دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی
دوره جدید. سال دوم. شماره ۳. بهار و تابستان ۹۳
Bi - Annual Electronic Journal Of Restoration Science & Culture Heritage
New Course, Vol.2, No.3. Spring & Summer .2014

ساختارشناسی سنگ‌های تراکیت در ازاره کارخانه چرم سازی خسروی/ تبریز

سحر احمدخان‌بیگی*، مهدی رازانی*
*. گروه مرمت آثار تاریخی و باستان‌سنجی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
(مکاتبات: email: s.kbeigi@hotmail.com)

چکیده

در بسیاری از بناهای شهر تبریز از سنگ خاکستری رنگ با بافتی زبر استفاده شده که عمده آن‌ها بخصوص مواردی که در بخش‌های پایینی بناها از جمله ازاره‌های ساختمانی نصب شده‌اند دچار هوازدگی و آسیب‌هایی از قبیل تورق، تاول و پوسیدگی گشته‌اند که این آسیب‌ها در بناهای ثبت ملی همچون ازاره ساختمان شماره ۲ مجموعه چرم سازی خسروی به واسطه شدت تخریب قابل توجه است؛ از این رو جهت شناخت علمی از فرآیند فوق مطالعات ساختارشناسی با آنالیزهای پتروگرافی، پراش پرتو ایکس و بررسی‌های خواص فیزیکی این سنگ‌ها از طریق آزمون‌های استاندارد درصد محتوای رطوبت طبیعی سنگ، جذب آب، تخلخل سنگ، کشش مویینگی و آزمون چشمی انجام شد، که نتایج نشان دهنده عیوب ذاتی سنگ‌های تراکیتی ازاره به واسطه‌ی حضور کانی‌های کائولینیت، کلسیت و هماتیت است که به ترتیب حضورشان در سنگ با وجود رطوبت، موجب تورم، انحلال و هوازدگی شیمیایی آن می‌شوند. از طرفی بالا رفتن تخلخل موجب افزایش درصد جذب آب سنگ‌ها می‌گردد که با توجه به وقوع چرخه‌های ذوب و انجماد موجود سبب هوازدگی مکانیکی و در نهایت تخریب ساختار سنگ‌های ازاره‌های مجموعه چرم خسروی شده است.

واژگان کلیدی: ساختارشناسی، سنگ تراکیت، هوازدگی، پتروگرافی، پراش پرتو ایکس (XRD)

Structural Characterization of Trachyte Dado's In Leather Factory of Khowsravi/ Tabriz

Ahmad Khan Beigi. S. Razani.M
Dpt of Conservation of Historic-Cultural Properties and Archaeometry, Tabriz Islamic Art University

Abstract

In so many Tabriz's building bluish-gray in color stone with rough texture has been used, which in lower section of major part of them construction Dado's have been installed. These Dado's impacted by weathering and other damages including Scaling, Blistering, decay which can easily be seen in natural registered Masonries, for example in Dado's of building number 2 of leather factory of Khowsravi. Therefore in order to do scientific investigation, we employed study of structural characterization through petrography analysis, X-Ray diffraction and examine physical attributes by using Standardization tests including percentage of stone content natural humidity, water absorption, stone porosity, capillary absorption and macroscopically test. Our result have shown that intrinsic defects of Trachyte Dado's stone have been crumbled, soluted and chemically weathered because of presence of

Kalolinite, Calcite and Hematite respectively along with humidity in Stone. On the other hand, increasing porosity leads to more water absorption percentage by Stones In addition by considering the occurrence of current freezing and thawing cycles lead to mechanical weathering and finally destroyed the structure of leather factory of Khowsravi Dado's Stone.

Keywords: Characterization, Trachyte stone, Thin Section Petrography, Weathering, XRD

۱ – مقدمه

کارخانه‌ی چرم‌سازی خسروی اوایل دوره‌ی پهلوی (۱۳۱٦ هـ‌ش) در شهر تبریز – استان آذربایجان شرقی- بنا گشت و از سال ۱۳۱۵ با تولید صنعتی چرم شروع به فعالیت نمود. از سال ۱۳٦٦ و پس از انتقال تجهیزات کارخانه به خارج از شهر بعد از حدود یک دهه روند تغییر کاربری آن آغاز گردید تا اینکه در سال ۱۳۸۷ به بخشی از فضاهای آموزشی دانشگاه تازه تاسیس هنر اسلامی تبریز تبدیل شد. مجموعه ساختمان‌های قدیمی کارخانه چرم خسروی، شامل ۸ بنا است که ٤ بنای آن سه طبقه بوده و بقیه به صورت یک طبقه هستند و در کل ترکیب بناهای دو طبقه و یک طبقه همراه با دو منار (دودکش)، در کنار همدیگر چشم‌انداز زیبایی را به کل مجموعه می‌بخشد. ترکیب بناهای مذکور در کنار هم، استفاده از مصالح سنگ، سیمان و آهن، سقف شیب‌دار و شیروانی و حوض‌های مربع مستطیل آمیزه‌ای از معماری ایرانی و اروپایی از ویژگی‌های معماری اواخر قاجار و اوایل پهلوی است. مرمت این مجموعه که با تغییرکاربری سالن‌های کارخانه به سالن ورزشی، آمفی تئاتر، بخش اداری، سلف سرویس و کتابخانه از سال ۱۳۷٦ آغاز گردیده؛ و در حال حاضر نیز ادامه دارد (پرونده ثبتی بنای ساختمان چرم خسروی،۱۳۷٦) (نقشه و تصویر ۱).

با توجه به کوهستانی بودن منطقه و وجود منابع سنگ آتشفشانی در استان آذربایجان شرقی و بخصوص شهر تبریز از سنگ‌های خاکستری رنگ معروف به اسپراخون–روستایی در دامنه سهند– به عنوان مصالح بنایی، پی و بدنه‌سازی در بناهای مهمی چون ساختمان شهرداری، کتابخانه ملی، خانه لاله‌ای و گنجه‌زاده و همچنین مجموعه چرم خسروی در شهر تبریز استفاده شده است (مصاحبه حضوری با احد نژاد ابراهیمی، زمستان ۱۳۹۲). کاربرد وسیع و همچنین آسیب‌هایی که به واسطه قرارگیری در شرایط محیطی و خواص ذاتی این‌گونه سنگ در طی زمان رخ داده است، مطالعه خواص ذاتی و ساختاری آن را جهت شناخت و درک بیشترِ مکانیسم تخریب و همچنین به منظور انجام اقدامات حفاظتی ضروری گردانیده است. عمده مطالعات صورت گرفته در این تحقیق بر روی سنگ‌های ازاره مجموعه چرم‌سازی خسروی – ساختمان شماره ۲ – به‌عنوان یکی از بناهای دوره پهلوی اول که سنگ‌های مورد نظر به صورت وسیعی به‌صورت بادکوبه‌ای در ازاره‌های آن به‌کار رفته‌اند؛ جهت پاسخگویی به سوالات و بررسی اهدافی از قبیل: گونه‌شناسی و نام علمی سنگ مورد نظر در تقسیم‌بندی‌های مرسوم زمین شناسی چیست؟ چه ویژگی‌ها و خواصی فیزیکی، مینرالوژی دارد؟ در کنار تعیین مکانیسم‌های تخریب آن در شرایط اقلیمی و کاربرد مورد نظر متمرکز بوده است. لازم به ذکر است تحقیقِ پیش‌رو نخستین نمونه در رابطه با سنگ خاکستری موسوم به اسپراخون در راستای ارزیابی فرآیندهای تخریبی جهت پیش‌بینی وخامت و تصمیم‌گیری در امر حفاظت آنها در ناحیه آذربایجان است.

