



ساختارشناسی سنگ‌های خاکستری سیاه پایه ستون‌های کاخ هخامنشی چرخاب برازجان

I مهدی رازانی

II شاهرخ شهرسبزی

III مسعود باقرزاده کثیری

VI سیدمحمد امین امامی

نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۸۲-۷۱
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳
شناسه دیجیتال (DOI): 10.30699/PJAS.4.13.71

چکیده

آثار پایه ستون‌های سنگی هخامنشیان به واسطه وسعت قلمرو فرمانروایی، در مناطق مختلف ایران به ثبت رسیده است. بقایای این سبک معماری را در مجموعه آثار: پاسارگاد، تخت جمشید، نقش رستم، لیدوما و ثمببت در فارس، آثار شوش در خوزستان، آثار سنگی هگمتانه در همدان، کاخ ریوی در استان خراسان شمالی و مجموعه کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان در استان بوشهر، می‌توان ملاحظه کرد. معادن استخراج سنگ‌های این بناها عمدتاً محلی تشخیص داده شده‌اند؛ با این حال، در استان بوشهر از دو معدن باستانی «پوزه پلنگی راهدار» و «تنگ‌گیر برازجان» می‌توان نام برد که از معدن پوزه پلنگی بیشترین استخراج و به‌کارگیری سنگ‌های سفید کرم‌رنگ برای کاخ‌های منطقه برازجان به ثبت رسیده است. مهم‌ترین پرسش‌های پژوهش پیش‌رو عبارتند از: این‌که، ساختارشناسی و ارتباط میان سنگ‌های سیاه-خاکستری به‌کاررفته در معماری هخامنشی کاخ‌های برازجان چیست؟ اما جهت ساختارشناسی سنگ خاکستری-سیاه کاخ هخامنشی چرخاب برازجان، نمونه‌های این نوع سنگ از کاخ چرخاب برداشت گردید که این نمونه‌ها با نمونه‌های سنگ خاکستری-سیاه کاخ‌های بردک سیاه و سنگ سیاه برازجان مورد مقایسه قرار گرفتند. با بررسی‌های پتروگرافی مقاطع نازک به دست آمده از کاخ‌ها و آنالیز شیمیایی XRD و XRF روند ساختارشناسی نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان وارد مرحله تازه‌ای گردید. نتایج مطالعات پتروگرافی حاکی از آن است که نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ چرخاب با نمونه کاخ سنگ سیاه و بردک سیاه با توجه به زمینه میکرواسپارایتی تا اسپارایتی و مقدار کم میکرایت، همچنین ساختار لایه لایه‌ای، با یکدیگر مطابقت دارند. همچنین ارزیابی نمونه‌های آنالیزی XRD و XRF این سنگ‌ها حاکی از آن است که نمونه‌های کاخ چرخاب و سنگ سیاه یکسان هستند. با توجه به این‌که رد معدن کاری برای سنگ‌های خاکستری-سیاه در استان بوشهر تاکنون یافت نشده؛ بنابراین می‌توان ادعا کرد که این سنگ‌ها از یک معدن غیرمحلی ناشناخته، استحصال و استخراج شده‌اند.

کلیدواژگان: برازجان، کاخ چرخاب، کاخ بردک سیاه، کاخ سنگ سیاه، پتروگرافی، XRF، XRD.

I. استادیار، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز. ایران (نویسنده مسئول).

m.razani@tabriziau.ac.ir

II. کارشناس ارشد باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز. ایران.

III. دانشیار، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز. ایران.

IV. دانشیار، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

مقدمه

سواحل خلیج فارس، به ویژه ناحیه بندر بوشهر و برازجان در عصر طلایی ایلام، یعنی اواخر هزاره دوم پیش از میلاد یکی از مراکز مهم دادوستد و واسطه راه دریایی شوش و هندوستان بوده است (سرفراز، ۱۳۸۹: ۳۴). پارسیان در جنوب غربی ایران از جمله در انشان، پاسارگاد و نواحی دیگر، مسکن گرفته بودند (شاپور شهبازی، ۱۳۷۹: ۱۹). در دوره تاریخی، ایلامیان و پارسیان، اولین اقوامی هستند که در سواحل خلیج فارس سکونت گرفته‌اند و به تدریج به ایجاد شبکه تجارته دریایی اقدام ورزیده‌اند (سرفراز، ۱۳۵۰: ۲۷). از جمله نواحی که هخامنشیان بر کرانه‌های آن تسلط داشتند و از این نزدیکی به دریا سود می‌جستند، نواحی حاصل خیز و گرمسیری دشتستان بوده است. آن‌ها در این نواحی برای خود مکان‌هایی آماده نمودند تا بتوانند ایام زمستان را در آن‌ها سپری نمایند (سرفراز، ۱۳۸۹: ۳۴). بنای کاخ چرخاب در برازجان به علت تشابه فراوان آن با کاخ اختصاصی کوروش در پاسارگاد، به کاخ زمستانی کوروش هخامنشی شهرت یافته است؛ اما گذر زمان و وقوع سیلاب‌های فصلی این بنا را پس از ویرانی، در لایه‌های خاک پوشاند. تا این‌که در سال ۱۳۵۰ ه.ش. در عملیات خاک برداری برای انتقال آب به شهر بوشهر، شال ستون صیقلی و سیاه‌رنگ توسط بیل مکانیکی از دل خاک بیرون کشیده شد (سرفراز، ۱۳۵۰: ۲۷).

در این مقاله سعی شده است که ضمن ساختارشناسی پایه‌ستون‌های خاکستری-سیاه کاخ هخامنشی چرخاب برازجان، مقایسه‌ای بین نمونه سنگ‌های کاخ‌های بردک‌سیاه و سنگ‌سیاه برازجان نیز صورت گیرد تا امکان برداشت سنگ‌های موردنظر از یک معدن یا معادن متفاوت بررسی شود.

