

دانشگاه تربیت مدرس

گروه زمین شناسی مهندسی

آزمایشگاه سنگ ساختمانی

ویژگیهای فنی سنگ چینی سایمان

درخواست کننده: شرکت ساخارا و آژیانه

تهیه کننده:

آزمایشگاه سنگ ساختمانی

	۱	
۴.....	1	مقدمه.....
۴.....	۲	مواد و روشها.....
۴.....	۲-۱	ویژگیهای سنگ شناسی.....
۴.....	2-2	آنالیز شیمیایی.....
۵.....	۲-۳	جذب آب موئینه.....
۵.....	۲-۴	ویژگیهای فیزیکی.....
۵.....	۲-۵	ویژگیهای مقاومتی.....
۶.....	۲-۶	اندازه گیری سرعت موج.....
۶.....	۲-۷	آزمایش رنگ سنجی.....
۶.....	8-2	ضریب انبساط حرارتی.....
۷.....	۲-۹	آزمایش مقاومت لغزشی.....
۷.....	۲-۱۰	آزمایش مقاومت سایشی.....
۷.....	۲-۱۱	آزمون تبلور نمک.....
۸.....	۲-۱۲	آزمون انجماد-آب شدن.....
۸.....	۲-۱۳	آزمایش دوام در برابر اسید.....
۸.....	۲-۱۴	آزمایش شوک حرارتی.....
۸.....	۲-۱۵	آزمایش تر-خشک شدن.....
۸.....	۲-۱۶	آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی.....
۹.....	۳	نتایج.....
۹.....	۳-۱	سنگ شناسی.....
۹.....	۳-۲	نتایج آزمونهای شیمیایی.....
۱۱.....	۳-۳	ویژگیهای فیزیکی.....
۱۱.....	۳-۴	جذب آب موئینه.....
۱۲.....	۳-۵	ویژگیهای مقاومتی.....
۱۳.....	۳-۶	آزمایش مقاومت لغزشی.....
۱۳.....	۳-۷	انبساط حرارتی.....
۱۴.....	۳-۸	مقاومت سایشی.....
۱۴.....	۳-۹	آزمایش تبلور نمک.....

۱۶	..... آزمایش انجماد-آب شدن	۳-۱۰
۱۷	..... آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن	۳-۱۱
۱۸	..... آزمایش دوام در برابر چرخه های اسید سولفوریک	۳-۱۲
۱۹	..... آزمایش دوام در برابر شوک حرارتی	۳-۱۳
	..... آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی ۲۰	۳-۱۴
۲۱	..... نتیجه گیری و پیشنهادات	4

۱ مقدمه

این گزارش نتایج آزمونهای آزمایشگاهی سنگ چینی سایمان را بررسی کرده و کاربریهای مختلف آن را با توجه به نتایج آزمونهای آزمایشگاهی ارایه می دهد.

۲ مواد و روشها

۲-۱ ویژگیهای سنگ شناسی

به منظور بررسی ویژگیهای سنگ شناسی، مقطع نازک زمین شناسی مطابق با (2007) ISRM تهیه شد. ویژگیهای کانی شناسی و بافت سنگ در زیر میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت.

۲-۲ آنالیز شیمیایی

پراش اشعه ایکس (XRD) برای تعیین ترکیبات کانی شناسی نمونه استفاده شد. نمونهها با قطر کمتر از ۶۰ میکرومتر آسیاب شدند. پودر سنگ تهیه شده با استفاده از دستگاه Philips X'pert مورد آزمایش قرار گرفت. 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 ۱).



شکل ۱ الف: دستگاه XRF و ب: دستگاه XRF

۲-۳ جذب آب موینه

آزمایش جذب آب موینه 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 ± 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.

۲-۴ 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 ± 80 درجه سانتیگراد خشک شدند تا به وزن ثابت برسند. نمونه‌های خشک با ترازوی با دقت $0.1/0$ گرم وزن شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت کاملاً در آب تحت فشار خلا $0.8/0$ بار قرار گرفتند. نمونه‌ها از آب خارج کرده و با پارچه‌ای مرطوب پاک شده و وزن اشباع و غوطه‌ور 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.

۲-۵ ویژگی‌های مقاومتی

آزمون مقاومت فشاری تک محوری (UCS) بر روی ۵ نمونه خشک مکعبی شکل با ابعاد ۷ سانتی متر انجام شد. نمونه‌ها به صورت عمودی با نرخ بار ثابت $1-5/0$ مگاپاسکال بر ثانیه بارگذاری شدند. این آزمایش طبق استاندارد اروپا EN 1926:2007 انجام شد.

برای اندازه گیری مقاومت کششی غیرمستقیم، ۴ نمونه دیسکی شکل با نسبت طول به قطر $0.5/0$ در حالت سالم تحت آزمایش قرار گرفتند. بار $2/0$ کیلونیوتن بر ثانیه بر روی نمونه توسط دستگاه مقاومت کششی غیرمستقیم اعمال شد. این آزمایش مطابق با استاندارد (ISRM (1981) انجام شد.

آزمون مقاومت خمشی مطابق با EN 12372:1997 با استفاده از روش خمش ۳ نقطه ای انجام شد. برای این آزمون، از نمونه‌های با طول و عرض 6×18 سانتی متر و ضخامت متفاوت ۲ سانتی متر استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲ تصاویر نمونه‌های شکسته شده در آزمون‌های تعیین ویژگی‌های مقاومتی؛ (a) آزمایش مقاومت خمشی، (b) آزمایش مقاومت فشار تک محوری (c) آزمایش کشش غیرمستقیم.

۲-۶ 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.