۲ – روش تحقیق

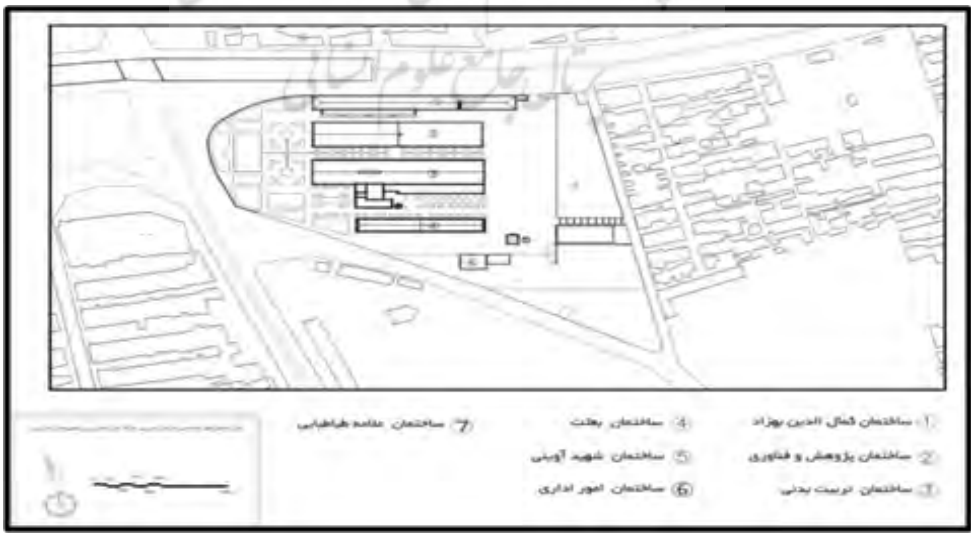
تحقیق پیش رو با روش تحلیلی- تجربی و بر مبنای گردآوری اطلاعات کتابخانه‌ای، بررسی‌های

میدانی و آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شده است. به‌نحوی که در بخش مطالعات کتابخانه‌ای از اسناد ثبتی، نقشه‌ها و ترسیمات کلی موجود در منابع جهت ثبت و ضبط صحیح اطلاعات تاریخی و کالبدی بنای مورد نظر استفاده شده است، در بخش بررسی‌های میدانی که با حضور در محل و اقدام به مستندنگاری با جزئیات بخش‌های مورد مطالعه از نظر همراه بوده، ویژگی‌های ساختاری و سازه‌ای در کنار آسیب‌نگاری، آسیب‌شناسی و نمونه‌برداری انجام شده است که در نهایت با انجام آزمون‌ها و آنالیزهای آزمایشگاهی بر نمونه‌ها سوالات و اهداف مورد نظر مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته‌اند.

۳ - مواد و روش‌ها

معرفی محل و روش نمونه برداری

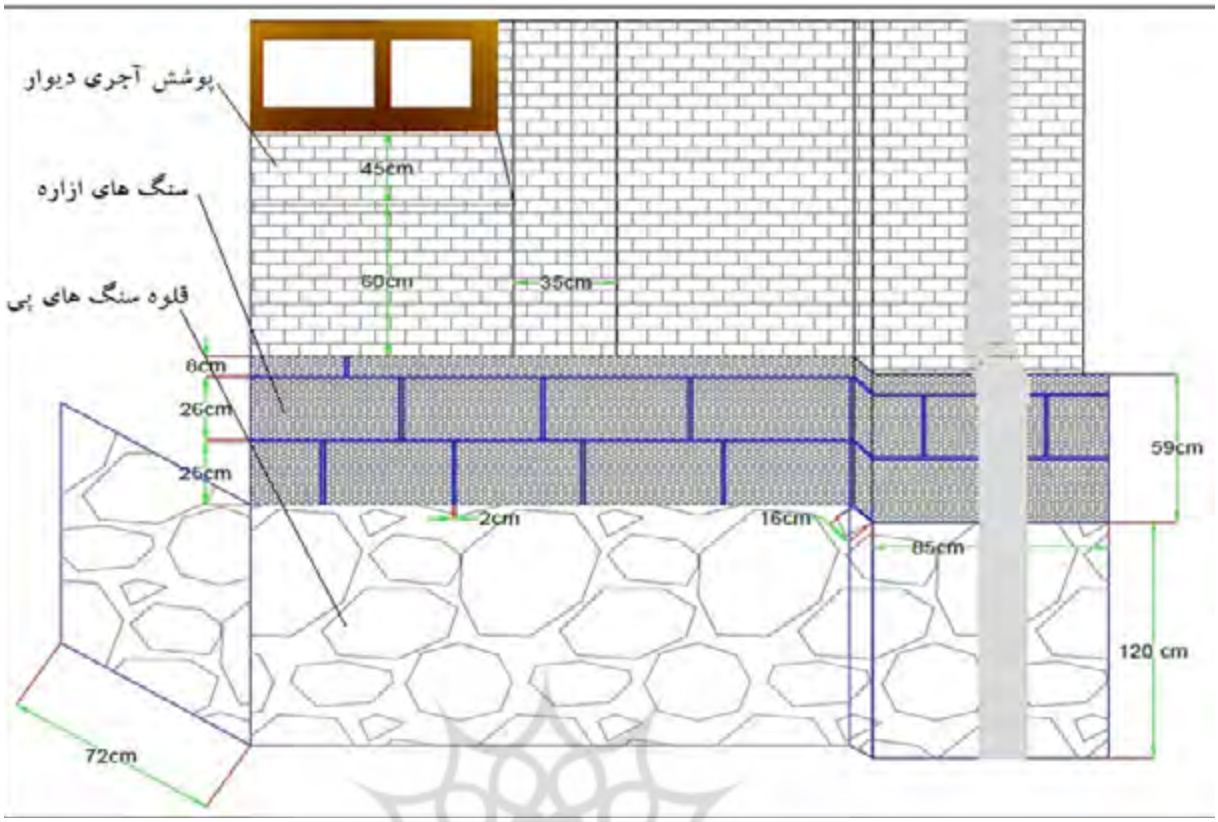
ازاره‌ی ساختمان شماره۲ مجموعه‌ی چرم‌سازی خسروی با ردیفی از سنگ‌هایی با ابعاد ۷۰ cm ×۳۵ ×۲۰ پی قلوه‌سنگی، سیمانی با عمق ۱۲۰ cm را پوشانده است. پی ساختمان به لحاظ سازه‌ای، دیواری آجری به بلندای ۱۰ متر را تحمل می‌کنند که سنگ‌های مورد مطالعه‌ی این تحقیق بر روی ازاره‌ی دیوار فوق نصب شده‌اند. سنگ‌های ازاره‌ی ساختمان شماره ۲ همگی خاکستری رنگ‌اند، حاشیه‌ی آنها دور تا دور تراشیده و بار سنگ به ضخامت ٤ cm برجسته است. با این حال در بسیاری از سنگ‌های ردیف پایین ازاره این برجستگی از بین رفته و سطح سنگ در طول زمان صاف و ناهموار گشته است. ملات خاکستری رنگ که به نظر ترکیب سیمان و ماسه است، علاوه بر پر کردن درز سنگ‌ها، بر حاشیه‌ی تراش خورده‌ی سنگ‌ها نیز به اشتباه کشیده شده است و به این ترتیب اصالت تراش اصلی سنگ‌ها را مخدوش ساخته است. سنگ‌های ازاره با گذشت زمان استحکام خود را از دست داده و به هنگام تماس دست لایه‌ای از سطح سنگ به سرعت از بستر اصلی سنگ جدا گشته و پودر می‌شود (تصویر۲ و شکل ۱). برای انجام آزمایش‌های مربوطه نمونه‌برداری از پشت سنگ‌های ازاره فوق الذکر در محلی که برای اقدامات حفاظت سازه‌ای بنا خالی شده بود و بدون آسیب رساندن به سطح سنگ‌ها انجام گرفت.



نقشه ۱. فضاهای مختلف درون مجموعه چرم سازی خسروی (مأخذ: آرشیو دفتر فنی و نظارت بر طرح‌های عمرانی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۸۲).

تصویر۱. مجموعه ساختمان‌های چرم سازی خسروی تغییر کاربری یافته به دانشگاه هنر اسلامی تبریز (ماخذ: http://tabriziau.ac.ir).

