

تاریخ علم، دوره ۱۸، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۵۹-۲۷۹

تاریخچه سنگ لاجورد و نقش علم شیمی در کشف حقایق آن

آندیا نعمتی

استادیار، گروه علوم پایه، پژوهشکده دانشنامه نگاری

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

andyanemati@yahoo.com

(دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۶، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲)

چکیده

سنگ لاجورد (Lapis lazuli) نام سنگی است که در فلات ایران استخراج می شود. خاستگاه اصلی سنگ لاجورد، معادن سرسنگ در سرزمین بدخشان در شمالی ترین بخش افغانستان است. این سنگ به رنگ آبی تیره همراه با لکه های طلایی پیریت است و از سنگ های نیمه قیمتی و شناخته شده در عهد ایران باستان و یکی از کالاهای تجاری ایرانیان بود. دانشمندان ایرانی از جمله ابوریحان بیرونی، ابن سینا، خواجه نصیرالدین طوسی، جوهری نیشابوری و غیره در مورد خصوصیات این سنگ و خواص درمانی آن مطالب بسیاری آورده اند. هنرمندان ایرانی در سده های میانی و اروپایی دوره رنسانس از این سنگ به عنوان رنگدانه لاجوردی (آبی نیلی) در نقاشی های خود استفاده می کردند. امروزه از آن برای ساخت جواهرات نیمه قیمتی، وسایل تزئینی، نقاشی، آثار هنری و انرژی درمانی استفاده می شود. این سنگ را می توان با استفاده از روش های شناسایی مدرن در علم شیمی بررسی کرد. شیمی دانان با استفاده از روش های FTIR، XRD، SEM، EDS، SR، PIXE و ترکیب آنها با یکدیگر، می توانند ساختار، مبدأ، سن، ریخت شناسی، ناخالصی، اجزای تشکیل دهنده و تاریخ این سنگ را تعیین کنند.

کلیدواژه ها: روش های شناسایی، سنگ لاجورد، سنگ نیمه قیمتی، شیمی، کانی شناسی، لاپیس لازولی.

مقدمه

سنگ لاجورد را در اصطلاح کانی شناسی لاپیس لازولی (Lapis lazuli) می‌نامند. لاپیس، لغتی لاتین و به معنای سنگ است، لازولوم وام گرفته شده از کلمه لاجورد فارسی (لاژورد، لاجورد)، به معنای آبی است. بر این اساس می‌توان گفت که نام این سنگ از فارسی به سایر فرهنگ‌ها رفته است و نیز می‌توان گفت که ایرانیان کاشف این سنگ بوده‌اند و شواهد باستان‌شناسی نیز این ادعا را تأیید می‌کنند (مجیدزاده، ۱:۲؛ Frison, 2016).

لاپیس لازولی نوعی سنگ دگرگون و متشکل از چندین ماده معدنی از جمله لازوریت (جزء اصلی و به رنگ آبی)، کلسیت، پیریت، دیوپسید و چند فاز دیگر است. با خرد کردن و ساییدن این سنگ، رنگدانه آبی اولترامارین (حاصل از لازوریت آبی رنگ) به دست می‌آید. بخش عمده‌ای از سنگ لاجورد از فلات ایران استخراج می‌شود. گران‌قیمت‌ترین سنگ لاجورد، رنگ آبی تیره مایل به مشکی، بسیار تیره‌تر از فیروزه است. اغلب لازوریت با سایه‌های روشن‌تر و مخلوط با رگه‌های کلسیت مشاهده می‌شود. پیریت نیز در نمونه‌های لاجورد به صورت دانه‌های فراوان و به رنگ طلایی وجود دارد تا ترکیبی از آبی تیره و طلایی ایجاد کند. سنگ‌های قیمتی لازوریت در درون سنگ‌های مرمر سیاه و سفید با ضخامت صدها متر رسوب کرده‌اند (Frison, 2016؛ مک‌نیر بختیار، ۲۰۱۱).

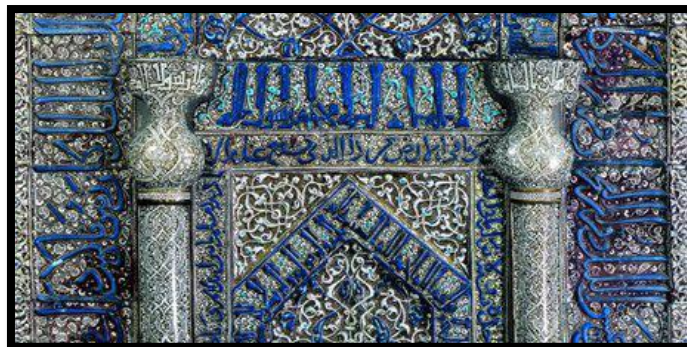
با توجه به این که معادن اصلی سنگ لاجورد در افغانستان (جزئی از فلات ایران) قرار دارند و هنوز منبع اصلی استخراج باکیفیت‌ترین سنگ لاجورد در جهان هستند، نیز با توجه به این موضوع که این سنگ در طول تاریخ از جنبه‌های مختلف برای ایرانیان حائز اهمیت بسیار بوده است، به لحاظ ساخت ابزارآلات یا آثار هنری از جمله ساخت لوازم تزئینی، آثار نقاشی، کاشی‌گری، رنگ‌آمیزی سفال، و میناکاری چنان‌که در ادبیات فارسی نیز می‌توان مشاهده کرده که بسیار به آن اشاره شده است، همچنین به لحاظ تجارت بسیار، پزشکی و داروسازی و موارد دیگر، شایسته است که بیشتر در باره آن سخن گفته شود. نگارنده در این مقاله سعی دارد این سنگ را از جنبه‌های مختلف و به خصوص گذشته آن، چه در علوم اسلامی و چه در علم شیمی بررسی کند.

تاریخچه سنگ لاجورد

لاجورد سنگی نیمه‌قیمتی در دوران ایران باستان است. با شکست مادها از تیکلات پلیسر سوم، پادشاه آشور در قرن هفتم قبل از میلاد، غنایمی از جمله لاجورد (ده تن) دریافت شد و کتیبه‌های آشوری به آن اشاره کرده‌اند. در دوره هخامنشی، لاجورد را «کیوتکه» می‌نامیدند. در کتیبه بنیاد کاخ داریوش کبیر در شوش، هر یک از مصالح لازم برای ساختمان کاخ و منشأ آنها ذکر شده است. به ادعای داریوش کبیر، لاجورد به کار رفته در ساخت این کاخ، از سغدیه، سرزمینی در آسیای مرکزی و شامل بدخشان، تأمین شده است. پس از دوره هخامنشی، از آن برای تهیه زیور آلات و لعاب استفاده می‌کردند. اولین کار دست با لاجورد، در پاکستان و در هزاره چهارم به دست آمد، در هزاره سوم نیز کارهای دستی متعددی از لاجورد در سرزمین‌های مصر و بین‌النهرین کشف شد (Calligaro, 2014؛ زاوش، ۱۳۴۸، ۲۴۵؛ Herrmann, 1968، 21-57).

