دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی
Bi-annual Journal of Restoration Science and Cultural Heritage
http://www.aui.ac.ir/index.php/fa/rsch

راهنمای استاندارد برای انتخاب و استفاده از استحکام بخش‌های سنگ[1]

دبلیو. اس. جینل؛ دی، ویسل و سی سرلِس

برگردان: مهدی رازانی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان

چکیده

استحکام بخشی یکی از مهم‌ترین مراحل حفاظت و مرمت مصالح معماری به‌خصوص سنگ‌ها و آثار سنگی است و استفاده از استانداردهای بین‌المللی می‌تواند به قابل اعتماد و ارزیابی شدن نتایج بیانجامد. در همین راستا برگردان منابع اصلی همچون راهنمای استاندارد برای انتخاب و استفاده از استحکام بخش‌های سنگ که از طریق سیستم بین‌المللی انجمن مواد و آزمون امریکا ASTM به شماره E2167 – 01 در سال ۲۰۰۸ باز بینی شده است؛ می‌تواند به گسترش مطالعات علمی این حوزه در نوشته‌های فارسی کمک کند. لازم به ذکر است مؤسسه استاندارد ملی ایران نیز برخی آزمون‌های استاندارد[2] را برای مصالح ساختمانی از حدود دو دهه قبل تا به امروز فراهم آورده که با مراجعه به تارنمای این سازمان[3] قابل دستیابی هستند.

واژگان کلیدی: استحکام بخشی، سنگ، استاندارد ASTM، انتخاب استحکام بخش‌ها.

۱- هدف

۱-۱- راهنمای حاضر در برگیرنده دستورالعمل انتخاب و استفاده از استحکام بخش‌ها جهت نگهداری از سنگ است.

۱-۲- در هنگام استفاده از استحکام بخش‌ها می‌باید ویژگی‌های هنری، تاریخی، معماری و فرهنگی به‌علاوه راهنمایی متخصصین با تجربه در حفاظت از سنگ مد نظر قرار گیرد.

۱-۳- راهنمای حاضر برای جایگزینی استانداردهای دیگر و توصیه‌هایی که توسط افراد متخصص این حوزه ارائه می‌شود؛ پیشنهاد نشده است و جنبه‌های مختلف آن ممکن است در مواقع و شرایط مختلف قابل اجرا نباشند. از این رو نباید سند مورد نظر را بدون در نظر گرفتن بسیاری از جنبه‌های منحصربه‌فرد پروژه استفاده نمود.

۱-۴- توضیحات مختصر آزمون‌ها تنها با هدف آگاهی فراهم شده‌اند از این رو جهت تکمیل بحث به منابع استاندارد مراجعه شود.

۱-۵- مقادیر استاندارد با واحدهای اینچ و پوند ارائه شده‌اند و مقادیر استاندارد نشده درون پرانتز و تنها برای اطلاع هستند.

۱-۶- این استاندارد ادعایی برای پاسخ‌گویی به تمام نگرانی‌های ایمنی، در صورت وجود و در ارتباط با استفاده از آن ندارد. مسئولیت آن با کاربران خواهد بود و کاربر نیازمند مشورت مناسب، به‌کارگیری شیوه‌های ایمنی مقتضی، تعیین قابلیت کاربردی و مشخص کردن محدودیت‌های روش‌ها پیش از استفاده‌ی از مواد است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲- اسناد ارجاعی

۲-۱- سیستم بین‌المللی و طبقه بندی شده انجمن مواد و آزمون آمریکا[۴] هستند.

۲-۲- اسناد دیگر[۵].

۳- واژه شناسی فنی

۳-۱- تعاریف لغات اختصاصاً برای این استاندارد است:

۳-۱-۱- استحکام بخش به ماده‌ای اطلاق می‌شود که برای تجدید پیوند میان ذراتی که ممکن است به‌سبب فرسایش یا فرآیندهای تخریبی دیگر از دست رفته باشد، به‌کار می‌رود. هدف درمان با استحکام بخش، کاهش میزان تخریب در سنگ است.

۳-۱-۲- متخصص- معمار، حفاظتگر- مرمتگر، مهندسین و یا دیگر افراد حرفه‌ای و با تجربه در انتخاب و استفاده از استحکام بخش‌های سنگ هستند که در ادامه با لفظ متخصص به آن‌ها اشاره می‌شود.

۴- اهمیت و استفاده

۴-۱- اطلاعات این راهنما می‌تواند به متخصصین در انتخاب و استفاده از استحکام بخش کمک کند.

۴-۲- استفاده از استحکام بخش باید تنها پس از در نظر گرفتن تمامی عوامل مؤثر در فرآیند تخریب سنگ‌ها صورت پذیرد. بهترین روش، بررسی همه جانبه شرایط محیطی موجود و شناسایی اقدام مورد نیاز با تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی بر سنگ و فرآورده‌های تخریبی آن است. با تعیین اطلاعات مکانیسم تخریب، توسعه طرح حفاظتی سنگ امکان‌پذیر می‌گردد. هرچند ممکن است این بررسی‌های مقدماتی نشان دهند که استحکام بخشی درمانی نامناسب است.

۴-۳- فرآیند تخریب - مبحث فرآیند تخریب فراتر از اهداف این استاندارد است. هر چند آگاهی از فرآیند تخریب برای ارزیابی و انتخاب روش درمانی مناسب سنگ به انضمام استحکام بخشی شیمیایی حیاتی است (برای مطالعه در این زمینه به منابع مراجعه گردد).

۴-۴- استحکام بخشی بایست یکی از بخش‌های طرح حفاظتی جامع محسوب گردد و استحکام بخشی سنگ بدون برطرف نمودن مشکلات اساسی موجود در فرآیند تخریب (همانند رطوبت صعودی یا زهکشی نامناسب) می‌تواند دلیلی برای موفق نشدن درمان استحکام بخشی یا خود عامل آسیب و تسریع میزان تخریب در سنگ شود. شرایط سنگ باید قبل و بعد از درمان به صورت کامل مستندنگاری گردد.

۴-۵- تجربیات گذشته نشان داده‌اند که برخی استحکام بخش‌ها ممکن است باعث گسترش تخریب و یا به‌وجود آوردن مشکلات پیش بینی نشده گردند. در برخی موارد، ممکن است در کل، استفاده از استحکام بخش در سنگ مناسب نباشد. استحکام بخشی باید تنها بعد از تلاش‌های ناموفق برای زدودن یا تغییر منشأ زوال به‌کار برده شود.

۴-۶- می‌باید این حقیقت را در نظر داشت که فرآیند استحکام بخشی سنگ‌های متخلخل یک اقدام برگشت ناپذیر است و استحکام بخش‌هایی باید انتخاب شوند که در آینده درمان مجدد سنگ را امکان پذیر گردانند. برای مثال درمان سنگ‌های متخلخل، با مواد آبگریز ممکن است اجازه درمان مجدد با استحکام بخش‌های پایه آبی را در آینده مقدور نسازند.