پرسش‌های پژوهش: پرسش‌های پژوهش عبارتند از: ساختارشناسی سنگ‌های سیاه-خاکستری به‌کاررفته در معماری هخامنشی کاخ‌های برازجان چیست؟ ارتباط ساختارشناسانه میان سنگ‌سیاه-خاکستری در کاخ‌های هخامنشی برازجان (چرخاب، بردک‌سیاه و سنگ‌سیاه) چیست؟ براساس مطالعات کنونی چه نظری می‌توان در رابطه با معادن کاخ‌های هخامنشی برازجان بیان نمود؟

روش پژوهش: در این پژوهش، نمونه برداری از سنگ‌های تاریخی کاخ‌های موردنظر صورت گرفت. این سنگ‌ها از بافت تاریخی کاوش شده به‌دست آمده و صحت ارتباط آن‌ها با نمونه‌های تاریخی تراش‌خورده مورد تأیید است. این سنگ‌ها پس از کدگذاری و آماده‌سازی برای آزمایش آماده شدند. روند آزمایشگاهی پتروگرافی و روش‌های آنالیزی XRD و XRF جهت ساختارشناسی سنگ‌های خاکستری-سیاه پایه‌ستون کاخ چرخاب برازجان استفاده شده است. در این میان استفاده از روش مطالعه مقطع نازک برای مشاهده کانی‌ها و تطبیق نمونه‌ها با میکروسکوپ نوری- عبوری پلاریزان OLYMPUS مدل BX51 ژاپن، باقابلیت فیلترشدن نور در حالت XPL آنالیزور و تابیده شدن نور قطبیده انجام گرفت. برای این منظور، ۵ نمونه سنگ تاریخی از کاخ‌های هخامنشی برداشت شد و مقاطع نازکی در حد (۰/۰۳ mm) توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شمال غرب کشور در تبریز تهیه گردید تا بافت نمونه‌ها در نور معمولی (PPL) و نور قطبیده (همگرا) (XPL) مطالعه شود. آزمایش‌های XRD جهت شناسایی و تشخیص فازهای بلورین تشکیل‌دهنده در نمونه‌های مطالعاتی و تعیین کیفی و نیمه‌کمی بلورها به‌روش پودری (با لامپ پرتو ایکس با هدف از جنس مس (Cu) با حداکثر اختلاف پتانسیل ۴۰ KV و حداکثر شدت جریان ۳۰ mA، نمونه ثابت و آشکارساز سوزن) در آزمایشگاه بیم‌گستر تابان تهران بر روی ۳ نمونه از سنگ‌های تاریخی کاخ‌ها به انجام رسید. نتایج توسط نرم‌افزار High Score Plus تحلیل شدند. آزمایش‌های XRF جهت شناسایی و تعیین کمی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌های مطالعاتی کاخ‌های هخامنشی به‌روش پودری و با دستگاه مدل: PW1410 ساخت: شرکت PHILIPS هلند

در آزمایشگاه بیم‌گستر تابان تهران بر روی همان ۳ نمونه انجام گرفت؛ همچنین داده‌های خام حاصل از آنالیز به صورت نمودار ترسیم شده است. در جدول ۱، کدگذاری و مشخصات نمونه‌های کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان مشاهده می‌شود.

جدول ۱. کدگذاری و معرفی نمونه‌های کاخ‌های منطقه برازجان و آزمایش‌های انجام شده بر آن‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Typical examples of palaces and mines	Abbreviation	Experiments performed
Charkhab Palace – Sample 1 Gray–Black	CH Palace 1 (CH 1)	Petrography
Charkhab Palace – Sample 2 Gray–Black	CH Palace 2 (CH 2)	Petrography
Charkhab Palace – Sample 3 Gray–Black	CH Palace 3 (CH 3)	Petrography, XRD and XRF
Bardak siah Palace – Sample 1 Gray–Black	BS Palace 1 (BS 1)	Petrography, XRD and XRF
Sang Siah Palace _ Sample 1 Gray–Black	SS Palace 1 (SS 1)	Petrography, XRD and XRF

پیشینه پژوهش

شهر برازجان در ۶۷ کیلومتری بوشهر و در فاصله ۲۲۶ کیلومتری شیراز واقع شده است (فراشبندی، ۱۳۳۶). متعاقب کشف قطعه‌ای از یک پایه ستون سنگی به هنگام حفر کانال آب در شهرستان برازجان به سال ۱۳۵۰ ه.ش.، اداره کل پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران به «علی اکبر سرفراز» که در آن زمان سرپرستی هیأت باستان‌شناسی ایرانی در حفاریات شهر بیشاپور را برعهده داشت، مأموریت داد تا محل کشف این اثر را مورد کاوش قرار دهد؛ بنابراین عملیات باستان‌شناسی در این محوطه باستانی آغاز و در پایان یک فصل کاوش، فرم اصلی و اسکلت تالاری ستون دار نمایان گردید (سرفراز، ۱۳۵۰: ۲۷). در مقاله‌ای تحت عنوان «تحلیل فضایی کاخ‌های هخامنشیان در برازجان» به ویژگی‌های ظاهری، موقعیت و اشیاء به دست آمده از این محوطه‌ها پرداخته شده که تا حدی نشان دهنده تنوع آثار به دست آمده و ضرورت پژوهش در رابطه با آن‌ها است (ابراهیمی، ۱۳۸۶). در کتابی با عنوان: فرضیه خاستگاه راستین هخامنشیان بر پایه کاوش‌های باستان‌شناسی به امکان توجه به دلایل و نشانه‌های حضور هخامنشیان در ناحیه دشتستان، به ویژه اطراف برازجان پرداخته شده است (یغمایی، ۱۳۹۷). در مقاله‌ای براساس بررسی ژئوآرکئولوژی فیزیک، محوطه چرخاب برازجان معرفی شده است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۹). در یک مطالعه دیگر با عنوان «بررسی ماکروسکوپی و میکروسکوپی ستون‌های سنگی کاخ هخامنشی و معدن باستانی پوزه پلنگی راهدار» اطلاعاتی در خصوص تعیین منشأ پایه ستون‌های سنگی کاخ هخامنشی بردک سیاه در ۱۵ کیلومتری شمال غرب برازجان صورت گرفته است (جعفری، ۱۳۸۴: ۳۶۵). در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی تأثیرات ملایم سیمان در مرمت آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید» به کارگیری سنگ‌های سیاه صیقلی در کاخ تچر، تالار آیینه و صدستون و مجموعه کاخ‌های هخامنشی در استان بوشهر عنوان شده است (عابدی‌اصفهانی و هراتی اردستانی، ۱۳۶۷: ۸۴). در نتایج برآمده از مقاله‌ای تحت عنوان «آسیب‌شناسی سنگ‌های سیاه مجموعه پاسارگاد و پیشنهاد راه حل حفاظتی»، این‌گونه نقل شده که معادن استخراج سنگ‌های سفید آهکی در پاسارگاد شناسایی شده و ابهامی در مورد معادن این‌گونه سنگ‌ها وجود ندارد؛ همچنین در مورد سنگ‌های ماسه‌آهکی که در زیرسازی‌ها و آبراه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، معدنی در منطقه شناسایی شده که به نام «معدن تنب کرم (کوه الماس بری)» مشهور است. اما در مورد معادن سنگ سیاه در منطقه، کاوش‌های زیادی

