰/۶۷	۱/۸۷
۸	۵۷/۴۰	-۰/۷۰	۱/۰۷	۲/۲۴
۱۰	۵۷/۹۰	-۰/۷۱	۰/۴۳	۲/۱۲
۱۲	۵۵/۸۴	-۰/۶۲	۰/۸۵	۳/۷۶
۱۴	۵۵/۷۶	-۰/۴۳	۱/۲۲	۳/۷۴
۱۶	۵۶/۳۶	-۰/۳۷	۱/۰۴	۳/۱۹
۱۸	۵۵/۲۹	-۰/۵۶	۰/۷۸	۴/۳۰
۲۰	۵۳/۱۲	-۰/۱۷	۱/۸۳	۶/۳۳



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

#### ۴-۱) 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 ۰/۱۲ درصد است. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۲۰ چرخه مقدار کاهش سرعت موج حدود ۵/۳۶ درصد می‌باشد.

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	۶۲۷۲	۰/۰۰
۲	-۰/۰۱	۶۲۷۲	۰/۰۰
۴	-۰/۰۳	۶۱۵۶	-۱/۸۵
۶	-۰/۰۴	۶۲۱۳	-۰/۹۳
۸	-۰/۰۴	۶۱۶۶	-۱/۶۸
۱۰	-۰/۰۴	۶۲۲۵	-۰/۷۵
۱۲	-۰/۰۵	۶۱۸۶	-۱/۳۸
۱۴	-۰/۰۸	۶۱۷۶	-۱/۵۲
۱۶	-۰/۱۱	۶۱۵۷	-۱/۸۳
۱۸	-۰/۱۱	۶۰۹۴	-۲/۸۴
۲۰	-۰/۱۲	۵۹۳۶	-۵/۳۶

تغییرات در رنگ نمونه بعد از هر ۲ چرخه بررسی شد (جدول ۷). همانطوری که مشاهده می‌شود مقدار تغییر رنگ  $(\Delta E = 13/75)$  بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد  $(\Delta E = 5)$  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.

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

چرخه	L	a	b	$\Delta E$
صفر	۵۷/۳۶	-۰/۲۴	۱/۲۵	۰/۰۰
۲	۵۳/۲۵	-۰/۲۹	۱/۴۸	۴/۱۱
۴	۵۱/۵۶	-۰/۲۶	۱/۳۷	۵/۸۰
۶	۴۹/۶۷	-۰/۱۴	۱/۴۱	۷/۶۹
۸	۴۹/۳۱	-۰/۵۰	۱/۵۷	۸/۰۶
۱۰	۴۸/۷۵	-۰/۳۳	۱/۴۵	۸/۶۱
۱۲	۴۸/۰۷	-۰/۵۲	۱/۶۱	۹/۳۰

۱۴	۴۷/۴۲	-۰/۵۲	۱/۶۳	۹/۹۵
۱۶	۴۵/۴۰	-۰/۶۱	۱/۵۴	۱۱/۹۷
۱۸	۴۴/۱۶	-۰/۵۸	۱/۱۹	۱۳/۲۰
۲۰	۴۳/۶۲	-۰/۶۶	۱/۱۸	۱۳/۷۵



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

۵-۱) آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن  
 آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن بر روی مرمریت نجف آباد 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 ۰/۶۳ تغییر می‌کند. بررسی سرعت موج نشان می‌دهد که پس از گذشت ۲۰ چرخه این پارامتر در حدود ۳/۲۱ درصد کاهش نسبت به مقدار اولیه خود دارد.