به دلیل وجود دشت کویر و دشت لوت در شرق فلات ایران، کشاورزی در این مناطق امکان‌پذیر نبود، اما به دلیل وجود انواع معادن در این بخش از فلات ایران، جمعیت زیادی در آنجا ساکن شدند. با حفاری در این مناطق حجم زیادی از سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی از جمله سنگ لاجورد به صورت خام و تراش‌یافته به دست آمدند که نشان از رونق تجارت این کالا در این مناطق داشت. وجود انبوه سنگ لاجورد و تراشه‌های آن در شهر سوخته، دلیل اهمیت تجاری این سنگ در حکومت‌های شرق ایران، در منطقه گسترده‌ای از کوه بدخشان در شرق تا سرزمین مصر در غرب است، احتمالاً سنگ خام از کوه‌های سرسنگ بدخشان استخراج می‌شد و به صورت ماده خام به شهر سوخته منتقل می‌شد و پس از پاک‌سازی در کارگاه‌ها، از راه کرمان و فارس، به شوش و سپس به شهرهای جنوبی میان‌رودان و دورتر و از طریق دریا به سومر و مصر صادر می‌شد (تصویر ۱). بنا بر این مشاهده بقایای این سنگ در مناطق شرقی ایران از جمله شهر سوخته، شهادت و غیره، مسیرهای تجارت این سنگ را نشان می‌دهد. از طرفی غرب ایران، غنی از زمین‌های کشاورزی ولی فاقد منابع معدنی بود که همین امر سبب برقرار شدن روابط تجاری، فرهنگی و اقتصادی بین مردم شرق و غرب ایران می‌شد (شیرزاده، ۱۳۹۱، ۱۰۷-۸۵؛ مجیدزاده، ۱:۲؛ Herrmann, 1968، 21-57).

تاریخچه سنگ لاجورد.../۲۶۳



تصویر ۲. محرابی متعلق به مسجد میدان شهر کاشان، کاشی‌کاری‌های همراه با طلا، لاجورد و مینا در موزه پرگامون آلمان متعلق به قرون وسطی



تصویر ۳. تندیس پرنده فاخته از جنس لاجورد همراه با قپه‌های طلایی میخکوب، متعلق به ۱۳۰۰ سال پیش از میلاد در دوره عیلامی میانه، موزه لوور.



تصویر ۴. اثر هنری «روز رستاخیز» توسط میکل آنژ در موزه واتیکان، رم، ۱۵۳۶-۱۵۴۱، که از پودر لاجورد برای رنگ آبی در اثر خود استفاده کرده است (gemsociety.org).

خاستگاه سنگ لاجورد از دیدگاه منابع اسلامی

در منابع اسلامی از جمله الجواهر فی معرفة الجواهر (قرن چهارم و پنجم)، معدن لاجورد در جبال کران و پنجهیر ذکر شده و نیز آمده است که آن را از بدخشان به خراسان و عراق می‌برند و آنچه به سمت مغرب می‌برند از معادن لاجورد ارمنیه (ارمنستان) است. در کتاب الجغرافیه (قرن ششم) به وجود معادن لاجورد در کوه‌های سبرماق خراسان اشاره شده است. در تنسوخ نامه ایلخانی (قرن هفتم)، معدن لاجورد را در بدخشان ذکر کرده است. در عرایس الجواهر و نفایس الأطایب (قرن هفتم) چهار نوع لاجورد بر اساس محل استخراج آن آمده است: بدخشی، کرجی، دزماری و کرمانی. در جواهرنامه نظامی (قرن هفتم) آمده است که لاجورد را به زبان رومی، ارمیناقون می‌خوانند و آن را به ارمنیه نسبت می‌دهند و می‌گویند که در کوه‌های پنجهیر، معادن آن نیز وجود دارد و معادن آن را در کوه‌های بدخشان نیز می‌دانند. یاقوت حموی (قرن هفتم) معادن لاجورد را در بدخشان آورده است. در کتاب‌های اُزهار الأفکار فی جواهر الأحجار و آثار البلاد و اخبار العباد، معادن لاجورد را در کوه‌های طخارستان ذکر می‌کنند که همان معادن بدخشان هستند (بیرونی، ۸۵-۸۶؛ زهری، ۱۲۵؛ خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۶۸-).

تاریخچه سنگ لاجورد.../۲۶۵

۱۶۹؛ کاشانی، ۱۷۲-۱۷۳؛ جوهری نیشابوری، ۲۱۶-۲۱۷؛ تیفاشی، ۱۶۸؛ قزوینی، (۴۶۱).

شرایط و مناطق تشکیل سنگ لاجورد براساس نظریات ژئوشیمی، شیمی و کانی-شناسی

اغلب سنگ‌های قیمتی، مواد معدنی با فرمول‌های شیمیایی مشخص هستند. لاپیس لازولی، ترکیبی از چندین ماده معدنی از جمله، پیریت $[FeS_2]$ به رنگ طلایی، کلسیت $[CaCO_3]$ به رنگ سفید یا بی‌رنگ، و لازوریت حاوی کلر به رنگ آبی است. معادن لاپیس لازولی در سرزمین‌های بسیار مرتفع با شرایط بد آب و هوایی قرار دارند. براساس نظریه ژئوشیمی‌دان‌ها، لازوریت در زیر پوسته زمین و در مناطق نزدیک به ماگما تحت حرارت و فشار بسیار بالاتر از سطح زمین تشکیل می‌شود. ساختار شیمیایی اصلی سنگ لاجورد ریشه در منابع آتشفشانی دارد، همانند دیگر گروه‌های معدنی سودالیتی، عناصر شاخصی همچون کلسیم و گوگرد در لازوریت مشاهده می‌شوند. ضمن این که سنگ لاجورد شامل پیریت و کلسیت با منشأ آتشفشانی نیز هست. بنابر نظر یورگنسن و سوخارف (۱۹۸۴)، رسوب‌های سنگ لاجورد از برهم‌کنش بین سیال‌های شامل گرانیات و مرم‌همراه با مقادیر بالایی از پیریت در شرایط هیدروترمال به وجود می‌آیند. در سراسر جهان، یازده منطقه به عنوان معادن سنگ لاجورد ذکر شده‌اند که مهم‌ترین آنها در افغانستان (بدخشان)، سیبری (ایرکوتسک، نزدیک دریاچه بایکال)، پاکستان (تپه‌های چاگای)، تاجیکستان (کوه‌های پامیر)، شیلی و شمال آمریکا قرار دارند و معادن کوچکی از این سنگ در ایتالیا، میانمار و کانادا نیز مشاهده شده‌اند. اما در میان آنها معادن سنگ لاجورد در سرسنگ منطقه بدخشان افغانستان بزرگ‌ترین منبع در طول تاریخ بوده‌اند (Da Cunha, 1989, 70-47; Colomban, 2005, 152-145; Alessandro, 2009, 2217-2211).

