



مطالعات آزمایشگاهی بر روی معدن سنگ باستانی کوه چل مران کنگاور و مقایسه آن با سنگ‌های معبد آناهیتا کنگاور

I عاطفه شکفته^I

II امید عودباشی^{II}

III جوزپه کولترونه^{III}

IV مسعود انصاری^{IV}

(صص: ۱۲۷ - ۱۰۹)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۲

شناسه دیجیتال (DOI): 10.30699/PJAS.3.9.109

چکیده

شناسایی منابع و معادن جهت استخراج و استحصال مواد اولیه در دنیای باستان، موضوعی جالب توجه است. نتایج حاصل از مطالعه و شناسایی معادن باستانی می‌تواند منجر به شناخت بهتر فناوری تولید مواد و ابزار در دنیای باستان توسط متخصصان باستان‌سنجی شود و نشان دهد که هنرمندان و صنعتگران دنیای باستان چگونه سعی در استفاده از مواد خام جهت تولید اشیاء مختلف روزمره و آثار هنری می‌کرده‌اند. از سوی دیگر، شناسایی معادن باستانی می‌تواند در برخی موارد (مانند آثار سنگی) مواد اولیه مناسب را جهت بازسازی آثار در اختیار مرمتگران آثار تاریخی قرار دهد. در این مقاله، سنگ‌های به‌کاررفته در معبد آناهیتا کنگاور و معدن باستانی کوه چل مران با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی مطالعه شده‌اند. هدف از این پژوهش، شناسایی ترکیب شیمیایی و ساختاری سنگ‌های به‌کاررفته در معبد آناهیتا و ارتباط آن‌ها با شواهد معدن‌کاری باستانی در کوه چل مران است. به این منظور نمونه‌های سنگ معبد آناهیتا و معدن چل مران با استفاده از روش فلورسانس اشعه ایکس و پتروگرافی مقطع نازک آزمایش شده‌اند. پرسش اصلی پژوهش این است که با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی (در کنار یافته‌های باستان‌شناسی) می‌توان رابطه دقیق تری بین معدن سنگ چل مران و آثار سنگی محوطه معبد آناهیتا کنگاور مشاهده نمود؟ نتایج نشان داد که سنگ‌های معبد آناهیتا و معدن چل مران، هر دو از نوع سنگ آهک هستند و عناصری مانند سیلیسیوم و منیزیوم تنها به‌عنوان عناصر فرعی و به میزان کم در ترکیب نمونه‌ها وجود دارند. ساختار میکروسکوپی سنگ‌ها شامل فاز کلسیت همراه با ناخالصی‌های دولومیت و کانی‌های رُسی است. براساس نتایج، معدن کوه چل مران به‌عنوان منبع مهم تولید قطعات سنگ در ساخت معبد آناهیتا مورد استفاده قرار گرفته است.

کلیدواژگان: معدن‌کاری باستانی، معبد آناهیتا کنگاور، معدن چل مران، سنگ آهک، کلسیت.

- I. دکتری و مدرس گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
- II. عضو هیأت علمی گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده‌ی مسئول).
- III. عضو هیأت علمی گروه پترولوژی و مینرالوژی، دانشگاه گرانا، گرانا، اسپانیا.
- IV. کارشناسی ارشد مرمت، گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

مقدمه

معدن‌کاری باستانی، درحقیقت شامل مطالعه فرآیند استخراج و آماده‌سازی مواد اولیه استفاده‌شده در ساخت بناهای تاریخی و محوطه‌های باستانی و همچنین تولید اشیاء مختلف است که امروزه در میان پژوهشگران حوزه‌های مختلف باستان‌شناسی و مطالعات فناوری میراث‌فرهنگی، به‌عنوان بخشی از مطالعات زمین‌باستان‌شناسی^۱ شناخته می‌شود. در این حوزه از دانش باستان‌سنجی که شامل استفاده از دانش‌هایی مانند باستان‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شناسی، مهندسی معدن و ژئوشیمی است، با استفاده از روش‌های متنوع تجزیه و تحلیل شیمیایی و مطالعات میکروسکوپی، ماهیت مواد و مصالح استفاده‌شده در بناها و همچنین معادن و منابع احتمالی مورد استفاده در دنیای باستان جهت تأمین ماده اولیه را شناسایی کرده و براساس نتایج حاصل‌شده از مطالعات آزمایشگاهی و همچنین مشاهدات و بررسی‌های میدانی و باستان‌شناسی، ارتباط بین آثار و معادن مورد مطالعه را مشخص می‌نمایند. هدف اصلی این نوع مطالعات، شناخت منابع استفاده‌شده در دنیای باستان جهت تأمین مواد اولیه (منشأیابی) به منظور تولید و ساخت آثار مختلف (به‌خصوص مواد و مصالح معماری) است (Goldberg & Macphail, 2006; Davidson & Schackley, 1976; Macphail, 2017).

اهداف پژوهش: هدف از این پژوهش، شناسایی ترکیب شیمیایی و ساختاری سنگ‌های به‌کاررفته در معبد آناهیتا و ارتباط آن‌ها با شواهد معدن‌کاری باستانی در کوه چل‌مران (شل‌مران یا چهل‌مران) است. اهداف اصلی در این پژوهش مطالعات آزمایشگاهی شامل شناسایی ترکیب شیمیایی و فازهای تشکیل‌دهنده آثار سنگی معبد آناهیتا و معادن سنگ کوه چل‌مران (به‌عنوان اصلی‌ترین معدن معرفی‌شده در ناحیه کنگاور) و مقایسه نتایج حاصله از تجزیه و تحلیل آثار سنگی معبد آناهیتا و معدن چل‌مران کنگاور است. با توجه به این‌که میزان نسبتاً قابل‌توجهی از فعالیت‌های مرتبط با معدن‌کاری باستانی و استخراج سنگ در ناحیه کنگاور وجود دارد، نتایج حاصله می‌تواند به شناسایی منابع استفاده‌شده در این منطقه جهت ساخت بنای بزرگ معبد آناهیتا منجر شود. لازم به ذکر است که این پژوهش در آینده نزدیک به دیگر معادن معرفی‌شده در گزارش‌های باستان‌شناسی نیز توسعه خواهد یافت و نتایج مطالعات انجام‌شده بر روی آن معادن با نتایج حاضر مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

روش پژوهش: در این مقاله، سنگ‌های به‌کاررفته در معبد آناهیتا کنگاور و معدن باستانی کوه چل‌مران با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی مطالعه شده‌اند. به این منظور نمونه‌های سنگ معبد آناهیتا و معدن چل‌مران با استفاده از روش فلورسانس اشعه ایکس و پتروگرافی مقطع نازک آزمایش شده‌اند.

پرسش پژوهش: پرسش اصلی پژوهش این است که با توجه به وجود شواهد مشخص باستان‌شناسی در معدن چل‌مران کنگاور، آیا می‌توان با استفاده از نتایج مطالعات آزمایشگاهی ارتباط مشخص‌تر و دقیق‌تری بین این معدن و محوطه معبد آناهیتا کنگاور مشاهده و شناسایی نمود؟ درحقیقت تلاش اصلی این پژوهش، یافتن پاسخ مشخص با استفاده از تلفیق داده‌های باستان‌شناسی و داده‌های آزمایشگاهی جهت شناخت ارتباط این دو محوطه باستانی است.

پیشینه پژوهش

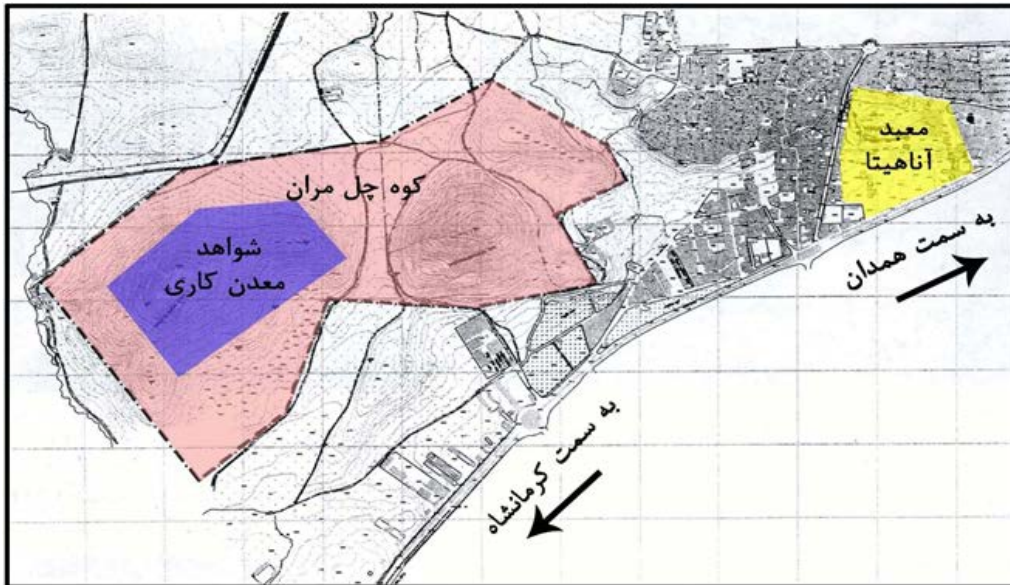
در طول دهه‌های گذشته، مطالعات متنوعی در زمینه معدن‌کاری باستانی در حوزه آثار سنگی و روش‌های استخراج سنگ‌ها، منابع استفاده‌شده و همچنین ماهیت آثار سنگی در دوره‌های مختلف از نواحی مختلف دنیا صورت گرفته است. این مطالعات نتایج بسیار جالب‌توجهی را دربر داشته و نتایج منتشرشده از این پژوهش‌ها، زوایای متفاوتی از دانش و فن معدن‌کاری سنگ در