انجام گرفته و هنوز معدنی یافت نشده است که با سنگ‌های سیاه بنای مذکور متناسب باشد و این سنگ‌های سیاه هیچ‌گونه همگونی و مشابهتی با سنگ‌های کوه‌های اطراف ندارد (شیروانی و عابد اصفهانی، ۱۳۷۸: ۱۷۱). اما در مقاله‌ای دیگر با عنوان «تعیین مشخصات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی و منشأیابی سنگ‌های استفاده شده در مجموعه پاسارگاد در یک چشم‌انداز جدید»، نمونه‌برداری از سنگ‌های آهکی مقبره کوروش بزرگ، تُل تخت، کاخ‌ها و دیگر ملحقات مجموعه انجام شد. سپس با نمونه‌های سنگ معادن مهم آن منطقه شامل معادن: احمدبیگی، سرپنیران، ابولوردی و سیوند، مورد مقایسه قرار گرفتند (Amin Emami et al., 2018). همچنین در مقاله‌ای تحت عنوان «مطالعات نو درباره سنگ‌شناسی مجموعه بناهای تخت جمشید و معادن سنگ هخامنشی منطقه مرودشت» که براساس مطالعات باستان‌شناختی و نتایج سنگ‌شناختی انجام شده، معتقد بودند که معدن سنگ سیوند واقع در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی تخت جمشید، محل استخراج سنگ‌های تخت جمشید است؛ با این حال ادعای مذکور فقط بر پایه شواهد عینی و بدون آزمایش علمی متکی بود. این پژوهش توسط علی احمدی کارشناس باستان‌شناسی مجموعه تخت جمشید انجام شده و منتشر نشده است. ازسوی دیگر، آزمایش‌های علمی سنگ‌شناختی مجموعه بناهای تخت جمشید نتایج کاملاً متفاوتی را با آن چه تا امروز باور داشته‌ایم، نشان داده است؛ همچنین معادن استحصال و استخراج سنگ‌های به‌کاررفته در بنای تخت جمشید را که شامل پنج معدن فعال: سیوند، معادن کوه رحمت، کوه حسین، مجدآباد و گندشلو در عصر هخامنشی بوده، تشریح نموده است (امان‌اللهی، ۱۳۸۳: ۱۲۲). همچنین در مقاله «فن‌شناسی سنگ‌های سیاه کاخ‌های دوران هخامنشی در مجموعه میراث جهانی پاسارگاد»، براساس ساختارشناسی سنگ با روش‌های آنالیزی XRD و پتروگرافی بررسی سنگ‌های سیاه به‌کاررفته در بناهای مجموعه کاخ‌ها انجام شده است (شیروانی، ۱۳۹۶: ۱۴۹). در مقاله‌ای تحت عنوان «سنگ‌شناسی بناهای تاریخی پاسارگاد و معادن مربوط» با استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی نوری، پتروگرافی نمونه‌های سنگی کاخ‌های مجموعه پاسارگاد انجام گردیده که با نمونه سنگ معادن سیوند و ابوالوردی خصوصیات مشترک دارند (سعیدی، ۱۳۹۶: ۶۷)؛ همچنین در مقاله‌ای با عنوان «امکان سنجی کاربرد دو نمونه نانو کامپوزیت آکرلیک/سیلان و نانوذرات رس در استحکام بخشی سنگ سیاه پاسارگاد»، نمونه‌های سنگی خاکستری مایل به سیاه کاخ اختصاصی کوروش و کاخ بارعام مورد آزمون XRD و XRF قرار گرفته است (عطاری و همکاران، ۱۳۹۶: ۸۷).

در مقاله‌ای تحت عنوان «شناسایی ساختار شیمیایی و ارزیابی الگوهای تخریب در سنگ‌های محوطه میراث جهانی پاسارگاد»، به روند شناسایی و معرفی سه نوع سنگ به‌کاررفته در محوطه پاسارگاد، اشاره شده است (شکفته و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۷). ته‌ستون‌ها، جزو اصلی در بنا محسوب شده و تناسب ظاهری خاصی بین ته‌ستون‌ها و ستون و در نهایت سرستون‌ها برقرار است و تنوع فراوان دارند؛ با این حال در بناهای هخامنشی انواع مختلفی از پایه‌ستون‌ها مشاهده می‌شود که در مقالاتی تحت عناوین «ستون، نماد قدرت در معماری هخامنشی» (میبینی و دادور، ۱۳۹۰: ۸۱) و «نگرشی بر جایگاه ستون در معماری هخامنشی» تشریح شده‌اند (فیروزمندی شیره‌جینی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۸)؛ همچنین پایان‌نامه‌ای تحت عنوان «بررسی‌های آرکئومتریکی سنگ‌های سیاه تمدن جیرفت» منشأیابی سنگ‌های نرم و کنده‌کاری شده منطقه جیرفت و شناسایی معادن مربوطه با روش‌های آزمایشگاهی به انجام رسیده است (رازانی، ۱۳۸۸). در مقاله‌ای دیگر تحت عنوان «آنالیز باستان‌سنجی از پایه‌ستون‌های هگمتانه برای معین کردن منابع و منشأ آنان» به تعیین منشأ پایه‌ستون‌های هگمتانه و بررسی معادن باستانی موجود پرداخته‌اند؛ در این مقاله دو معدن «خورزنده» و «فرهادتاش» بررسی شده است (Reshidi-Nejad et al., 2012: 197). در مقاله‌ای با عنوان «استفاده از سنگ‌های گرانیتی از کالبریا (Calabria) (جنوب ایتالیا) در دوران قدیم، تعیین

مشخصات پتروگرافی و ژئوشیمیایی معادن باستانی دوران روم، به استخراج این سنگ‌ها از معادنی همچون «گیگلیو» (Giglio)، «آلبا» (Elba) که با عنوان «ویکیو گرانیتلو» (Vecchio Granitello) شناخته می‌شوند، اشاره شده است (Cirrincione, et al., 2006: 289).

موقعیت کاخ‌های باستانی شهرستان دشتستان (برازجان)