پیر باریاند، کانی‌شناس سوربونی و محقق معاصر منابع لاپیس لازولی، مرکز اصلی این سنگ را در غارهای کوه‌های هندوکوش در دره رودخانه کوکچای افغانستان و مرکز استخراج سنگ‌های لاجورد با بالاترین کیفیت، تا به امروز می‌داند. این سنگ به رنگ آبی پررنگ و گاهی با مقدار بسیار جزئی بنفش همراه است، کیفیت آن با حضور رگه‌های سفید (کلسیت) کم می‌شود اما وجود رگه‌های پیریت (طلایی) ارزش آن را افزایش می‌دهد. براساس شواهد باستان‌شناختی نیز دره‌های بدخشان غنی از لاجورد هستند و

این گنجینه‌ها از دیرباز به عنوان ثروت و ارزش اقتصادی ایفای نقش کرده‌اند. لاجورد از بدخشان به سرزمین‌های غربی رسیده است (مک‌نیربختیار، ۲۰۱۱؛ Derakhshani, J., 1995).

در کتاب کانی‌شناسی در ایران قدیم، چنین آمده است که احتمالاً به دلیل وجود معادن سنگ معدن مس در مناطق دزمار در آذربایجان و همچنین در کرمان، به اشتباه آنها را معادن سنگ لاجورد عنوان کرده‌اند. شرکت ملی نفت ایران و زمین‌شناسان نیز اعلام کردند که در مناطق دزمار، کرمان و مازندران سنگ‌های آهنی دگرگون وجود ندارند و اثری از سنگ لاجورد در این مناطق مشاهده نشده است (زاوش، ۲۴۵؛ Herrmann, 1968, 21-57).

چند روش شیمی تجزیه را می‌توان برای تشخیص خاستگاه و طبیعی یا مصنوعی بودن سنگ لاجورد مورد استفاده قرار داد. برای تشخیص طبیعی یا مصنوعی بودن این سنگ می‌توان از روش IR (طیف‌سنجی مادون قرمز) استفاده کرد. اگر لاجورد طبیعی باشد در ناحیه 2340 cm^{-1} پیک جذبی نشان می‌دهد ولی لاجورد مصنوعی فاقد چنین پیک جذبی است.

برای تعیین خاستگاه انواع نمونه‌های لاجورد با استفاده از علم شیمی تجزیه، می‌توان مثالی آورد: براساس تحقیقاتی که توسط الکساندروف، ری، اشمیت و بونکر انجام شد، با استفاده از روش‌های ترکیبی EDS (طیف‌سنجی پراش انرژی) و XRD (طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس) و نیز مشاهدات FEG-SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی- بُردِ تفنگ پرتاب الکترون) توانستند فازهای معدنی موجود در سنگ لاجورد در نمونه‌های افغانستان، سیبری و شیلی و خاستگاه آنها را تعیین کنند. داده‌های مرتبط با این آزمایش‌ها نشان می‌دهند که نمونه‌های افغانستانی دارای محتویات پتاسیم بیشتری نسبت به باقی نمونه‌ها هستند. نمونه‌های مربوط به شیلی فاقد کلر هستند. سنگ‌های لاجورد متعلق به افغانستان و سیبری به لحاظ یکنواختی رنگ و درجه خلوص به هم نزدیک بوده و سنگ لاجورد متعلق به شیلی دارای متن آبی کم‌رنگ با درجه خلوص پایین است (Schmidt, 81, 8513-8518, Lo, 395, 2211-2217, Re, 269, Bunker, 179, 300-308, Corona, 16, 57-65). بنا بر این با چنین روش‌هایی می‌توان مشخصات مربوط به سنگ لاجورد موجود در تمامی معادن لاجورد

در جهان را به عنوان داده‌های استاندارد، ثبت کرد و سپس با مقایسه نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های لاجورد مجهول با این داده‌ها، به خاستگاه آنها پی برد.

کربنات مس خالص به راحتی با رطوبت هوا واکنش می‌دهد و در طبیعت اغلب به صورت کربنات مس بازی یا کربنات هیدروکسید مس II، $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (با نام مالاکیت) و یا $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ (با نام آزوریت) دیده می‌شود. سنگ ارمنی (آزوریت، Azurite) همان کربنات مس با فرمول شیمیایی $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ است و به همان رنگ لاجوردی در طبیعت دیده می‌شود. اما این کانی به دلیل داشتن عنصر مس (مسبب وجود رنگ آبی در این کانی) و عامل کربناتی، می‌تواند در مجاورت هوا، رطوبت، حرارت و عوامل اکسنده دچار هوازدگی گشته و به اکسید مس II (سیاه رنگ) تبدیل شود. بنا بر این به دلیل مقاومت کم و ناپایدار بودن در برابر شرایط جوی، نمی‌توان از این سنگ برای مصارف تزئینی استفاده کرد. سنگ لاجورد فاقد عنصر مس است، در برابر شرایط جوی از جمله گرما و اکسیژن مقاوم بوده و رنگ خود را از دست نمی‌دهد. بیشترین ماده معدنی موجود در سنگ لاجورد، لازوریت با فرمول $(\text{Na,Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{S},\text{SO}_4,\text{Cl})_{1-2}$ است و رنگ آبی آن به دلیل وجود آنیون تری سولفور، S^{3-} ، درون بلور است. کُلر نیز می‌تواند سبب ایجاد رنگ آبی شود. گاهی در کاشی‌کاری و نقاشی از آزوریت به جای لازوریت استفاده می‌شود و همین امر سبب سیاه شدن آنها با گذشت زمان می‌شود. با استفاده از روش طیف‌سنجی میکرورامان نیز می‌توان اختلاف میان رنگ‌دانه‌های حاصل از لازوریت (سنگ لاجورد) و آزوریت (سنگ ارمنی) را تشخیص داد (Bicchieri, 2001, 915-922).