۲-۷ 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:

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

۲-۸ ضریب انبساط حرارتی

آزمون تعیین ضریب انبساط حرارتی مطابق استاندارد EN ۲۰۰۴:۱۴۵۸۱ بر روی ۳ نمونه خشک با طول و عرض 18×5 سانتی متر و ضخامت ۲ سانتی متر انجام شد. نمونه‌ها در دمای ۲۰- تا ۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته و تغییرات طول نمونه‌ها با دقت یک میکرومتر در بازه دمایی یاد شده اندازه‌گیری شد. انبساط حرارتی خطی (ϵ) نسبت تغییر طول در اثر حرارت و طول نمونه است و واحد آن میلی متر به متر است.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

چون مقدار تغییر شکل تابع دما است بنابراین پارامتری تحت عنوان ضریب انبساط حرارتی تعریف می‌شود که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L \times T}$$

۲-۹ آزمایش مقاومت لغزشی

سرخوردن و لغزش یکی از عوامل و شاخص های مهم حادثه ساز چه در کفیوش های جاده ای و یا پیاده روها می باشد. دستگاه آونگ اصطکاکی برای انواع آزمون های مقاومت سطوح در برابر لغزش و سرخوردگی کاربرد دارد. از ویژگی های مهم این دستگاه امکان آزمایش بر روی انواع کفیوش ها قبل از تولید انبوه و در مقیاس آزمایشگاهی و یا پس از اجرا می باشد. در این آزمایش پس از انجام آزمون عددی بدست می آید که با نام ارزش مقداری تست پاندول (Pendulum Test Value) یا PTV شناخته می شود. در صورتی که ارزش مقداری تست پاندول یک سنگ کف بیشتر از ۶۵ باشد، احتمال لغزش بر روی سنگ مربوطه بسیار پایین می باشد. برای اعداد بین ۶۴-۳۵ سنگ از مقاومت لغزشی مناسبی برخوردار است و برای ۳۴-۲۴ احتمال لغزش متوسط است و برای مقادیر پایینتر از ۲۴ سنگ از دید مقاومت لغزشی به عنوان سنگ کف، خطرناک در نظر گرفته می شود.

۲-۱۰ آزمایش مقاومت سایشی

برای اندازه گیری مقاومت سایشی از دستگاه سرشار استفاده شد. 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 می‌گیرد 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 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.

۲-۱۱ آزمون تبلور نمک

تخریب ناشی از تبلور نمک با استفاده از استاندارد (RILEM (1999 تا ۳۰ 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 ۵ چرخه، نمونه‌ها شسته شدند تا بلورهای نمک در سطح نمونه از بین بروند.

۲-۱۲ آزمون انجماد-آب شدن

آزمایش انجماد-آب شدن طبق استاندارد EN 12371(2010)، تا ۳۰ 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.

۲-۱۳ آزمایش دوام در برابر اسید

دوام نمونه‌ها در برابر اسید با استفاده از محلول اسید سولفوریک با اسیدیته 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 ۳۰ سیکل انجام شد.

۲-۱۴ 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 ۳۰ بار تکرار شد.

۲-۱۵ آزمایش تر-خشک شدن

در این آزمایش ابتدا نمونه‌ها ۱۲ ساعت درون آب شرب در دمای آزمایشگاه غوطه ور شد سپس درون یک گرمخانه با دمای ۷۰ درجه قرار داده شد. این چرخه ۳۰ بار تکرار شد. تصاویر سطحی نمونه‌ها پس از مرحله ۳۰ در شکل ۵ نشان داده شده است.

۲-۱۶ آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی

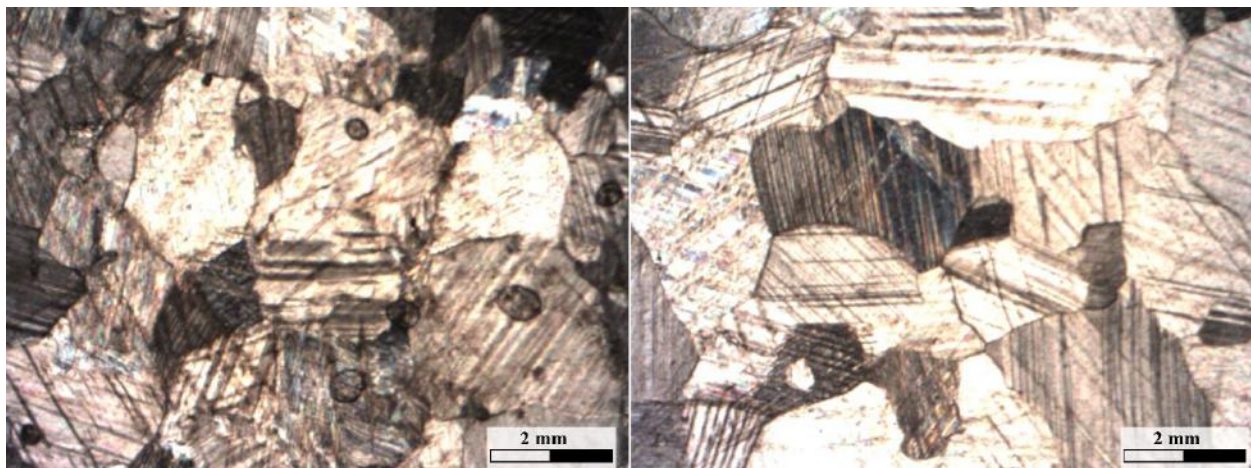
به منظور ارزیابی عملکرد سنگ در برابر فرایندهای ترکیبی (تبلور نمک، شوک حرارتی، دوام در برابر اسید و انجماد-آب شدن) این آزمایش انجام شد. ابتدا نمونه‌ها تحت ۲ چرخه تبلور نمک قرار گرفتند (شبیه سازی فصل بهار) سپس نمونه‌ها ۲ چرخه شوک حرارتی (شبیه سازی فصل تابستان) را تجربه کردند و در ادامه نمونه‌ها تا ۲ چرخه درون محلول اسیدی (شبیه سازی فصل پاییز) قرار داده شدند و نهایتاً ۲ چرخه انجماد-آب شدن انجام گرفت. این آزمایش تا ۳۰ چرخه انجام شد.