تصویر ۲. حجم بالای رسوبات محیطی و فضولات بر سطح سنگ‌ها (شماره‌های ۳و۴) و استفاده از ملات ماسه سیمان موجب از دست رفتن بخش‌هایی از سنگ‌ها ۱، تورق سطح سنگ‌ها ۲، خورده شدن مغز سنگ‌ها و باقی ماندن ملات تخریب کننده ۵ و در نهایت تاول و پوسته شده. ملات بر اثر نهان‌شکفتگی نمک در زیر ملات ۶ شده است.



شکل ۱. طرح شماتیکی مقطع عرضی ازاره و دیوار ساختمان شماره ۲

۳ - ۱ - روش‌های ساختارشناسی

مطالعات پتروگرافی مقطع نازک

به منظور مطالعه و بررسی شناخت کانی‌ها، روابط بین دانه‌ای و بافت موجود، نام‌گذاری علمی سنگ ابتدا از قسمت پشتی سنگ‌های ازاره نمونه تهیه شد. پس از نمونه‌برداری، مقطع میکروسکوپی از سنگ‌ها تهیه گردید. پتروگرافی از نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان، ساخت شرکت Olympus: ژاپن (۱۹۹۸)، در دانشگاه صنعتی اصفهان و بر اساس استاندارد ASTM C 1721: 2009 انجام گشت.

بررسی آزمایشگاهی به روش دستگاهی پراش پرتو ایکس (XRD)

به‌منظور بررسی و تطابق ساختار مینرالوژیکی سنگ و آنچه در زیر میکروسکوپ پلاریزان مشاهده گردید، از روش دستگاهی (XRD) برای شناسایی فازهای مینرالی سنگ استفاده شد. در این تحقیق آنالیز (XRD) با استفاده از دستگاه دیفراکتومتر مدل XRD-D Siemens 5000 تیوپ CU ساخت کشور هلند (۲۰۰۳) در آزمایشگاه مرکز زمین‌شناسی تبریز انجام شد (جدول ۲).

۳ - ۲- بررسی خواص فیزیکی

به منظور درک ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌های خاکستری ازاره ساختمان شماره ۲ آزمایش‌هایی شامل: آزمایش جذب آب به وسیله‌ی غوطه‌وری کامل، اندازه‌گیری غیر مستقیم میزان تخلخل سنگ به وسیله‌ی جذب آب، آزمایش تراوش آب و کشش مویینگی بر اساس استانداردهای ملی و بین المللی انجام شد. لازم به ذکر است به علت ثبتی بودن بناهای مجموعه چرم خسروی و همچنین عدم امکان برداشت نمونه مورد نیاز نمونه‌های انتخاب شده برای آزمون‌های شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ از

سنگ‌های محوطه‌ی داخلی دانشگاه برداشته شد و همگی در سطوح عمود بر بار، به وسیله‌ی دستگاه فِرز پرداخته و چهار سطح دیگر به صورت صاف بریده شد. نمونه‌ها انتخابی مکعبی شکل و دارای عرض ۵ cm، ضخامت ۳ cm و طول ۱۰ cm بودند.

آزمایش ضریب جذب آب به‌وسیله‌ی غوطه‌وری کامل

برخی از سنگ‌ها به‌خصوص تراکیت‌ها به هنگام اشباع با آب در مرور زمان وارفتگی پیدا کرده و به تدریج فرسوده می‌شوند. اندازه‌گیری جذب آب، آزمون مفیدی برای توصیف مصالح ساختمانی متخلخل از جمله سنگ، ارزیابی میزان فرسودگی و پایش اثر درمان‌های حفاظتی است. از طرفی ظرفیت جذب بالای آب موجب افزایش جذب آب و نفوذ آن به ساختار سنگ و فعال شدن مکانیسم‌های هوازدگی فیزیکی، شیمیایی، و انحلال، تبلور مجدد، وارفتگی و درنهایت فرسودگی سنگ می‌گردد آزمایش فوق بر اساس استاندارد ASTM D1585, 2004 انجام گرفت.

اندازه‌گیری غیرمستقیم میزان تخلخل سنگ به‌وسیله‌ی جذب آب

تخلخل بستگی به شکل دانه‌های کانی، پخش کانی‌ها، ترتیب کانی‌ها، درجه تراکم و سخت شدن آن‌ها دارد. خلل و فرج سنگ واکنش آن را نسبت به فشارهای خارجی کنترل می‌کند. رطوبت را به خود می‌گیرد و باعث می‌شود هوازدگی سنگ بهتر صورت بگیرد. تخلخل به صورت نسبت حجم این خلل و فرج (Vp) به حجم کل ماده متخلخل (V) تعریف می‌شود. شکل و مقدار حجم کلی منافذ بسیار متغیر است و بستگی به ماهیت ماده و میزان هوازدگی آن دارد. به همین خاطر یک سنگ متخلخل ساختاری متفاوت با سنگ اصلی داشته و این تفاوت شامل فضاهای خالی اضافی، درزها، ترک‌های بسیار ریز یا شکاف‌ها می‌شود که همانند خلل و فرج عمل نموده و امکان نفوذ آب یا بخار آب را فراهم می‌کند که این آزمون بر اساس روش توصیه شده ISRM, ۱۹۷۹ انجام گرفت (کنراد بی، ۱۳۷۷، ۱۲۳).

آزمایش تراوش آب، کشش مویینگی

این آزمایش عمل صعود آب را به‌وسیله‌ی مویینگی ارزیابی می‌کند. آب به طور تقریب همیشه علت فرسودگی مواد متخلخل است. جابه‌جایی آب به خواص فیزیکی مواد، مثل ساختار، تخلخل مویینگی و قابلییت نفوذ آن‌ها مربوط می‌شود. منابع اصلی آب باران، تعریق و مویینگی هستند. نمونه‌ی سنگ به حالت ایستاده در سینی پلاستیکی حاوی مقداری آب در حدی که ۱ cm از پایین سنگ را می‌گرفت، قرار داده شد. ارتفاع صعود رطوبت (H) را در هر دقیقه (برای ۵ دقیقه اول) اندازه گرفته شد. سپس هر ۵ دقیقه (برای ۲۵ دقیقه بعدی)، سپس هر ۳۰ دقیقه اندازه گرفته شد. نتایج در جدول ۳ ثبت گردید.

تعیین مقاومت در برابر یخ‌زدگی

به منظور تعیین مقاومت سنگ‌های ازاره‌ی مذکور در مقابل اثرات یخبندان، آزمایش یخبندان (سرما و گرما) بر روی سه نمونه از سنگ‌های ازاره که دوتای آن‌ها درمان شده و نمونه‌ی دیگر درمان نشده بود صورت گرفت. نمونه‌های مورد آزمایش ابتدا در اون با حرارت ۱۱۰° C خشک شد و وزن ثابت آن‌ها

تعیین گشت. سپس به مدت ٤٨ ساعت در آب قرار داده شد به‌طوری که با کف ظرف تماس نداشته باشد و سطح نمونه‌ها را آب بپوشاند. بعد از این مدت آب سطحی نمونه‌ها با پارچه‌ای مرطوب گرفته و سپس در فریزر و در دمای C ° ۱۵ - به مدت ٢٤ ساعت قرار داده شد تا به طور کامل یخ بزند. پس از خارج کردن نمونه‌ها بعد از مدت ذکر شده، سنگ‌ها در آبِ با درجه حرارت C °۱۵ به مدت ٦ ساعت قرار داده شد تا یخ آنها آب شود. آب اضافی با پارچه‌ی مرطوب گرفته و مجدداً در فریزر قرار داده شد. این چرخه ١٦٨ بار تکرار گشت. در پایان نمونه‌های سنگ در اون با دمای C °۱۱۰ خشک شد. پس از آنکه نمونه‌ها به دمای محیط رسیدند توزین آنها صورت گرفت. سپس درصد افت وزنی نمونه محاسبه شد. اُفت وزنی نمونه‌های سنگ، نسبت به وزن کل سنگ قبل از انجام آزمایش را درصد اُفت وزنی در مقابل یخبندان گویند. کاهش وزن نمونه‌ها نبایست بیش از ۱/۵ ٪ وزن سنگ‌ها باشد، همچنین در بدنه و سطح نمونه‌ها نبایست اثری از ترک‌خوردگی و پوسته‌شدن به وجود آید. میانگین درصد اُفت وزنی نمونه‌ی سنگی درمان نشده ۰/۰۱ ٪ است. در این منطقه آسیب حاصل از یخزدگی و یخبندان به میزان بسیار زیادی وجود داشته که می‌توان یکی از دلایل مهم تخریب در سنگ‌های ازاره‌ی این محوطه را همین عامل دانست.