بر اساس این اطلاعات می‌توان به این نتیجه رسید که منبع اصلی سنگ لاجورد در بدخشان افغانستان است و منابع ذکر شده در کتب اسلامی از جمله دزمار، کرمان، کرجی و مازندران به احتمال زیاد سنگ معدن مس هستند. در برخی از این منابع، به درستی از بدخشان به عنوان مرکز اصلی سنگ لاجورد یاد شده است.

خصوصیات سنگ لاجورد در منابع اسلامی

در جواهرنامه سلطانی آمده است که اگر لاجورد را در آتش بریزند، دود می‌کند و زبانه آتش به همان رنگ لاجورد در می‌آید. در عرایس الجواهر و نفایس الأطایب همین مشخصات در باره لاجورد آمده است و نیز می‌نویسد که سنگ ارمنی در آتش سیاه می‌شود. در قراضه طبیعیات منسوب به ابن سینا نوشته شده که لاجورد در آتش سیاه می‌شود.

شود که به طور قطع سنگ ارمنی را لاجورد دانسته است و این اشتباه در کتب دیگر نیز بسیار به چشم می‌خورد. در جواهرنامه نظامی نیز آمده است که اگر حکاکان، لاجورد را بر چرخ بسایند، از آن بوی لوس (شاید لوش، به معنای لجن) برمی‌خیزد. گفته می‌شود که یک سنگ‌تراش باتجربه می‌تواند کیفیت لاجورد را توسط بویی که از این سنگ به هنگام برش برمی‌خیزد، تشخیص دهد. کتاب ذخیره خوارزمشاهی نیز میان خواص لاجورد بدخشان و لاجورد ارمنیه تفاوت قائل شده است (جوهری نیشابوری، ۱۳۸۳، ۲۱۶؛ بیرونی، ۱۳۰۰؛ کاشانی، ۱۳۸۶؛ جرجانی، ۱۳۹۱؛ زاوش، ۱۳۴۸).

خصوصیات سنگ لاجورد در علم شیمی

لاپیس لازولی در دسته‌بندی سنگ‌های دگرذیس قرار دارد. مخلوطی از مواد معدنی است و به همین دلیل در دسته سنگ‌ها قرار می‌گیرد و ماده معدنی محسوب نمی‌شود. ماده معدنی عمده آن لازوریت (۲۵٪-۴۰٪) است. لازوریت دارای سیستم بلورین دوازده وجهی و ماده معدنی سیلیکاتی فلدسپاتی با فرمول شیمیایی پیچیده $(Na,Ca)_8(AlSiO_4)_6(S,SO_4,Cl)_{1-2}$ و نیز شامل کلسیت (سفید)، سودالیت (آبی) و پیریت (رنگ زرد فلزی، طلایی) است. شکستگی در لاپیس لازولی به صورت ناهموار و دارای پستی و بلندی است. خصوصیات فیزیکی، نوری، رنگ، بلورشناسی، فلوتورسانس مرتبط با سنگ لاجورد در جدول ۱ آمده است (Favaro, 402, 2195).

جدول ۱. خصوصیات سنگ لاجورد (لاپیس لازولی)

Herve Nicolas Lazzarelli, Blue Chart Gem Identification (2010)	۵/۵	سختی در مقیاس موس
Herve Nicolas Lazzarelli, Blue Chart Gem Identification (2010)	۲/۵۰-۳/۰۰	وزن مخصوص
Herve Nicolas Lazzarelli, Blue Chart Gem Identification (2010)	۱/۵۰۰-۱/۶۷۰	ضریب شکست

Walter Schumann, Gemstones of the world (2001)	شکننده و صدفی	شکستگی
Walter Schumann, Gemstones of the world (2001)	آبی لاجوردی، بنفش، آبی-سبز	رنگ (عمومی)
Michael O'Donoghue, Sixth Edition (2006)	مات	شفافیت
Herve Nicolas Lazzarelli, Blue Chart Gem Identification (2010)	زجاجی، شیشه‌ای	درخشش
Walter Schumann, Gemstones of the world (2001)	قوی: سفید، همچنین نارنجی، رنگ مسی	فلوئورسانس (عمومی)
Walter Schumann, Gemstones of the world (2001)	ممکن است عکس‌العمل صورتی داشته باشد	فلوئورسانس (موج کوتاه فرابنفش)
Walter Schumann, Gemstones of the world (2001)	نقاط نارنجی تا صورتی (کلسیت)	فلوئورسانس (موج بلند فرابنفش)

سنگ لاجورد با قرار گرفتن در معرض HCl (اسید کلریدریک)، گاز H₂S با بوی تخم مرغ گندیده متصاعد می‌کند. گوگرد موجود در سنگ لاجورد در اثر سوختن، شعله‌آبی‌رنگ با بوی تند و زننده تولید می‌کند و گاز SO₂ متصاعد می‌شود. تحقیقات انجام شده توسط اساتید دانشگاه نیویورک و مؤسسه پرات نشان می‌دهد که رنگ آبی لاجوردی به دلیل حضور اتم‌های گوگرد در ساختار شیمیایی آن است و تحت شرایط مرطوب، به دلیل خروج گوگرد از ساختار، رنگ آبی آن محو می‌شود و رنگی با شدت بسیار کم به نام آبی لاجوردی کم‌رنگ باقی می‌ماند (Favaro, 402, 2195).

از مقایسه این منابع این نتایج به دست آمد: بنابر خصوصیات ذکر شده در مورد سنگ ارمنی (آزوریت) به دلیل ناپایدار بودن کربنات مس در برابر حرارت، اکسید مس سیاه رنگ و دوده تولید می‌شود و بنا بر این سنگ ارمنی در آتش به رنگ سیاه در می‌آید و در قراضه طبیعیات این صفت به اشتباه به لاجورد نسبت داده شده است. اما لاجورد چنین خصوصیتی ندارد و اگر در آتش ریخته شود به دلیل تبدیل گوگرد به گاز

SO₂، شعله آبی با بوی تند مشاهده می شود. وجود عنصر گوگرد در لاجورد، سبب ایجاد بوی خاصی می شود که در جواهرنامه نظامی به آن اشاره شده است (به هنگام تراش و ایجاد حرارت، بوی لوش از آن برمی خیزد) و به همین دلیل، در مجاورت اسید رقیق نیز بوی تخم مرغ گندیده از آن متصاعد می شود و مسلماً چنین بویی از سنگ ارمنی به مشام نمی رسد چون در ساختار آن گوگرد وجود ندارد.