Gaied et al., 2010; Bianco, 2017; Polikreti: مثال (برای مثال: Gaied et al., 2010; Bianco, 2017; Polikreti et al., 2004; Breadsley & Goles, 2001; Miletic et al., 2016; De Paeppe et al., 2005; Vaggelli et al., 2014; Serra et al., 2017). با وجود استفاده گسترده از سنگ در معماری دوران تاریخی ایران در نواحی مختلف، مطالعات مرتبط با معدن‌کاری سنگ و شیوه‌های استخراج و ماهیت سنگ‌های به‌کاررفته در آثار مهم معماری ایران، نسبتاً محدود بوده و برخی از آن‌ها به سال‌های تقریباً دور بازمی‌گردند؛ برای مثال می‌توان به مطالعات انجام‌شده بر روی معدن سنگ و شیوه‌های معدن‌کاری سنگ در معادن مرتبط با محوطه‌های تخت جمشید و پاسارگاد اشاره نمود (Tilia, 1968). البته به تازگی مطالعاتی تکمیلی بر روی معدن سنگ سیوند و همچنین معادن دیگر که از آن‌ها احتمالاً در ساخت بناهای محوطه پاسارگاد مورد استفاده بوده، انجام شده است (Emami, 2010; Emami et al., 2018). ازسوی دیگر، دیتیریش هوف مقاله‌ای در زمینه معادن سنگ پیش از اسلام در ایران دارد که در آن بیشتر به معرفی شواهد و معادن سنگ استفاده‌شده در ساخت برخی بناهای معروف پیش از اسلام پرداخته است (Huff, 2004). مطالعات اولیه بر روی ناحیه کنگاور نیز به معرفی شواهد معدن‌کاری سنگ در این ناحیه پرداخته و مطالعات دقیق و آزمایشگاهی تاکنون بر روی این معادن و سنگ‌های محوطه و شناخت ارتباط بین آن‌ها انجام نشده است (نظری و دوستانی، ۱۳۸۶؛ Oudbashi, 2008). به همین دلیل به نظر می‌رسد که توسعه مطالعات معدن‌کاری باستانی به خصوص در حوزه فناوری استخراج و استفاده از سنگ در ایران از دیدگاه مطالعات آزمایشگاهی ضروری به نظر می‌رسد.

ایران به‌عنوان سرزمینی با کوهستان‌های مرتفع، حاوی منابع گسترده سنگ است و وجود آثار و بناهای سنگی متعدد متعلق به دوره‌های تاریخی مختلف، به خوبی بیانگر دانش ایرانیان در استفاده از سنگ جهت تولید آثار و بناهای مختلف با کارکردهای متفاوت است. این امر به خصوص در نواحی غربی ایران که شامل رشته‌کوه زاگرس می‌شود، به خوبی نمایان است که یکی از بناهای بسیار مهم ساخته‌شده از سنگ در غرب ایران، محوطه و بناهای معبد آناهیتا در شهر کنگاور است. معبد آناهیتا از سال ۱۳۴۸ تا سال ۱۳۵۶ ه.ش. به مدت ۹ فصل توسط سیف‌الله کامبخش فرد و همکارانش مورد کاوش قرار گرفت و ساختمان معبد از زیر خاک بیرون آمد. براساس مطالعات باستان‌شناسی، این بنا به دوره‌های مختلف از دوره هخامنشی تا دوران‌های سلوکی-اشکانی و ساسانی (قرن ششم قبل از میلاد تا قرن هفتم میلادی) نسبت داده شده است. البته در دوره‌های بعد تا به امروز، ساخت و سازهای زیادی بر روی بقایای این بنا انجام شده که در گزارش‌های کاوش چگونگی این اتفاقات به تفصیل شرح داده شده است (کامبخش فرد، ۱۳۵۰؛ ۱۳۷۴)؛ پس از آن در سال‌های ۱۳۵۶ و ۱۳۵۷ ه.ش. توسط مسعود آذرنوش مطالعات باستان‌شناسی در این محوطه ادامه یافته (Azarnoush, 1981) و سپس در دو دوره در سال ۱۳۶۵ ه.ش. توسط علی ولی‌نوری و از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۰ ه.ش. مطالعات باستان‌شناسی و عملیات مرمت و حفاظت توسط محمد مهریار و احمد کبیری در این محوطه انجام شده است (مهریار و کبیری، ۱۳۸۳).

در اطراف این اثر تاریخی در شهر کنگاور، شواهد متنوعی از معدن‌کاری باستانی و استخراج سنگ مشاهده شده که اهمیت مطالعات معدن‌کاری باستانی و زمین‌باستان‌شناسی را در این ناحیه نمایان می‌کند. باتوجه به حجم بسیار زیاد سنگ به‌کاررفته در ساخت معبد آناهیتا، به نظر می‌رسد که سنگ استفاده‌شده باید از اطراف محوطه آورده شده باشد. براساس مطالعات اولیه باستان‌شناسی و میدانی انجام‌شده در ناحیه کنگاور، در منابع مختلف معدن سنگ کوه چل‌مران (شل‌مران یا چهل‌مران) که در غرب معبد آناهیتا و شهر کنگاور قرار گرفته است، به‌عنوان معدن و منبع اصلی استفاده‌شده جهت تأمین قطعات سنگی به‌کاررفته در معبد آناهیتا معرفی شده است (تصویری، نظری و دوستانی، ۱۳۸۶؛ مهریار و کبیری، ۱۳۸۳؛ کامبخش فرد، ۱۳۷۴؛ Oudbashi, 2008). با

نگاهی به کوه چل‌مران می‌توان شواهد نسبتاً متعدد معدن‌کاری باستانی را در آن مشاهده نمود، مانند ستون نیمه‌کاره رها شده در دامنه کوه چل‌مران، یا قطعات سنگ مکعبی شکل موجود در سطح کوه (تصویر ۲). البته باید خاطرنشان نمود که شواهد معدن‌کاری دیگری نیز در نواحی



تصویر ۱. نقشه کلی ناحیه مورد مطالعه در شهر کنگاور شامل معبد آناهیتا، محدوده کوه چل‌مران و محل قرارگیری شواهد معدن‌کاری باستانی (Oudbashi, 2008).



تصویر ۲. الف) نمای قلعه شرقی از بالای قلعه غربی کوه چل‌مران؛ ب) قطعه سنگ مکعبی ناتمام در قلعه غربی؛ ج و د) دو قلمه ستون سنگی نیمه‌تمام در دامنه قلعه غربی کوه چل‌مران (نگارندگان، ۱۳۹۷).

متفاوتی از ناحیه کنگاور مشاهده شده‌اند که ممکن است در دوران باستان جهت ساخت معبد آنهاست استفاده شده باشند (نظری و دوستانی، ۱۳۸۶)؛ با این وجود، منابع مختلف معدن چل مران را به‌عنوان مهم‌ترین و شاخص‌ترین معدن سنگ باستانی در این ناحیه معرفی نموده‌اند (مهریار و کبیری، ۱۳۸۳؛ کامبخش فرد، ۱۳۷۴؛ Oudbashi, 2008). دلیل اصلی این موضوع، تفاوت آشکار بین حجم استخراج سنگ در معدن چل مران با دیگر معادن سنگ شناسایی شده در ناحیه کنگاور مانند «الله‌دانه» و «باغ‌ملی» (همراه با چند نمونه بسیار کوچک از استخراج سنگ در دیگر نواحی اطراف کنگاور) است (نظری و دوستانی، ۱۳۸۶).

مواد و روش‌ها

به منظور انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی سنگ‌های معبد آنهاست کنگاور و معدن چل مران، ۵ نمونه سنگ از محوطه بنا و ۲ نمونه از کوه چل مران انتخاب شدند. نمونه‌های سنگ معبد از قطعات سنگی متنوع موجود در محوطه معبد برداشت شده و نمونه‌های معدن نیز از دو قلّه غربی و شرقی محدوده کوه چل مران انتخاب شدند.

نمونه‌های معبد شامل دو نمونه از قلمه‌ستون‌های موجود در اطراف محوطه (KN-7 و KN-8) و سه نمونه از قطعات سنگی تراشیده شده موجود در نواحی مختلف محوطه (KN-1، KN-2، KN-3) هستند (تصویر ۳). نمونه‌های گرفته شده از معدن چل مران نیز از لایه‌های مشابه و نزدیک به قطعات سنگی (مکعبی) ناتمام قرارگرفته در قلّه غربی (CM-2) و نیز لایه‌های برونزد (رخنمون) موجود در قلّه شرقی کوه (CM-1) گرفته شدند (تصویر ۲: الف و ب). به منظور انجام مطالعات آزمایشگاهی، سطح



تصویر ۳. الف) قطعه سنگ قرارگرفته در بالای تپه مرکزی معبد آنهاست (نمونه KN-1)؛ ب) مکعب‌های سنگی تشکیل‌دهنده دیوار غربی (نمونه KN-2)؛ ج) بخش‌هایی از قلمه‌ستون و پایه‌ستون سنگی قرارگرفته در حاشیه معبد (نمونه KN-8)؛ د) قلمه‌ستون و پایه‌ستون قرارگرفته بر روی دیوار غربی در طبقه دوم معبد (نمونه KN-7)، نگارندگان، ۱۳۹۷.

هوازده نمونه‌ها به صورت کامل با استفاده از تیغه برش جداسازی شد (به ضخامت یک سانتی متر) تا تغییرات متأثر از قرارگیری طولانی مدت در محیط باز موجب تأثیر در نتایج آزمایش‌های شیمیایی نشود. سپس هر نمونه به دو بخش جداگانه تقسیم شد. جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی و آنالیز دستگاهی از یک بخش از هر نمونه به میزان ۱۰ گرم پودر تهیه شد. از بخش دیگر نیز یک مقطع نازک جهت مطالعات پتروگرافی تهیه شد (MacKenzie et al., 2017).

جهت شناسایی ترکیب شیمیایی و اجزاء (عناصر) تشکیل دهنده ترکیب نمونه‌ها از روش آنالیز فلورسانس پرتو ایکس پاشنده طول موج^۲ (WDXRF) که به آنالیز فلورسانس پرتو ایکس (XRF) نیز معروف است، استفاده شد (Pollard et al., 2006). آنالیز XRF توسط دستگاه طیف‌سنجی پرتو ایکس مدل S4Pioneer ساخت شرکت Bruker در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گرانادا، اسپانیا، در شرایط آزمایش ۶۰ kV و ۱۵۰ mA بر روی کلیه نمونه‌های مورد مطالعه انجام شد.