۳ نتایج

۳-۱ سنگ شناسی

نتایج مطالعات سنگ شناسی نشان داد که چینی سایمان یک سنگ دگرگونی است. بدین معنی که در اثر عوامل درونی، نظیر درجه حرارت و فشار، دوباره متبلور شده اند. در واقع سنگ چینی از خانواده سنگهای مرمریت می باشند که در نقاط مختلف از نظر میزان دگرگونی و بعضی ترکیبات شیمیایی متفاوت هستند. سنگ چینی اغلب دارای بلورهای درشت است. این سنگ بصورت کلی دارای زمینه شفاف بوده اما رگه های مشکی و طوسی به خوبی در آن دیده می شود.

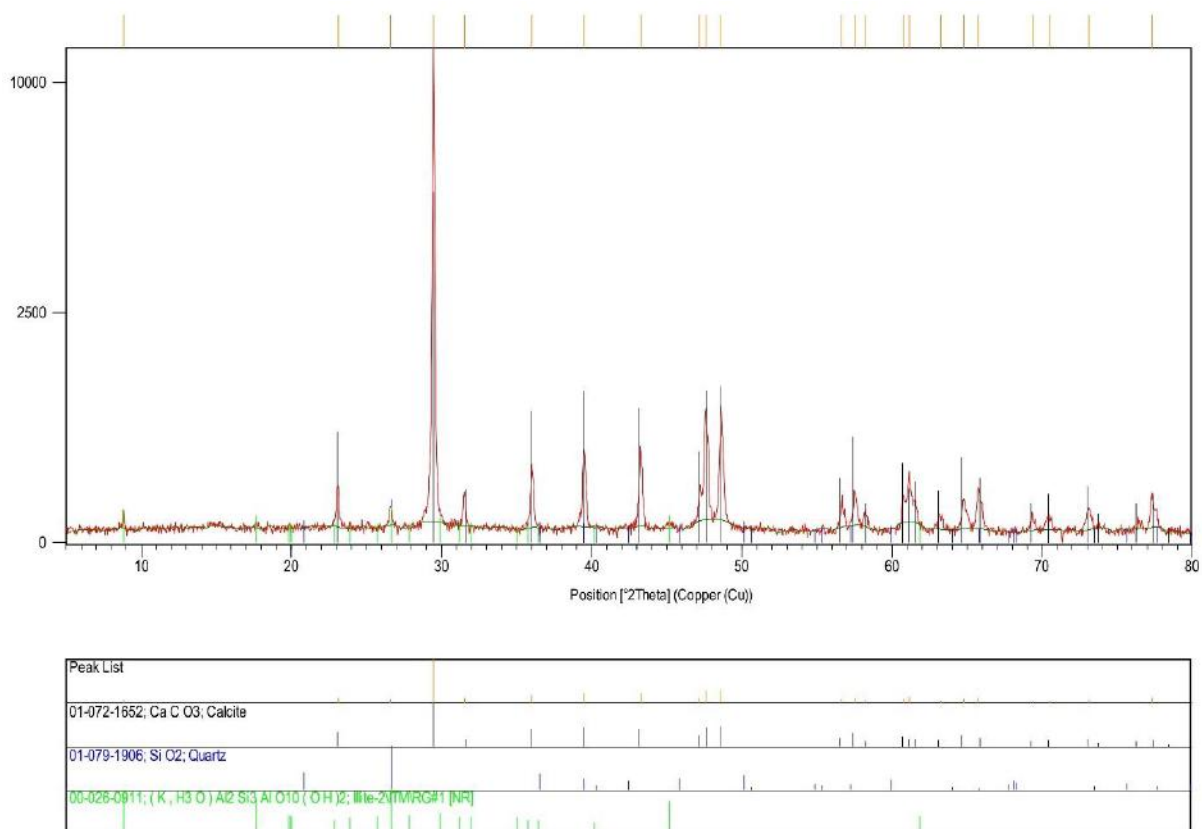
از لحاظ کانی شناسی بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی نشان داده است که سنگ عمدتاً از کلسیت تشکیل شده است و در برخی نقاط نیز حاوی میزان بسیار اندکی کوارتز می باشد. تصاویر مقاطع میکروسکوپی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ تصویر میکروسکوپی از سنگ چینی سایمان که نشان میدهد عمده کانی تشکیل دهنده سنگ کلسیت است.

۳-۲ نتایج آزمونهای شیمیایی

نتایج حاصل از آزمایش XRD در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ پیکهای متعلق به کانی کلسیت بیشترین و شدیدترین پیک های مشاهده شده می باشند که نشان می دهد این کانی فراوانترین کانی موجود در سنگ است. کوارتز (Quartz) با فرمول شیمیایی (SiO₂) دیگر کانی سازنده این سنگ است که در مقایسه با کانی کلسیت داری تعداد و شدت پیکهای بسیار کمتر است. از اینرو نتایج ارائه شده در آزمایش XRD تایید کننده مطالعات مقطع نازک میکروسکوپی می باشند.



شکل ۴ نتایج آنالیز XRD سنگ چینی سایمان.

نتایج آزمایش XRF نشان می‌دهد که چینی سایمان، مقدار افت در اثر احتراق (L.O.I) خیلی بالایی دارد که به علت مواد فرار و تشکیل CO_2 می‌باشد (جدول ۱). مقادیر بالای CaO به دلیل وجود کانی کربناته کلسیت است. یکی از عناصر دیگر مود در این سنگ SiO_2 می‌باشد که مقدار ناچیز آن تایید کننده حضور میزان کم کوارتز موجود در این اسنگ است.