جدول ۱. امتیازهای مربوط به وضعیت‌های متفاوت نمونه‌ها در بازرسی چشمی (استاندرد ملی ایران ۱٤۹۵۹، ۱۳۹۲، ۷)

امتیاز	وضعیت
۰	آزمونه سالم
۱	آسیب خیلی جزیی(گردشدگی جزئی گوشه‌ها و لبه‌ها) که در سالم بودن کلی نمونه قابل صرف نظر کردن است.
۲	یک یا چندین ترک جزیی(با ۱/۰mm عرض) یا جدایش قطعات کوچک سنگ(قطعات با mm^2 ۱۰ مساحت)
۳	یک یا چندین ترک، سوراخ یا جدایش قطعات بزرگتر از آنچه برای امتیاز ۲ تعریف شد، یا دگرگون شدن مصالح درون ترک ها، یا نمایان شدن نشان هایی از خردشدگی یا انحلال در آزمونه.
۴	ایجاد ترک های قابل توجه در نمونه، شکستن نمونه به دو قسمت یا بیشتر و یا از هم پاشیدن آزمونه.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

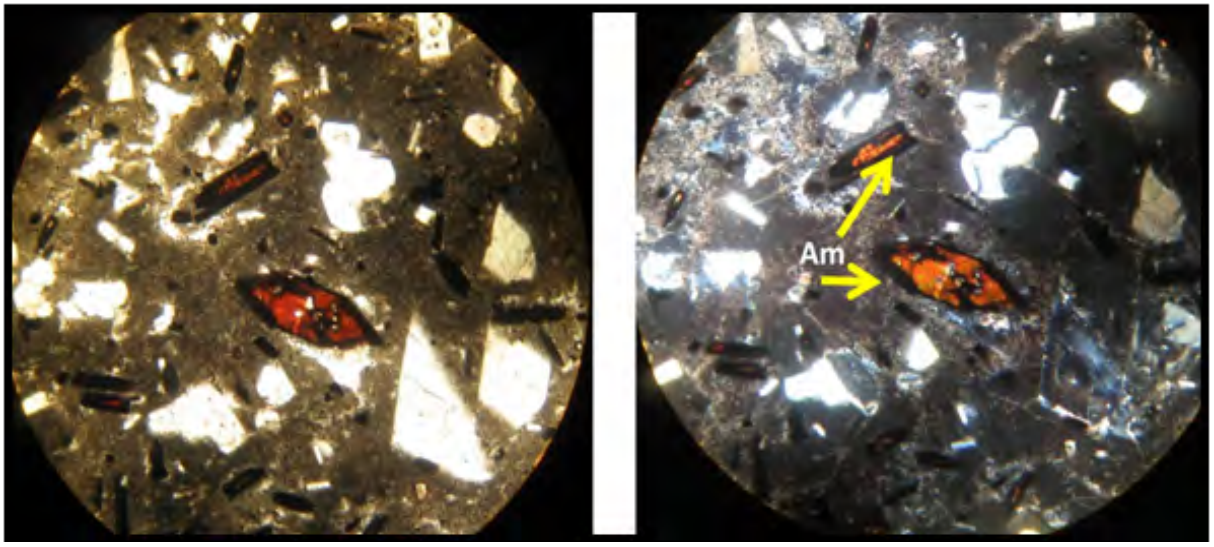
بازرسی چشمی

بعد از چرخه‌های یخزدگی-آب‌شدگی، همه وجوه و یال‌های نمونه‌ها مورد بررسی قرار داده شده و وضعیت آنها با استفاده از مقیاس داده شده در جدول۱ امتیازدهی شد.

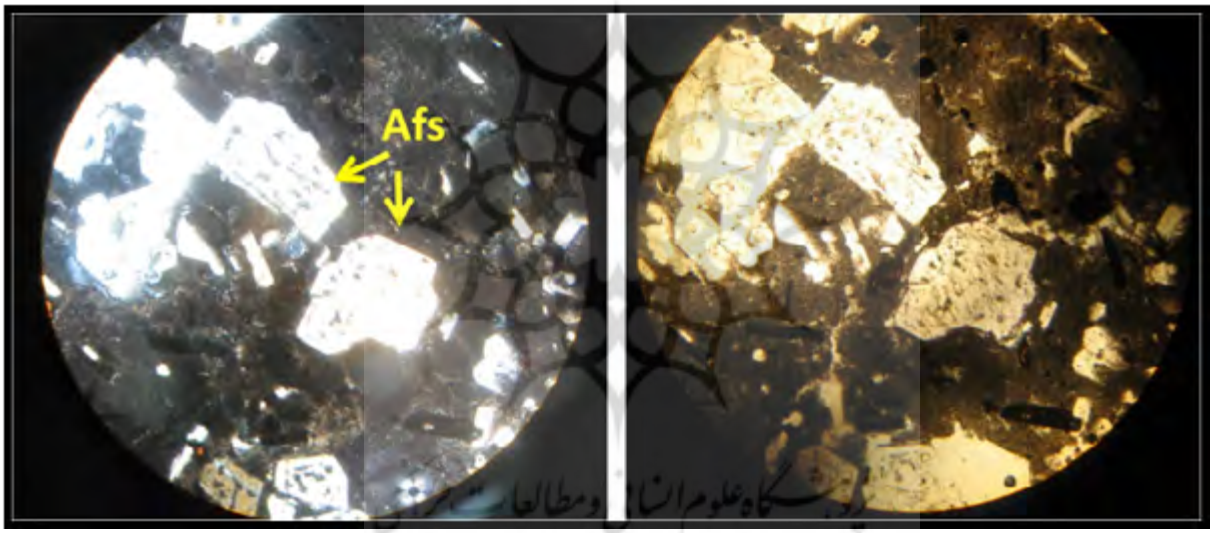
۳ - ۳- نتایج ساختارشناسی

بررسی میکروسکوپی و کانی‌شناسی سنگ‌ها

بررسی‌های مقطع میکروسکوپی تحت نور پلاریزه نشان می‌دهند که نمونه‌ی سنگ خاکستری رنگ به‌کار رفته در ازاره ساختمان شماره ۲ عمدتاً شامل کانی‌های پلاژیوکلاز فلدسپار از نوع آلبیت است که بیش از ۳۵ ٪ ساختار میکروسکوپی سنگ را تشکیل داده است. سنگ دارای بافتی متراکم و دارای بلورهای شکل‌دار و درشتی از اُپال و کوارتز به مقدار کم و زمینه‌ی از ماتریکس شیشه‌ای، است که کانی‌های کلریت، کلسیت بسیار ریزدانه نیز در آن دیده می‌شوند کانی آمفیبول، در مقطع قهوه‌ای رنگ است و آثار اکسید شدگی در اطراف آن مشاهده می‌شود. آمفیبول اُکسید شده با لایه‌ای از اکسید آهن که به صورت اوپاک در آمده، محصور شده است(تصویر ۳ و ٤).