کاربردهای سنگ لاجورد در منابع اسلامی

در پزشکی اسلامی سنگ لاجورد به دو دلیل استفاده می شد: ۱- مصارف پزشکی و داروسازی، ۲- دسته بندی سنگ ها در کیمیاگری و جواهرشناسی. علم جواهرتراشی در منابع اسلامی بسیار دقیق تر از رساله های غربی هم عصر خود بود.

کاربردهای پزشکی: در تنسوخ نامه ایلخانی آمده است:

هیچ دارویی بهتر از لاجورد شسته در درمان اسهال سودا نیست، برای اصحاب مالیخولیا و کسانی که خواب ندارند، مفید است و به همین دلیل، اگر آن را بر پلک چشم بکشند، مژه می روید

و در مورد کیفیت لاجورد می نویسد:

لاجوردی که در آن بتوان نقاط زر دید و هرچه صاف تر و خوش رنگ تر و در آن نقاط سفید کمتر باشد، بهتر است.

در کتاب قانون در مورد خواص دارویی و درمانی سنگ لاجورد آمده است:

قوتش همان قوت صمغ گیاه بدران و کمی ضعیف تر از آن است. به لحاظ مزاجی در دوم گرم و در سوم خشک است. خاصیت گزنده، گنداننده و زداینده همراه با تندی دارد، می سوزاند و زخم می کند. زگیل را برمی کند، رویش موی مژه را به بهترین حالت درآورده و آن را زیاد می کند. بعضی می گویند که دلیل آن، از بین بردن خلط های بد ضد رویش مژه است و موهای مژه می توانند بی هیچ مانعی برویند. این سنگ برای درمان نفس بریدگی ناشی از خستگی به کار می رود. مواد سودایی و هر آنچه را که با خون آمیخته و غلیظ است، دفع می کند.

در کتاب مخزن الادویه در باره سنگ لاجورد چنین آمده است:

طبیعت آن در اول گرم و در دوم خشک است. آن را جالی و صاف کننده اخلاط از کدورات و مسهل سودا و اخلاط غلیظ مخلوط به خون و با خاصیت دفع

تاریخچه سنگ لاجورد.../۲۷۱

سودای حوالی قلب و امراض سوداوی و غم و اندوه و ترس و بخارات غلیظه و مفرح و مقوی قلب و با اندک قوت قابضه و در سایر خواص شبیه به سنگ ارمنی و لزاق الذهب ولی از آن دو ضعیف‌تر و با قدرت سوزاننده و تند و تیز و زخم‌کننده آورده است.

آشامیدن آن را برای مالیخولیا و وسواس و کشیدن آن را بر چشم به منظور رفع چشم‌درد، ریزش اشک، ورم پلک و سفیدی چشم و زخم و جلوگیری از ریزش مژه مناسب می‌داند و آن را به عنوان بیشترین جزء دارویی موجود در بیماری‌های چشمی معرفی می‌کند و برای تقویت پلک چشم و رویش مژه و ازدیاد آنها مناسب می‌داند.

در کتب پزشکی اسلامی دستورهایی نیز برای ترکیب، تهیه و کاربرد داروهای مختلفی از این سنگ وجود دارد. از زمان هونیان ابن اسحاق (۸۰۹-۸۷۷) تا اواخر قرن ۱۳ پزشکانی از جمله الکوهین، العطار و منهاج الدکان، دستوراتی برای تهیه داروهای پزشکی از این سنگ داشتند. مصری‌ها و اهالی بین‌النهرین نیز از این سنگ به عنوان دارو استفاده می‌کردند، از جمله پمادهای چشمی آمده در پاپیروس ایبری (حدود ۱۵۵۰ قبل از میلاد) و کتابخانه آشوربانیپال (قرن هفتم قبل از میلاد) و دستور شستشوی چشم در منابع بیزانسی (خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۶۸-۱۶۹؛ ابن سینا، ۲۰۱/۲؛ طهماسبی زاوه، ۱۳۹۶، ۵۳-۶۶؛ عقیلی علوی شیرازی، ۱۳۸۰، ۷۷۴؛ Frison, 2016).

با توجه به این که لازوریت و آزروریت دو ساختار و خواص کاملاً متفاوت دارند و فقط به لحاظ ظاهری شبیه به یکدیگر هستند، و نیز با توجه به این که بسیاری از دانشمندان و پزشکان دوران کهن این دو سنگ را با یکدیگر اشتباه می‌گرفتند، می‌توان به بی‌اثر بودن یا اثر سوء برخی از داروهای ساخته شده از آزروریت (سنگ ارمنی) پی برد. در حالی که امروزه با استفاده از روش‌های نوین شناسایی سنگ‌ها، می‌توان آنها را به خوبی از یکدیگر متمایز ساخت. در کتاب ذخیره خوارزمشاهی بین این دو سنگ تمایز قائل شده است و نیز در یک کتاب فرهنگ پزشکی در اواخر قرن ۱۳ (سایمون جانوانسیس)، به دو نوع لاجورد اشاره شده است: لاجوردی که از مرمر سفید و پیریت گرفته می‌شود و ارزش پزشکی دارد و دیگری که آزروریت یا همان سنگ ارمنی است و برای مصارف پزشکی مناسب نیست و برای تمایز بین آن دو از پیشوندهای لاتین سیترا و اولترا استفاده کرده است (Frison, 2016).

کاربرد در آثار هنری: در جواهرنامه نظامی آمده است که اگر لاجورد را به صورت خمیر درآورند، رنگ خوبی ایجاد می‌شود که آن را بر کاغذ و دیوار به کار می‌برند. آن را با الماس سوراخ می‌کنند و با چرخ جلا می‌دهند. در نفایس الفنون فی العرایس العیون آمده است که از لاجورد برای ساخت انگشتر و انواع ظروف سفالی استفاده می‌شود که منظور از آن، دادن رنگ و لعاب به سفال است. نحوه استفاده از آن در عرایس الجواهر و نفایس الأطیاب به این صورت آمده است که مقادیر مشخصی از شکر سنگ یا همان صاشکنه را با شخار (قلیا) و سلیمانی (سنگ لاجورد) بر روی صلایه (سنگ داروسایی) به صورت پودر و نرم شده درآورده و آنها را در ظروف سفالینی که در آن بطانه (آهک لون) افزوده‌اند، ریخته و در کوره کاشی‌گری می‌پزند، سپس آن را بیرون آورده و با سنا مطحون کرده (با چوب آسیاب کنند؟) و رنگ بسیار خوبی می‌سازند. دست کم از قرن یازدهم، در دست‌نوشته‌های مسلمانان نسخه‌هایی برای تولید جوهر با رنگ آبی ثبت شده است. با این وجود این ماده خیلی قبل‌تر و خیلی بعدتر از قرن ۱۱ در هنر پختن سفال در کوره و در صنایع دستی از جمله شیشه‌گری، سرامیک، موزائیک استفاده می‌شد. این سنگ به علت داشتن عامل رنگی و نیز به دلیل نیمه‌قیمتی بودن، در هنرهای مختلف می‌تواند به صورت یک حد واسط عمل کند. وجود اشیاء شیشه‌ای اسلامی در موزه بریتانیا (متعلق به قرن ۱۳-۱۴ م.) و میناکاری ظروف احتمالاً به دلیل در هم آمیختن پودر آبی لاجورد با پودر شیشه بوده و این میناکاری حاصل ترکیب لازوریت با اکسید قلع است. سنگ لاجورد یکی از قدیمی‌ترین سنگ‌های قیمتی محسوب می‌شود و از آن اشیاء مختلفی از جمله مهره، مجسمه، زیورآلات با قدمتی حدود ۷۰۰۰ سال تهیه می‌شد. جابر بن حیان و محمد بن زکریای رازی، سنگ‌ها را با مهارت دسته‌بندی کردند و در آن به سنگ لاجورد جایگاه دقیق و مشخصی دادند. (Lo Giudice, 2009, 2211-2217; Frison, 2016; Al-Abadi, 2005; مؤذن‌زاده کلور، ۱۳۸۸؛ جوهری نیشابوری، ۱۳۸۳، ۲۱۶؛ کاشانی، ۱۳۸۶؛ آملی، ۱۳۸۱).