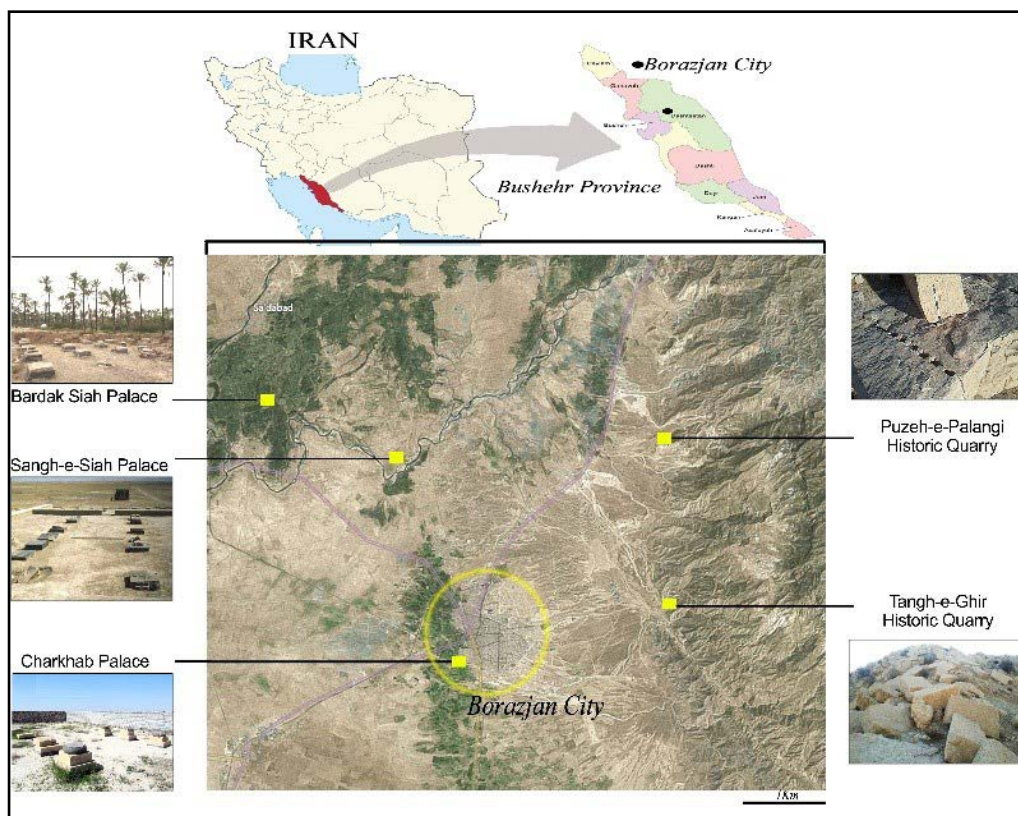
کاخ چرخاب برازجان در فاصله یک کیلومتری جنوب غرب برازجان و در میان نخلستان‌ها واقع است. محوطه کاخ سنگ سیاه در حدود ۱۰ کیلومتری شمال کاخ چرخاب و در میانه راه برازجان به روستای نظرآقا قرار دارد. محوطه کاخ بردک سیاه در ۱۵ کیلومتری شمال غرب کاخ چرخاب و در میان نخلستان‌های انبوه روستای دورودگاه قرار دارد. در جدول ۲، موقعیت دقیق جغرافیایی کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان نشان داده شده است. بر این اساس، موقعیت کاخ‌ها در تصویر ۱، بازنشانی شده است. پایه ستون‌های کاخ چرخاب از نوع مکعبی دوپله‌ای با شال ستون مدور سیاه بدون شیار است که منحصربه‌فرد بوده و تنها در کاخ (چرخاب) برازجان دیده شده است (سرافراز و فیروزمندی، ۱۳۸۳: ۲۱۶). در پله اول از دو نوع سنگ خاکستری سیاه و سفید کرم‌رنگ هم‌اندازه استفاده شده است. پایه ستون کاخ سنگ سیاه از نوع مکعبی سه‌پله‌ای بوده که ابعاد آن چندان تفاوتی با کاخ چرخاب ندارد، ولی پله اول فقط از سنگ سیاه استفاده شده و پله دوم با ابعاد کوچک‌تر بر روی پله اول قرار دارد. پله دوم سنگ سفید کرم‌رنگ بوده و بر روی آن اثری از سنگ پله سوم و نوع رنگ آن مشاهده نمی‌شود، ولی با توجه به تراش مشاهده شده بر روی پله دوم که محل قرارگیری سنگ پله سوم را مشخص می‌کند، ابعاد مربع شکل پله سوم مشخص می‌شود. پایه ستون‌های کاخ بردک سیاه از نوع مکعبی دوپله‌ای بوده که همانند کاخ چرخاب، در پله اول از دو نوع سنگ خاکستری سیاه و سفید کرم‌رنگ هم‌اندازه استفاده شده و پله دوم با ابعادی کوچک‌تر بر روی پله زیرین قرار دارد. بر بالای سنگ سفید-کرم‌رنگ پله دوم، شال مدور شیاردار قرار دارد که از نوع سنگ سفید کرم‌رنگ است. نسبت اندازه پایه ستون کاخ‌های هخامنشی در تصویر ۲ قابل مشاهده شده است.

جدول ۲. موقعیت دقیق کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان (نگارندگان، ۱۳۹۸).

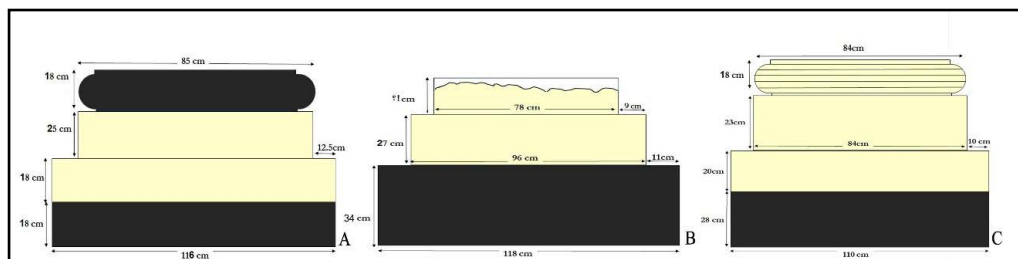
N	E	موقعیت دقیق کاخ‌ها
۲۹ ۱۵' ۲۶. ۹۶"	۵۱ ۱۱ ' ۱۹. ۷۹"	کاخ چرخاب
۲۹ ۲۰' ۱۷. ۴۹"	۵۱ ۹ ' ۴۷. ۳۴"	کاخ سنگ سیاه
۲۹ ۲۱' ۱۴. ۷۴"	۵۱ ۶' ۳۴. ۴۴"	کاخ بردک سیاه