جهت مطالعه ساختار میکروسکوپی نمونه‌های مورد مطالعه از روش پتروگرافی با استفاده از میکروسکوپی نوری پلاریزان استفاده شد؛ مشاهده مقاطع نازک نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری عبوری Zeiss مدل Primotech در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هنر اصفهان انجام شد. آزمون آلیزارین توسط محلول آلیزارین سرخ (Alizarin Red-S) حل شده در محلول ۱۰ درصد اسید هیدروکلریک (HCl) بر روی مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌ها جهت تشخیص بافت دولومیتی از بافت کلسیتی انجام گرفت (Flügel & Munnecke, 2010).

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی (XRF)

نتایج آنالیز XRF بر روی نمونه‌های مختلف معدن چل‌مران و معبد آناهیتا در جدول ۱، ارائه شده است. در این جدول میزان اجزاء (عناصر) اصلی و فرعی شناسایی شده در ترکیب نمونه‌ها به صورت اکسید و برحسب درصد وزنی گزارش شده‌اند. ترکیب شیمیایی پنج نمونه متعلق به معبد آناهیتا نشان می‌دهد که ترکیب اصلی سنگ‌های استفاده شده در ساخت بخش‌های مختلف معبد، CaO است که به طور میانگین ۵۴ درصد وزنی اندازه‌گیری شده است. دیگر اجزاء به عنوان جزء فرعی در ترکیب شیمیایی شناسایی شده‌اند و تنها SiO₂ به میزان بیش از یک درصد در ترکیب چهار نمونه مشاهده شده است. میزان MgO نیز در ترکیب نمونه‌های معبد کمتر از یک درصد (بین ۰/۴۱ تا ۰/۸۰ درصد وزنی) اندازه‌گیری شده است. میزان Al₂O₃ و Fe₂O₃ نیز در ترکیب نمونه‌های متعلق

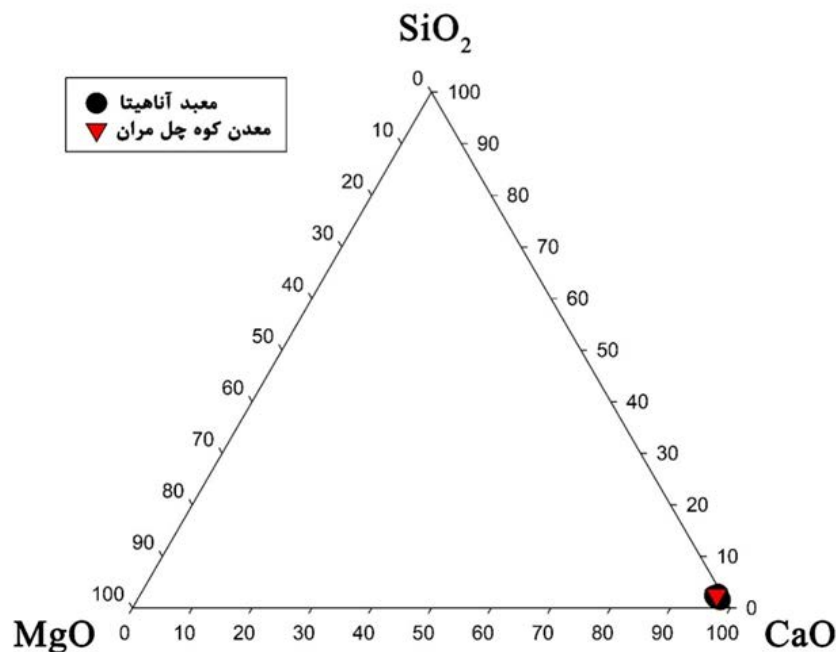
جدول ۱. نتایج آنالیز XRF ترکیب شیمیایی نمونه‌های سنگ معبد آناهیتا و معدن چل‌مران (درصد وزنی)، (نگارندگان، ۱۳۹۷).

	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
KN-1	54.49	1.07	0.77	0.59	0.17	0.01	0.06	0.11	–	0.02	42.45
KN-2	54.22	1.47	0.41	0.62	0.21	0.01	0.04	0.10	–	0.02	42.72
KN-3	54.95	0.89	0.49	0.17	0.11	0.01	0.05	0.03	–	0.02	43.12
KN-7	54.91	1.37	0.80	0.62	0.18	0.01	0.19	0.09	0.02	0.03	41.12
KN-8	53.56	1.31	0.74	0.49	0.18	0.01	0.07	0.09	0.02	0.02	42.74
CM-1	54.09	1.33	0.72	0.57	0.14	0.01	0.11	0.09	–	0.02	42.78
CM-2	54.39	1.43	0.56	0.41	0.14	0.01	0.03	0.08	–	0.01	42.85

به معبد آناهیتا تقریباً مشابه هستند. دیگر اجزاء شامل K_2O ، Na_2O ، MnO و P_2O_5 به میزان بسیار کم در ترکیب نمونه‌های معبد شناسایی شده‌اند. اگرچه در مجموع، همه نمونه‌های معبد آناهیتا از نظر ترکیب شیمیایی بسیار با یکدیگر تشابه دارند، اما در نمونه KN-3 میزان برخی اجزاء فرعی به صورت جزئی با نمونه‌های دیگر متفاوت است؛ مانند میزان SiO_2 و Al_2O_3 . ترکیب شیمیایی دو نمونه سنگ متعلق به کوه چل مران نیز بسیار مشابه با نمونه‌های معبد آناهیتا است. اجزاء موجود در ترکیب نمونه‌های معدن نیز در محدوده اندازه‌گیری شده در نمونه‌های معبد آناهیتا شناسایی و اندازه‌گیری شده‌اند.

باتوجه به ترکیب شیمیایی نمونه‌ها می‌توان دریافت که کلسیم عنصر اصلی در ترکیب نمونه‌هاست که به صورت CaO در نتایج ارائه شده است. از سوی دیگر، همان‌گونه که ذکر شد، SiO_2 و MgO نیز در ترکیب نمونه‌ها به عنوان اجزاء اصلی یا فرعی اندازه‌گیری شده‌اند. بر این اساس می‌توان گفت که سنگ‌های مورد مطالعه، سنگ‌هایی حاوی کلسیم و سیلیسیوم همراه با مقدار کمی منیزیوم هستند. تصویر ۴، نمودار سه‌وجهی $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}$ را در نمونه‌های مورد مطالعه نمایش می‌دهد که معمولاً برای مطالعه ترکیب شیمیایی سنگ‌های حاوی این اجزاء، مانند مرمرها و سنگ‌های کربناتی به کار می‌رود (Lynn, 2011; Shin & Lee, 2002). باتوجه به نمودار می‌توان دریافت که نمونه‌های سنگ مورد مطالعه حاوی میزان بسیار بالایی از CaO هستند که در دسته سنگ‌های کربناتی قرار می‌گیرند.

جدول ۲، تخمین میزان کربنات کلسیم (کلسیت) موجود در ترکیب سنگ آهک بر اساس میزان CaO شناسایی شده در نتایج آنالیز را نمایش می‌دهد (Geysant, 2001: 26; Oates, 1998). بر این اساس، سنگ آهک حاوی بیش از ۹۸/۵ درصد کلسیت (معادل ۵۵/۲ درصد CaO) کاملاً خالص است و به همین ترتیب با کاهش میزان CaO در ترکیب سنگ، مقدار خلوص سنگ آهک نیز کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، سنگ آهک حاوی کمتر از ۴۷/۶ درصد CaO به عنوان سنگ آهک ناخالص شناخته می‌شود (Geysant, 2001: 26). بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول ۲، می‌توان بیان



تصویر ۴. نمودار سه‌وجهی $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}$ بر اساس ترکیب شیمیایی نمونه‌های سنگ آنالیز شده با روش XRF (نگارندگان، ۱۳۹۷).

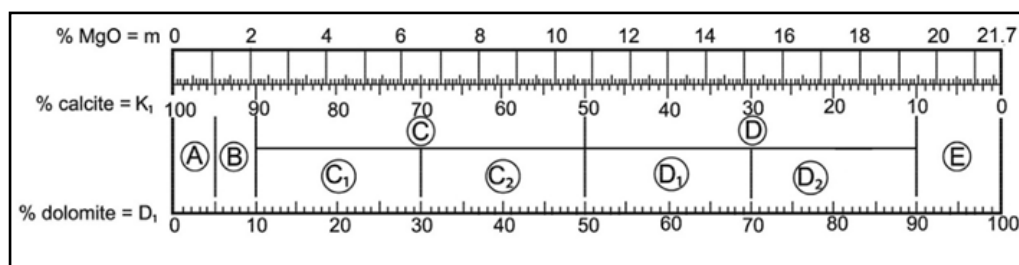
جدول ۲. گروه بندی سنگ های کربناتی آهکی براساس مقدار CaO اندازه گیری شده در ترکیب و تخمین مقدار CaCO₃ موجود در سنگ (Geysant, 2001: 26).

مقدار (درصد وزنی)		گروه / دسته
مقدار معادل CaO	مقدار CaCO ₃	
> ۵۵/۳	> ۹۸/۵	۱ بسیار خالص ^۴
۵۴/۳ - ۵۵/۳	۹۷ - ۹۸/۵	۲ خالص ^۵
۵۲/۴ - ۵۴/۳	۹۳/۵ - ۹۷	۳ تقریباً خالص ^۶
۴۷/۶ - ۵۲/۴	۸۵ - ۹۳/۵	۴ تاحدی خالص ^۷
< ۴۷/۶	< ۸۵	۵ ناخالص ^۸

نمود که سنگ های آنالیز شده از معبد آناهیتا (نمونه های KN-1، KN-2، KN-3، KN-7 و KN-8) در گروه خالص و تقریباً خالص دسته بندی می شوند. نمونه CM-2 متعلق به معدن چل مران نیز سنگ آهک خالص است، اما نمونه CM-1 معدن چل مران را می توان جزو گروه سنگ آهک تقریباً خالص طبقه بندی کرد.

میکه^۳ و همکارانش (2013) یک روش ساده برای شناسایی نوع سنگ آهک براساس میزان CaO و MgO معرفی نموده و روش های پیچیده تر و در عین حال دقیق تری را با آن مقایسه نموده اند. براساس این روش ساده ارائه شده (نمودار خطی ارائه شده در تصویر ۵)، براساس میزان MgO موجود در ترکیب سنگ کربناتی می توان میزان فازهای کلسیت و دولومیت و همچنین نوع سنگ آهک را مشخص نمود. باتوجه به نتایج آنالیز XRF، در همگی نمونه های آنالیز شده در این مطالعه کمتر از ۱ درصد MgO مشاهده شده است که بر این اساس می توان آن ها را به عنوان سنگ آهک حاوی دولومیت (گروه A) با ناخالصی منیزیوم بسیار کم طبقه بندی کرد.