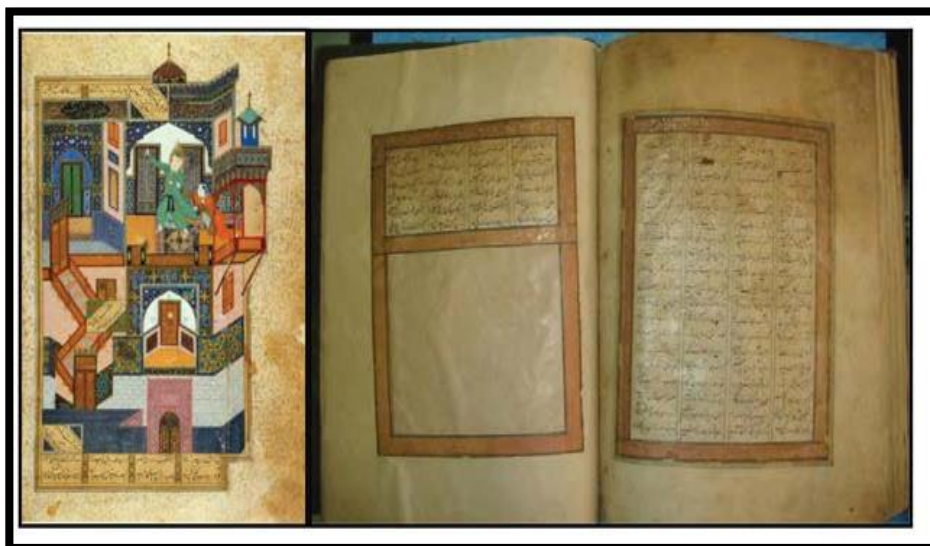
چگونگی استفاده از سنگ لاجورد در آثار هنری با کمک علم شیمی

روش PIXE، پیکسی (طیف‌سنجی نشر پرتو ایکس القایی پروتون) به عنوان یک روش غیرتخریبی در بررسی آثار هنری استفاده می‌شود. از این روش برای تحقیق در مورد سه اثر نگارگری متعلق به کتاب یوسف و زلیخا منسوب به دوره صفوی (قرن دهم هجری) در مؤسسه مطالعات تاریخ معاصر ایران استفاده شد (تصویر ۵) و نتایج حاصل، دال

تاریخچه سنگ لاجورد.../۲۷۳

بر استفاده از رنگ‌دانه لاجورد به عنوان رنگ آبی در این تصاویر بودند. با این روش مشخص شد که لاجورد یکی از رنگ‌دانه‌های آبی به کار رفته در نگارگری ایرانی در سده‌های میانی و نقاشی‌های جهان اسلام بود (باقرزاده کثیری، ۱۳۹۲، ۱-۱۶).

همچنین براساس تحقیقات ذکر شده توسط الکساندروف، ری، اشمیت و بونکر در بخش شرایط و مناطق تشکیل سنگ لاجورد براساس نظریات ژئوشیمی و شیمی و کانی‌شناسی و نیز مقایسه نتایج حاصل از بررسی رنگ‌دانه‌های لاپیس لازولی در سه اثر نقاشی انتخابی (نقاشی روی دیواره غاری در افغانستان، نقاشی دیواری در ترکیه و یک نقاشی ایتالیایی، از قرون ۱۴ تا ۱۶) با رنگ‌دانه‌های سنگ لاجورد در مناطق افغانستان، شیلی و سبیری مشخص شد که در نقاشی ایتالیایی و نقاشی دیواری غارهای افغانستان از لاجورد متعلق به افغانستان استفاده شده بود، در حالی که خاستگاه رنگ دانه آبی به کار رفته در نقاشی دیواری ترکیه به احتمال زیاد متعلق به سبیری بوده است. (Cennino، 1993، Plester؛ 1993، Schmidt؛ 37-61، 1993، Lo؛ 8513-8518/81، Re؛ 2211-2217/395، Corona؛ 300-308/179، Bunker؛ 2373-2377/269، 57-65/16).