سنگ‌شناسی و آنالیزهای شیمیایی (الف) نتایج پتروگرافی

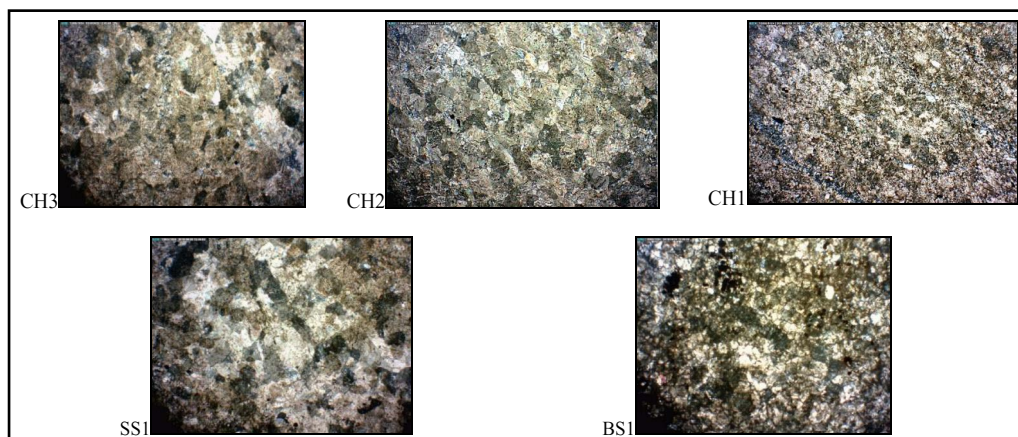
سنگ‌های خاکستری سیاه هر سه کاخ هخامنشی چرخاب (CH1، CH2، CH3)، بردک سیاه (BS1) و سنگ سیاه برازجان (SS1) آهکی بوده و در تماس با اسیدکلریدریک ۱/۱ نرمال می‌جوشند. این سنگ‌های کربناته با بافت میکرواسپارایتی تا اسپارایتی و به مقدار کم میکرایتی بوده و دارای دانه‌های کوارتز کمی هستند (تصویر ۳). ساختار لایه‌لایه‌ای در اسکن سطحی در هر پنج نمونه دیده می‌شود. رگه‌های کلسیت و یا کلسیتی شدن در هر پنج نمونه دیده می‌شود (تصویر ۴).



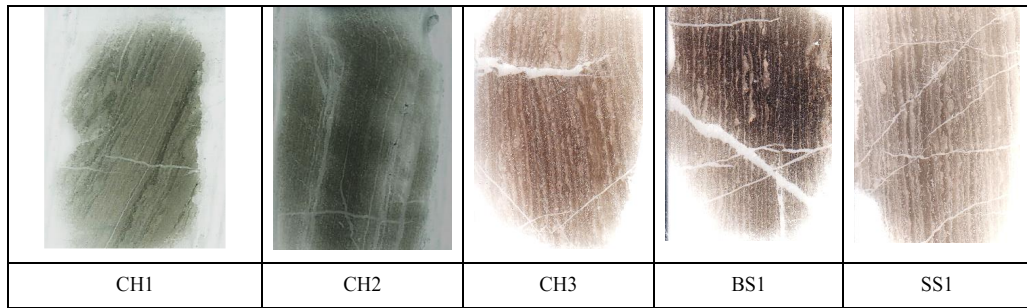
تصویر ۱. موقعیت کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان و تصاویر مربوط (نگارندگان، ۱۳۹۸).



تصویر ۲. مقایسه اندازه‌های به دست آمده پایه‌ستون کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان (نگارندگان، ۱۳۹۸).



تصویر ۳. مقاطع نازک سنگ‌های خاکستری سیاه کاخ‌های هخامنشی با بزرگ‌نمایی ۴X و اندازه عرض ۱/۳۷ mm با نور XPL میکرواسپارایتی و به مقدار کم میکرایتی (نگارندگان، ۱۳۹۸).



تصویر ۴. اسکن سطحی نمونه‌های پتروگرافی مقاطع نازک کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان (نگارندگان، ۱۳۹۸).

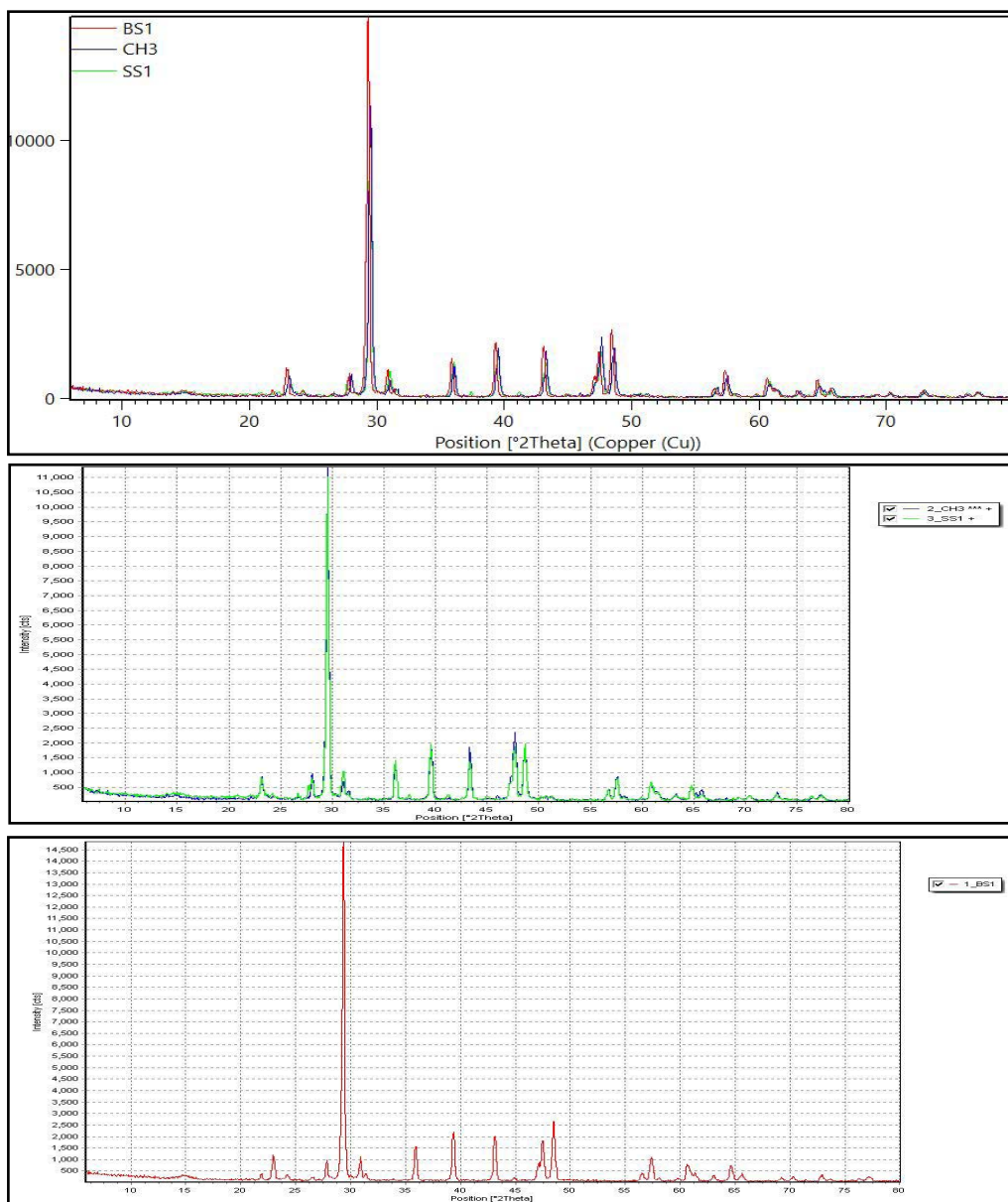
ب) آنالیز XRD نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان
 در تصویر ۵، طیف نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان که شامل نمونه‌های کاخ چرخاب برازجان (CH3)، بردک سیاه (BS1) و سنگ سیاه (SS1) می‌شود، مطابقت طیف‌های سنگ‌آهک یکسان مشاهده می‌شود؛ ولی براساس شدت پیک کلسیت در نمونه‌های کاخ چرخاب (CH3) و سنگ سیاه (SS1) که عدد ۱۱۰۰۰ را نشان می‌دهد، در یک گروه قرار گرفته و نمونه (BS1) با شدت پیک کلسیت فراتر از ۱۴۰۰۰ جدا از گروه دیده می‌شود. جدول ۳، بررسی‌های ترسیم فضایی PCA نمونه‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی را نشان می‌دهد که نمونه‌های CH3 و SS1 در یک مجموعه قرار گرفتند و نمونه کاخ BS1 در بیرون از این مجموعه دیده می‌شود. خوشه‌بندی نمونه‌ها نیز همین روند را نشان می‌دهد (تصویر ۶).