۴-۷- استحکام بخشی که باعث جلوگیری یا به تأخیر انداختن حرکت بخار آب از میان سنگ شود نمی‌بایست مورد استفاده قرار گیرد.

۵- روش شناسی

۵-۱- بخش‌های مختلف این سند به نحوی ساماندهی شده که در برگیرنده هر مرحله از فرآیند انتخاب استحکام بخش باشد.

۵-۱-۱- شناسایی استحکام بخش‌های سنگ با اهداف کاربردی.

۵-۱-۲- دقت در شناسایی استحکام بخش منتخب.

۵-۱-۳- آنالیز و مقایسه خواص نمونه‌های درمان شده و درمان نشده.

۵-۱-۴- تهیه و ارزیابی پانل‌های آزمایشی در محل.

۵-۱-۵- ارزیابی نهایی عملکرد و کارایی استحکام بخش.

۶- اهداف عملکردی برای استحکام بخش‌های سنگ

۶-۱- نیاز است قبل از انتخاب استحکام بخش خواص فیزیکی (ملاک‌های عملکرد) در شرایط محیطی که در نهایت سنگ در آن قرار می‌گیرد، مشخص شود. در ادامه فهرستی از مشخصاتی که برای این شرایط متنوع قرارگیری در محیط مهم هستند؛ آمده است. هرچند برای یک کاربرد خاص تمامی مشخصات مد نظر نیستند، اما در آینده برای متخصص حفاظت سنگ جهت انتخاب آن خواص کاربردی ضروری است و در نظر گرفتن آن‌ها برای کاربردهای ویژه الزامی است.

۶-۱-۱- عمق نفوذ: استحکام بخش باید حداقل در لایه‌های هوازده و فرسوده‌ی سنگ و تا بخش سالم درون سنگ نفوذ کند. تجربه نشان داده است میزان عمق نفوذ بیشتر، احتمالاً موفقیت درمانی بیشتری را در پی خواهد داشت. ایجاد پیوند میان لایه‌های آسیب‌دیده و استحکام بخشی شده در سطح و در درون سنگ، باعث کاهش لایه‌ای شدن یا کنده شدن پوسته در بخش درمان شده خواهد شد.

۶-۱-۲- قابلیت استحکام بخشی: درمان باید خواص مکانیکی سنگ، مانند مقاومت فشاری و خمشی، مقاومت سایشی و مقاومت در مقابل فرسایش را افزایش دهد.

۶-۱-۳- نفوذ پذیری بخار آب_ عملیات درمان نباید میزان انتقال بخار آبِ سنگ را به‌صورت قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار دهد.

۶-۱-۴- مقاومت در برابر نیروهای انبساط داخلی_ درمان بایست مقاومت در مقابل تخریب‌های ناشی از تبلور نمک‌ها یا تأثیرات چرخه‌ی یخ زدن و ذوب شدن در سنگ را افزایش دهد.

۶-۱-۵- مشخصات انبساط حرارتی_ ضریب انبساط حرارتی سنگ درمان شده نباید تفاوت زیادی نسبت به سنگ درمان نشده داشته باشد.

۶-۱-۶- ظاهر_ حالت مطلوب در استحکام بخش‌های سنگ ایجاد کمترین تغییرات در ظاهر سنگ است، خصوصاً تغییر در بافت، فام رنگی، ارزش رنگی، براقیت، روشنایی یا تغییر در انعکاس.

۶-۱-۷- نمی‌باید قابلیت جذب ذرات پراکنده در هوا شامل دوده و گرد و غبار در سنگ درمان شده نسبت به سنگ درمان نشده افزایش یابد.

۶-۱-۸- دوام_ سنگ استحکام بخشی شده باید خواص بهبود یافته‌اش را برای طولانی مدت حفظ نماید.

۶-۱-۹- مقاومت در برابر آب _ عملیات درمانی باید مقاومت سنگ در مقابل انحلال و فرسودگی ناشی از آب را بهبود دهد. سنگ زوال یافته‌ای که درمان می‌شود بایست مقاومت فرسایشی‌اش نسبت به سنگ درمان نشده افزایش یابد.

۶-۱-۱۰- فرسایش زیستی_ استحکام بخش نباید بستری برای تغذیه و پشتیبانی برای رشد و نمو گونه‌های فرسایشگر باکتریایی و گیاهان ریز[۶] فراهم کند.

۷- ملاحظاتی در رابطه با انتخاب استحکام بخش

۷-۱- هدف از درمان استحکام بخشی

۷-۱-۱- هدف اصلی درمان استحکام بخشی باید معین باشد، نوعاً، هدف درمان استحکام بخشی تجدید پیوندها میان ذراتی است که تضعیف شده، دچار ریزترک شده یا توسط دیگر مکانیسم‌های مخرب و هوازدگی از دست رفته‌اند. درمان باید طول عمر و بقای سنگ را بدون ایجاد پیامدهای مضر افزایش دهد.

۷-۲- دستورالعمل‌های تاریخی حفاظت

۷-۲-۱- درمان باید با قابلیت اجرا در بناها، اصول ایمنی مرسوم و دستورالعمل‌های تاریخی حفاظت مطابقت داشته باشد و همچنین باید هم راستا با کنوانسیون‌های بین‌المللی نگهداری (ر. ک به بخش ۲-۲) و اصول بین‌المللی حفاظت باشد.

۷-۲-۲- برای ساختارهایی که ممکن است هنری، فرهنگی و معماری یا با ارزش تاریخی باشند در ابتدا بایست ملاحظات مربوط به گزارش ثبت و ضبط ساختار تاریخی صورت گیرد و در نهایت درمان استحکام بخشی انجام شود.

۷-۳- مشخصات سنگ_ مشخصات سنگ شامل مواردی چون: گونه سنگ، ترکیب شیمیایی، ترکیب کانی شناختی، ساخت و بافت، ساختار تخلخل، توزیع منافذ و شرایط آن می‌باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

۷-۴- اقدامات انجام شده تاریخی_ اقدامات انجام شده گذشته در زمینه استحکام بخش(ها) و گونه ویژه آن‌ها در سنگ، باید مورد توجه قرار گیرد. اثر بخشی درمان ممکن است به‌شدت وابسته به روش به‌کارگیری و شرایط موجود در طول درمان باشد.

۷-۵- روش به‌کارگیری استحکام بخش_ در انتخاب استحکام بخش، امکان به‌کارگیری آن در سنگ یا ساختار ویژه بایست سنجیده شود؛ به‌علاوه مهارت کاربر و میزان ناحیه مورد استحکام بخشی باید مد نظر قرار گرفته شود. روش‌های کاربردی عبارتند از: استفاده از قلم مو، استفاده از بخار یا افشانه کردن، غوطه‌ورسازی در ماده استحکام بخش، اشباع سازی بر اساس خاصیت بالارونده موئینگی و نفوذ دادن توسط فشار است.