جدول ۱ آنالیز XRF نمونه سنگ چینی سایمان.

L.O.I (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	K_2O (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	Cl (%)	P_2O_5 (%)	SO_3 (%)	Sr (%)
41.7	0.496	0.091	0.014	56.87	0.037	0.101	0.613	0.012	0.007	0.04	0.21

۳-۳ ویژگیهای فیزیکی

نتایج بررسی ویژگیهای فیزیکی سنگ چینی سایمان نشان داد (جدول ۲) میانگین دانسیته یا چگالی خشک ۲/۷۹ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. بر مبنای چگالی، در رده سنگهای با چگالی بالا (بزرگتر از ۲/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب) قرار دارد. بر اساس مقدار تخلخل و جذب آب، چینی سامیان در دسته سنگهای با تخلخل پایین و جذب آب پایین قرار دارد.

جدول ۲ ویژگیهای فیزیکی سنگ چینی سایمان

نمونه	چگالی خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)	چگالی اشباع (گرم بر سانتی متر مکعب)	تخلخل (درصد)	جذب آب در فشار خلاء (درصد)
۱	۲/۷۴	۲/۷۴	۰/۲۶	۰/۰۹
۲	۲/۷۴	۲/۷۴	۰/۲۴	۰/۰۹
۳	۲/۷۳	۲/۷۳	۰/۲۶	۰/۰۹
۴	۲/۸۷	۲/۸۷	۰/۳۰	۰/۱۰
۵	۲/۸۷	۲/۸۶	۰/۶۲	۰/۲۲
۶	۲/۸۰	۲/۸۰	۰/۲۶	۰/۰۹
میانگین	۲/۷۹	۲/۷۹	۰/۳۲	۰/۱۱

۳-۴ جذب آب موئینه

جذب آب موئینه برای سنگهایی که به عنوان سنگ نما بخصوص نمای بیرونی استفاده می شوند از اهمیت خاصی برخوردار است. بررسی جذب آب موئینه در بازه های مختلف در طول ۹۶ ساعت نشان داد که مقدار میانگین جذب آب پس از گذشت ۹۶ ساعت برابر ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمربع می باشد. سنگ چینی سایمان از لحاظ جذب آب موئینه در رده سنگ های با جذب آب موئینه پایین (کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر مترمربع) قرار می گیرد.

جدول ۳ جذب آب موئینه سنگ چینی سایمان

زمان (دقیقه)	نمونه ها					میانگین (کیلوگرم بر متر مربع)
	۱	۲	۳	۴	۵	
0	۰	۰	۰	۰	۰	۰
3 min	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳
10 min	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۵
30 min	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۸
60 min	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۱
120 min	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۳
180 min	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۵
16 h	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۵
24 h	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۷
48 h	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۹
72 h	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۰
96 h	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۳۲

۳-۵ ویژگیهای مقاومتی

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری نشان داد (جدول ۴) که میانگین مقاومت فشاری سنگ ۷۲/۶۳ مگاپاسکال می‌باشد. این نمونه سنگ از لحاظ مقاومت فشاری در رده سنگ‌هایی با مقاومت متوسط (۱۰۰-۵۰ مگاپاسکال) قرار می‌گیرد. میانگین مقاومت کششی در حدود ۵/۶۴ مگاپاسکال و از لحاظ مقاومت کششی بر اساس تقسیم بندی Bell در رده سنگ‌هایی با مقاومت خیلی بالا (۳-۱۰ مگاپاسکال) قرار می‌گیرد. از لحاظ مقاومت خمشی سنگ دارای مقاومت خمشی ۶/۹۲ مگاپاسکال می‌باشد.

جدول ۴ ویژگی های مکانیکی سنگ چینی سایمان.

نمونه	مقاومت فشاری تک محوری (مگاپاسکال)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	مقاومت خمشی (مگاپاسکال)
۱	۸۵/۴۹	۴/۲۸	۷/۵۷
۲	۶۶/۷۲	۵/۳۹	۶/۳۵
۳	۷۱/۸۹	۵/۷۴	۷/۲۴
۴	۶۶/۴۲	۷/۱۸	۶/۵۱
میانگین	۷۲/۶۳	۵/۶۴	۶/۹۲

۳-۶ آزمایش مقاومت لغزشی

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت لغزشی در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج در حالت خشک سنگ در دسته بندی نمونه‌های با ریسک پایین لغزندگی (۳۵-۶۴) قرار می‌گیرند اما در حالت مرطوب سنگ‌ها در دسته نمونه‌های با ریسک لغزش بالا (۰-۲۴) قرار می‌گیرند. بنابراین توصیه می‌شود در مکانهایی که سنگ احتمال مرطوب شدن دارد از سنگ به عنوان سنگ کف استفاده نشود.

جدول ۵ مقادیر ارزش پاندول برای تست مقاومت سرخوردگی برای سنگ سایمان

نمونه	قرائت پاندول در حالت سطح خشک	قرائت نمونه در حالت سطح مرطوب
۱	۵۵	۲۵
۲	۵۰	۲۰
۳	۴۸	۱۸
۴	۴۵	۲۲
۵	۴۵	۲۲
۶	۴۶	۲۱
میانگین	۴۸	۲۱

۳-۷ انبساط حرارتی

نتایج آزمایش انبساط حرارتی سنگ چینی سایمان نشان داد ضریب انبساط حرارتی خطی نمونه $11.51 \times 10^{-6} C^{-1}$ می‌باشد. این سنگ در رده سنگهایی با ضریب انبساط حرارتی بالا قرار می‌گیرد. دلیل این امر حساسیت بالای کلسیت در برابر دما و تخلخل (مقدار حفرات) پایین این سنگ می‌باشد. در بین کانیهای سنگ ساز سنگهای ساختمانی کلسیت بیشترین تغییرات در برابر افزایش دما را دارد. انبساط بلورهای کلسیت باعث افزایش حجم این بلورها شده و چون سنگ فضای خالی (حفره) پایینی دارد و بلورها به هم متصل هستند در نتیجه افزایش حجم بلورها باعث افزایش حجم نمونه می‌شود. بنابراین در محلهایی که احتمال تغییرات بالای درجه حرارت وجود دارد استفاده از این سنگ توصیه نمی‌شود و در صورت استفاده باید فاصله درزها متناسب با طول سنگ استفاده شده رعایت شود.