البته باید خاطرنشان کرد که روش های دیگری نیز براساس نسبت کلسیم به منیزیوم جهت طبقه بندی سنگ های کربناتی وجود دارد (Chilingar, 1957: 187; Chilingar, 1960; Frolova, 1959). در این روش در صورتی که نسبت CaO/MgO بیش از ۵۰/۱ باشد، سنگ از نوع سنگ آهک است و در صورتی که این نسبت بین ۵۰/۱ و ۹/۱ باشد، سنگ از نوع سنگ آهک نسبتاً دولومیتی خواهد بود. این نسبت در تمامی نمونه ها بیش از ۵۰/۱ است و بر این اساس سنگ های معبد آناهیتا و معدن چل مران از نوع سنگ آهک هستند.



تصویر ۵. روش ساده و سریع طبقه بندی سنگ های کربناتی براساس ترکیب شیمیایی. A) سنگ آهک حاوی دولومیت؛ B) سنگ آهک منیزیومی؛ C) سنگ آهک *Sensu Lato* شامل گروه های C1) سنگ آهک نسبتاً دولومیتی و C2) سنگ آهک دولومیتی *Sensu Stricto*؛ D) دولومیت آهکی *Sensu Lato* شامل D1) دولومیت آهکی *Sensu Stricto* و D2) دولومیت نسبتاً آهکی؛ E) دولومیت (Miche et al., 2013).

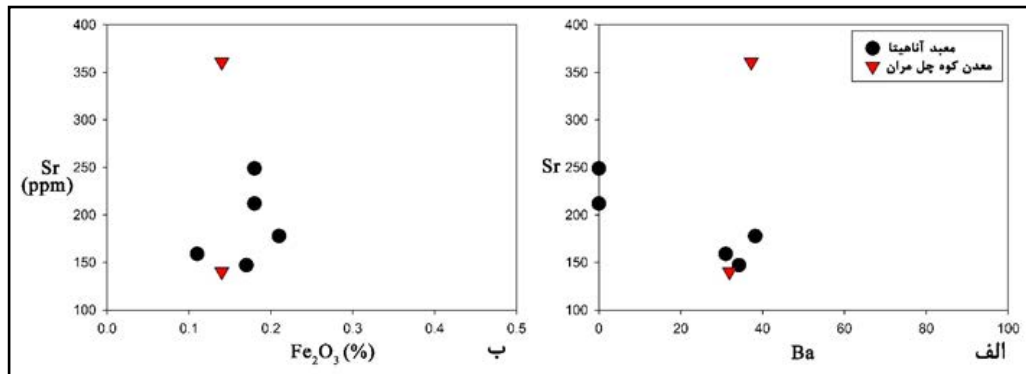
عناصر کمیاب (XRF)

جدول ۳، نتایج آنالیز عناصر کمیاب^۹ موجود در ترکیب نمونه‌های مورد آنالیز را برحسب ppm نمایش می‌دهد. بر این اساس، اکثر عناصر کمیاب میزان نسبتاً مشابهی را در ترکیب هر دو گروه نمونه معدن و معدن نشان می‌دهد و تفاوت چشمگیری در میزان این عناصر در ترکیب نمونه‌های معدن و نمونه‌های معدن آن‌ها دیده نمی‌شود، مانند Cr (حدود ۱ تا ۱۰ ppm)، Ga (۱/۵ تا ۱ ppm) و Cd (۱/۶ تا ۱/۷ ppm)، Mo (۰/۵ تا ۱/۱ ppm). از سوی دیگر، عناصری مانند Sr، Rb، V و Pb میزان نسبتاً متفاوتی را در نمونه‌های مختلف نمایش می‌دهند. عدم شناسایی برخی عناصر در برخی نمونه‌ها می‌تواند به دلیل حضور آن‌ها به میزان کمتر از حد تشخیص روش آنالیز XRF در ترکیب باشد.

تصویر ۶: الف، نمودار پراکندگی باریم در برابر استرانسیوم را در ترکیب نمونه‌های آنالیز شده نمایش می‌دهد. بر اساس نمودار پراکندگی به خوبی می‌توان مشاهده نمود که برخی نمونه‌های معدن آن‌ها همبستگی بسیار خوبی با یکی از نمونه‌های معدن کوه چل‌مران دارند. عدم تطابق بین میزان این عناصر در دو نمونه دیگر آنالیز شده به دلیل عدم شناسایی باریم به عنوان عنصر کمیاب توسط روش XRF به دلیل میزان بسیار کم آن در این دو نمونه است. از سوی دیگر، نمودار پراکندگی میزان Fe_2O_3 در برابر استرانسیوم نیز در تصویر ۶: ب، ارائه شده است (Vaggelli et al., 2014). بر اساس این نمودار نیز همبستگی و تطابقی نسبی بین نمونه‌های معدن آن‌ها با یکی از

جدول ۳. نتایج آنالیز XRF شناسایی عناصر کمیاب در نمونه‌های سنگ معدن آن‌ها و معدن چل‌مران (ppm)، (نگارندگان، ۱۳۹۷).

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Ga	Ba	As	Cd	Mo	Nb	Pb	Rb	Sr	Y	Zr
KN-1	-	10.8	3.6	1.7	16.4	1.8	34.2	2.5	1.6	1.1	2.1	1.7	4.5	147.2	1.5	18.8
KN-2	2.2	8.5	5.6	7.2	15.9	2.8	38.2	2.7	1.7	1	2.5	3.5	6.5	177.8	2.7	19.1
KN-3	-	8.5	3.4	0.6	13.7	1.5	31	2.4	1.7	0.8	2.1	2.1	6.2	159	1.2	15.8
KN-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	15	249	12	11.3
KN-8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	7	212	11	14.2
CM-1	-	8.7	4.3	3.3	12.1	1.8	37.2	2	1.7	0.5	3.4	2.4	3.4	360.9	0.9	12.3
CM-2	-	7	4.9	2.8	15.3	1.6	31.9	1.2	1.7	0.9	1.8	4.3	7.4	140.3	0.4	18.3

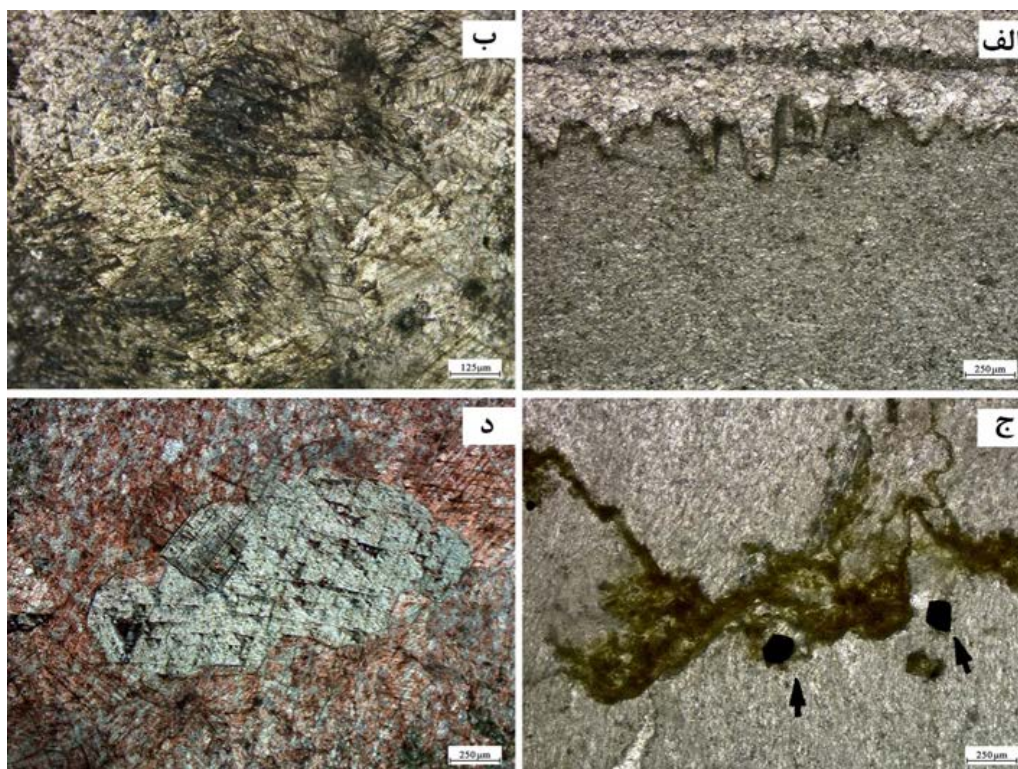


تصویر ۶. نمودار پراکندگی Ba-Sr (الف) و Fe_2O_3 -Sr (ب) در نمونه‌های سنگ مورد آزمایش بر اساس نتایج آنالیز اجزاء اصلی و فرعی و عناصر کمیاب با استفاده از روش آنالیز XRF. میزان Fe_2O_3 برحسب درصد وزنی ارائه شده است (نگارندگان، ۱۳۹۷).

نمونه‌های کوه چل‌مران مشاهده می‌شود. در مجموع از نقطه نظر عناصر کمیاب، می‌توان ارتباط بین سنگ‌های معبد آناهیتا کنگاور و معدن کوه چل‌مران را مشاهده نمود.