۷-۶- ملاحظات زیست محیطی_ کوشش‌ها به‌منظور مهیا نمودن شرایطی مناسب جهت استفاده از استحکام بخش و حلال، همچنین به‌منظور ممانعت از آزاد شدن آلاینده‌های پر خطر بایست صورت پذیرد. شرایط اختلاط ترکیبات آلی فرار[۷] و استحکام بخش باید توسط کارخانه تولید کننده بر اساس شیوه D3960 تعیین شوند. به‌کارگیری استحکام بخش باید با قواعد زیست محیطی قابل اجرا مطابقت داشته باشد. این امر مسئولیتی برای کاربر است تا از تغییرهای کاربردی استانداردها آگاه شود.

۸- تجزیه و تحلیل سنگ درمان نشده

۸-۱- نمونه‌های سنگ فرسوده‌ی درمان نشده باید برای تعیین نوع تخریب و دلایل آن، همچنین ضرورت درمان استحکام بخشی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

۸-۱-۱- استحکام بخش نمی‌باید از حرکت بخار و رطوبت از داخل به‌بیرون مصالح ممانعت کند یا تأثیر قابل توجهی در به تأخیر انداختن آن داشته باشند زیرا این امر می‌تواند باعث تخریب بیشتر سنگ گردد.

۸-۲- انتخاب آزمون‌های (کاربردی) و تفسیر نتایج آن‌ها باید توسط حفاظتگران متخصص سنگ انجام گردد. آزمون‌های کاربردی باید روی نمونه‌های مطالعاتی تخریب شده و نمونه‌های سالم سنگ مورد آزمایش قرار گیرند. آزمون‌های ASTM ممکن است توسط متخصصین حفاظت سنگ به‌منظور مناسب سازی آن‌ها برای مواد تاریخی تغییر کنند.

۸-۲-۱- آزمون سنگ شناسی_ آزمون‌های سنگ شناسی و آزمایش‌های پراش پرتو ایکس می‌توانند ترکیب کانی شناسی، ریخت شناسی و دیگر موارد قابل توجه سنگ‌های تاریخی را تعیین کنند. آزمون‌های فوق باید با مشاورت و هدایت متخصصین حوزه حفاظت سنگ تفسیر شوند. برای راهنمایی بیشتر مراجعه شود به راهنمای C295 که برای استفاده در سنگ اصلاح شده است.

۸-۲-۲- جذب آب _ از دیگر آزمون‌های تعیین کننده برای جذب آب و چگالی نسبی جسم در کلیه نمونه‌های سنگ‌های طبیعی بناها (به غیر از اسلیت[۸]) آزمون استاندارد C97[۹] است. آزمون مذکور روش ساده‌ای به‌منظور اندازه‌گیری وزن[۱۰] نمونه سنگ غوطه‌ور شده در آب، برای یک دوره بیست و چهار ساعته است. این روش به‌صورت گسترده در تعیین میزان جذب آب، قبل و بعد از استحکام بخشی سنگ با توجه به

اینکه تابعی از زمان است بعد از عملیات پیرسازی تسریعی پذیرفته شده است. درمان سنگ با استحکام بخش آبگریز باعث کاهش نسبتاً زیاد جذب آب می‌شود و افزایش جذب آب پس از استفاده از این روش می‌تواند تابعی از پیرسازی قلمداد شود. صحت این روش هنوز به‌درستی تعیین نشده است.

۸-۲-۳- آزمون جذب موئینگی لوله کارستن[۱۱] _ بخش ۲-۲ ملاحظه شود. لوله کارستن شبیه به پیپ است که بخش برآمده آن تخت است و به صورت عمود بر بخش بدنه که لوله‌ای مدرج است متصل شده است. کارستن با بتونه[۱۲] چسبناک (شبیه خمیر بازی) به‌صورت عمودی روی مصالح نصب می‌شود و پس از نصب، آب به داخل لوله ریخته می‌شود تا اندازه آن در بخش مدرج، روی عدد صفر ثابت شود. میزان آب جذب شده در درون سطح مصالح تابعی از زمان است.

۸-۲-۴- آنالیزهای نمک محلول[۱۳]

آنالیزهایی برای تعیین وجود و شناسایی نمک‌های محلول همانند سولفات‌ها، کلریدها و نیترات‌ها در سنگ انجام می‌گیرد، عموماً برای شناسایی آنیون‌ها و کاتیون‌ها نمک‌های شکفته شده از سنگ‌های خرد شده یا حل شده در آب توسط استانداردهای متفاوت میکروشیمیایی[۱۴] یا روش‌های تجزیه و تحلیل دستگاهی (جذب اتمی، یون کروماتوگرافی و غیره)، استفاده می‌کنند. تعیین ترکیبات اصلی موجود می‌تواند توسط پراش پرتو ایکس، ضریب شکست و میکروسکوپ نوری پلاریزان و غیره صورت پذیرد. یقیناً وجود نمک‌ها در سنگ می‌توانند مانعی برای استحکام بخش‌ها ایجاد کنند. اگر نمک‌ها شناسایی شوند و سنگ هنوز به اندازه کافی مقاومت داشته باشد، برای مقاوم ساختن آن‌ها در مقابل درمان مکانیکی، سطوح نمکی شکفته شده با بُرس زدوده می‌شوند. برطرف نمودن نمک‌هایی که در عمق بیشتر نفوذ کرده‌اند توسط درمان‌های مبتنی بر ضمادگذاری یا برای سنگ‌های کم تخلخل، توسط شستن با آب و دیگر روش‌ها صورت می‌گیرد. اگر سنگ ضعیف باشد و تاب مقاومت درمان‌های مکانیکی را نداشته باشد، بایست پیش استحکام بخشی با استحکام بخش مناسب انجام شود و در ادامه با یکی از روش‌های آبی نمک‌ها زدوده شود. در تمامی موارد منابع نمک‌ها بایست شناسایی گردند و اقدامات پیشگیرانه برای زدودن و جلوگیری از احتمال تجمع دوباره آن‌ها بعد از استحکام بخشی در آینده انجام شود.

۹- تجزیه - تحلیل و مقایسه نمونه سنگ‌های درمان شده و درمان نشده

۹-۱- هنگامی که ضرورت استحکام بخشی مسجل شد؛ عملکرد نسبی استحکام بخش‌ها در هر دو نمونه سنگ درمان شده و درمان نشده می‌باید با استفاده از روش‌های آزمون یکسان سنگ‌ها ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل شوند، همچنین بایست اطمینان حاصل کرد روش به‌کار برده شده برای درمان نمونه قابل اجرا در دفعات متعدد است.

۹-۲- آزمایش‌های زیر ممکن است به عنوان بخشی از تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گیرند. آزمون مناسب بایست توسط متخصص حفاظت سنگ انتخاب شود. با توجه به تعداد و اندازه نمونه‌های در دسترس ممکن است، آزمون‌ها توسط متخصص تغییر کنند. نتایج آزمون باید در نمونه‌های درمان شده و درمان نشده مقایسه و گزارش شوند.

۹-۲-۱- عمق نفوذ- عمق نفوذ استحکام بخش در سنگ باید به‌صورت یکنواخت و به اندازه کافی عمیق، به‌منظور اثر گذاری بر لایه‌ها و رسیدن به بخشی از سنگ که تخریب نشده صورت گیرد، زیرا تثبیت ناتمام و ناقص لایه‌های سطحی، تمایل به تورق را افزایش می‌دهند (برای مطالعه روش‌های ارزیابی عمق نفوذ مراجعه شود به Kumar , 1997).