جدول ۶ انبساط خطی و ضریب انبساط حرارتی سنگ چینی سایمان

شماره	طول (سانتی متر)	تغییرات (دما درجه سانتی گراد)	ضریب انبساط حرارتی (α) $10^{-6} C^{-1}$
۱	۱۸	-۲۰-۸۰	۱۱/۳۸
۲	۱۸	-۲۰-۸۰	۱۰/۶۲
۳	۱۸	-۲۰-۸۰	۱۲/۵۳
میانگین			۱۱/۵۱

۳-۸ مقاومت سایشی

نتایج آزمایش مقاومت سایشی نشان داد که شاخص سرشار سنگ از ۱/۶۲ تا ۲/۰۲ با مقدار میانگین ۱/۸۴ تغییر می کند. بر طبق نتایج آزمون سرشار و مقایسه با طبقه بندی ارائه شده (جدول ۷)، سنگ در رده سنگهایی با شاخص مقاومت سایشی متوسط قرار دارد. بنابراین برای محلهای پرتردد مانند مراکز خرید، دانشگاهها و فرودگاه یا بانکها استفاده از این سنگ به عنوان سنگ کف توصیه نمی شود.

جدول ۷ طبقه بندی بر مبنای شاخص سرشار

شاخص سایش سرشار	طبقه بندی
کمتر از ۰/۳	خیلی پایین
۰/۳-۰/۵	پایین
۰/۵-۱	متوسط به پایین
۱-۲	متوسط
۲-۴	بالا
۴-۶	خیلی بالا

۳-۹ آزمایش تبلور نمک

تغییرات در وزن نمونهها و سرعت موج اولیه بعد از ۳۰ چرخه تبلور نمک برای سنگ در جدول ۸ نشان داده شده است. همانطوری که ملاحظه می شود وزن نمونه تا چرخه ۳۰ حدود ۰/۱۶ درصد کاهش یافته است. زمانی که نمک وارد منافذ سنگ می شود برا اثر تر و خشک شدن متوالی باعث تغییرات حجم بلورهای نمک شده و در نتیجه افزایش حجم بلور نمک باعث ایجاد فشار به جدار منافذ می شود که منجر به جدا شدن بلورهای سنگ می شود.

سرعت موج نمونه‌ها تا چرخه ۳۰ حدود ۴۲ درصد کاهش می‌باید افت سرعت موج به این دلیل است که نمک در چرخه های تر-خشک شدن در محلول نمک، فشاری را درون منافذ ایجاد می‌کند که به فشار تبلور معروف است. زمانی که این فشار درون منافذ سنگ از مقاومت کششی سنگ تجاوز می‌کند سنگ شروع به تخریب می‌کند. بررسی تغییرات وزن نمونه و سرعت موج نشان دهنده این است که در طول ۳۰ چرخه سنگ از استحکام متوسطی برای مقاومت در برابر فشار تبلور نمک برخوردار است.

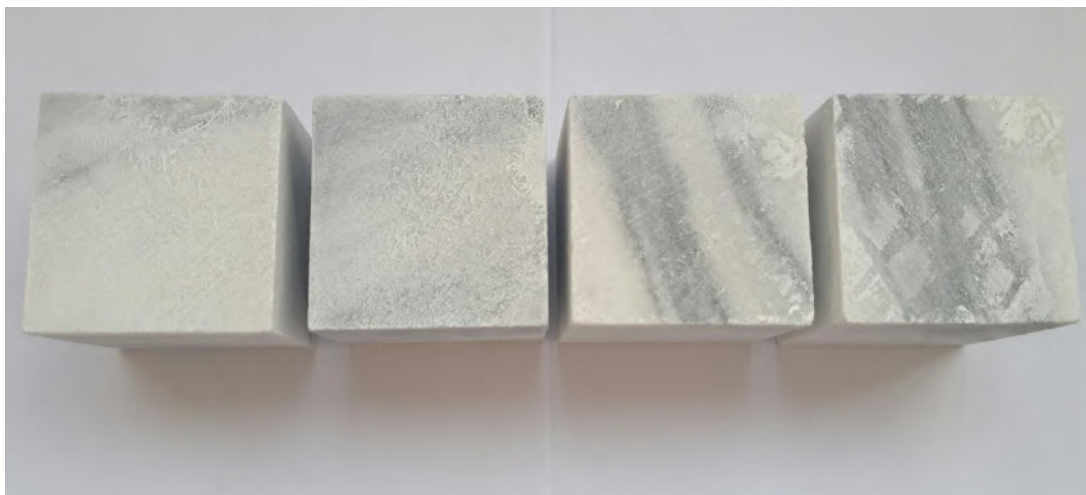
جدول ۸ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های تبلور نمک

چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات سرعت موج
۰	۰/۰۰	۵۲۳۰	۰/۰۰
۳۰	-۰/۱۶	۳۰۵۱	-۴۱/۶۶

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۳۰ چرخه بررسی شد. مقدار تغییرات رنگ (ΔE) برابر ۲/۶۲ واحد بعد از ۳۰ چرخه، کمتر 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). تغییرات رنگ به دلیل شوره زدگی سنگ و کاهش مقدار درخشندگی (L) است (شکل ۵).