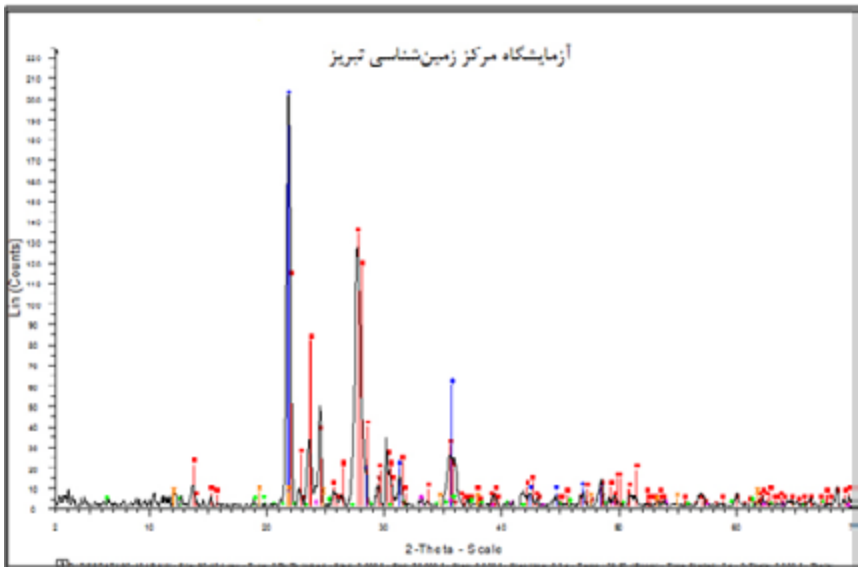
تصویر۳. عکس میکروسکوپی تراکیت با بافت پورفیری سمت راست در نور XPL (با آنالیزور) و تصویر سمت چپ در نور (بدون آنالیزور)PPL با بزرگنمایی X ۱۰۰ کانی آمفیبول در وسط با حاشیه و مرز دانه مشخص دیده میشود که به آمفیبول قهوه‌ای معروف است.



تصویر۴. تصویر میکروسکوپی کانی الکالین فلدسپار آلبیت در نور XPL (Alkalifeldspar = Afs) بزرگنمایی X ۱۰۰.

نتایج روش آزمایشگاهی (XRD)

تفسیر داده‌های به دست آمده از آنالیز پراش پرتو ایکس انجام شده بر روی ازاره‌ی ساختمان شماره ۲ مجموعه چرم خسروی به خوبی نشان دهنده‌ی حضور شاخص فاز اصلی اُپال (حدود ۵۰٪) است که پایه‌ی اصلی سنگ ازاره ساختمان مربوطه را تشکیل می‌دهد. فازهای فرعی آلبیت، کلسیت و دیگر ریز فازهای فرعی کلریت و هماتیت کائولینیت حدود ٤-۳ ٪ از ترکیب سنگ را به خود اختصاص داده است. فاز شاخص اُپال به‌عنوان ترکیب سیلیسی سنگ، اجزاء اصلی سنگ‌های آذرین بیرونی از جمله تراکیت را تشکیل می‌دهد. فازهای آلبیت و کلسیت به ترتیب بیانگر حضور ترکیبات فلدسپار پلاژیوکلاز و کربنات موجود در سنگ هستند. کلسیت موجود و جوشش سنگ در اثر افزودن اسیدکلریدریک را توجیه کرده و آلبیت، بیانگر حضور ترکیبات ثانویه فلدسپار سدیک در نمونه است. نمودار شماره‌ی ۱ پراش اشعه ایکس بر روی نمونه‌ی سنگ ازاره‌ی ساختمان شماره ۲ مجموعه چرم خسروی نشان می‌دهد.



نمودار ۱. طیف پراش پرتو ایکس (XRD) سنگ‌های به کار رفته در ازاره‌ی ساختمان شماره ۲ مجموعه چرم خسروی

جدول۲. نتایج آنالیز XRD، درصد کانی‌های موجود در نمونه سنگ ازاره‌ی ساختمان شماره ۲ مجموعه چرم خسروی

Phases	Chemical formula	Quantitative percentage
Albite	$NaAlSi_3O_8$	36.8%
Opal	$SiO_2.XH_2O$	55.2%
Chlorite	$Mg_3Al_3(Si_3Al)$	1.1%
Hematite	Fe_2O_3	1.1%
Calcite	$CaCO_3$	3.4%
Kaolinite	$(Al.Si)_2Si_2(O.OH)_9$	2.3%

آزمایش جذب آب به‌وسیله‌ی غوطه‌وری کامل [۹]

مقدار متوسط جذب آب و قابلیت جذب آب (WAC) در جداول ۳ و ٤ ثبت گردید.

۱- با استفاده از داده‌های ثبت شده، مقدار متوسط جذب آب در هر فاصله‌ی زمانی محاسبه شد (جمع مقادیر WA تقسیم بر نمونه‌ها).

۲- با توجه به داده‌های ثبت شده، قابلیت جذب آب (WAC) نیز محاسبه گردید.

جدول ۳. نتایج مربوط به آزمون جذب آب سنگ بر حسب وزن و دقیقه

توزین نمونه‌ی خشک شماره ۱	M_0	۳۵۲/۲۸۳
t_1	M_1	۳۶۱/۹۱۱
۵ دقیقه	WA_1	٪۲/۲
t_2	M_2	۳۶۸/۹۱۰
۱۵دقیقه	WA_2	٪۳/۴
t_3	M_3	۳۷۰/۱۹۷
۳۰ دقیقه	WA_3	٪۷/۴
t_4	M_4	۳۷۰/۷۸۹
۱ ساعت	WA_4	٪۵
t_5	M_5	۳۷۱/۲۴۰
۲۴ ساعت	WA_5	٪۵

جدول ۴. نتایج مربوط به آزمون جذب آب سنگ بر حسب وزن و دقیقه

توزین نمونه‌ی خشک شماره ۲	M_0	۴۵۶/۲۷۴
t_1	M_1	۹۰۴/۲۸۴
۳۰ دقیقه	WA_1	٪۲
t_2	M_2	۴۸۷/۲۸۶
۶۰ دقیقه	WA_2	٪۲/۳
t_3	M_3	۰۸۷/۲۸۸
۹۰ دقیقه	WA_3	٪۵/۳
t_4	M_4	۶۶۷/۲۸۹
۴۸ ساعت	WA_4	٪۴

نتایج اندازه‌گیری غیرمستقیم میزان تخلخل سنگ به‌وسیله‌ی جذب آب (۱۰)

از داده‌های آزمون جذب آب به‌وسیله‌ی غوطه‌وری کامل استفاده شد و درصد تخلخل هر نمونه به صورت زیر تخمین زده شد.

۱- جرم اولیه‌ی نمونه = M_o ← ۳۵۳/۳۸٦

۲ - جرم نمونه‌ی اشباع = M_{max} ← ۳۷۱/۲٤۰

۳- نمونه‌ی اشباع از آب، دوباره توزین شد و در استوانه‌ی مدرجی که به میزان مشخص از آب پر شده قرار گرفت، تغییر حجم آب به کمک تغییرات سطح آب استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری شد. با توجه به وزن نمونه خشک و وزن نمونه اشباع شده به همراه اختلاف حجم اندازه‌گیری شده، می‌توان به کمک فرمول زیر درصد تخلخل و درصد جذب آب را اندازه‌گیری نمود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد سنگ ازاره تخلخل نسبتاً بالایی دارد و این امر سبب جذب رطوبت بالای سنگ به میزان درصد شده است.

٤ - تغییر حجم آب در استوانه‌ی مدرج = M_l ← ۲۰۰ ml

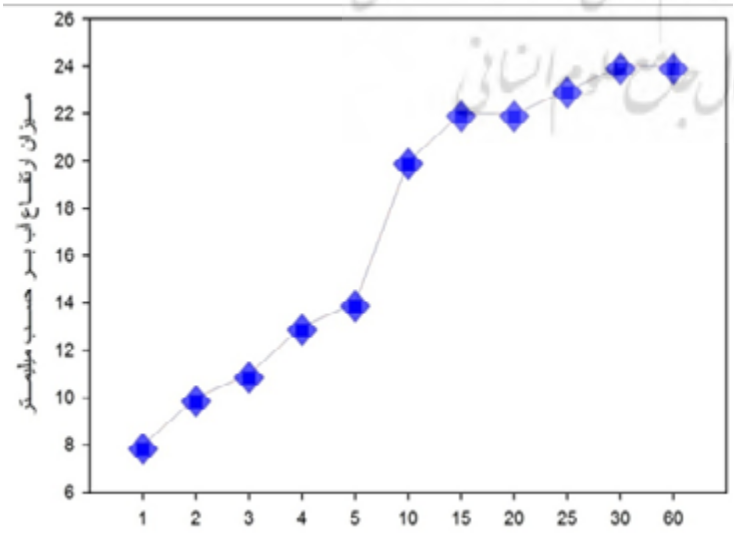
۵- درصد تخلخل = درصد حفره‌ها (منافذ).