جدول ۳. نتایج XRD نمونه‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان (نگارندگان، ۱۳۹۸).

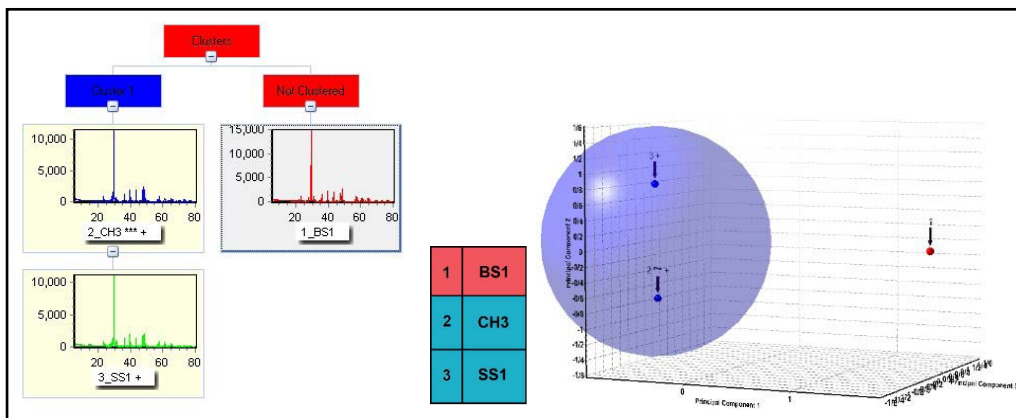
Compound Name	Calcium Carbonate	Silicon Oxide	Sodium Aluminum Silicate	Magnesium Silicate	Dolomite	Sodium Calcium Aluminum Silicate
Samples						
CH3	√	-	-	√	-	-
BS1	√	√	√	-	-	-
SS1	√	-	-	-	√	√
Chemical Formula	Ca (CO ₃)	Si O ₂	Na (Al Si ₃ O ₈)	Mg Si O ₃	C ₂ Ca ₄ Mg ₁ O ₆	(Na ,Ca) Al (Si ,Al) ₃ O ₈
Ref. Code	01-083-1762	01-071-0785	01-076-0898	00-019-0768	98-009-5464	00-041-1480

ج) آنالیز XRF

در آنالیز سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی، به علت این‌که تنها نمونه‌های کاخ‌ها در دسترس هستند و معدن احتمالی سنگ‌های خاکستری-سیاه در استان بوشهر تاکنون گزارش نشده است، فقط نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌ها با هم مقایسه شده‌اند؛ بر این اساس اکسید عناصر اصلی همچون: TiO₂، P₂O₅، CaO، SiO₂ و MgO مقادیر شاخصی را در جدول از خود نشان می‌دهند که این مقادیر در نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی، به هم نزدیک هستند و یک شاخص خوب برای یکسان بودن، محسوب می‌گردد (تصویر ۷). مقادیر شاخص اکسید عناصر اصلی همچون: TiO₂، P₂O₅، CaO، SiO₂ و MgO در جدول داده‌های



تصویر ۵. نتایج حاصله از آنالیز XRD نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان (نگارندگان، ۱۳۹۸).



تصویر ۶. تصویر فضایی و خوشه‌بندی نمونه‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۸).

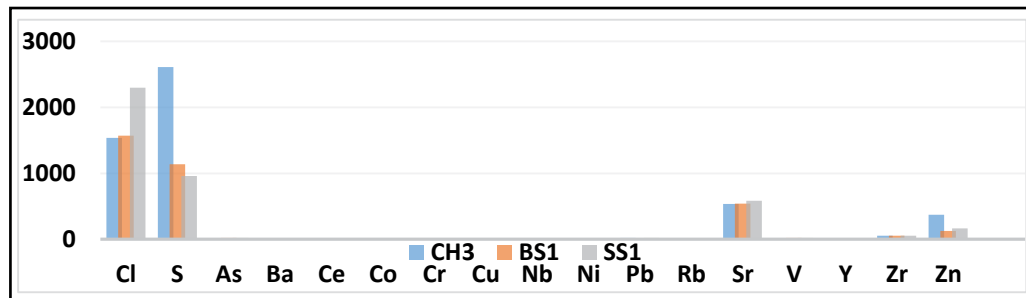
خام آنالیز XRF، (۴) و (۵) ملاحظه می‌شود که در تصویر ۸، این مقادیر شاخص، برحسب (%) سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های چرخاب (CH3)، بردک‌سیاه (BS1) و سنگ‌سیاه (SS1) را نشان می‌دهد. نمودار مقادیر اکسیدی: TiO_2 ، P_2O_5 ، CaO ، SiO_2 و MgO نمونه‌ها دارای

جدول ۴. اکسید عناصر اصلی موجود در نمونه‌های تاریخی کاخ‌ها به روش XRF (%) (نگارندگان، ۱۳۹۸).