پتروگرافی مقطع نازک

به منظور شناسایی ساختار سنگ‌ها، از روش پتروگرافی مقطع نازک استفاده شد. پتروگرافی روشی شناخته شده جهت شناخت بافت، مطالعه کانی‌ها، مشاهده درزه‌ها و رگه‌ها و همچنین تخمین اندازه و توزیع حفرات است (ملائی، ۱۳۸۵: ۹). به علاوه، آزمون آلیزارین برای تشخیص بلورهای دولومیت از کلسیت در ریزساختار نمونه‌ها انجام گرفت. در این آزمون بلورهای کلسیت توسط محلول رقیق اسید هیدروکلریک حاوی آلیزارین سرخ رنگی (گلی) شده و بلورهای دولومیت بدون تغییر باقی خواهند ماند (Flügel & Munnecke, 2010). تصاویر پتروگرافی نمونه‌های KN-1 و KN-2 از معبد آناهیتا، بافت لایه‌ای از میکرایت^{۱۶} تا اسپارایت^{۱۷} را نشان می‌دهد (تصاویر ۷ و ۸)، با این تفاوت که رگه‌های پر شده با کلسیت ثانویه در نمونه KN-2 بیشتر و درشت‌تر هستند و با رگه‌های متقاطع یا استیلولیت‌ها^{۱۳} قطع شده است که گاهی حرکت و جابه‌جایی رگه‌ها و درزه‌های فشاری در اثر تحمل فشار زیاد هنگام سنگ‌شدگی قابل مشاهده است. بزرگنمایی کلسیت اسپاری بافت‌هایی دیوتپیک^{۱۳} و زنوتپیک^{۱۴} بلورها را در بین بافت میکرایتی زمینه نشان می‌دهد (تصویر ۷). استیلولیت‌ها در نمونه KN-1 زیاد و گاهاً متقاطع هستند که با ماده تیره‌ای چون ترکیبات آهن

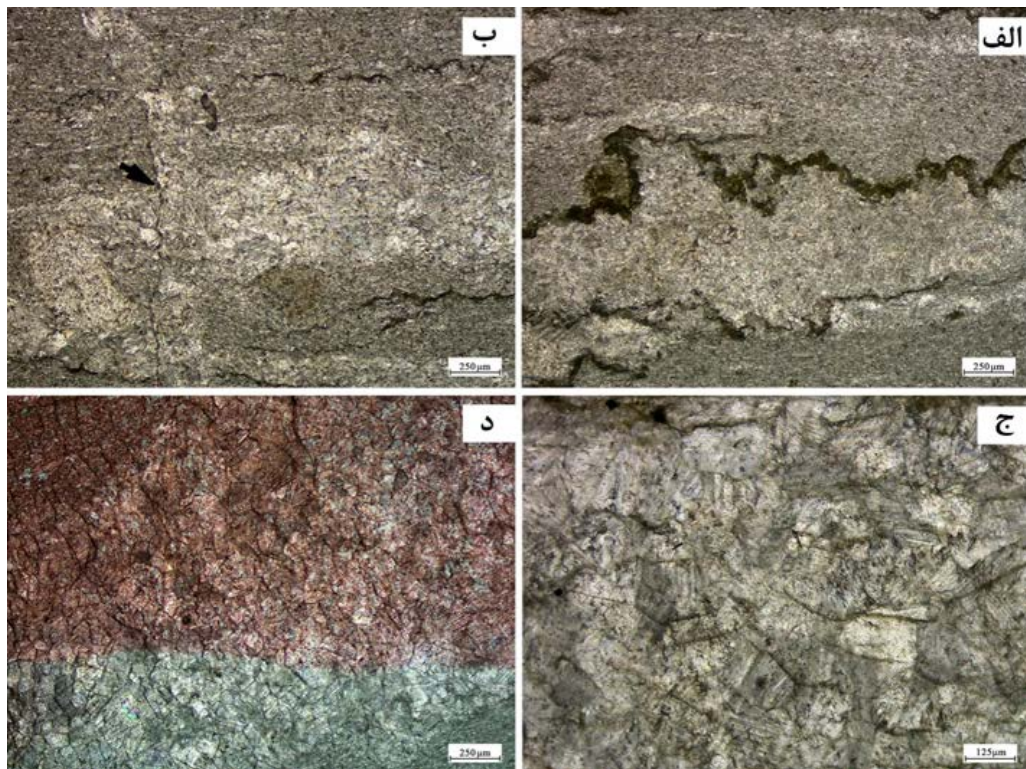


تصویر ۷. نمونه‌ی KN-1 از معبد آناهیتا کنگاور. الف) بافت لایه‌ای متشکل از میکرایت تا اسپارایت که لایه‌لای آن استیلولیت‌ها نیز قرار دارند؛ ب) بزرگنمایی بافت زنوتپیک کلسیت در بافت سنگ؛ ج) استیلولیت پر شده از ماده ثانویه در بافت سنگ، در پایین آن (محل‌های مشخص شده با پیکان‌ها) لکه‌های تیره کوییک اوپاک مشخص است؛ د) آزمون آلیزارین بلورهای ایدئوتپیک دولومیت را شناسایی کرد (نگارندگان، ۱۳۹۷).

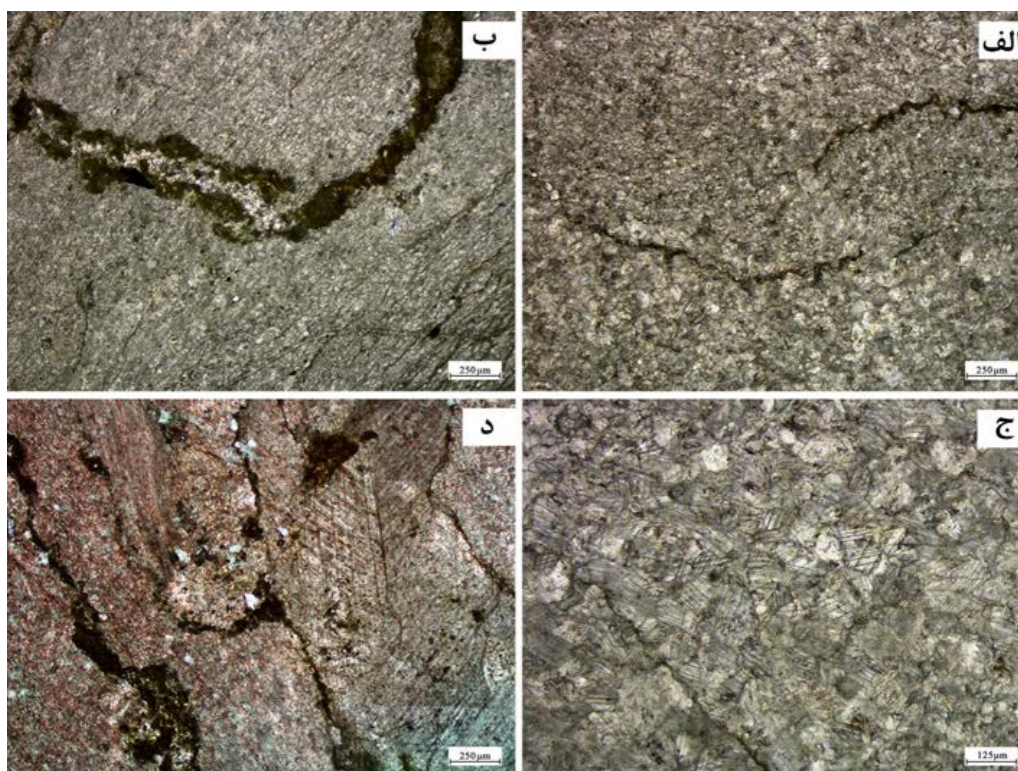
ثانویه و یا کانی‌های رُسی پُر شده‌اند؛ همچنین لکه‌های کوبیک مات^{۱۵} که با ترکیبات آهن ثانویه پر شده‌اند نیز در بافت سنگ قابل مشاهده هستند. علاوه بر این، در بافت تجمع بلورهای دولومیت ایدیوتپیک^{۱۶} توسط آلیزارین تأیید شد (تصویر ۷).

نمونه KN-2 همان‌طور که اشاره شد، بافت میکرایتی تا اسپارایتی دارد (تصویر ۸). با توجه به درزه‌ها و رگه‌های متقاطعی که در نمونه وجود دارد و شکستگی برخی از این رگه‌ها و لایه‌ها، به نظر می‌رسد که این فاز سیاه‌رنگ مربوط به کانی‌های رسی باشد؛ زیرا حضور کانی‌های رسی در بافت سنگ موجب ایجاد فشار زیاد در هنگام سنگ‌شدگی می‌شود (Flügel & Munnecke, 2010; Bausch, 1968). در رگه‌های پر شده از کلسیت ثانویه می‌توان بلورهای هایپی دیوتپیک را مشاهده کرد؛ همچنین در این نمونه، تجمع کانی‌های رسی در منافذ سنگ مشهود است (تصویر ۸)، آزمون آلیزارین عدم پراکنندگی زیاد دولومیت را در بافت سنگ مشخص کرد.

پتروگرافی نمونه KN-3، بافت میکرایتی و میکرواسپاری را مشخص ساخت. بافت این سنگ دارای درزه‌هایی است مانند استیلولیت که توسط مادهٔ ثانویه تیره‌رنگی پر شده است؛ همچنین در بین برخی از این استیلولیت‌ها، رگه‌های پر شده از کلسیت ثانویه در اندازهٔ میکرواسپاری در بافت سنگ مشاهده می‌شود. بزرگنمایی رگه‌ها بلورهای هایپی دیوتپیک کلسیت را نمایان ساخت. قابل ذکر است که در بافت سنگ، برخی از این رگه‌ها متقاطع هستند و برخی درزه‌های فشاری که نشان از تحمل فشار در هنگام سنگ‌شدگی دارند، قابل مشاهده‌اند. به‌طور کلی رگه‌ها و استیلولیت‌ها



تصویر ۸. نمونه KN-2 از معبد آناهیتا. الف) بافت لایه‌ای متشکل از میکرایت تا اسپارایت. در این بافت، رگه‌های متقاطع پر شده با کلسیت ثانویه بسیار وجود دارد؛ ب) برخی از رگه‌ها در اثر فشار زیاد هنگام سنگ‌شدگی شکسته و جابه‌جا شده‌اند که با پیکان محل شکستگی مشخص شده است؛ ج) بزرگنمایی بافت هایپی دیوتپیک کلسیت در سنگ؛ د) آزمون آلیزارین در نواحی فوقانی بافت سنگ که حاکی از گلی‌شدن یک‌دست بافت و عدم گستردگی دولومیت است (نگارندگان، ۱۳۹۷).