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	۶۳۲۴	۰/۰۰
۲	-۰/۰۱	۶۳۰۰	-۰/۳۸
۴	-۰/۰۲	۶۲۹۷	-۰/۴۳
۶	-۰/۰۳	۶۲۸۵	-۰/۶۲
۸	-۰/۰۳	۶۲۶۵	-۰/۹۳
۱۰	-۰/۰۳	۶۲۶۵	-۰/۹۳
12	-۰/۰۴	۶۲۶۰	-۱/۰۱
۱۴	-۰/۵۸	۶۲۵۴	-۱/۱۱

۱۶	-۰/۶۲	۶۲۴۱	-۱/۳۱
۱۸	-۰/۶۲	۶۲۳۴	-۱/۴۳
۲۰	-۰/۶۳	۶۱۲۱	-۳/۲۱

تغییرات در رنگ نمونه بعد از هر ۲۰ چرخه تر و خشک شدن بررسی شد (مقدار تغییر رنگ  $\Delta E = 10/81$ ) بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد ( $\Delta E = 5$ ) آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). این سنگ در برابر فرایند تر و خشک مقاوم نبوده و تغییر رنگ در آن رخ می دهد (شکل ۱۰).

جدول ۹). همانطوری که مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ ( $\Delta E = 10/81$ ) بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد ( $\Delta E = 5$ ) آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). این سنگ در برابر فرایند تر و خشک مقاوم نبوده و تغییر رنگ در آن رخ می دهد (شکل ۱۰).

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

چرخه	L	a	b	$\Delta E$
صفر	۵۴/۲۲	-۰/۷۵	۰/۱۱	۰/۰۰
۲	۵۲/۰۴	-۰/۶۶	۰/۷۷	۲/۲۸
۴	۵۱/۰۵	-۰/۷۴	۰/۳۷	۳/۱۸
۶	۵۰/۸۹	-۰/۷۷	۰/۲۶	۳/۳۳
۸	۴۹/۷۸	-۰/۸۶	۰/۹۶	۴/۵۳
۱۰	۵۰/۰۰	-۰/۷۶	۰/۵۴	۴/۲۴
۱۲	۴۷/۷۰	-۰/۷۱	۰/۹۴	۶/۵۷
۱۴	۴۶/۵۱	-۰/۸۲	۱/۱۴	۷/۷۷
۱۶	۴۶/۵۰	-۰/۷۵	۰/۶۶	۷/۷۴
۱۸	۴۶/۲۴	-۰/۷۸	۱/۰۳	۸/۰۴
۲۰	۴۳/۴۴	-۰/۷۸	۰/۸۸	۱۰/۸۱



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

#### ۶-۱) 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 **Error! Reference source not found.** مشاهده می‌شود بررسی افت وزنی تا چرخه ۲۰ نشان می‌دهد که کاهش وزن رخ داده برابر با ۰/۲۴ درصد است. بررسی سرعت موج نشان می‌دهد که پس از گذشت ۲۰ چرخه این پارامتر در حدود ۳/۸۴ 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

چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات
۰	۰/۰۰	۶۲۲۰	۰/۰۰
۲	-۰/۰۲	۶۲۰۷	-۰/۲۰
۴	-۰/۰۶	۶۱۸۵	-۰/۵۵
۶	-۰/۰۸	۶۱۷۵	-۰/۷۱
۸	-۰/۱۱	۶۱۶۳	-۰/۹۱
۱۰	-۰/۱۳	۶۱۵۲	-۱/۰۹
۱۲	-۰/۱۴	۶۱۴۱	-۱/۲۷
۱۴	-۰/۱۸	۶۱۳۳	-۱/۳۹
۱۶	-۰/۱۹	۶۱۰۲	-۱/۸۸
۱۸	-۰/۲۰	۶۰۵۶	-۲/۶۴
۲۰	-۰/۲۴	۵۹۸۱	-۳/۸۴



تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲ چرخه بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۲ مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ ( $\Delta E = 20/45$ ) بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد. ( $\Delta E = 5$ ) آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است (شکل).