۹-۲-۲- اعمال استحکام بخش- تا زمانی که نمونه درمان شده جرم ثابتی به دست آورد، اعمال آن مجاز است. به نحوی که به‌کارگیری استحکام بخش به‌عنوان درصدی از جرم کل نمونه در نظر گرفته می‌شود. اعمال بیش از حد استحکام بخش تخلخل و انتقال بخار آب در سنگ را کاهش می‌دهد. برای رسیدن به اهداف عملکردی باید حداقل استحکام بخشی مورد نیاز به‌صورت آزمایشگاهی مشخص شده و در پیش بینی میزان پوشش، مورد استفاده قرار گیرد.

۹-۲-۳- خواص مقاومتی- نتایج تعداد زیادی از آزمایش‌های جداگانه ممکن است برآوردی از بهبود خواص مکانیکی سنگ استحکام بخشی شده را به‌دست دهند. این موارد عبارتند از: اندازه‌گیری مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، ضریب گسیختگی و مقاومت سایشی که هر روش می‌تواند اطلاعاتی از خواص عملکردی مورد نیاز برای سنگ استحکام بخشی شده را در اختیار قرار دهد.

۹-۲-۳-۱- مقاومت فشاری- لازم است اندازه‌گیری مقاومت فشاری برای سنگ تثبیت شده‌ای که نقشی در تحمل بار ایفا می‌کند؛ انجام شود. روش آزمون C170 [۱۵]، نمونه برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین مقاومت فشاری سنگ طبیعی ساختمان را پوشش می‌دهد. در مواد و مصالح ناهمسانگرد مانند سنگ مرمر، مقاومت‌های فشاری در سه جهت عمود متفاوت هستند، که این امر نشان دهنده‌ی وجود سطوح لایه‌ای، دانه، و جهت گیری اصلی دانه‌ها[۱۶] در آن است. دقت این روش ثابت نشده است.

۹-۲-۳-۲- مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته – توانایی بازگشت تغییر شکلِ الاستیک در سنگ استحکام بخشی شده با آزمون مقاومت خمشی سنگ اندازه‌گیری می‌شود. روش آزمون C880 روشی ارجح است (زیرا با استفاده از بارگذاری چهار نقطه‌ای در طول میله‌ها، که توزیع تنش خمشی آن در محدوده بزرگ در مرکز نمونه است؛ عمل می‌کند) سایر روش‌ها، مانند روش آزمون C99[۱۷]، در بارگذاری در راستای مرکز نمونه استفاده می‌شوند، که معرف شکست در محل اعمال بار (و نه نقطه ضعیف‌تر) در سنگ است. مدول الاستیسیته خمشی توسط روش آزمون C1352 تعیین شده است.

تبصره ۱- هنگامی که آزمایش با استفاده از روش‌های آزمون C880 یاC1352[18] انجام می‌شوند، بارگذاری هر پنج نمونه در جهت موازی و عمود بر سطوح لایه‌بندی سنگ باید انجام شود. اگر نمونه کافی در دسترس است اندازه نمونه‌ها باید به‌صورت استاندارد باشد و اگر نیست، هر ضخامتی از سنگ می‌تواند استفاده شود، و طول نمونه باید ۱۰ برابر ضخامت آن باشد. اگر از نمونه‌های کوچک استفاده می‌شود، استحکام بخش باید از طریق نمونه آزمایشگاهی نه‌تنها در منطقه سطحی بلکه کاملاً در آن نفوذ کند. نمونه‌های درمان شده و درمان نشده را می‌توان برای مقایسه آزمایش نمود اما این مقایسه نمی‌تواند نشان‌دهنده شرایط استحکام بخشی از طریق نفوذ در تمام ضخامت سنگ باشد.

۹-۲-۳-۳- مقاومت سایشی- استحکام بخش‌ها عموماً برای به‌حداقل رساندن فرسودگی و سایش سطوح تخریب شده سنگ اعمال می‌شوند. روش آزمون C1353[19] ارزیابی مقاومت سایشی ابعاد سنگ را توصیف می‌کند. این روش همچنین می‌تواند برای بررسی افزایش نسبی مقاومت سایشی در موارد استحکام بخشی مورد استفاده قرار گیرد. روش آزمون C418 تعیین خواص مقاومت سایشی بتن را با قرار گرفتن در معرض پاشیدن ذرات ماسه‌ای[20] را پوشش می‌دهد. این روش برای بتن و ملات طراحی شده بود، اما می‌تواند برای سنگ نیز مناسب باشد. مشابه، این روش که البته در ASTM وجود ندارد در نوشته‌ها برای استفاده در گچ تثبیت شده شامل ساینده‌های بادی[21] توسط حفاظتگران استفاده و شرح داده شده است (Phillips, 1982).

۹-۲-۴- جذب آب – برای روش‌های آزمایش، قسمت ۲-۲-۸ را ببینید.

۹-۲-۵- انتقال بخار آب- میزان انتقال بخار آب در نمونه‌های درمان شده، نباید با استحکام بخشی به‌صورت قابل توجهی کاهش یابد. تأثیر کاهش انتقال بخار آب بر مجموعه بناها باید در نظر گرفته شود.

۹-۲-۵-۱- روش‌های آزمون E96/E96M تعیین میزان انتقال بخار آب از میان مواد و مصالح مختلف، از جمله سنگ را پوشش می‌دهند. روش‌های آزمونی برای نمونه‌هایی که بیشتر ۱/۴ اینچ (۳۲ میلی‌متر) ضخامت ندارند؛ محدودیت‌هایی دارند، مگر اینکه بر اساس روش‌های آزمون E96/E96M تهیه گردند. دو روش آزمون‌های پایه در E96/E96M تشریح شده است. روش خشک کردن و روش آب‌دهی که می‌توانند برای اندازه‌گیری نفوذپذیری در دو شرایط متفاوت که یک طرف خیس و طرف دیگر با میزان کمی رطوبت باشد؛ به‌کار برود. در روش خشک کردن، نمونه‌ها در یک طرف آب بند که دهانه آن باز است در خشک کن که دارای دما و رطوبت کنترل شده هوا است، قرار می‌گیرد. تعیین وزن متناوبِ میزان حرکت بخار آب در نمونه که سمتِ خشک شدن می‌رود را نشان می‌دهد.

در روش آبی، ظرف حاوی آب مقطر است و تعیین وزن و میزان حرکت بخار در نمونه از طریق آب در هوای کنترل شده صورت می‌گیرد. اختلاف فشار بخار جز در تغییرات زیاد رطوبت در طرف مقابل نمونه آزمون در هر دو روش یکسان است. این آزمایش‌ها باید در سنگ‌های درمان نشده و تنها بر نمونه‌های سنگی که به‌طور

یکنواخت استحکام بخشی نشده‌اند، اجرا شوند. انتظار نمی‌رود نتایج قابل قبولی از روش‌های مختلف حاصل شود. از این رو روش انتخابی باید نزدیک‌ترین حالت به شرایط محیطی واقعی سنگ باشد.