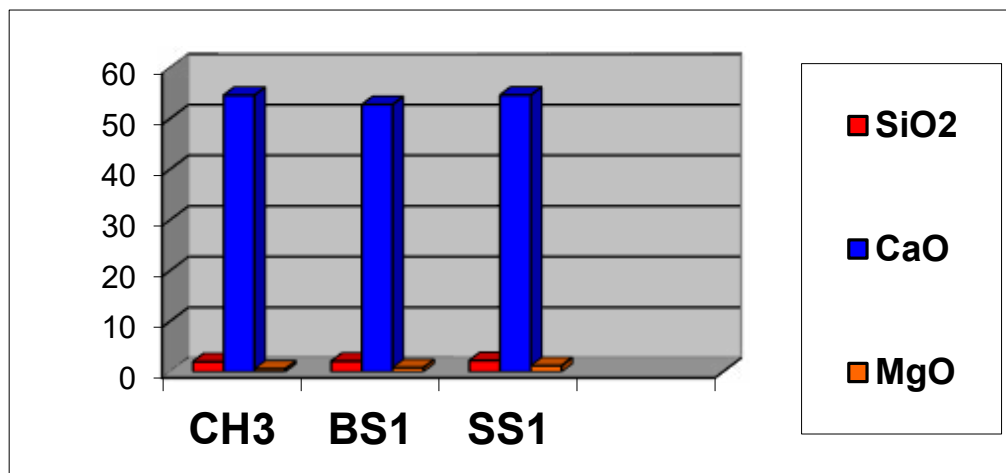
Samples	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI
CH3	2/021	0/229	0/668	54/588	0/402	0/576	0/028	0/039	0/041	0/035	41/21
BS1	2/111	0/238	0/77	52/757	0/342	0/832	0/051	0/037	0/047	0/043	41/87
SS1	2/24	0/307	0/247	54/622	0/471	1/233	0/022	0/04	0/063	0/045	40/5

جدول ۵. مقادیر عناصر فرعی موجود در نمونه‌های کاخ‌ها تحت آنالیز XRF برحسب ppm (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Samples	S	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zr	Zn	Mo
CH3	2612	13	10	-	1	-	-	-	-	20	15	535	14	6	54	373	-
BS1	1136	18	3	7	-	-	-	1	-	15	13	543	21	-	56	128	-
SS1	958	18	-	10	-	-	-	-	4	19	14	586	19	5	53	165	-



تصویر ۷. نتایج حاصله از آنالیز XRF نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی براساس مقادیر فرعی برحسب ppm (نگارندگان، ۱۳۹۸).



تصویر ۸. نتایج حاصله از آنالیز XRF نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی برحسب ترکیب عناصر شاخص اصلی برحسب درصد (نگارندگان، ۱۳۹۸).

مطابقت هستند؛ همچنین مقادیر عناصر فرعی (برحسب ppm) نمونه سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های چرخاب (CH3)، بردک‌سیاه (BS1) و سنگ‌سیاه (SS1) ملاحظه می‌شود که تطابق مقادیر اکسید عناصر یادشده، دیده می‌شود.

بحث و تحلیل

آن‌چه مشخص شد، بدین‌قرار است که سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی منطقه برازجان مشابهت زیادی با هم داشته و به‌نظر می‌رسد در دوره‌های غیر هم‌زمان، ساخت کاخ‌ها از یک معدن باستانی (نامشخص) که مورد توجه معماران هخامنشی بوده، استخراج شده‌اند؛ اما پژوهشی دیگر، سنگ‌های سیاه به‌کاررفته در بناهای پاسارگاد را با معادن هم‌جوار قابل تطبیق نمی‌داند و این نوع سنگ را انتقال یافته از مکانی دیگر می‌داند (شیروانی، ۱۳۹۶: ۱۴۹). با این حال در رابطه با معادن برداشت سنگ‌های سیاه در بناهای مجموعه پاسارگاد، معادن احمدیگی و سرپنیران به‌عنوان معادن استخراج سنگ سیاه پیشنهاد شده‌اند (Amin Emami et al., 2018). با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و علمی، و مقایسه نتایج این مقاله با نتایج مقالات پاسارگاد (Ibid) و تخت جمشید (عابدآصفهانی و هراتی‌اردستانی، ۱۳۸۷: ۸۴)، به‌خصوص ارتباط بین منابع استخراج سنگ‌های خاکستری-سیاه مجموعه آثار هخامنشی در منطقه برازجان از معادن فارس، به‌خصوص معدن کوه مجدآباد در اطراف تخت جمشید و معدن سرپنیران و احمدیگی در پاسارگاد منتفی است. وجود چند قطعه بزرگ تراشیده‌شده از این نوع سنگ در شرق کاخ هخامنشی چرخاب برازجان، مؤید این است که کاخ چرخاب مراحل ساخت خود را طی می‌کرده است؛ ولی این سنگ‌ها که در ۲۰۰ متری شرق کاخ روی زمین رها شده‌اند، نشان‌دهنده وجود کارگاه تراش سنگ‌های کاخ چرخاب یا بنای دیگری است که هنوز کاوش نشده است. این قطعات از زمین‌های کشاورزی هم‌جوار خارج، و به‌کناره راه ارتباطی بین مزارع منتقل شده است.

نتیجه‌گیری

مطالعات بر روی سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی نشان می‌دهند که تاکنون رد معدن‌کاری و یا رخنمون معدن این نوع سنگ در منطقه دیده یا گزارش نشده است؛ از این‌رو، به‌نظر می‌رسد که معادن محلی نبوده و سنگ‌ها از منابع دیگری تأمین شده‌اند و فرضیه مبتنی بر این‌که معدن سنگ‌های خاکستری-سیاه، محلی بوده باشد، منوط به مطالعات میدانی گسترده‌تر در آینده است. با توجه به مطالعات ساختار فیزیکی در پتروگرافی و آنالیز ساختاری این نوع سنگ و نمونه‌های هر سه کاخ مذکور، سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ چرخاب برازجان (CH3) و نمونه کاخ سنگ‌سیاه (SS1) شباهت بیشتری داشته و در آنالیز XRD در یک دسته قرار گرفته و سنگ خاکستری-سیاه بردک‌سیاه (BS1) جدا از این دسته قرار می‌گیرد. ساختار لایه‌لایه‌ای در تمامی نمونه‌های کاخ‌ها یکسان بوده و در آنالیز XRF با توجه به الگوهای به‌دست آمده، در یک سطح قرار می‌گیرند. در دسته سنگ‌های خاکستری-سیاه کاخ‌های هخامنشی، نسبت CaO بین ۵۴ الی ۵۵٪ است؛ بنابراین در خصوص جایگزینی کلسیت با دولومیت که بین ۰/۰۵ الی ۱/۲٪ است، به‌طور قطع دولومیتی شدن و جایگزینی صورت‌نگرفته و این مقادیر بین صفر و ۱۰٪ است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولین و دست‌اندرکاران دانشکده حفاظت آثار فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز که امکانات و شرایط را برای انجام این تحقیق فراهم آوردند، سپاسگزاری می‌شود.