تصویر ۵. کتاب مصور یوسف و زلیخا

وجود ذراتی با اندازه‌های بسیار کوچک، وجود ساختار لایه‌های رنگی چندگانه با ضخامتی حدود $10-100 \mu\text{m}$ ، وجود مواد مختلف به تعداد زیاد در رنگ و تعیین ماهیت آنها (رنگ‌دانه، چسب، ناخالصی، سن و ترکیب‌های حاصل از انواع واکنش‌ها) در نقاشی‌های قدیمی و به‌خصوص کلیساهای قرون وسطایی قرن ۱۵ جایگاهی برای عرض اندام شیمی‌دانان تجزیه‌هستند. برای تعیین تمامی این ترکیبات نمی‌توان از یک روش منفرد استفاده کرد. پس برای شناسایی ساختار و منشأ این رنگ‌ها باید از چند روش و یا ترکیب آنها از جمله ترکیب سینکروترون (SR) با دیگر روش‌ها مثل پراش پرتو ایکس (XRD) به صورت (SR-XRD)، طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) به صورت ($\mu\text{SR-FTIR}$) و نیز ترکیب روش‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با طیف‌سنجی پراش انرژی (EDS) به صورت (EDS-SEM) استفاده کرد. با استفاده از این روش‌ها می‌توان خاستگاه و ترکیب درصد رنگ‌دانه‌ها و توزیع آنها در لایه‌های رنگ را تعیین کرد. همچنین تعیین اجزای مختلف آلی و معدنی و ناخالصی‌های موجود در رنگ و نیز تعیین سن و واکنش ترکیبات موجود در آن امکان‌پذیر است. با استفاده از این روش‌ها برای تعیین نوع رنگ‌های آبی به کار رفته در نقاشی کلیسایی قرون وسطی (قرن ۱۵)، مشخص شد که سنگ لاجورد به دلیل هزینه بالا، فقط برای آثار هنری با ارزش استفاده می‌شد. برای مثال، می‌توان احتمال داد که خاستگاه لاجورد به کار رفته در اثر هنری ترسیم شده توسط یان ون ایک، نقاش بلژیکی قرن ۱۵، (Adoration of the Mystic Lamb)، همانی باشد که توسط میکال آنژ استفاده می‌شد و یا این که در لایه‌های رنگ آبی به کار رفته، پایین‌ترین لایه با ضخامت زیاد از جنس آزوریت (سنگ ارمنی) و آخرین لایه با ضخامت کم از جنس لاجورد است. بنا بر این با استفاده از چنین روش‌هایی سبک کار هنرمندان نیز مشخص می‌شود (Salvado، 3610-3621/11).

نتیجه

سنگ لاجورد با نام لاتین لاپیس لازولی، سنگی نیمه‌قیمتی است که از زمان‌های بسیار دور در فلات ایران استخراج می‌شد. قدیمی‌ترین اسناد تاریخی در کتیبه‌های آشوری متعلق به قرن هفتم قبل از میلاد، به نام لاجورد اشاره کرده‌اند. در دوره هخامنشیان آن را کپوتکه می‌نامیدند و از آن دوران به بعد از لاجورد برای تهیه زیورآلات، لعاب، مجسمه و نیز مصارف درمانی از جمله برای افراد مالیخولیایی و مبتلا به بی‌خوابی و از

کمپرس سنگ لاجورد با شیر نیز برای فرونشاندن زخم و کورک و همچنین برای حفظ اسکلت بدن در دوران میانسالی استفاده می کردند. آن را برای درمان بیماری های چشمی مفید می دانستند. گاهی آن را با سنگ ارمنی (آزوریت) اشتباه می گرفتند. خاستگاه اصلی سنگ لاجورد، معادن سرسنگ در سرزمین بدخشان افغانستان است. ایرانیان آن را به عنوان کالای تجاری داد و ستد می کردند. این سنگ را به صورت خام از افغانستان استخراج کرده و پس از تراش کاری و فراوری در مناطق دیگر چون شهر سوخته، از طریق مسیرهای بازرگانی از جمله جاده ابریشم و راه های دریایی به سمت غرب و تا آفریقا صادر می کردند. در اروپا از این سنگ، رنگ دانه آبی لاجوردی (آبی نیلی) تهیه کردند و در نقاشی با آبرنگ و رنگ روغن و آثار هنری خود از آن استفاده کردند. مغولان، تیموریان و نقاشان مینیاتور ایرانی نیز از این رنگ دانه برای نگارگری و بیشتر برای نشان دادن رنگ آسمان و عموماً شب، استفاده می کردند.

همچنین در دوران باستان، از مناطقی به عنوان خاستگاه سنگ لاجورد یاد می شد که با استفاده از روش های نوین علمی (از جمله شیمی)، صحت برخی از آنها تأیید و یا تکذیب می شود. امروزه با استفاده از روش های علم شیمی می توان مشاهده کرد که در گذشته برخی از سنگ ها با ظاهر مشابه به اشتباه در یک دسته قرار می گرفتند در صورتی که ساختار و خصوصیات و خاستگاه آنها هیچ شباهتی به یکدیگر ندارند، از جمله شباهت ظاهری بین سنگ لاجورد با پایداری زیاد در برابر هوازدگی و سنگ ارمنی ناپایدار در برابر شرایط جوی. همین امر سبب شد تا در منابع کهن، مناطقی در ایران به عنوان خاستگاه لاجورد ذکر شوند، در حالی که شرایط تشکیل سنگ لاجورد (سنگ های آهنی دگرگون شده) در آن مناطق وجود ندارد و بیشتر آنها سنگ معدن مس بودند.

در مورد خصوصیات سنگ لاجورد در منابع قدیمی ذکر شده که به هنگام تراش بوی خاص مثل بوی لجن از آن برمی خیزد که دلیل این بو، وجود ترکیبات گوگردی است. همچنین ذکر شده است که لاجورد در آتش دود کرده و شعله آبی مشاهده می شود که دلیل وجود شعله آبی با بوی تند نیز وجود گوگرد در ساختار لاجورد است. در قراضه طبیعیات ذکر شده که سنگ لاجورد در آتش سیاه می شود که چنین نیست. سنگ ارمنی در آتش سیاه می شود چون مس و کربنات موجود در آن به شدت اکسید شده و به اکسید مس (II) سیاه رنگ و دوده تبدیل می شوند. در کاشی کاری هایی که از سنگ ارمنی استفاده می شد، نیز به دلیل اکسید شدن مس، رنگ آبی به سیاه تبدیل می شود. همچنین

استفاده از سنگ ارمنی به جای لاجورد در درمان‌های پزشکی، نامناسب است و تأثیری در درمان مورد نظر ندارد.

با استفاده از روش‌های نوین علم شیمی تجزیه و مخصوصاً انواع روش‌های طیف سنجی در کنار علومی از جمله ژئوشیمی، کانی‌شناسی و باستان‌شناسی می‌توان به آنچه سنگ لاجورد در گذر زمان طی کرده است پی برد. خاستگاه و منشأ آن، عمر و سن این سنگ، ارزشی که برای بشر در طول زمان داشته است، مثلاً استفاده از آن در زیورآلات، آثار هنری، مجسمه، ابزار، اعتقادات، آئین و رسوم، تجارت، کاربردهای پزشکی و درمانی، انواع سبک‌ها و روش‌های استفاده از آن در آثار هنری در سراسر جهان را می‌توان نام برد.