۹-۲-۶- مقاومت در مقابل آسیب تبلور نمک- با غوطه‌وری متناوب سنگ در نمکِ سولفات سدیم و خشک کردن آن در آون، مقاومت نمونه‌های درمان شده و درمان نشده نسبت به از هم پاشیدگی از طریق شکفتگی نمک می‌تواند ارزیابی شود (روش آزمون C88 را ملاحظه نمایید). مقاومت سنگ در نتیجه اندازه‌گیری میزان کم شدن حجم نمونه آسیب دیده از طریق تبلور نمک محاسبه خواهد شد. این آزمون برای نمونه‌های درمان شده با استحکام بخش‌های آبگریز انجام نمی‌شود.

۹-۲-۷- تغییر ظاهر- بایست نمونه سنگ‌های درمان شده با سنگ‌های درمان نشده به‌منظور اندازه‌گیری میزان تغییرات ظاهری یا جلای سطحی یا هر دو، مقایسه شوند. این مقایسه را می‌توان به‌صورت بصری با مقیاس‌های رنگی مونسل[۲۲] یا با استفاده از وسایلی که در کمیته‌ی بین‌المللی تذهیب[۲۳] با مختصات آزمایشگاهی می‌سنجند؛ انجام داد. درمان با استحکام بخش غالباً باعث تغییر ظاهریِ قابل ملاحظه‌ای در سطح می‌گردد. علی‌رغم این، استاندارد پذیرفته شده‌ای برای اندازه‌گیری این امر در سطوح سنگی توسعه نیافته است. تغییراتی که معمولاً پس از درمان با استحکام بخش یا بخار حلال صورت می‌گیرند عموماً به طرف تیره‌تر نمودن سطح تمایل دارند و اگر بیش از اندازه بر سطح اتفاق افتد، باعث بالا بردن حالت انعکاس آینه‌ای (صیقلی شدن) خواهد شد. استحکام بخش قابل قبول باید مثل آب، بی رنگ بوده و به خودی خود دارای دوام رنگی باشد و موجب تغییر فام رنگی در سنگ نگردد. این امکان پذیر است، هرچند آلودگی‌های سطحی سنگ‌ها نیز می‌توانند؛ در استحکام بخش حل شوند و در تغییر رنگ سطحی شرکت داشته باشند. تغییر در سیمای سطحی سنگ ممکن است در طول زمان یا در نتیجه قدمت رخ داده باشد. در برخی موارد از این امر به‌عنوان زردشدگی ظاهری (به علت اکسیدشدگی و تخریب استحکام بخش در سطح) ذکر شده است. در موارد دیگر، (در اثر اکسیدشدگی استحکام بخش با گسترش رنگی ترکیبات آلی رنگ ساز مواجه هستیم). از آنجا که سطوح سنگ به‌صورت ذاتی غیر یکنواخت هستند؛ اسپکتروفوتومتر یا رنگ سنج[۲۴] (ابزار استفاده شده برای اندازه‌گیری تغییرات رنگی سیما) باید قادر به‌مشاهده بخشی از سطح سنگ که ارائه دهنده میانگینی آماری از ویژگی‌های سطوحِ بزرگ‌تر است باشند. برای به‌دست آوردن نشانه‌ای از یکنواختی، اندازه گیری خوانش بایست در چندین نقطه مختلف بر سطح سنگ صورت گیرد. ابزار امروزی می‌توانند هر دو اشعه انعکاس آینه وارِ بیرونی و درونی را از بستر حذف نموده و آن‌ها را اندازه‌گیری نمایند که در آن عامل گسترش جلای سطحی برای سطح در نظر گرفته شود.

۹-۲-۷-۱- آزمون توصیه شده در استاندارد D2244 محاسبات مربوط به تفاوت‌های جزئی مختصات رنگی ابزار اندازه‌گیری را پوشش می‌دهد. این ابزار برای دست یابی به اطلاعاتِ سطوح غیر یکنواخت و کدر طراحی شده است. زیرا سطوح سنگی طبیعی به ندرت قبل و بعد از استحکام بخشی به‌صورت یکنواخت رنگین

می‌شوند. بسیاری از ابزارهای مدرن اندازه گیری رنگ، کامپیوتری هستند و توانایی اجرای محاسبات دقیق و ارائه تفاوت‌های رنگی و تغییرات روشنایی و تیرگی بر روی نمونه را دارند.

۹-۲-۷-۲- راهنمای E179 برای انتخاب مقیاس اندازه‌گیری و تجهیزات دقیق، توصیف و ارزیابی ویژگی‌های ظاهری از جمله براقیت، کدورت، روشنایی، شفافیت، و تیرگی بر حسب انعکاس یا انتقال نور، در نظر گرفته شده است. راهنمای مذکور تغییراتِ طیف برگشتی را در نظر نمی‌گیرد اما متغیرهای هندسی توصیف شده در اینجا می‌توانند تأثیر تجهیزات اندازه‌گیری را در ارزش رنگی مد نظر قرار دهند. راهنمای فوق در این حوزه به نسبت مواد و ابزار خاص کلی است.

۹-۲-۷-۳- واژه نامه E284 اصطلاحات را که در توصیف و تشریح ظاهر و سیمای مواد استفاده شده را معین کرده است.

۹-۲-۸- آزمون‌های هوازدگی تسریعی: آزمون‌های هوازدگی تسریعی بر روی نمونه‌های درمان شده و درمان نشده برای تعیین ثبات نسبی، دما، رطوبت و نور بر سنگ استحکام بخشی شده انجام می‌شوند.

۹-۲-۸-۱- آزمون توصیه شده در استاندارد E632 مراحلی که بایست به دنبال آزمون‌های تسریعی جهت پیش بینی عملکرد مصالح ساختمانی در زمان استفاده توجه شود، را پوشش می‌دهد. نتایج آزمون‌ها ممکن است برای مقایسه دوام نسبی مصالح درمان شده یا درمان نشده یا برای پیش بینی میزان عمر مواد در طی زمان استفاده به کار برده شوند. این تمرین پوشش دهنده رهیافتی یکنواخت برای پیش بینی کارکرد ماده، شامل شناسایی اطلاعات ملزوم، توسعه آزمایش‌ها، تفسیر داده‌ها و گزارش نمودن نتایج است. آزمون‌های پیش بینی عمر ماده و میزان کارکرد آن می‌توانند به دو گونه مجزا تقسیم‌بندی شوند. آزمون‌های تسریعی کوتاه مدت و آزمون‌های پیرسازی تسریعی و کوتاه مدت که از ترکیب آزمون‌های غیر تسریعی با آزمون‌هایی که قادر به اندازه‌گیری تغییرات دقیقه‌ای خواص هستند به‌وجود آمده است. این تمرین اختصاصاً برای توسعه آزمون‌های پیرسازی تسریعی جهت تهیه آزمون‌هایی که عمر کارکردی را پیش بینی می‌نمایند، پیشنهاد شده است.