کتابنامه

- ابراهیمی، نصرالله، (۱۳۸۶). «تحلیل فضایی کاخ‌های هخامنشیان در برازجان». پایان‌نامه کارشناسی ارشد باستان‌شناسی دانشگاه تهران (منتشرنشده).
- ابراهیمی، نصرالله؛ ده‌پهلوان، مصطفی؛ و محمدخانی، کوروش، (۱۳۹۹). «کاوش محوطه چرخاب برازجان براساس نتایج بررسی آرکئولوژیک». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، دوره ۴، شماره ۱۱، صص: ۹۰-۷۵.
- امان‌اللهی، حمید، (۱۳۸۳). «مطالعات نو درباره سنگ‌شناسی مجموعه بناهای تخت جمشید و معادن سنگ هخامنشی منطقه مرودشت براساس مطالعات باستان‌شناختی و نتایج سنگ‌شناختی». مجموعه مقالات سومین همایش باستان‌شناسان جوان ایران، تهران، صص: ۱۴۰-۱۲۲
- جعفری، سید محی‌الدین، (۱۳۸۴). «بررسی ماکروسکوپی و میکروسکوپی ستون‌های کاخ هخامنشی و معدن باستانی پوزه‌پلنگی راهدار». گزارش‌های باستان‌شناسی، شماره ۴، صص: ۲۶۵-۲۷۴.
- رازانی، مهدی، (۱۳۸۸). «بررسی‌های آرکئومتریکی سنگ‌های سیاه تمدن جیرفت». پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت‌گرایی اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان (منتشرنشده).
- سرفراز، علی‌اکبر، (۱۳۵۰). «کشف کاخی از عهد کوروش کبیر در ساحل خلیج فارس و گزارش بررسی‌های اولیه چرخاب برازجان». مجله باستان‌شناسی و هنر ایران، شماره‌های ۷ و ۸، صص: ۲۷-۲۹.
- سرفراز، علی‌اکبر؛ و فیروزمندی، بهمن، (۱۳۸۳). باستان‌شناسی و هنر دوران تاریخی: ماد، هخامنشی، اشکانی و ساسانی. به‌کوشش: حسین محسنی و محمدجعفر سروقدی، تهران: مارلیک.
- سرفراز، علی‌اکبر، (۱۳۸۹). «کشف سقف یکپارچه نانو تکنولوژی در کاخ کوروش». کیهان فرهنگی، فروردین و اردیبهشت، شماره‌های ۲۸۲ و ۲۸۳، صص: ۳۹-۳۴.
- سعیدی، زهرا (۱۳۹۶). «سنگ‌شناسی بناهای تاریخی پاسارگاد و معادن مربوط». مجموعه مقاله‌های حفاظت و مرمت، باستان‌شناسی، معماری، زمین‌شناسی، مردم‌شناسی و گردشگری براساس فعالیت‌های پایگاه میراث جهانی پاسارگاد. تابستان، صص: ۷۱-۶۷.
- شاپور شهبازی، علیرضا، (۱۳۷۹). راهنمای جامع پاسارگاد. شیراز: بنیاد فارس‌شناسی.
- شکفته، عاطفه؛ احمدی، حسین؛ و یزدی، مهدی، (۱۳۹۶). «شناسایی ساختار شیمیایی و ارزیابی الگوهای تخریب در سنگ‌های محوطه میراث جهانی پاسارگاد». دو فصلنامه مرمت و معماری ایران، سال ۷، شماره ۱۴، صص: ۴۵-۲۷.
- شیروانی، مریم؛ و عابد اصفهانی، عباس، (۱۳۷۸). «آسیب‌شناسی سنگ‌های سیاه مجموعه پاسارگاد و پیشنهاد راه‌حل حفاظتی». دو فصلنامه مرمت و پژوهش. شماره ۴، صص: ۱۸۶-۱۷۱.
- شیروانی، مریم، (۱۳۹۶). «فن‌شناسی سنگ‌های سیاه به‌کاررفته در بنای کاخ‌های مجموعه پاسارگاد». مجموعه مقاله‌های حفاظت و مرمت، باستان‌شناسی، معماری، زمین‌شناسی، مردم‌شناسی و گردشگری براساس فعالیت‌های پایگاه میراث جهانی پاسارگاد. بهار، صص: ۱۵۷-۱۴۹.
- عابد اصفهانی، عباس؛ و هراتی‌اردستانی، ناهید، (۱۳۸۷). «بررسی تأثیرات ملاط ماسه سیمان در مرمت آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید». دو فصلنامه مرمت و پژوهش، سال ۲، شماره ۴، بهار و تابستان، صص: ۸۴-۷۸.
- عطاری، مهشید؛ طالبیان، محمدحسین؛ میرمحمدصادقی، گیتی؛ و وحیدزاده، رضا، (۱۳۹۶). «امکان-سنجی کاربرد دو نمونه نانوکامپوزیت اکریلیک/سیلان و نانوذرات رس در استحکام‌بخشی

سنگ سیاه پاسارگاد». مجموعه مقاله‌های حفاظت و مرمت، باستان‌شناسی، معماری، زمین‌شناسی، مردم‌شناسی و گردشگری براساس فعالیت‌های پایگاه میراث جهانی پاسارگاد، تابستان. صص: ۸۷-۹۸.

- فراشبندی، علیمراد، (۱۳۳۶). تاریخ و جغرافیای برازجان (سنگر مجاهدین). نشر: روزنامه خانه ملت.

- فیروزمندی شیره‌جینی، بهمن؛ خالدیان، ستار؛ و حیدری، محسن، (۱۳۸۷). «نگرشی بر جایگاه ستون در معماری هخامنشی». نشریه باستان‌پژوهی، سال ۱۰، شماره ۱۷، صص: ۲۸-۴۲.

- مبینی، مهتاب؛ و دادور، ابوالقاسم، (۱۳۹۰). «ستون، نماد قدرت در معماری هخامنشی». فصلنامه نگره، شماره ۱۹، صص: ۸۱-۹۴.

- یغمایی، اسماعیل، (۱۳۹۷). کاخ بردک سیاه: فرضیه خاستگاه راستین هخامنشیان بر پایه کاوش‌های باستان‌شناسی دشتستان برازجان، روستای دورودگاه. تهران: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری.

- Cirrincione, R. C.; De Vuono, G. M.; Pezzino, E. & Punturo, A., (2006). "Use of granitoid stones from Calabria (Southern Italy) in antiquity: petrographic and geochemical characterization of ancient quarries of Roman Age". In: *34th International Symposium on Archaeometry* (pp: 289-294). Centro de Estudios Borjanos.

- Amin Emami, S, M.; Eslami, M.; Fadaei, H.; Karami, H, R. & Ahmadi, K., (2018). "Mineralogical-Geochemical Characterization and Provenance of the Stones Used at the Pasargadae Complex in Iran: A New Perspective". *Archaeometry*. 160, No. 6 Pp: 1184-1200, <https://doi.org/10.1111/arcm.12395>. (in Persian)

- Rashidi-Nejad, M.; Khademi-Nadooshana F., Khazaie M. & Masjedi, P., (2012). "An Archaeometrical Analysis of the Column Bases from Hegmatâneh to Ascertain their Source of Provenance". *Interdisciplinaria archaeologica*, Vol. 3(2), Pp: 197-203.