بنابراین درصد تخلخل تخمینی (با فرض آن‌که همه‌ی حفره‌ها قابل دسترسی و نمونه اشباع شده باشد و تصور ارتباط مناسب بین تخلخل و نفوذپذیری)، می‌تواند به صورت زیر به دست آید:

درصد تخلخل = $(Mmax _ MO / Ml) \times ۱۰۰ = ۹٪$

نتیجه‌ی آزمایش تراوش آب، کشش مویینگی

نموداری با داده‌های حاصل رسم شد : نسبت ارتفاع (H) به (t) به صورت نمودار شماره۱ ترسیم شد. شیب بالا رونده نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌ی سنگ حدود ۵۸/٤٪ از جذب آب نهایی خود در طول یک ساعت در بردار ارتفاع، در همان ۵ دقیقه‌ی ابتدایی جذب نموده، که معادل ۱٤ میلیمتر است. در ۵ دقیقه‌ی دوم با سرعتی پایین‌تر حدود ۲۵٪ یعنی معادل ٦ میلیمتر جذب نموده و در ۵ دقیقه دیگر تنها ۱٦/٦٪ جذب نموده است که حاکی از کاهش سرعت جذب و کشش موئینگی سنگ از ۱۰ دقیقه‌ی اول به بعد است.



جدول ۵. نتیج مربوط به آزمون کشش مویینگی بر حسب میلیمتر در دقیقه

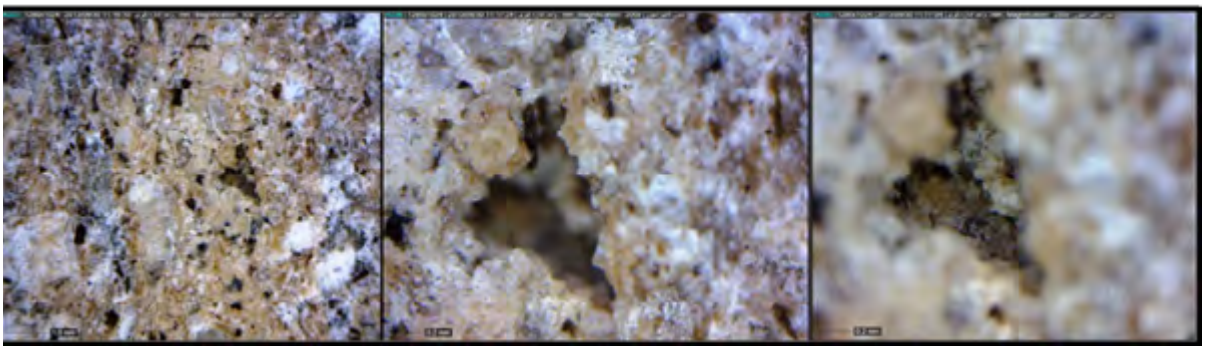
زمان (دقیقه)	ارتفاع آب (mm) در نمونه
۱	۸
۲	۱
۳	۱۱
٤	۱۳
٥	۱٤
۱۰	۲۰
۱٥	۲۲
۲۰	۲۲
۲٥	۲۳
۳۰	۲٤
٦۰	۲٤

نمودار۲-۲. ارتفاع آب جذب شده در دقیقه

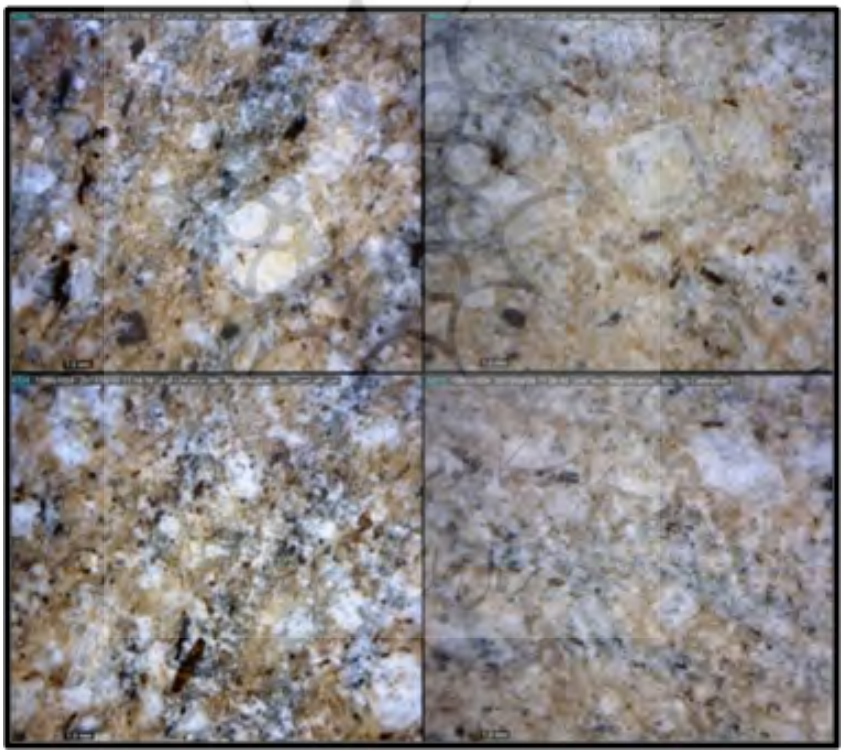
نتیجه‌ی بررسی تخریب در آزمون چشمی

جمع امتیازها در هر سه نمونه‌ی مورد آزمون به ۱ رسید و تغییرات ظاهری چشمگیری از جمله جدایش

و انحلال قطعات در نمونه‌ها حاصل نشده است. به نظر می‌رسد این کاهش وزن در اثر سست شدن ساختار نمونه سنگ شاهد (تصویر ۵) و نفوذ آب به درون ساختار و انبساط ناشی از یخ زدن آب به هنگام سرد شدن دمای محیط موجب از دست رفتن تراکم ساختاری سنگ و به دنبال آن کاهش وزن نمونه می‌گردد (تصویر ٦).



تصویر۵. شکاف ایجاد شده بر نمونه‌ی مورد آزمون یخ بُرشدگی از چپ به راست با بزرگنمایی X۵۰ ، ۲۰۰ X و ۲۰۰ X



تصویر۶. مقایسه‌ی تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ی مورد آزمون چرخه‌ی یخ بُرشدگی (دو تصویر بالا و پایین سمت چپ) و نمونه‌ی سالم (دو تصویر بالا و پایین سمت راست) با بزرگنمایی ۵۰ X

همانطور که از تصویر ٦ پیداست، نمونه‌ی مورد آزمون نسبت به نمونه‌ی سالم انسجام کمتر و به نسبت سطح آسیب‌پذیرتری پیدا کرده است. بر اساس آمار ۳۵ ساله‌ی سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی، شهر تبریز تعداد روزهای یخبندان نزدیک به ۱۰۰ روز در سال می‌رسد.