۹-۲-۸-۲- انواع مختلفی از آزمون‌های پیرسازی تسریعی می‌توانند انجام گیرند اما تنها برخی موارد برای شبیه‌سازی قرارگیری سنگ در شرایط محیطی آینده آن استفاده می‌شوند و عبارتند از:

- مواجهه با اشعه ماورا بنفش در شرایط کنترل شده دمایی و رطوبت نسبی.
- دوره‌های خیس و خشکِ دمایی.
- دوره‌های یخ زدن و ذوب شدن.
- دوره‌های متبلور شدن نمک.
- خوردگی با اسید یا دوره‌های بخار نمکی

۹-۲-۸-۳- برای اطلاعات بیشتر در مورد شیوه انجام آزمون‌های تسریعی روش‌های پیشنهادی در E632, G26, G53 و همچنین فیلر (Feller, 1994) را مشاهده نمایید.

۹-۲-۹- درمان نمونه‌های سنگی با استحکام بخش‌ها غالباً کاهش تخلخل و تغییر در توزیع اندازه منافذ می‌شود. در مورد اول، کاهش قابل توجه تخلخل می‌تواند سبب به دام افتادن آب و پس از آن افزایش تدریجی تنش‌های داخلی، ناشی از یخ زدن و ذوب شدن گردد. تغییر توزیع اندازه منافذ نیز ممکن است در اثر پرکنندگی انتخابی در منافذ با ابعاد مختلف ایجاد شود. تأثیر این تغییرات در دوام و فرسودگی سنگ به نسبت گونه‌های مختلف تغییر می‌کند. ویژگی‌های منافذ داخلی و شرایط محیطی تنش‌زا و همبستگی بین آن‌ها همیشه آسان نیست. ترکیبی از روش تخلخل‌سنجی با نفوذ دادن جیوه به همراه دیگر روش‌ها همانند مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی، اندازه‌گیری سطح موثر (ویژه)، مشخصات جذب آب و اطلاعات شدت صوت، می‌توانند اطلاعاتی در مورد تأثیر مقاومت در مقابل هوازدگی را بر اساس تغییرات ساختار منافذ بدست دهد (ببینید Rossi- Doria, 1985).

۱۰- محدوده آزمون در محل

۱۰-۱- هدف آزمون

هدف آزمون در محل، ارزیابی عملکرد استحکام بخش انتخابی یا استحکام بخش‌ها در ساختار سنگ نماینده منطقه، قبل از به‌کار بردن آن در کل منطقه‌ی نیازمند درمان است. در هنگام انتخاب یک منطقه برای آزمون در محل، از کوچک‌ترین منطقه‌ای که نتایج آن بتواند نماینده‌ای از کل حجم اثر باشد، استفاده می‌شود. در همین راستا منطقه‌ای ناپیدا و نامشخص را باید انتخاب نمود. منطقه درمان شده باید حداقل یک سال قبل از ارزیابی عملکرد استحکام بخش در معرض آب و هوا قرار گیرد. بر اساس نتایج آزمون‌های قبلی انجام شده در آزمایشگاه یک یا چند استحکام بخش دیگر می‌تواند در آن ناحیه آزمون شوند، متخصص سنگ و همچنین صاحب ساختمان، ساختار، یا مصنوع باید آگاه باشند که بسیاری از درمان‌ها غیر قابل برگشت بوده و اقدامات انجام شده در مناطق آزمون نمی‌توانند؛ حذف شود.

۱۰-۲- انتخاب محل محدوده آزمون- محل قرارگیری ناحیه آزمون باید نماینده‌ای از تنوع شرایط زیست محیطی که سنگ تحت آن قرار می‌گیرد، انتخاب شود. نواحی شبیه بخش درمان شده بایست به‌صورت درمان نشده (با کنترل) رها شوند. شرایطی که در انتخاب ناحیه آزمون قابل ملاحظه هستند عبارتند از: وضعیت موجود در سنگ (رسوب در سطح و تخریب، گونه تخریب، پیشرفت تخریب)، ویژگی‌های معماری که عملکرد سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (برآمدگی‌ها، فرورفتگی‌ها، سقف‌ها)، قرار داشتن در معرض آب و هوای غالب، و اهمیت هنری و تاریخی از ویژگی‌های این آزمایش هستند.

۱۰-۳- آماده‌سازی ناحیه آزمون

۱۰-۳-۱- مستندنگاری- شرایط پیشین سنگ، قبل از درمان بایست به‌صورت مستند با عکس‌ها، شامل عکس‌های بزرگ یا سه بعدی و یادداشت و طراحی یا هر دو ثبت و ضبط شوند. هر دو منطقه کنترل و منطقه آزمون باید مستندنگاری شوند.

۱۰-۳-۲- کاربرد روش‌ها- روش‌های استفاده شده در ناحیه‌های آزمون باید کاملاً شبیه و همانند روش‌هایی باشند، که در کل ساختار مورد استفاده قرار خواهند گرفت در همین راستا مقررات ایالتی و محلی در مورد ایمنی و آلودگی هوا باید رعایت گردند. منطقه آزمون بایست درمان‌های همسانی که در نهایت بر ساختمان اجرا می‌شود دریافت نمایند. برای مثال، اگر تمیز کردن، پر کردن کمبودها و بند کشی مجدد برای ساختار برنامه ریزی شده است، آن‌ها می‌باید در منطقه آزمون نیز انجام شوند.

۱۰-۳-۳- درمان منطقه آزمون- به‌کار بردن استحکام بخش باید از مواد همانند و روشی که برای اقدام بر روی ساختار کلی در نظر گرفته شده است، استفاده شود. برای مثال اگر اسپری نمودن استحکام بخش برنامه ریزی شده، باید روی ناحیه آزمون نیز استحکام بخش اسپری شود. در طول اقدام، میزان استحکام بخش استفاده شده، دما، زمان انجام عمل، و دیگر جزئیات مرتبط باید ثبت شوند. ممکن است نواحی مجاور با منطقه آزمون برای جلوگیری از ریخته شدن استحکام‌بخش و یا اسپری شدن آن پوشانده شوند. همچنین ممکن است ناحیه آزمون وابسته به خصوصیات استحکام بخش انتخابی، در مقابل باران و نور خورشید در حین درمان و بعد از آن محافظت شود.

۱۰-۴- ارزیابی منطقه آزمون

۱۰-۴-۱- مصرف استحکام بخش- بایست میزان استفاده از استحکام بخش در سطح منطقه تعیین شده باشد. نخست: کمیت مورد نیاز برای درمان تخمین شود و دوم کمیت مشابه استحکام بخش که در واقع در طول درمان به کار برده می‌شود کنترل گردد.

۱۰-۴-۲- ارزیابی در محل- ارزیابی باید بلافاصله بعد از استحکام بخشی و یک سال پس از گذراندن چرخه‌ی فصلی انجام گیرد یا زمانی که توسط متخصص پیشنهاد می‌گردد.