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

چرخه	L	a	b	$\Delta E$
صفر	۵۹/۲۳	-۰/۳۲	۱/۰۵	۰/۰۰
۲	۶۱/۰۰	-۰/۳۱	۲/۳۵	۲/۱۹
۴	۵۳/۱۷	-۱/۰۰	۰/۰۳	۶/۱۹
۶	۵۲/۷۸	-۰/۶۳	۰/۴۹	۶/۴۸
۸	۵۰/۲۸	-۰/۸۹	۰/۹۸	۸/۹۷
۱۰	۴۹/۴۷	-۰/۴۱	۱/۷۴	۹/۷۹
۱۲	۴۹/۹۰	-۰/۴۱	۲/۲۶	۹/۴۱
۱۴	۴۹/۱۳	-۰/۶۵	۲/۱۴	۱۰/۱۷
۱۶	۴۹/۲۱	-۰/۱۸	۲/۶۸	۱۰/۱۵
۱۸	۳۹/۰۸	-۰/۶۲	۲/۰۸	۲۰/۱۸
۲۰	۳۸/۷۹	-۰/۷۶	۱/۱۸	۲۰/۴۵



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

#### (۷-۱) 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 ۰/۲۴ درصد است. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۲۰ چرخه مقدار سرعت موج حدود ۳/۵۶ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد. هیچگونه ترک و شکستگی در سطح سنگ مشاهده نشد.

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	۶۰۹۱	۰/۰۰
۲	-۰/۰۲	۶۰۵۴	-۰/۶۱
۴	-۰/۰۵	۶۰۴۷	-۰/۷۳
6	-۰/۰۶	۶۰۴۶	-۰/۷۴
8	-۰/۰۶	۶۰۳۲	-۰/۹۸
10	-۰/۰۷	۶۰۲۷	-۱/۰۵
12	-۰/۰۷	۶۰۰۹	-۱/۳۵
14	-۰/۰۸	۶۰۰۱	-۱/۴۸
۱۶	-۰/۰۸	۵۹۴۹	-۲/۳۳
۱۸	-۰/۰۹	۵۹۷۶	-۱/۸۹
۲۰	-۰/۲۴	۵۸۷۴	-۳/۵۶

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲ چرخه بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۴ مشاهده می‌شود مقدار تغییر رنگ ( $\Delta E = 5/44$ ) بعد از گذشت ۲۰ چرخه بیشتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد ( $\Delta E =$  آستانه تغییر رنگ قابل درک برای انسان با چشم غیر مسلح است). این سنگ در برابر شوک حرارتی تغییر رنگ جزئی از خود نشان می‌دهد. (شکل).

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

چرخه	L	a	b	$\Delta E$
صفر	۵۹/۵۶	۰/۰۳	۱/۶۵	۰/۰۰
۲	۵۶/۸۴	-۰/۱۹	۱/۵۶	۲/۷۳
۴	۵۵/۵۳	-۰/۰۸	۱/۳۸	۴/۰۴
۶	۵۵/۸۵	۰/۰۱	۱/۴۵	۳/۷۲
۸	۵۵/۶۲	۰/۰۱	۱/۶۱	۳/۹۵
۱۰	۵۴/۶۴	-۰/۰۲	۱/۹۶	۴/۹۳
۱۲	۵۴/۵۱	-۰/۰۹	۱/۴۸	۵/۰۵
۱۴	۵۴/۷۶	-۰/۱۳	۱/۶۱	۴/۸۰
۱۶	۵۴/۳۵	۰/۰۲	۱/۷۳	۵/۲۲
۱۸	۵۴/۲۰	-۰/۰۶	۱/۵۳	۵/۳۶

۲۰	۵۴/۱۳	-۰/۱۰	۱/۵۰	۵/۴۴
----	-------	-------	------	------



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 ۰/۷۶ 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 ۴/۷۲ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد. هیچگونه ترک و شکستگی در سطح سنگ مشاهده نشد.