جدول ۹ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های تبلور نمک

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۸۲/۱۳	-۱/۰۰	۱/۵۱	۰/۰۰
۳۰	۷۹/۵۱	-۰/۸۸	۱/۵۶	۲/۶۲



شکل ۵ ظاهر نمونه پس از ۳۰ چرخه آزمایش تبلور نمک

۱۰-۳ آزمایش انجماد-آب شدن

آزمایش انجماد-آب شدن تا ۳۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی (وزن و سرعت موج) بررسی شد (جدول ۱۰). بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۳۰ مقدار افت وزنی حدود ۰/۲۱ درصد است و سنگ در رده سنگهایی با دوام متوسط قرار دارد. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۳۰ چرخه مقدار کاهش سرعت موج (یکپارچگی) حدود ۴۴/۳۹ درصد می باشد. از لحاظ پارامترهای مهندسی (افت وزنی و سرعت موج)، سنگ دارای دوام متوسطی در برابر یخبندان دارد.

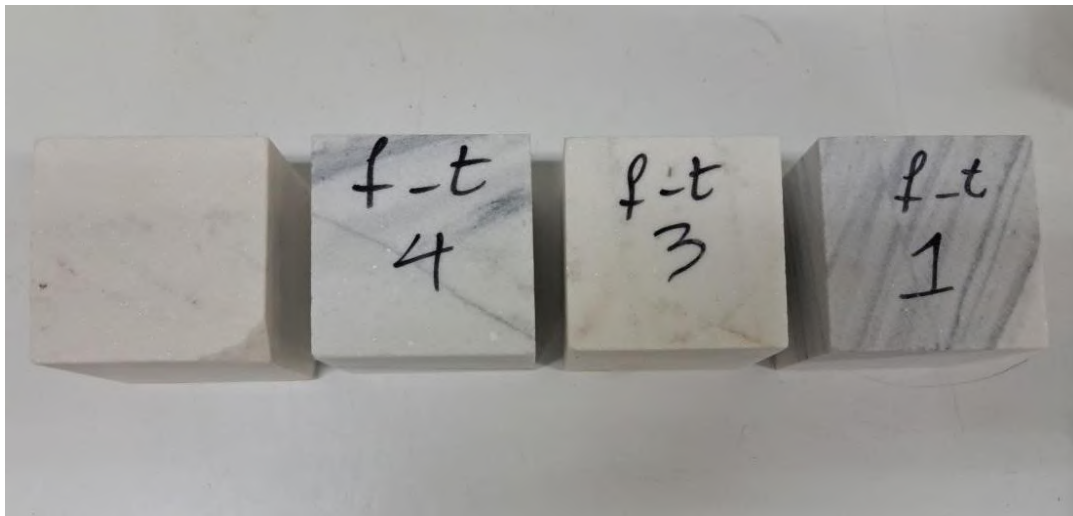
جدول ۱۰ تغییرات وزن نمونه در طول چرخه های انجماد-آب شدن

چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات سرعت موج
۰	۰/۰۰	۵۱۶۸	۰/۰۰
۳۰	-۰/۲۱	۲۸۷۴	-۴۴/۳۹

تغییرات در رنگ نمونه بعد از هر ۵ چرخه بررسی شد (جدول ۱۱). همانطوری که مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ حدود ۰/۷۰ واحد بعد از گذشت ۳۰ 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). بر اساس نتایج رنگ شناختی سنگ با گذشت زمان در برابر انجماد دچار تغییر رنگ نخواهد شد.

جدول ۱۱ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های انجماد-آب شدن

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۸۱/۶۵	-۱/۰۵	۱/۴۲	۰/۰۰
۳۰	۸۱/۰۱	-۰/۹۵	۱/۶۹	۰/۷۰



شکل ۶ ظاهر نمونه بعد از ۳۰ چرخه آزمایش انجماد-آب شدن

۱۱-۳ آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن

آزمایش دوام در برابر تر-خشک شدن تا ۳۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۲ مشاهده می شود بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۳۰، وزن در نمونه تغییری نمی کند و سنگ در دسته سنگ های با دوام بالا قرار می گیرد. بررسی سرعت موج نشان می دهد که پس از گذشت ۳۰ چرخه این پارامتر در حدود ۰/۷ 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 تر-خشک شدن است.

جدول ۱۲ 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 سرعت موج
۰	۰/۰۰	۵۳۶۴	۰/۰۰
۳۰	۰/۰۰	۵۳۲۵	-۰/۷۲

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۳۰ چرخه تر و خشک شدن بررسی شد (جدول ۱۳). همانطوری که مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ (ΔE) برابر ۰/۳۸ واحد بعد از گذشت ۳۰ 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). این سنگ در برابر تر و خشک شدن مقاوم بوده و تغییری در رنگ آن رخ نمی دهد (شکل ۷).

جدول ۱۳ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های تر-خشک شدن

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۸۰/۲۸	-۰/۹۹	۱/۵۱	۰/۰۰
۳۰	۸۰/۰۲	-۰/۸۱	۱/۷۲	۰/۳۸



شکل ۷ ظاهر نمونه بعد از ۳۰ چرخه آزمایش تر-خشک شدن

۱۲-۳ آزمایش دوام در برابر چرخه های اسید سولفوریک

آزمایش دوام در برابر اسید برای شبیه سازی تاثیر بارانهای اسیدی بر روی سنگ تا ۳۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی بررسی شد.