منابع

- آملی، شمس‌الدین محمد. (۱۳۸۱ش). نفایس الفنون فی عرایس العیون. تصحیح میرزا ابوالحسن شعرانی. تهران: نشر اسلامی.
- ابن سینا. (۱۳۸۹ش)، قانون. ترجمه عبدالرحمن شرفکندی (هه‌ژان). تهران: سروش.
- بیرونی، ابوریحان. (۱۳۰۰ق). الجماهر فی معرفة الجواهر. حیدرآباد دکن: دائرة المعارف العثمانية.
- باقرزاده کثیری، مسعود. (۱۳۹۲ش). «نشر اشعه ایکس القایی پروتون (PIXE)، روشی غیرتخریبی برای تجزیه و تحلیل مواد در باستان‌سنجی». همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱-۱۶.
- تیفاشی، احمد بن یوسف. (۱۴۰۰ق). أزهار الأفكار فی جواهر الاحجار. تصحیح محمد بن یوسف حسن و محمد سبیونی خفاجی. مصر: مطبوعات مرکز تحقیق التراث.
- جرجانی، حسن بن اسماعیل. (۱۳۹۱ش). ذخیره خوارزمشاهی. قم: انتشارات مؤسسه احیاء طب طبیعی.
- جوهری نیشابوری، محمد بن ابی البرکات. (۱۳۸۳ش). جواهرنامه نظامی. به کوشش ایرج افشار، با همکاری محمدرسول دریاگشت. تهران.
- زاوش، محمد. (۱۳۴۸ش). کانی‌شناسی در ایران قدیم. تهران: انتشارات بنیاد فرهنگ ایران.
- زهری، ابی عبدالله محمد بن ابی البکر. (۱۳۸۲ش). الجغرافیه. ترجمه حسین قرچانلو، به کوشش محمد حاج صادق. تهران: انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی.
- شیرزاده، غلام؛ کاکا، غفور؛ محمدی، منیره. (۱۳۹۱ش). «تجارت سنگ لاجورد و نقش آن در توسعه استقرارهای شرق ایران، طی هزاره‌های چهارم و سوم ق.م». فصلنامه علمی تخصصی باستان‌شناسی ایران واحد شوشتر، ۸۵-۱۰۷.
- طوسی، محمد بن محمد بن حسن (خواجه نصیرالدین طوسی). (۱۳۴۸ش). تنسوخ‌نامه ایلخانی در معرفت و شناخت سنگ‌ها، اسرار و خواص درمانی آنها. مقدمه و تألیف از سید محمدتقی مدرس رضوی. تهران: بنیاد فرهنگ ایران.
- طهماسبی زاوه، حامد؛ سلحشور دورکی، علی اصغر. (۱۳۹۶ش). «سنگ لاجورد در متون و منابع تاریخی اسلامی (بازتعریف مناطق استحصالی و کاربردها)» فصلنامه تاریخ‌پژوهی (مجله انجمن علمی تاریخ دانشگاه فردوسی مشهد)، سال نوزدهم، شماره ۷۱، ۵۳-۶۶.
- عقیلی علوی شیرازی، محمد حسین. (۱۳۸۰ش). مخزن الأدوية: دایرة‌المعارف خوردنی‌ها و داروهای پزشکی سنتی ایران (طبع قدیم). تهران: انتشارات باورداران.
- قروینی، محمد بن زکریا. (۱۳۷۳ش). آثار البلاد و اخبار العباد. ترجمه میرزا جهانگیر. تهران: نشر امیرکبیر.

۲۷۸ / تاریخ علم، دوره ۱۸، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹

مجیدزاده، یوسف. (بهار و تابستان ۱۳۶۶ش). «سنگ لاجورد و جاده بزرگ خراسان». مجله باستان‌شناسی و تاریخ، سال اول، شماره ۲.

کاشانی، عبدالله بن علی. (۱۳۸۶ش). عرایس الجواهر و نفایس الاطایب. به کوشش ایرج افشار. انتشارات المعی.

مکنیر بختیار، لیلی. (۲۰۱۱م)، لاپیس لازولی، جواهر آبی افغانستان.

مؤذن‌زاده کلور، عبدالله. (۱۳۸۸ش). «مواد کاشی‌گری در عرایس الجواهر». گلستان هنر، ۱۶، ۱۹-۲۴.

ولی‌پور، حمیدرضا. (بهار و تابستان ۱۳۸۴ش). «سنگ لاجورد کالای تجاری باستان». پیام باستان‌شناس، سال دوم، شماره ۳، ۴۷-۵۸.

یاقوت حموی. (۱۳۸۰ش). معجم البلدان. ترجمه علی نقی منزوی. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.

Bunker BC. (1994). "Molecular mechanisms for corrosion of silica and silicate glasses." *J Non-Cryst Solids*, 179, 300-308.

Derakhshani J. (1995). *Geschichte und Kultur des Alten Ostiran*, Bd 1, Heft 1: Die Zeit Zarathustras: Rekonstruktion der altiranischen Chronologie, International Publications of Iranian Studies.

Favaro M., Guastoni, A., Marini, F., Bianchin, S., Gambiras, A. (2012). *Anal Bioanal Chem*, 402, 2195-2208.

Frison G., Brun G. (2016). "Lapis lazuli, lazurite, ultramarine blue, and the colour term 'azur' up to the 13th century." *Journal of the International Colour Association*, 16, 41-55.

Schumann W. (2001). *Gemstones of the World*. Sterling Publishing Co., Inc.

Herrmann G, (1968). "Lapis lazuli, The early phases of its trade." *Iraq*, 30, 21-57.

Herve Nicolas Lazzarelli. (2010). *Blue Chart Gem Identification*.

Lo Giudice A., Re A., Calusi S, Giuntini L, Massi M, Olivero P, Pratesi G, Albonico M, Conz E. (2009). "Multitechnique characterization of lapis lazuli for provenance study." *Anal Bioanal Chem*, 395, 2211-2217.

Plester, J. (1993). "Ultramarine blue, natural and artificial." *Roy A (ed) Artists pigments. A handbook of their history and characteristics*. Oxford University Press, New York, 37-61.

Potts D T. (1994). *Mesopotamia and east: An archeological and historical study of foreign relations ca. 3400-2000 B.C*. Oxford university committee for archeology.

Re A, Lo Giudice A, Angelici D, Calusi S, Giuntini L, Massi M, Pratesi G. (2011). "Lapis lazuli provenance study by means of micro- PIXE." *Nucl Instrum Meth B*, 269, 2373-2377.

تاریخچه سنگ لاجورد.../۲۷۹

- Salvado N, Buti S, Aranda M.A.G, Pradell T. (2014). “New insights on blue pigments used in 15th Century paintings by Synchrotron micro FTIR and XRD.” *Analytical Methods*, 11, 3610-3621.
- Schmidt CM, Walton MS, Trentelman K. (2009). “Characterization of lapis lazuli pigments using a multitechnique analytical approach: implications for identification and geological provenancing.” *Anal Chem*, 81, 8513–8518.