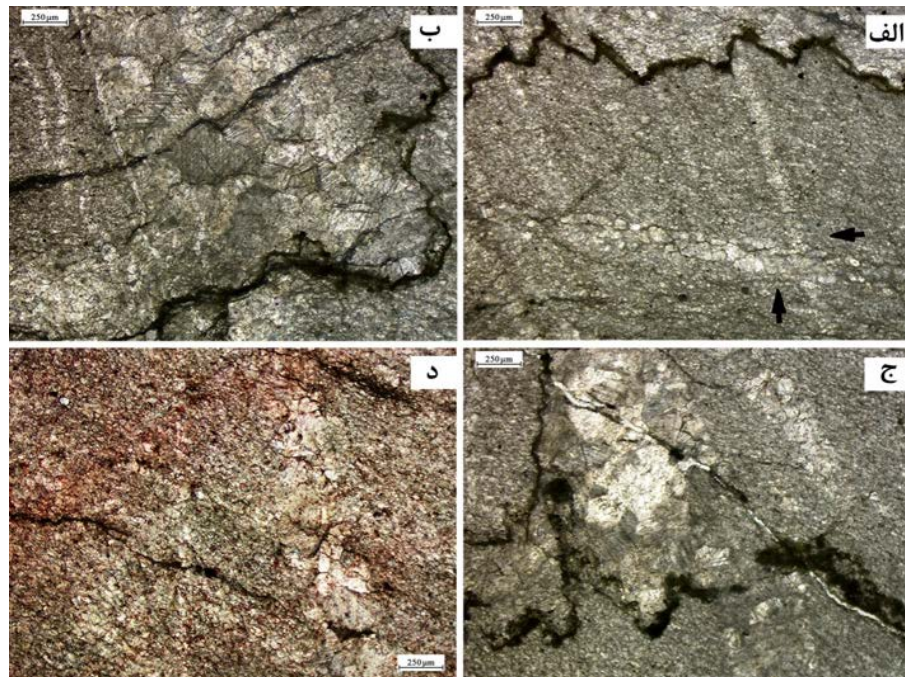


تصویر ۹. نمونه KN-3 از معبد آناهیتا کنگاور. الف) بافت میکرایتی تا میکرواسپاری حاوی استیلولیت های پرشده با ماده ثانویه؛ ب) بافت میکرایتی که در آن درزه ها و استیلولیت از ماده ای تیره و بین آن ها با میکرواسپارایت پرشده اند؛ ج) بزرگنمایی بافت میکرواسپاری که بلورهای هایپی دیوتپیک کلسیت را نشان می دهد؛ د) آزمون آلیزارین در نواحی استیلولیت ها که حضور تک بلورهای دولومیت را مشخص می کند (نگارندگان، ۱۳۹۷).

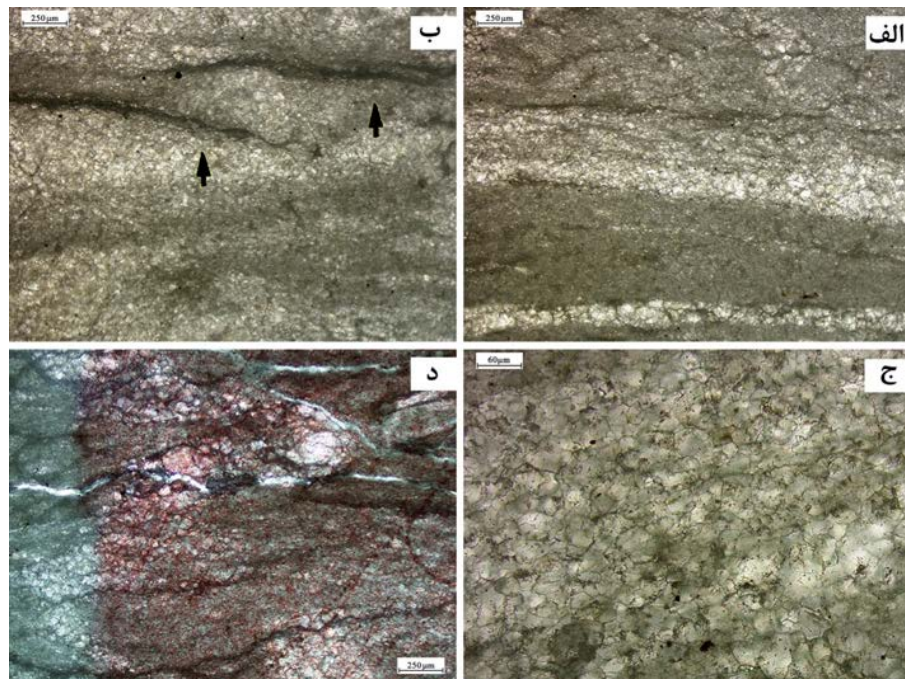
در این نمونه ضخامت کمی دارند و از طرفی بافت این سنگ تخلخل خیلی کمی نیز دارد (تصویر ۹). آزمون آلیزارین عدم گستردگی دولومیت در بافت این سنگ را ثابت کرد. در برخی نواحی به شکلی جزئی می توان تک بلورهای تخریب شده دولومیت را مشاهده کرده که میزان آن بسیار کم است. پتروگرافی نمونه KN-7، بافتی میکرواسپاری تا اسپاری پر از درزه ها و رگه های پرشده با کلسیت اسپاری را نشان داد. در کنار رگه ها، استیلولیت های بسیار و پرشده از ماده ثانویه (احتمالاً رسی) وجود دارد که در برخی نواحی تهی شده و موجب شکل گیری تخلخل ثانویه به هم پیوسته شده است (تصویر ۱۰). در بزرگنمایی، بلورهای هایپی دیوتپیک تا زئوتپیک کلسیت نمایان شدند. آزمون آلیزارین در این نمونه عدم حضور دولومیت را مشخص کرد.

نمونه KN-8، بافت لایه ای از میکرایت تا اسپارایت دارد که در آن رگه ها و درزه هایی پرشده با کلسیت ثانویه و ماده تیره رنگ ثانویه (رس) قرار دارند (تصویر ۱۱). در این نمونه درزه ها یا رگه ها و خصوصاً استیلولیت ها بسیار کمتر از نمونه های قبلی است. در بزرگنمایی بلورها بافت زئوتپیک و موزاییکی هایپی دیوتپیک مشخص می شوند. تخلخل این نمونه بسیار جزئی و در رگه ها و استیلولیت ها قابل مشاهده است. آزمون آلیزارین در بخش میکرایتی آن گلی شدن یک دست سطح مقطع را نشان داد که حاکی از عدم حضور دولومیت است؛ اما در رگه های کلسیت ثانویه می توان بلورهای دولومیت را به میزان جزئی مشاهده کرد (تصویر ۱۱).

در تصاویر پتروگرافی نمونه معدن کوه چل مران (CM-1)، بافت موزاییکی هایپی دیوتپیک بلورهای کلسیت اسپاری شده دیده می شود. در لایه لای آن بقایای زیستی پرشده با ترکیبات آهن



تصویر ۱۰. نمونه KN-7 از معبد که بافتی لایه‌ای از میکرایت تا اسپارایت دارد، رگه‌های متقاطع پرشده از کلسیت ثانویه در این تصویر با پیکان‌های سیاه‌رنگ مجزا شده‌اند؛ (ب) استیلولیت‌های پرشده از ماده تیره‌رنگ رسی و رگه‌های پرشده از کلسیت ثانویه اسپاری هاپپی دیوتپیک در بافت نمونه؛ (ج) تجمع استیلولیت‌ها در بافت سنگ که برخی آن‌ها از ماده ثانویه خالی شده است؛ (د) آزمون آلیزارین که سطح یک دست‌گلی‌رنگ و عدم حضور دولومیت را تأیید می‌کند (نگارندگان، ۱۳۹۷).

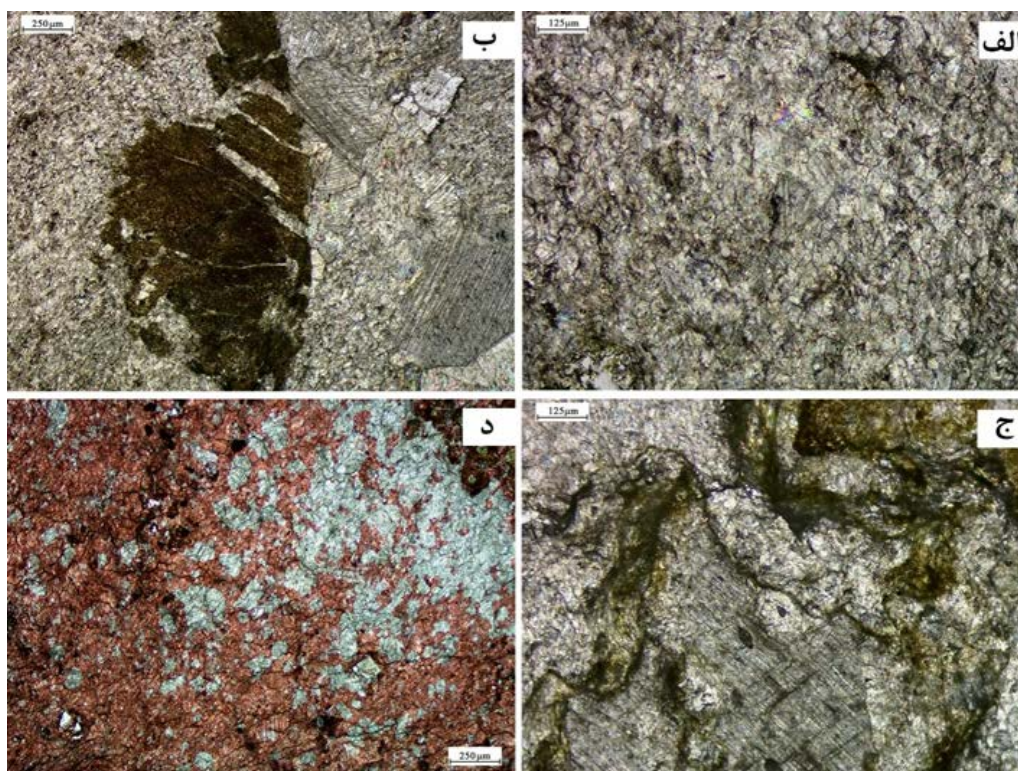


تصویر ۱۱. نمونه KN-8 از معبد آنایتا. (الف)، ساختار لایه‌ای از میکرایت تا اسپارایت در بافت سنگ؛ (ب) حضور رگه‌ها و استیلولیت‌ها در بافت سنگ؛ (ج) بزرگنمایی از بافت هاپپی دیوتپیک سنگ؛ (د) آزمون آلیزارین در نواحی بافت اسپاری حاکی از حضور دولومیت در رگه‌ها است (نگارندگان، ۱۳۹۷).