همانطوری که مشاهده می شود (جدول ۱۴) بررسی افت وزنی تا چرخه ۳۰ نشان می دهد که کاهش وزن رخ داده برابر با ۰/۸۹ درصد وزن خشک اولیه سنگ بوده و سنگ در دسته سنگهای ضعیف در برابر اسید قرار دارد که به دلیل واکنش اسید با کلسیت می باشد. بررسی سرعت موج نشان می دهد که پس از گذشت ۳۰ چرخه این پارامتر در حدود ۶/۴۵ درصد کاهش نسبت به مقدار اولیه خود دارد. از لحاظ پارامترهای مهندسی (افت وزنی و سرعت موج)، سنگ دارای دوام ضعیفی در برابر اسید دارد

جدول ۱۴ 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 سرعت موج
۰	۰/۰۰۰	۵۲۱۸	۰/۰۰
۳۰	-۰/۸۹	۴۸۸۱	-۶/۴۵

همانطوری که مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ ($\Delta E = 2/48$) بعد از گذشت 30 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) (جدول ۱۵) (شکل ۸).

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

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۸۱/۰۸	-۰/۹۶	۱/۴۵	۰/۰۰
۳۰	۸۰/۰۲	۰/۱۰	۳/۴۳	۲/۴۸



شکل ۸ ظاهر نمونه بعد از ۳۰ چرخه آزمایش تر-خشک شدن در اسید

۳-۱۳ آزمایش دوام در برابر شوک حرارتی

آزمایش دوام در برابر شوک حرارتی بر روی سنگ تا ۳۰ چرخه انجام شد و تغییرات در رنگ و ویژگیهای فیزیکی بررسی شد.

همانطوری که در جدول ۱۶ مشاهده می شود. بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۳۰ مقدار افت وزنی حدود ۱/۵۹ درصد است و سنگ در رده سنگهایی با دوام پایین قرار دارد. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۳۰ چرخه مقدار سرعت موج حدود ۶۰/۲۶ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش می یابد. از لحاظ پارامترهای مهندسی (افت وزنی و سرعت موج)، سنگ دارای دوام پایینی در برابر شوک حرارتی است.

جدول ۱۶ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های شوک حرارتی

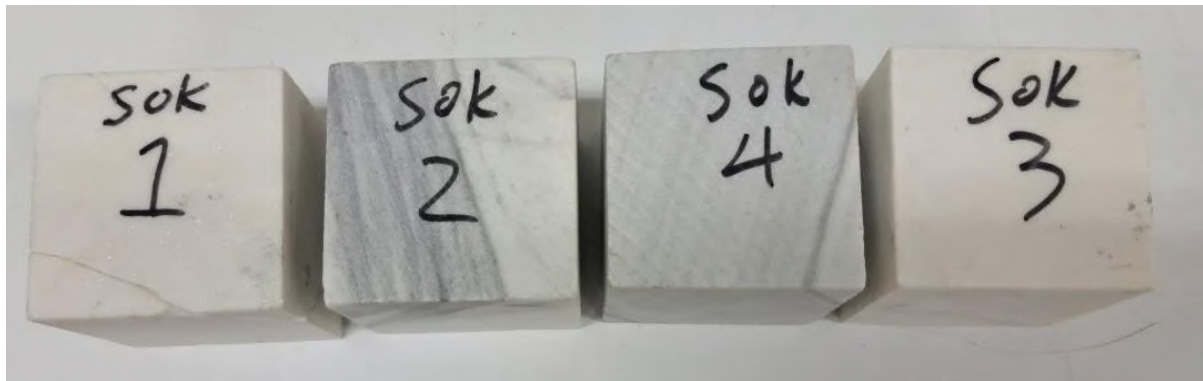
چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات سرعت موج
۰	۰/۰۰	۵۵۷۴	۰/۰۰

۳۰	۱/۵۹	۲۲۱۵	-۶۰/۲۶
----	------	------	--------

همانطوری که در جدول ۱۷ مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ (ΔE) بعد از گذشت ۳۰ چرخه حدود ۱/۶۵ واحد است که 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 (شکل ۹)).

جدول ۱۷ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های شوک حرارتی

چرخه	L	a	b	ΔE
صفر	۸۰/۶۹	-۰/۸۶	۱/۳۲	۰/۰۰
۳۰	۸۰/۴۲	۰/۷۵	۱/۵۳	۱/۶۵



شکل ۹ ظاهر نمونه بعد از ۳۰ چرخه آزمایش شوک حرارتی

۱۴-۳ آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی

آزمایش دوام در برابر فرایندهای ترکیبی بر روی سنگ تا ۳۰ چرخه انجام شد. بررسی افت وزنی نشان داد که تا چرخه ۳۰ مقدار افت وزنی حدود ۰/۴۹ درصد است و سنگ در رده سنگهایی با دوام متوسط قرار دارد. بررسی سرعت موج نشان داد که در ۳۰ چرخه مقدار سرعت موج حدود ۴۱/۷۲ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش می یابد.

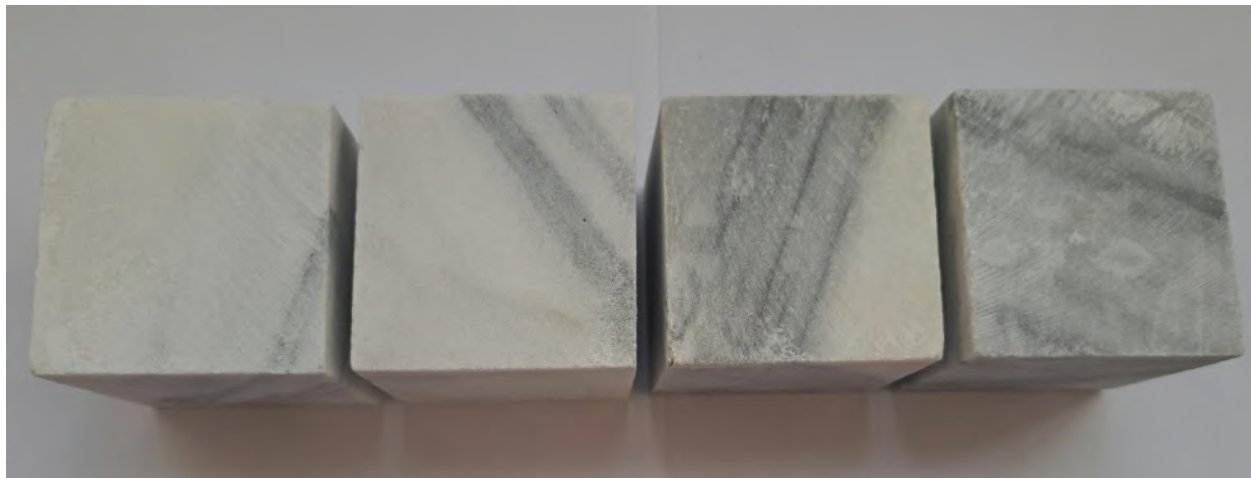
جدول ۱۸ تغییرات وزن نمونه و سرعت موج اولیه در طول چرخه های فرایندهای ترکیبی