جدول ٦. میانگین شاخص های هواشناسی در طول ۳۵ سال و بالاتر (تا سال ۱۳۹۰)(قسمتی و دیگران، ۱۳۹۱، ۹)

پارامترها	حداکثر بارش سالانه	حداقل بارش سالانه	متوسط بارش سالانه	حداکثر دمای مطلق	حداقل دمای مطلق	میانگین دمای سالانه	متوسط رطوبت نسبی	جمع ساعات آفتابی	روزهای یخبندان	جهت باد غالب
متوسط استان	۳۸/۶۴	۱۹۴/۹	۳۸۸/۲	۳۹/۵	-۲۳/۱	۱۱/۸	۵۶	۶/۲۸۰۷	۸/۹۶	غربی

جدول ۶. میانگین شاخص های هواشناسی در طول ۳۵ سال و بالاتر (تا سال ۱۳۹۰)(قسمتی و دیگران، ۱۳۹۱، ۹)

بنابراین آزمون انجام شده که در واقع پیرسازی سنگ به مدت ٤ سال در شرایط آب و هوایی تبریز بوده نشان‌دهنده‌ی این مهم است که این گونه‌ی سنگی در مقابل چرخه‌های یخ بُر شدن تبریز هر ٤ سال یک بار می‌تواند به اندازه‌ی ۳ گرم کاهش وزن دهد و این کاهش وزن بیشتر در سنگ‌هایی که در پایین‌ترین بخش ازاره قرار گرفته و عموماً در فصل زمستان اشباع از آب هستند؛ مشهود است. به‌علاوه اینکه آسیب یخ بر شدن، با حضور نمک‌ها و دیگر چرخه‌های تر و خشک شدن مطمئناً متفاوت خواهد بود. با توجه به بحث مذکور، میزان ضخامت از دست رفته‌ی سطح بیرونی سنگ‌ها در طی بازه‌ی زمانی قرارگیری‌شان در ازاره‌ی ساختمان شماره ۲ تا به امروز برابر با ۵ cm کاهش ضخامت بار سنگ‌های پایین و برخی از سنگ‌های ردیف بالایی ازاره است. که این امر می‌تواند در شرایط طبیعی هوازدگی با توجه به توازن ایجاد شده می‌تواند در سطوح بیرونی سنگ با محیط، کاهش یابد و یا با ایجاد شرایط جدید افزایش یابد. علاوه بر آن در حال حاضر حدود ۱ cm از ضخامت سنگ‌ها نیز در حال تخریب است که علت آن ترکیب عوامل آسیب‌رسان همانند حضور منابع فعال نمک و رطوبت است.

٤ – نتیجه‌گیری و بحث

بر اساس مطالعات و مشاهدات میکروسکوپی، انجام آزمایش‌های دستگاهی و تقسیم بندی‌های موجود از نظر فازهای تشکیل شده و روابط کانیایی بر آمده از تصاویر پتروگرافی و نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس نتیجه‌گیری شد که سنگ مورد استفاده در ازاره‌ی ساختمان شماره ۲ مجموعه چرم در طبقه‌ی سنگ‌های آذرین حد واسط بوده و با نام علمی تراکیت است؛ تراکیت در واقع به گروهی از سنگ‌های آذرین، دانه‌ریز، اغلب پورفیریتیک اطلاق می‌شود که عمدتاً از فلدسپار آلکالن و یا گاهاً از فلدسپار پلاژیوکلاز سدیک تشکیل می‌شود. اغلب تراکیت‌ها دارای بافت پورفیری و خمیره‌ی تمام بلورین هستند که بلورهای درشت اولیه آن‌ها اکثراً فلدسپارهای پتاسیم، بیوتیت و یا آمفیبول و به ندرت پیروکسن همراه با زمینه‌ی بلوریافته‌ای از ریزبلورهای کوچک فلدسپار هستند؛ تراکیت به ندرت بافت شیشه‌ای دارد. کانی‌هایی که خمیره‌ی سنگ را تشکیل می‌دهند معمولاً از فلدسپارهای پتاسیم، پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن‌های قلیایی تشکیل شده است (سرابی، ۱۳۸۵، ۱۰۹). سنگ‌های تراکیت دارای ٦۳ – ۵۲ ٪ SiO_2 هستند. تراکیت‌ها عموماً دارای رنگ روشنی هستند و اغلب به رنگ خاکستری تا قرمز مشاهده می‌شود. عناصر تشکیل دهنده‌ی فرعی ممکن است شامل الیوین، پیروکسین، آمفیبول، بیوتیت و کانی‌های فرعی مانند اکسیدهای آهن و آپاتیت باشد (حلمی، ۱۳۸۵، ۹۱). مقاومت این سنگ در مقابل اختلاف درجه‌ی دما و فشار کم، به طور متوسط برابر با ٦۰۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر هر cm مربع است. با وجود مقاومت

کم این سنگ، از آن برای استعمال سنگ‌فرش و زیرسازی خیابان‌ها نیز استفاده می‌شود (قریب، ۱۳۸۸، ۱۹٤). تراکیت‌ها شامل دو دسته‌ی تراکیت‌های معمولی و تراکیت‌های قلیایی (سدیک) هستند، بنابراین تراکیت‌ها مانند سینیت‌ها به دو گروه فاقد فلدسپاتوئیدها وفلدسپاتوئیدها تقسیم می‌شوند (فاضل ولی‌پور، ۱۳۸۹، ۷۹). با توجه به موارد مطالعه شده، سنگ مورد بررسی در این پروژه در دسته‌ی تراکیت‌های فاقد فلدسپاتوئیدها قرار دارد و معادل بیرونی سینیت است. فنوکریست‌های فلدسپار در آن درشت و در عین حال پراکنده‌اند و پلاژیوکلازها درصد کمی از میکرولیت‌ها را تشکیل داده‌اند. آمفیبول‌ها و بیوتیت‌های موجود در آنها اغلب اکسیده شده و در زمینه سنگ یافت می‌شوند. خمیره‌ی آنها میکرولیت جهت یافته و به هم فشرده‌ی آلبیت و مختصری شیشه آتشفشانی است. سنگ‌های به کار رفته در ازاره ساختمان شماره ۲ دارای بافت پورفیری با خمیره تمام بلورین است که بلورهای درشت اولیه آن را اکثراً پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول تشکیل داده‌اند. مطالعات آزمایشگاهی و بررسی کانی‌ها نشان دهنده‌ی طبیعت تخریبی سنگ‌های فوق به واسطه‌ی حضور کانی‌هایی چون کائولینیت به میزان ۲ ٪ – مستعد تورم و اعمال فشار مکانیکی بر ریز ترک‌ها–، حضور ۳٪ کلسیت – مستعد انحلال و افزایش تخلخل سنگ به مثابه عامل تخریب فیزیکی – و حضور کانی هماتیت – مستعد هوازدگی شیمیایی و تغییر فاز به کانی لیمونیت، که با تغییر رنگ و افزایش حجم همراه است، واکنش‌های تخریبی فوق در ساختار کانیایی سنگ به همراه عوامل هوازدگی چون یخ برشدن و خیس و خشک شدن به علاوه حجم بار طبقات ساختمان بر روی سنگ موجب تشدید فرآیند تخریب در ردیف پایینی ازاره گردیده است.

۵ – نتیجه‌گیری

در شهر تبریز استفاده از سنگ‌های بادکوبه‌ای از جنس تراکیت در بناهای که در اوایل قاجار ساخته شده رواج داشته و برای نمای بیرونی بنا بکار برده شده است. بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته نشان داد که کاربرد این‌گونه از سنگ در ساخت پی، دیوار بناهای تبریز در دوران اواخر قاجار– اوایل پهلوی همانند ساختمان شهرداری در میدان ساعت، ساختمان سازمان میراث فرهنگی و ازاره‌ی مسجد کبود و خانه‌ی لاله‌ای‌ها و خانه‌ی گنجه‌زاده رواج بسیار داشته است. با توجه به مطالب ارائه شده در تحقیق به نظر می‌رسد مطالعات آینده در راستای نگهداری میراث ارزشمندی که از سنگ تراکیت محلی در شهر تبریز و بناهای شمال غرب کشور ساخته شده است؛ بایستی بر راهکارهای حفاظت و مرمت آن متمرکز گردند. بخصوص در این زمینه توصیه به سوق دهی مطالعات به طرف درمان‌های ضد آب با استفاده از استحکام بخش‌های مناسب با توجه به ساختار مستعد سنگ‌های تراکیت برای هوازدگی مکانیکی و هوازدگی شیمیایی در شرایط اقلیمی شمال غرب است.

