مقایسه و بررسی ساختار ظروف سنگ مرمر منطقهٔ جیرفت و شهر سوخته* بر اساس مطالعات آزمایشگاهی XRD-XRF و پتروگرافی

سید محمدامین امامی
استادیار مینرالوژی دانشگاه هنر اصفهان
پروین سلیمانی**
کارشناس ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی دانشگاه هنر اصفهان
مریم اکبری فرد
کارشناس ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی دانشگاه هنر اصفهان
(از ص ۱ تا ۱۲)
تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۰۹/۰۸ ؛ تاریخ پذیرش قطعی: ۹۴/۱۲/۰۸

چکیده
در این پژوهش سنگ مرمرهای به دست آمده از کاوش‌های جیرفت و شهر سوخته برای شناسایی تفاوت ساختاری آنها به روش‌های تجزیهٔ دستگاهی و پتروگرافی آزمایش شدند. سنگ مرمرهای جیرفت زردرنگ و رگه‌های پراکنده و سنگ مرمرهای شهر سوخته رگه‌های از طیف زرد تا قهوه‌ای دارند. این تفاوت ظاهری نشان‌دهندهٔ تفاوت ساختاری آنهاست. از اهداف مقاله، بررسی ساختار سنگ مرمرهای این دو منطقه و مقایسهٔ نتایج تجزیهٔ دستگاهی است. فاز اصلی تشکیل دهنده، کلیست است، اما ساختارشان تفاوت دارد. در نمونه‌های جیرفت کلسیت، فلسی‌شکل، اما نمونه‌های شهر سوخته شعاعی و سوزنی است. شرایط محیطی در ساختار سنگ‌ها، نقش تعیین‌کننده دارد و یکی از تفاوت‌های ساختار سنگ مرمرهای مناطق مختلف در نوع متامورفیسم و سرعت دگرگونی است. گردآوری اطلاعات بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و پردازش داده‌ها به صورت تحلیلی و مقایسه‌ای بود.

واژه‌های کلیدی: جیرفت، شهر سوخته، سنگ مرمر، ساختارشناسی، آنالیز دستگاهی

---

* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «**مقایسهٔ ساختارشناسی ظروف سنگ مرمرِ دو منطقهٔ جیرفت و شهرسوخته» است** که با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه هنر اصفهان در سال ۱۳۹۲ به اتمام رسیده است.

** **رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: soleimani.parvin@yahoo.com**

۱. مقدمه

از نظر مطالعات باستان‌شناسی، جنوب شرق ایران خطهٔ ناشناخته‌ای است که سهم به سزایی، نه‌تنها در باستان‌شناسی ایران، بلکه در باستان‌شناسی شرق باستان و نیز تمدن سند و پنجاب دارد. این ادعا را یافته‌هایی تأیید می‌کند که از محوطه‌های باستانی شهداد، خِیمام، تپه یحیی، دمین، ابلیس، بمپور، شهر سوخته و نیز آثاری که به تازگی از سراوان و اسپیدژ در بلوچستان و نیز حوزهٔ هلیل‌رود در منطقهٔ جیرفت به دست آمده است (حصاری و پیران، ۱۳۸۴: ۱۷). منطقهٔ جیرفت در استان کرمان و شهر سوخته در شهر زابلِ استان سیستان و بلوچستان، از تمدن‌های قدیمی ناحیهٔ جنوب شرق ایران هستند؛ شهر سوخته مهم‌ترین محوطهٔ باستانی سیستان است که در کنار دلتای رود هیرمند در بالاترین لبهٔ نقطهٔ شمال غربی دلتای قدیمی در روی تپه‌های تراس رمرود واقع شده است (Sajjadi, 2003: 21). امروزه شهر سوخته شامل محوطه‌ای بزرگ با طرحی غیر منظم است (Tosi,1976:130). منطقهٔ جیرفت از سال ۲۰۰۰ میلادی مورد توجه باستان‌شناسان قرار گرفت و نتیجهٔ این شش فصل کاوش، به سرپرستی یوسف مجیدزاده، کشف یکی از مهم‌ترین محوطه های هلیل‌رود در جنوب شرقی ایران، کنار صندل شمالی و جنوبی است. با توجه به سرامیک‌ها و مجسمه‌های یادبودی، تاریخ آنها را می‌توان از ۲۸۸۰ تا ۲۲۰۰ پیش از میلاد تخمین زد (Majidzadeh, 2008: Majidzadeh, 2011: 770).