چرخه	درصد تغییرات وزن نمونه	سرعت موج (متر بر ثانیه)	درصد تغییرات سرعت موج
۰	۰/۰۰۰	۵۱۸۹	۰/۰۰
۳۰	-۰/۴۹	۳۰۲۴	-۴۱/۷۲

تغییرات در رنگ نمونه بعد از ۳۰ چرخه بررسی شد. همانطوری که در جدول ۱۶ مشاهده می شود مقدار تغییر رنگ ($\Delta E = 1/87$) بعد از گذشت ۳۰ چرخه کمتر 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) (شکل ۱۰).

جدول ۱۹ تغییرات در پارامترهای رنگ شناسی با افزایش تعداد چرخه های فرایندهای ترکیبی

چرخه	L	a	b	ΔE
۰	۸۱/۲۴	-۰/۸۷	۱/۳۸	۰/۰۰
۳۰	۸۰/۰۵	-۰/۶۲	۱/۹۸	۱/۳۶



شکل ۱۰ ظاهر نمونه بعد از ۳۰ چرخه آزمایش فرایند ترکیبی.

۴ نتیجه گیری و پیشنهادات

جدول ۲۱ و ۲۲ کیفیت سنگ چینی سایمان را از نظر ویژگیهای مختلف فیزیکی و مکانیکی و دوام در محیطهای مختلف نشان می دهند.

جدول ۲۰ کیفیت سنگ چینی سایمان از دید ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی

پارامتر	توصیف	کیفیت
عناصر نامطلوب	ندارد	خیلی خوب
انبساط حرارتی	بالا	ضعیف
تخلخل	پایین	خیلی خوب



جذب آب	پایین	خیلی خوب
جذب آب موئینه	پایین	خیلی خوب
مقاومت خمشی	متوسط	متوسط
مقاومت فشاری تک محوری	متوسط	متوسط
مقاومت کششی	متوسط	متوسط
مقاومت لغزشی با سطح پالیش در حالت خشک	بالا	خوب
مقاومت لغزشی با سطح پالیش در حالت مرطوب	پایین	خطرناک
مقاومت سایشی	متوسط	متوسط

جدول ۲۱ کیفیت سنگ چینی سایمان از دید دوام سنگ

پارامتر	تغییر در ویژگیهای مهندسی (مقاومت و استحکام ساختار سنگ)	تغییر در ظاهر سنگ
دوام در برابر تبلور نمک	خوب	تغییر رنگ ناشی از شوره زدگی
دوام در برابر انجماد-ذوب شدن	متوسط	فاقد تغییر رنگ ملموس
دوام در محیط اسیدی	حساس	فاقد تغییر رنگ ملموس
دوام در برابر شوک حرارتی	حساس	فاقد تغییر رنگ ملموس
دوام در برابر تر-خشک شدن	خیلی خوب	فاقد تغییر رنگ ملموس
دوام در برابر فرایندهای ترکیبی	خوب	فاقد تغییر رنگ ملموس

در جدول ۲۲ کاربریهای بهینه این سنگ را بر مبنای نتایج آزمایشگاهی ارایه شده است.

جدول ۲۲ موارد پیشنهادی جهت کاربرد سنگ چینی سایمان

موارد استفاده	توصیه ها
نمای خارجی	در محیطهای شهری با اتمسفر آلوده (بارانهای اسیدی) توصیه نمی شود به دلیل جذب آب پایین مشکلی از بابت صعود موئینه آب وجود ندارد. در مناطق ساحلی (احتمال حمله نمک) نتایج نشان داد سنگ از مقاومت مناسبی برخوردار است. در محیطهای سردسیر و با احتمال یخبندان در صورتی که در معرض رطوبت مدام قرار نگیرد از کیفیت مناسبی برخوردار است برای استفاده در مناطق گرم و خشک توصیه می شود ولی باید توجه داشت که سنگ دارای ضریب انبساط حرارتی بالا بوده و موقع نصب با توجه به ابعاد (طول و عرض)، فاصله درزها رعایت شود.

در آب و هوای مرطوب مانند شمال کشور و سواحل خلیج فارس توصیه می شود.	
مقاومت خمشی و مقاومت فشاری قابل قبولی دارد ولی با توجه به مقاومت سایشی متوسط برای مکانهای پرتردد توصیه نمی شود همچنین در جاهایی که میزان بارش زیاد است احتمال سر خوردگی در حالت پرداخت سطحی پالیش بالاست.	سنگ کف و پله در محیط خارجی
توصیه می شود	دکوراسیون داخلی
توصیه می شود ولی در مکانهای پرتردد احتمال سایش سنگ بالاست.	سنگ کف و پله در محیط خارجی
توصیه می شود	پوشش دیوارهای داخل ساختمان
توصیه نمی شود چون در طولانی مدت به دلیل شستشوی سنگ و احتمال بارش اسیدی ممکن دچار زوال شود	سنگ مزار
توصیه می شود به شرطی که PH آب در محدوده شرایط اسیدی یا آب دارای املاح نمکی نباشد.	آب نما