سپاسگزاری

مقاله فوق حاصل مطالعات پایان‌نامه کارشناسی: سحر احمد خان بیگی با عنوان حفاظت و مرمت بخشی از ازاره سنگی ساختمان چرم‌سازی تبریز. به راهنمایی مهدی رازانی است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده مرمت آثار تاریخی و باستان‌سنجی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام شده است؛ از این رو نگارندگان بر خود واجب می‌دانند از راهنمایی‌ها و زحمات اساتید محترم آقایان نژاد ابراهیمی، نارَنگی

و همچنین از کمک‌های در خور توجه دوستان گرامی به ترتیب آقایان: بابک احمدخان بیگی، جاوید سلطانی، مرتضی پورعوض و پرسنل مقاوم‌سازی ساختمان شماره ۲ شرکت ناب طرح و گروه مرمت آثار تاریخی و باستانسنجی دانشگاه هنر اسلامی تبریز سپاسگزاری نمایند.

پی نوشت‌ها:

۱. سنگ سرتراشی است که بنا به سفارش، دور تا دور سطح نمای آن را به عرض ۱/۵ cm تا ۳، باقلم، تراش می‌دهند (چفت)، و بقیه سطح نمای سنگ را که می‌تواند برجسته‌تر از قسمت قلم تراش شده دور سنگ باشد، تیشه‌داری می‌کنند. حداکثر مجاز این برجستگی (بار سنگ) ٤ cm خواهد بود. به چنین سنگی، علاوه بر بادکوبه‌ای، «سنگ رگه‌ای کلنگی لبه فتیله‌ای» نیز می‌گویند (دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، ۱۳٦۲، ۱۱ الی ١٤).

2-Thin Section Petrography.

3-Rate of Absorption of Water by Hydraulic.

٤ . دستورالعمل این آزمایش از کتاب راهنمای آزمایشگاهی برای حفاظتگران بنا نوشته‌ی تیتونیکو، جین ماری. ۱۳۸۵. ترجمه‌ی منیژه هادیان دهکردی. تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت میراث فرهنگی با همکاری نشر هادیان. [نسخه اصلی ۱۹۸۸] برداشته شده است.

۵ . دستورالعمل این آزمایش از کتاب آزمایشهای مکانیک سنگ – مبانی نظری و استانداردها (آزمون های صحرایی) نوشته‌ی احمد فهیمی‌فر و حامد سروش. ۱۳۸۰. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر برداشته شده است .

٦ . دستورالعمل این آزمایش از کتاب راهنمای آزمایشگاهی برای حفاظتگران بنا نوشته‌ی تیتونیکو، جین ماری. ۱۳۸۵. ترجمه‌ی منیژه هادیان دهکردی. تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت میراث فرهنگی با همکاری نشر هادیان. [نسخه اصلی ۱۹۸۸] برداشته شده است.

۷ . دستور العمل آزمایش مذکور بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ١٤٩٥٩ که بر اساس استاندارد ASTM BS EN 12371: 2010, Natural stone - Determination of frost resistance - Test method تنظیم شده است.

6. Microscopic Thin section.

۸ .دستورالعمل این آزمایش از کتاب راهنمای آزمایشگاهی برای حفاظتگران بنا نوشته‌ی تیتونیکو، جین ماری. ۱۳۸۵. ترجمه‌ی منیژه هادیان دهکردی. تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت میراث فرهنگی با همکاری نشر هادیان. [نسخه اصلی ۱۹۸۸] برداشته شده است.

۹ . دستورالعمل این آزمایش از کتاب آزمایشهای مکانیک سنگ – مبانی نظری و استانداردها (آزمون‌های صحرایی) نوشته‌ی احمد فهیمی‌فر و حامد سروش. ۱۳۸۰. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر برداشته شده است .

۱۰. این اصطلاح برای سنگ‌های آذرینی به کار برده می‌شود که از نظر میزان SiO2 بین سنگ‌های اسیدی و بازی قرار می‌گیرند. محدوده سیلیکا برای سنگ‌های حد واسط را بین ۵۲ تا ٦٦ ٪ وزنی تعیین شده است. سنگ‌های حد واسط کمتر از ۲۰ ٪ کوارتز داشته و عمدتاً از پلاژیوکلاز و فلدسپات تشکیل شده‌اند (فاضل ولی‌پور، ۱۳۸۹، ۷۸).

۱۱ .بافت پورفیری بافتی است که کانی‌های درشت یا فنوکریست‌ها در زمینه یا خمیره‌ای از کانی‌های ریز قرار داشته باشند (فاضل ولی‌پور، ۱۳۸۹، ۷۹).

۱۲. سینیت سنگ آذرین درونی، دانه درشت و روشن، دارای کانی‌های مافیک از نوع کلینوپیروکسن، هورنبلند، بیوتیت و در برخی مقاطع الیوین و کانی‌ها روشن از نوع فلدسپات آلکالن، با مقدار کمتر از

۵ ٪ کوارتز و یا بدون کوارتز، کمتر از ۵ ٪ فلدسپاتوئید و مقدار اندکی پلاژیوکلاز است (فاضل ولی‌پور، ۱۳۸۹، ۷۸).

منابع:

پرونده ثبت بنای چرم سازی خسروی (۱۳۷٦) شماره‌ی ثبت در فهرست آثار ملی ۲۷۹۱.
http://iranshahrpedia.ir. (۱۳۹۱/۱۲/۱۹ .(دسترسی در تاریخ

تیتونیکو، جین ماری.(۱۳۸۵). راهنمای آزمایشگاهی برای حفاظتگران بنا. ترجمه‌ی منیژه هادیان دهکردی. تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت میراث فرهنگی با همکاری نشر هادیان. [نسخه اصلی۱۹۸۸]

دفتر تحقیقات و معیارهای فنی. (۱۳٦۲).دیوارهای سنگی. سازمان برنامه و بودجه. نشریه شماره۹۰. دسترسی در تاریخ (۱۳۹۲/۰٤/۰۸).
http://S2.picofile.com/file/7202665585/Code90.pdf.html.

دفتر فنی و نظارت بر طرح‌های عمرانی دانشگاه هنر اسلامی تبریز. ۱۳۸۲. نقشه‌های معماری دانشگاه هنرهای زیبای تبریز و مستندسازی فعالیت‌های مرمتی مجموعه چرم خسروی. آرشیو دفتر فنی دانشگاه هنر اسلامی تبریز (دانشگاه هنرهای اسلامی تبریز).

سازمان ملی استاندارد ایران.(۱۳۹۰). سنگ‌های ساختمانی، تعیین جذب آب و وزن مخصوص – روش آزمون. شماره استاندارد ۵٦۹۹. تاریخ تدوین ۱۳۹۰. چاپ اول.

سازمان ملی استاندارد ایران.(۱۳۹۲). مصالح سنگ طبیعی تعیین مقاومت در برابر یخزدگی. روش آزمون. شماره استاندارد ۱٤۹۵۹. تاریخ تدوین: فروردین چاپ دوم.

سایت رسمی دانشگاه هنر اسلامی تبریز.(۱۳۹۳). دسترسی در تاریخ ۱۳۹۳/۰٤/۰۸ . در دسترس به آدرس: https://tabriziau.ac.ir.

سرابی، فریدون. اسد ایران‌پناه. و سیروس زرعیان. (۱۳۸۵). سنگ‌شناسی (جلد اول). تهران: دانشگاه تهران.

فاضل ولی‌پور، محمد ابراهیم، و جواد قدسی.(۱۳۸۹). پتروگرافی و اطلس سنگ‌های آذرین. مشهد: دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، سخن گستر.

فهیمی‌فر، احمد. و حامدی، سروش.(۱۳۸۹). آزمایش‌های مکانیک سنگ. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

قریب، عبدالکریم.(۱۳۸۸). شناخت سنگ‌ها با نگاهی ویژه به سنگ‌های ایران (جلد اول). تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.

قسمتی، باقر، مهین منافی، جواد درستکار، موسی کریمی، و بهمن کارگر.(۱۳۹۱) . استان شناسی آذربایجان غربی (اجرای آزمایشی). تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران.

کنراد بی، کراسکف، و دنیس کی، برد. (۱۳۷۷). مبانی زمین شیمی. ترجمه‌ی دکتر فرید مر، سروش مدبری. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

نژآد ابراهیمی، احد،(۱۳۹۲.آذر ماه) مصاحبه حضوری با سحر احمد خان بیگی، دانشکده معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.