۱۰-۴-۲-۱- منطقه درمان شده و منطقه کنترل باید در رابطه با هرگونه اثر سوء ظاهری مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرند.

۱۰-۴-۲-۲- میزان تخریب اتفاق افتاده در ناحیه درمان شده و ناحیه کنترل باید بر اساس شرایطی که تصاویر و طراحی‌ها قبل از درمان اثر ثبت کرده‌اند، مقایسه شوند.

۱۰-۴-۳-تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی_ تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی به‌منظور بررسی کارایی اقدامات، مطابق با نتایج آزمایشگاهی استفاده می‌شود. اگر مجاز باشد نمونه‌های مورد کنترل و نواحی درمان شده

می‌توانند برای ارزیابی آزمایشگاهی برداشته شوند. آزمون‌های ممکن عبارت از: عمق نفوذ، میزان انتقال بخار آب، سنگ‌نگاری و آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی و جذب آب (کلی و موئینگی) هستند.

۱۱- ارزیابی نهایی عملکرد استحکام بخش

۱۱-۱- انتخاب استحکام بخش برای استفاده باید توسط متخصص انجام گیرد. منطقه آزمون باید بررسی شده و به سؤال‌های زیر پاسخ داده شود:

- آیا استحکام بخش به اهداف عملکردی مشخص شده در بخش ۶ رسیده است؟
- در طول آزمون در محل عوارض جانبی در ساختار به‌وجود آمده است؟
- در مناطق آزمون، سنگ درمان شده تخریب کمتری نسبت به سنگ درمان نشده نشان می‌دهد؟
- آیا درمان به‌صورت عملی و اقتصادی امکان پذیر است؟

پی‌نوشت‌ها

۱- ترجمه فوق از منبع زیر انجام شده است.

Ginell, W. S., D. Wessel, And C. Searles. ASTM Standard E2167 - 01(2008) *Standard Guide For Selection And Use Of Stone Consolidants*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, DOI: 10.1520/E2167-01R08 , Www.Astm.Org

۲- واژه نامه، سنگ‌های تزئینی و نما، شماره استاندارد، ۸۲۲۸، سال تدوین: ۱۳۸۴

سنگ‌های تزئینی و نما، تعیین مقاومت خمشی، روش آزمون، شماره استاندارد، ۸۲۲۹، سال تدوین: ۱۳۸۴

مصالح ساختمانی، تعیین مقاومت سایش در اثر رفت و آمد با استفاده از دستگاه سایش تیبر، ش. استاندارد ۸۲۳۰، سال ۱۳۹۰

مصالح ساختمانی، روش‌های تعیین تاب گسیختگی فشاری و خمشی مصالح سنگی، شماره استاندارد ۶۱۷، سال تدوین ۱۳۷۵

مصالح ساختمانی، تعیین ضریب گسیختگی، شماره استاندارد ۵۶۹۷، سال تدوین: ۱۳۸۹

مصالح ساختمانی، بررسی سنگ نگاری سنگ‌های ساختمانی، شماره استاندارد ۱۳۲۳۴، سال تدوین: ۱۳۸۹

سنگ‌های ساختمانی، تعیین مقاومت در برابر پیرشدگی ناشی از شوک حرارتی، روش آزمون،ش.استاندارد ۱۳۲۲۹، سال ۱۳۸۹

سنگ‌های ساختمانی- تعیین مقاومت در برابر تبلور نمک- روش آزمون، شماره استاندارد ۱۳۲۳۰، تاریخ تدوین ۱۳۸۹

سنگ‌های ساختمانی- تعیین انرژی گسیختگی - روش آزمون، شماره استاندارد ۱۳۲۳۱، تاریخ تدوین ۱۳۸۹

سنگ‌های ساختمانی- تعیین مقاومت در برابر پیری با فعال کردن دی اکسید سولفور (SO_2) در حضور رطوبت - روش آزمون، شماره استاندارد ۱۳۲۳۲، تاریخ تدوین ۱۳۸۹

سنگ‌های ساختمانی، تعیین مقاومت فشاری روش آزمون شماره استاندارد ۵۶۹۸، تاریخ تدوین ۱۳۸۹

سنگ‌های ساختمانی، تعیین جذب آب و وزن مخصوص، روش آزمون شماره استاندارد ۵۶۹۹، تاریخ تدوین ۱۳۹۰

سنگ‌های ساختمانی، بازرسی و تعمیر سنگ‌های ساختمانی بیرونی دیوارها و نماهای آجری،ش.استاندارد ۱۳۲۳۵، سال: ۱۳۸۹

سنگ‌های ساختمانی، سنگ لوح، تعیین جذب آب – روش آزمون، شماره استاندارد ۱۴۲۱۲، تاریخ تدوین ۱۳۹۰

سنگ‌های ساختمانی، سنگ لوح، مقاومت در برابر هوازدگی – روش آزمون، شماره استاندارد ۱۴۲۱۵، تاریخ تدوین ۱۳۹۰

سنگ‌های ساختمانی، سنگ لوح، آزمون خمشی سنگ لوح (بار شکست، ضریب گسیختگی، ضریب کشسانی) – روش آزمون، شماره استاندارد ۱۴۲۱۷، تاریخ تدوین ۱۳۹۰

مصنوعات سنگی، تعاریف و طبقه بندی، شماره استاندارد ۱۴۷۰۴، سال تدوین: ۱۳۹۱

مصالح سنگ طبیعی تعیین مقاومت در برابر یخزدگی، روش آزمون، شماره استاندارد ۱۴۹۵۹، تاریخ تدوین: فروردین ۱۳۹۲

تعیین مقاومت سایشی پوشش‌های آلی به وسیله ساینده تابر، روش آزمون، شماره استاندارد ۱۴۹۸۰، سال:۱۳۹۲

سنگ طبیعی- تعیین سرعت انتشار صوت-روش آزمون، شماره استاندارد ۱۶۰۱۵، تاریخ تدوین: فروردین۱۳۹۲
سنگ طبیعی– تعیین ضریب انبساط حرارتی خطی - روش آزمون، شماره استاندارد ۱۶۰۱۶، تاریخ تدوین:فروردین ۱۳۹۲
سنگ‌های ساختمانی، روش تعیین تاب فشاری مصالح سنگی- روش آزمون شماره استاندارد ۶۶۵، تاریخ تدوین ۱۳۷۲
سنگ‌های ساختمانی- تعیین ضریب الاستیسیته خمشی- روش آزمون شماره استاندارد ۱۳۲۳۳، تاریختدوین ۱۳۸۹
سنگ‌های ساختمانی، گرانیت، ویژگی‌ها، شماره استاندارد، ۵۶۹۴، سال تدوین: ۱۳۸۹
سنگ‌های ساختمانی، سنگ آهک، ویژگی‌ها، شماره استاندارد، ۵۶۹۵، سال تدوین: ۱۳۸۹
سنگ‌های ساختمانی - تراورتن- ویژگی‌ها، شماره استاندارد ۱۳۲۴۷، تاریخ تدوین ۱۳۸۹
سنگ‌های ساختمانی، مرمریت، ویژگی‌ها، شماره استاندارد، ۵۶۹۶، سال تدوین: ۱۳۸۹
سنگ‌های ساختمانی- بررسی سنگ نگاری سنگ‌های ساختمانی– راهنما، شماره استاندارد ۱۳۲۳۴، تاریخ تدوین ۱۳۸۹
سنگ‌های ساختمانی- بازرسی و تعمیر سنگ ساختمان دیواره‌های آجری و نماها-راهنما. ش.استاندارد ۱۳۲۳۵، سال۱۳۸۹
علایم ترسیمی برای نقشه‌ها و مقاطع زمین شناسی (علایم سنگ‌های رسوبی)، شماره استاندارد، ۷۱۹، سال تدوین: ۱۳۷۵
علایم ترسیمی برای نقشه‌ها و مقاطع زمین شناسی (علایم سنگ‌های آذرین)، شماره استاندارد، ۹۶۲، سال تدوین: ۱۳۷۵
علایم ترسیمی برای نقشه‌ها و مقاطع زمین شناسی (علایم سنگ‌های دگرگونی)، شماره استاندارد، ۹۶۴، سال تدوین: ۱۳۷۵