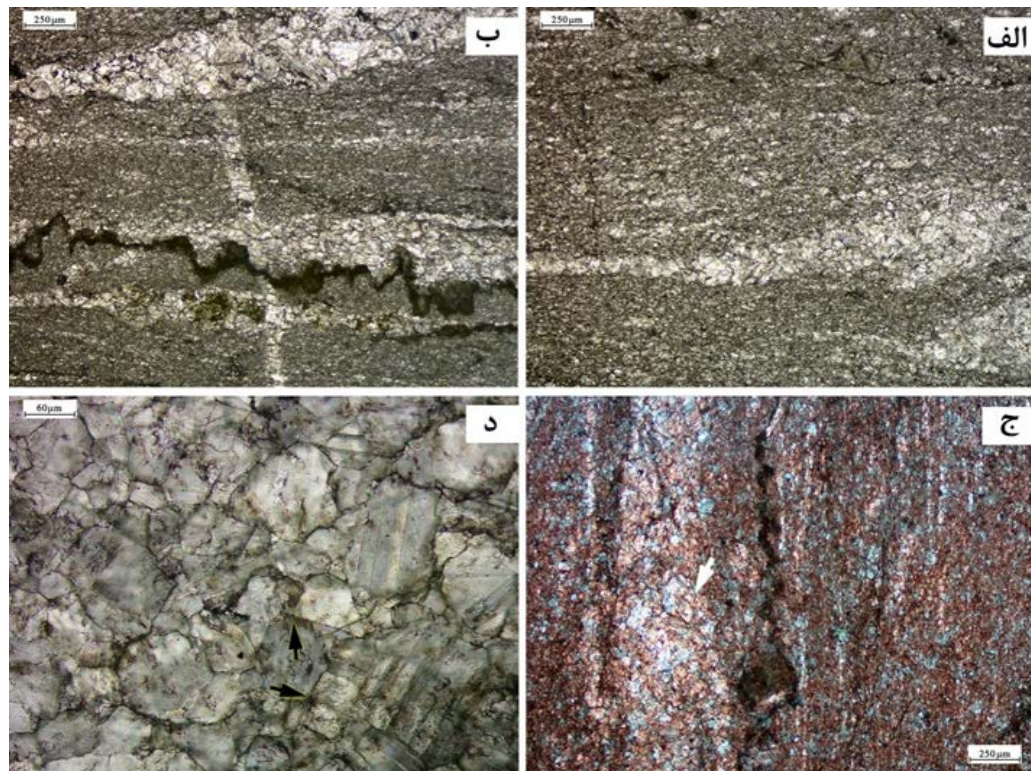
ثانویه و یا کانی‌های رسی قابل مشاهده هستند که در برخی نقاط، این مواد پراکنده از محل خارج و موجب شکل‌گیری منافذ و ایجاد تخلخل در بافت سنگ گشته‌اند. علاوه بر آن، تعداد کمی استیلولیت و رگه نیز در نواحی بقایای زیستی بافت سنگ وجود دارد. استیلولیت‌ها مانند نمونه‌های قبلی با ماده‌ای تیره و رگه‌ها با کلسیت ثانویه پر شده‌اند (تصویر ۱۲). به طور کلی، بافت این سنگ یک‌دست، منسجم و حاوی رگه‌ها و درزه‌های فشاری کمی است. آزمون آلیزارین در این نمونه، حضور و تجمع بلورهای رمبوندریک دولومیت را در نواحی اطراف بقایای زیستی معلوم ساخت.

در پتروگرافی نمونه CM-2 متعلق به معدن کوه چل‌مران، بافت لایه‌لایه از میکرایت تا اسپارایت مشاهده می‌شود که در بین این لایه‌ها، استیلولیت‌هایی پر شده از ماده تیره‌رنگ ثانویه مثل ترکیبات آهن یا کانی‌های رسی وجود دارند (تصویر ۱۳). در بین لایه اسپارایتی می‌توان بلورهای رمبوندریک دولومیت را مشاهده کرد. تعداد این بلورها نسبت به بلورهای کلسیت بسیار کم هستند که در بین بافت‌های دیوتیپیک کلسیتی قرار گرفته است. علاوه بر بافت‌های دیوتیپیک در برخی نواحی بافت زئوتیپیک اسپاری نیز دارد. آزمون آلیزارین بر روی این نمونه حاکی از حضور بسیار کم دولومیت در بافت سنگ است.

با مقایسه مطالعات پتروگرافی نمونه‌های معدن و نمونه‌های برداشت شده از معبد آناهیتا، می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که نمونه‌های CM-1 از قلعه شرقی کوه چل‌مران، از نقطه نظر بافت واحد زیادی شبیه نمونه‌های معبد آناهیتاست؛ با این تفاوت که میزان دولومیت در این نمونه بیشتر از نمونه‌های معبد است و همچنین در نمونه CM-1 بلورهای تخریب شده دولومیت به طور



تصویر ۱۲. پتروگرافی نمونه CM-1، الف) بافت‌های دیوتیپیک اسپاری؛ ب) بلورهای موزاییکی کلسیت اسپاری در کنار بقایای زیستی که با ماده ثانویه تیره‌رنگ پر شده است؛ ج) رگه‌ها و استیلولیت‌ها در نزدیکی بقایای زیستی در بافت کلسیت اسپاری سنگ تشکیل شده‌اند که با ماده ثانویه تیره‌رنگ پر شده‌اند؛ د) در سمت راست تصویر تجمع دولومیت با آزمون آلیزارین مشخص شد (نگارندگان، ۱۳۹۷).



تصویر ۱۳. پتروگرافی نمونه CM-2، الف) بافت لایه‌ای متشکل از میکرایت تا اسپارایت؛ ب) بافت لایه‌ای میکرایتی و هاپپی دیوتپیک در کنار استیلولیت پر شده با مواد ثانویه که متشکل از خطوط متقاطع است؛ ج) آزمون آلیزاین در بین بافت کلسیتی تعدادی بلور دولومیت را مشخص کرد که یکی از بلورهای مجزای دولومیت با پیکان سفید مجزا شده است؛ د) بخشی از بافت متشکل از بلورهای کلسیت اسپاری و بلورهای رمبوندریک دولومیت که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، پیکان‌های سیاه بلور مجزای رمبوندریک دولومیت را نشان می‌دهد (نگارندگان، ۱۳۹۷).

مجزا و مشخص وجود دارند و مقابلاً در نمونه‌های معبد، این چنین خصوصیتی وجود ندارد. ازسوی دیگر، بافت سنگ نمونه CM-2 از قلّه غربی یا معدن اصلی چل مران بیشترین مشابهت را از جهت بافت لایه‌ای میکرایتی تا اسپاری هاپپی دیوتپیک خود و حضور رگه‌ها و استیلولیت‌های مشابه پر شده با کلسیت ثانویه و رس در کنار عدم حضور گسترده دولومیت در بافت سنگ، با نمونه‌های سنگ مطالعه شده از معبد آناهیتا کنگاور دارد.

نکته جالب توجه این است که قلّه و بخش غربی کوه چل مران دارای شواهد متعدد و متنوع عملیات معدن کاری و تراش قطعات سنگ است. ازسوی دیگر، نتایج آزمایش نیز نشان می‌دهد که نمونه سنگ متعلق به این بخش از کوه چل مران (نمونه CM-2) شباهت زیادی با سنگ‌های به کاررفته در قطعات مکعبی و ستون‌های به کاررفته در معبد آناهیتا دارد. بر این اساس، می‌توان گفت که بخش غربی کوه چل مران، به طور حتم به عنوان یک منبع اصلی جهت تولید قطعات سنگ به کاررفته در ساخت معبد آناهیتا در دوران تاریخی استفاده شده است؛ البته با توجه به وجود شواهد معدن کاری باستانی (به میزان محدود در مقایسه با معدن سنگ چل مران) در نواحی دیگری از ناحیه کنگاور، انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی این معادن احتمالی می‌تواند اطلاعات دقیق تری را در این زمینه در اختیار قرار دهد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، براساس شواهد باستان‌شناسی ذکرشده در منابع و گزارش‌های فعالیت‌های میدانی انجام شده بر روی محوطه معبد آناهیتای کنگاور و نواحی اطراف آن، شکل گرفته است. درحقیقت نتایج ارائه شده در این مقاله را می‌توان بخشی از یک پژوهش گسترده‌تر قلمداد کرد که سعی دارد با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی، منبع یا منابع معرفی شده و استفاده شده در ساخت معبد آناهیتا کنگاور را مورد مطالعه قرار داده و ارتباط بین آن‌ها را آشکار نماید. براساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی، سنگ‌های محوطه معبد آناهیتا کنگاور، سنگ آهک‌اند که حاوی میزان زیادی کلسیت به‌عنوان فاز اصلی و مقدار بسیار کمی دولومیت و فازهای سیلیکاتی به‌عنوان فاز فرعی هستند. ازسوی دیگر، نتایج آنالیزهای دستگامی بر روی نمونه‌های معدن باستانی کوه چل‌مران نیز نشان‌دهنده حضور سنگ آهک به‌عنوان ماده تشکیل‌دهنده این معدن است. مطالعات میکروسکوپی نمونه‌ها نیز نشان‌دهنده این است که سنگ‌های معبد آناهیتا و معدن چل‌مران، جزو گروه سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی (با ناخالصی کم) قابل طبقه‌بندی هستند. ازطرفی مطالعات پتروگرافی، بافت‌های مشابه در هر دو نمونه‌های معبد آناهیتا و معدن را معلوم ساختند، اما با مقایسه بافت‌ها مشخص شد که بافت نمونه‌های معبد و نمونه CM-2 از بخش غربی معدن کوه چل‌مران از جهت اندازه بلورهای کلسیتی (میکرایت تا اسپارایت) و همچنین از جهت شکل بلورها و ساختار لایه‌ای قرارگیری میکرایت تا اسپارایت با حضور استیلولیت‌ها و درزه‌های فشاری در بافت، شباهت بسیار زیادی به یکدیگر دارند؛ بنابراین با توجه به نتایج مطالعات آزمایشگاهی می‌توان بیان نمود که در مجموع، معدن سنگ چل‌مران به احتمال زیاد به‌عنوان یکی از معادن اصلی جهت استخراج سنگ و آماده‌سازی قطعات سنگی استفاده شده در سازه و نمای معبد آناهیتا کنگاور مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع نتایج مطالعات آزمایشگاهی مؤید شواهد باستان‌شناسی موجود در این معدن است که پیش از این توسط باستان‌شناسان به‌عنوان معدن سنگ استفاده شده در ساخت معبد آناهیتا کنگاور معرفی شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان از آقای مهندس فرهاد نظری مدیر اسبق پایگاه میراث فرهنگی معبد آناهیتا کنگاور و آقای مهندس وحید برنوس از دانشگاه هنر اصفهان، بابت کمک‌هایشان در انجام نمونه‌برداری از محوطه معبد آناهیتا کنگاور و معدن چل‌مران سپاسگزاری می‌نمایند. این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی مطالعه زمین‌باستان‌شناسی بر روی معادن باستانی و سنگ‌های استفاده شده در محوطه باستانی معبد آناهیتا کنگاور است که به شماره طرح ۹۵۶/۴ بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ در دانشگاه هنر اصفهان انجام شده است.