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	۶۰۶۲	۰/۰۰
۲	-۰/۰۲	۶۱۵۴	۱/۵۳
۴	-۰/۰۵	۶۰۳۵	-۰/۴۳
۶	-۰/۰۶	۵۹۷۲	-۱/۴۸
۸	-۰/۰۶	۵۹۶۱	-۱/۶۶
۱۰	-۰/۱۳	۵۹۴۱	-۱/۹۹
۱۲	-۰/۱۷	۵۹۳۲	-۲/۱۴
۱۴	-۰/۲۲	۵۹۲۱	-۲/۳۲
۱۶	-۰/۲۳	۵۸۹۹	-۲/۶۸
۱۸	-۰/۲۵	۵۸۲۴	-۳/۹۲
۲۰	-۰/۲۶	۵۷۷۵	-۴/۷۲

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۲ چرخه بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۶ مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ ( $\Delta E = 2/69$ ) بعد از گذشت ۲۰ چرخه کمتر از مقداری است که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده باشد ( $\Delta E = 5$ ) 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 نخواهد شد (شکل).  
جدول ۱۵ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های فرایندهای ترکیبی

چرخه	L	a	b	$\Delta E$
صفر	۵۲/۹۷	-۰/۱۴	۱/۵۴	۰/۰۰
۲	۵۲/۱۶	-۰/۳۸	۱/۵۱	۰/۸۴
۴	۵۳/۲۵	-۰/۴۰	۱/۱۷	۰/۵۳
۶	۵۰/۶۶	-۰/۱۷	۱/۶۷	۲/۳۱
۸	۵۲/۳۲	-۰/۶۶	۱/۰۳	۰/۹۷
۱۰	۵۱/۴۱	-۰/۴۰	۱/۲۶	۱/۶۰
۱۲	۵۱/۴۲	-۰/۵۲	۱/۳۷	۱/۶۰
۱۴	۵۲/۸۰	-۰/۳۷	۲/۱۸	۰/۷۱
۱۶	۵۱/۶۳	-۰/۳۹	۲/۱۳	۱/۴۸
۲۰	۴۴/۹۰	-۰/۳۸	۲/۴۲	۴/۲۶
۱۸	۴۶/۳۸	-۰/۴۰	۲/۲۰	۶/۶۹



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

#### ۴ نتیجه گیری و پیشنهادات

جدول ۱۷ و ۱۸ کیفیت سنگ مرمریت نجف آباد را از نظر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی و دوام در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد. در جدول ۱۹ کاربری‌های این سنگ بر مبنای نتایج آزمایشگاهی ارایه شده است.

#### جدول ۱۸ کیفیت سنگ مرمریت نجف آباد از نظر ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی

کیفیت	توضیحات	پارامتر
-	زیاد	چگالی
خیلی خوب	پایین	تخلخل
خیلی خوب	پایین	جذب آب تحت فشار خلا
خیلی خوب	پایین	جذب آب موئینه
متوسط	متوسط	مقاومت فشاری
متوسط	متوسط	مقاومت خمشی
متوسط	متوسط	مقاومت سایشی

#### جدول ۱۷ کیفیت سنگ مرمریت نجف آباد از نظر دوام

تغییرات رنگ	ویژگی‌های مهندسی	پارامتر
تغییر رنگ جزئی	خوب	تبلور نمک
تغییر رنگ قابل توجه	خوب	ذوب انجماد
تغییر رنگ قابل توجه	خوب	تر و خشک شدن
تغییر رنگ قابل توجه	حساس	مقاومت در برابر اسید
تغییر رنگ قابل توجه	خوب	مقاومت در برابر شوک حرارتی
تغییر رنگ	خوب	مقاومت در برابر فرایندهای ترکیبی

## جدول ۱۹ موارد پیشنهادی جهت کاربرد سنگ مرمریت نجف آباد

موارد استفاده	توصیه‌ها
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 نمی‌شود برای مناطق ساحلی و مناطقی که احتمال تبلور نمک وجود دارد و همچنین مناطق سردسیر توصیه نمی‌شود
سنگ کف در محیط خارجی	توصیه نمی‌شود
دکوراسیون داخلی	توصیه می‌شود
سنگ پله در محیط داخلی	توصیه می‌شود
پوشش دیوارهای داخل ساختمان	توصیه می‌شود
سنگ کف در محیط داخلی	توصیه می‌شود