۳ - تارنمای سازمان ملی استاندارد ایران (بخش جستجو)

http://www.isiri.org/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=5f6bbf1b-ac23-4362-a3099ee95a439628

4 - C88 Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
C97 Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone
C99 Test Method for Modulus of Rupture of Dimension Stone
C170 Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone
C295 Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete
C418 Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting
C779/C779M Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces/
C880 Test Method for Flexural Strength of Dimension Stone
C1352 Test Method for Flexural Modulus of Elasticity of Dimension Stone
C1353 Test Method for Abrasion Resistance of Dimension/ Stone Subjected to Foot Traffic Using a Rotary Platform, Double-Head Abraser
D2244 Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates
D3960 Practice for Determining Volatile Organic Compound (VOC) Content of Paints and Related Coatings
E96/E96M Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials
E179 Guide for Selection of Geometric Conditions for Measurement of Reflection and Transmission Properties of Materials
E284 Terminology of Appearance
E632 Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials
G26 Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials (Discontinued 2001) (Withdrawn 2000)
G53 Practice for Operating Light-and Water-Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials (Withdrawn 2000).
5- The Secretary of the Interior's Standards for the Treatment of Historic Properties with Guidelines for Preserving, Rehabilitating, Restoring and Reconstructing Historic Buildings4/ UNESCO, 1978 International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (Venice Charter), 1964, 19865/ AIC. 1979 Code of Ethics and Standards of Practice, 1976, revised 19946/RILEM Test No. 11. 4 Water absorption under low pressure (pipe method), RILEM Commission 25-PEM, Tentative Recommendations, 19807
6- Microflora
7-Volatile Organic Compounds (VOC)

۸- اسلیت یا سنگ لوح: سنگ دگرگونی درجه پایین با رخ اسلیتی. سنگی چگال ریز بافت است.

۹- استاندارد ایران: سنگ‌های ساختمانی، تعیین جذب آب و وزن مخصوص، روش آزمون شماره استاندارد ۵۶۹۹، تاریخ تدوین ۱۳۹۰ بر اساس این آزمون تدوین شده است.

10- Gravimetric

11- Karsten Tube Capillary Absorption Test
12- Putty
13- Soluble Salt Analysis
14- Microchemical
۱۵ - استاندارد ایران: روش آزمون تعیین مقاومت فشاری ش. استاندارد ۵۶۹۸، تاریخ تدوین ۱۳۸۹ بر اساس این آزمون تدوین شده است.
16-head grain
۱۷ - استاندارد ایران مصالح ساختمانی، تعیین ضریب گسیختگی، ش.استاندارد ۵۶۹۷- سال:۱۳۸۹ بر اساس این آزمون تدوین شده است.
۱۸- استاندارد ایران سنگ‌های ساختمانی- تعیین ضریب الاستیسیته خمشی- روش آزمون شماره استاندارد۱۳۲۳۳، تاریخ تدوین ۱۳۸۹ بر اساس این آزمون تدوین شده است.
۱۹- استاندارد ایران تعیین مقاومت سایش در اثر رفت و آمد با استفاده از دستگاه سایش تیبر، شماره استاندارد۸۲۳۰، سال تدوین ۱۳۹۰ بر اساس این آزمون تدوین شده است.
20 - Sandblasting
21- Airbrasive
22- Munsell
23- International Commission on Illumination (Cie)
24-Spectrophotometer or a Colorimee

منابع استاندارد

(1) Ashurst, J., and Ashurst, N., Practical Building Conservation, Vol: 1: Masonry, Halsted Press, New York, 1988.
(2) Ashurst, J., and Dimes, F. G., Conservation of Buildings and Decorative Stone,Vol 2, Butterworth-Heinemann, London, 1990.
(3) Amoroso, G. G., and Fassina, V., Stone Decay and Conservation, Elsevier Science Publishing Company, New York, 1983.
(4) Clifton, J. R., "Laboratory Evaluation of Stone Consolidants,"Preprint of ICC Congress Adhesives and Consolidants, Paris, ed N. S. Bromelk, et al, London, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works September, 1984, 151 –155.
(5) Color and Appearance Measurement, ASTM Standards, 4th Edition, Philadelphia, 1994.
(6) Conservation of Stone and Other Materials, ed. M. J. Thiel, Vol I Causes of Disorders and Diagnosis; Vol 2 Prevention and Treatments; RILEM Proceedings 21; RILEM/UNESCO Conference, Paris, 1993.
(7) Feller, R. L., Accelerated Aging, Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1994.
(8) Horie, C. V., Materials for Conservation, Butterworth, London, 1987.
(9) Kumar, R., and Ginell,W. S.,A New Technique for Determining the Depth of Penetration of Consolidants into Limestone Using Iodine Vapor, Journal of the American Institute for Conservation, Vol 36, 1997:143–150.
(10) Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments, ICCROM Colloquium, Rome, 1995.
(11) Mills, J. S., and White, R., The Organic Chemistry of Museum Objects, London: Butterworths 1999.
(12) Phillips, M. W., Acrylic Precipitation Consolidants, in Science and Technology in the Service of Conservation, ed. N. S. Brommelle, et al, London, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1982, 52–60.
(13) Price, C. A., Stone Conservation—An Overview of Current Research, Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1996.
(14) Rossi-Doria, P., "Pore Structural Analysis in the Field of Conservation," Proc.RILEM/CNR International Symposium on Principles and Application of Pore Structural Characterization, Milan 1985, pp. 441–459.
(15) Sleater , G. A., Stone Preservatives; Methods of Laboratory Testing, U. S. National Bureau of Standards, NBS Technical Note 941, Washington, DC, May 1977.
(16) Weaver, M. E., Conserving Buildings, John Wiley, New York, 1994.
(17) Weber, H., and Zinsmeister, K., Conservation of Natural Stone, Expert Verlog, Munich,1991.
(18) Winkler, E. M., Stone in Architecture Properties, Durability,Springer-Verlag, New York,1994.