پی‌نوشت

1. Geoarchaeology
2. Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence
3. Mische
4. Very High Purity
5. High Purity
6. Medium Purity
7. Low Purity
8. Impure
9. Trace Elements
10. Micrite <20 microns

۱۱. Sparite: شامل میکرواسپارایت یا میکرواسپار (Mirosparite) با اندازه بلورهای بین حدود ۵ تا ۳۰ میکرون؛ سدواسپارایت یا سدواسپار (Pseudosparite) با بلورهای بزرگ‌تر از ۳۰ میکرون و متاسپارایت یا متاسپار (Metasparite) که اندازه‌ای یکسان با

- سدواسپاریت دارد، اما دارای بافت گرانبلاستی و مرکب از دوقلوبی‌هایی است که حکایت از فرآیند دگرگونی دارند.
12. Stylolite
۱۳. Hypidiotopic، حد واسط میان ایدیوتیپیک (Idiotopic) و زوتیپیک (Xenotopic). این واژه خصوصاً برای بافت اصلی یک سنگ رسوبی بلورین که قسمت اعظم بلورهای محتوی آن تقریباً بی‌شکل هستند، به‌کار می‌رود.
14. Xenotopic
15. Opaque
16. Idiotopic

کتابنامه

- کامبخش‌فرد، سیف‌الله. (۱۳۵۰). «کاوش‌های علمی در کنگاور». *باستان‌شناسی و هنر ایران*، شماره ۶، صص: ۳۱-۱۰.
- کامبخش‌فرد، سیف‌الله. (۱۳۷۴). *معبد آناهیتا کنگاور، کاوش‌ها و پژوهش‌های باستان‌شناسی و بازسازی و احیای معماری معبد ناهید و تاق‌گرا*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- ملائی، حبیب. (۱۳۸۵). *اطلس کانی‌شناسی نوری*. مشهد: انتشارات سخن‌گستر، معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.
- مهریار، محمد؛ و کبیری، احمد. (۱۳۸۳). *کارنامه کاوش، پژوهش، ساماندهی و معرفی «چهارمین گروه باستان‌شناسی» (از ۱۳۶۷ - ۱۳۸۰)*، ادامه کنکاش‌ها در معبد آناهیتا کنگاور. تهران: سازمان میراث فرهنگی و گردشگری.
- نظری، فرهاد؛ و دوستانی، سعید. (۱۳۸۶). «پژوهشی در معادن سنگ معبد آناهیتا کنگاور». *اثر*. شماره ۴۲ و ۴۳. صص: ۶۴-۵۲.

- Azarnoush, M. (1981). "Excavations at Kangavar". *Archaologische Mitteilungen aus Iran*, 14. Pp: 69-94.
- Bausch, W. M. (1968). "Clay content and calcite crystal size of limestones". *Sedimentology*. 10(1). Pp: 71-75.
- Beardsley, F. R. & Goles, G. G. (2001). "Sampling for Provenance: Tailings from Prehistoric Stone Quarries in the South Pacific". *Journal of Archaeological Science*, 28. Pp: 587-595.
- Bianco, L. (2017). "Techniques to determine the provenance of limestone used in Neolithic Architecture of Malta". *Romanian Journal of Physics* 62, 901. Pp: 1-10.
- Chilingar, G. V. (1957). "Classification of limestones and dolomites on basis of Ca/Mg ratio". *Journal of Sedimentary Research*. 27 (2). Pp: 187-189.
- Chilingar, G. V. (1960). "Classification of Carbonate Rocks on Basis of Chemical Composition: NOTES". *Journal of Sedimentary Petrology*. 30 (1). Pp: 157-158.
- Davidson, D. A. & Shackley, M. L. (Eds.), (1976). *Geoarchaeology: Earth Science and the Past*. London, Gerald Duckworth and Co. Ltd.
- De Paepe, P.; Moens, L. & De Donder, J. (2005). "Provenance assignment of archaeological marbles in the museum of Ballıhisar (Central Anatolia, Turkey), Anatolia antiqua. Eski Anadolu". *Année*, 13. Pp: 161-170.
- Emami, S. M. (2010). "Preliminary studies on mining methods used in Sivand quarries during the Achaemenian period in Fars province, Iran". *Geología Colombiana - An International Journal on Geosciences*, 35. Pp: 175-185.

- Emami, 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*, First published: 22 April 2018, DOI: <https://doi.org/10.1111/arcm.12395>.
- Flügel, E. & Munnecke, A. (2010). *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Springer-Verlag, Berlin.
- Frolova, E. K. (1959). *On classification of carbonate rocks of limestone-dolomite-magnesite series: Novosti Neft*. Tekhniki (Geology), No,3.
- Geysant, J. (2001). "Geology of Calcium Carbonate, from Mineral to Rock-the Deposits". In: *Calcium Carbonate, from the Cretaceous Period into the 21st Century*, Tegethoff, F. W. (Ed.), in collaboration with J. Rohleder and E. Kroker, Springer, Basel: 1-52.
- Gaied, M. E.; Younès, A. & Gallala, W. (2010). "A geoarchaeological study of the ancient quarries of Sidi Ghedamsy Island (monastir, Tunisia)". *Archaeometry* 52(4). Pp: 531-549.
- Goldberg, P. & Macphail, R. I. (2006). *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Blackwell Publishing, Malden.
- Huff, D. (2004). "Pre-Islamic Quarry- and Stone-technology in Iran". In: *Persiens Antike Pracht, Bergbau Hand-werk Archaologie*, Katalogbeiträge in englischer sprache, Deutsches Bergbau-museum Bochum. Pp: 294-309.
- Lynn, J. D. (2011). "A New Method to Determine Marble Provenance with XRD Accessory Mineralogy". In: *SPE/DGS Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition*, 15-18 May, Al-Khobar, Saudi Arabia. Pp: 1-17.
- MacKenzie, W. S.; Adams, A. E. & Brodie, K. H. (2017). *Rocks and Minerals in Thin Section: A Colour Atlas*. CRC Press, Taylor and Francis Group, London. Second Edition.
- Macphail, R. I. (2017). Experimental Geoarchaeology. In: *Encyclopedia of Geoarchaeology, Encyclopedia of Earth Science Series*. Gilbert, A. S., Goldberg, P., Holliday, V. T., Mandel, R. D., Sternberg, R. S. (Eds.), Springer, Heidelberg. Pp: 251-262.
- Mische, H.; Simler, R.; Affaton, P.; Mickala, O.; Boudzoumou, F. & Mbina, M. (2013). "New Computerized Method for the Geochemical Classification of Precambrian Carbonate Rocks: Case of a Set of African Cap Carbonates". *International Journal of Geosciences*, 4. Pp: 1-13.
- Miletić, S.; Kramer, S.; Lux, J.; Šmuc, A. & Zupančič, N. (2016). "Provenience analysis of Roman stone artefacts from sedimentary rocks from the archaeological site near Mošnje, NW Slovenia". *Geologija*, 59/1. Pp: 35-54.
- Oates, J. A. H. (1998). *Lime and Limestone, Chemistry and Technology, Production and Uses*. Wiley-VCH, Weinheim.
- Oudbashi, O. (2008). "Ancient Stone Quarry in Chehel Maran closed by Kangavar

Archaeological complex (Anahita Temple), west of Iran”. *Proceeding of International Conference AMiTEM 2008*, June 15-22, 2008, ANKARA, TURKEY, ATILIM university Publications. Pp: 371-381.

- Polikreti, K.; Maniatis, Y.; Bassiakos, Y.; Kourou, N. & Karageorghis, V. (2004). “Provenance of archaeological limestone with EPR spectroscopy: the case of the Cypriote-type statuettes”. *Journal of Archaeological Science* 31. Pp: 1015-1028.

- Pollard, A. M.; Batt, C. M., Stern, B. & Young, S. M. M. (2006). *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Serra, M.; Marni, V. & Cannas, C. (2017). “Geo-material provenance and technological properties investigation in Copper Age menhirs production at Allai (central-western Sardinia, Italy)”. *STAR: Science & Technology of Archaeological Research*, 3. Pp: 391-404.

- Shin, D. & Lee, I. (2002). “Carbonate-hosted talc deposits in the contact aureole of an igneous intrusion (Hwanggangri mineralized zone, South Korea): geochemistry, phase relationships, and stable isotope studies”. *Ore Geology Reviews*, 22. Pp: 17-39.

- Tilia, A. B. (1968). “A study on the methods of working and restoring stone and on the parts left unfinished in Achaemenian architecture and sculpture”. *East and West*, Pp: 68-95, new series, vol. 18, nos. 1-2.

- Vaggelli, G.; Serra, M.; Cossio, R. & Borghi, A. (2014). “A New Approach for Provenance Studies of Archaeological Finds: Inferences from Trace Elements in Carbonate Minerals of Alpine White Marbles by a Bench-to-Top μ -XRF Spectrometer”. *International Journal of Mineralogy*, Volume 2014. Pp: 1-11.