تاکنون آثار گوناگونی از این مناطق در پی کاوش‌ها به دست آمده است. در شهر سوخته آثار سفالی، پارچه‌ای و اشیائی از جنس استخوان و سنگ مرمر یافت شده است و در محوطه‌های باستانی کنار صندل جنوبی و شمالی آثار متنوعی از سنگ‌های گوناگون، از جمله صابونی، کلریتی و مرمر به دست آمده است. سنگ مرمر، از سنگ‌های دگرگونی است که از تبلور مجدد سنگ‌های کربناته در شرایط دگرگونی درست شده است (Gauri, 1999: 117). سنگ‌های دگرگونی بر اثر متامورفیسم سنگ‌های آذرین و رسوبی تحت‌تأثیر فشار و حرارت زیاد حاصل می‌شوند. این نوع سنگ‌ها معمولاً دارای کیفیت مطلوب و بعضاً بهتر از سنگ مادر اولیه هستند (رحیمی، ۱۳۸۸: ۷۴). مرمر، سنگ آهکی هوازده یا دولمیتی و عمدتاً از کلسیت با دولمیت است (Reedy, 2008: 87). سنگ‌های مرمر این مناطق در شرایط متفاوتی نسبت به هم یافت شده‌اند که این موضوع می‌تواند آغاز مطالعات ساختاری این گروه از سنگ‌ها باشد. برای شناخت بهتر این سنگ‌ها آنالیزهای دستگاهی آنها مطالعه شد.

هدف از این پژوهش شناسایی ساختار و مقایسهٔ سنگ مرمرهای دو منطقهٔ شهر سوخته و جیرفت است؛ زیرا تاکنون دربارهٔ ساختار آثار یافت شده از جنس مرمر در این مناطق، مطالعات علمی انجام نشده است. پرسش‌های اساسی پژوهش دربارهٔ شناسایی ساختار سنگ مرمرهای این دو منطقه و بررسی تفاوت‌ها و شباهت‌های آنهاست. نمونه سنگ‌های مورد بررسی، تفاوت‌های عمده‌ای از نظر شکل ظاهری با یکدیگر دارند. این موضوع می‌تواند به ساختار شیمیایی متفاوت آنها بازگردد.

روش گردآوری اطلاعات بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی بود. مطالعات آزمایشگاهی شامل آنالیز دستگاهی XRD&XRF و شناسایی و مطالعه بر روی بافت کریستالین بر اساس مشاهدات مبتنی بر پتروگرافی بود. آنالیزهای دستگاهیXRF و XRD در مرکز پژوهش متالوژی رازی انجام شد. مدل دستگاه پراش اشعه ایکس؛ MPD3000 ساخت ایتالیا و مدل دستگاه فائورسانس اشعه ایکس؛ 8410 ساخت امریکا

است. آنالیز پتروگرافی با دستگاه پلاریزان در دانشگاه هنر اصفهان انجام شد. مدل دستگاه Camera Dp71 Olympusbx60 بود.

در سال‌های اخیر یوسف مجیدزاده و سید منصور سیدسجادی کاوش‌های زیادی در منطقهٔ جیرفت و شهر سوخته انجام داده‌اند. حاصل این کاوش‌ها معرفی آثار و طبقه‌بندی آنها بود. از آثار به دست آمده از این کاوش‌ها می‌توان به ظروف سنگ مرمر اشاره کرد. این دو پژوهشگر سنگ مرمرهای این دو منطقه را شناسایی و گونه‌شناسی کرده‌اند، اما در این مطالعات به ساختار ظاهری بسنده شده و از نظر ساختار شیمیایی بر روی سنگ‌ها مطالعاتی انجام نشده است.

۲. نمونه‌برداری

نمونه‌های سنگ مرمرِ مورد مطالعه، از منطقهٔ جیرفت و در منطقهٔ کنار صندل جنوبی و در عمق ۲۵۰ سانتیمتری و ۱۲متری از ترانشه یافت شده است. در منطقهٔ شهر سوخته، آثار مورد بررسی از سطح زمین از منطقهٔ بناهای یادمانی[۱] بخش مسکونی به دست آمده است. نمونه‌های سنگ مرمر منطقهٔ شهر سوخته و جیرفت شامل قطعاتی از بدنهٔ ظروف بودند. نمونه‌های متعلق به منطقهٔ جیرفت رگه‌های کمتری داشتند و برخلاف آن، نمونه‌های سنگ مرمر شهر سوخته دارای رگه‌های متعددی بودند.

۳. روش‌های مطالعهٔ آنالیز کمی و کیفی

مطالعات آزمایشگاهی در این مقاله برای بررسی منشأ و ارتباط بین معادن و نمونه‌های تاریخی با استفاده از روش‌های آنالیزی XRF به منظور شناسایی ترکیب کلی مواد مرمرین مکشوفه و روش‌های آنالیز XRD برای شناسایی اجزای کریستالین شاخص در نمونه‌های مطالعاتی و بررسی نیمه‌کمی و کیفی نمونه‌ها و سپس تطبیق آنها با مشاهدات میکروسکوپی و تأیید آنها از طریق این مشاهدات در مقاطع نازک انجام گرفته است. از روش XRF (X-Ray Fluorescence) برای شناسایی عناصر، تعیین کمی عناصر و ترکیب شیمیایی کلی نمونه‌ها به طور نیمه‌کمی استفاده شد. این آنالیز بر روی چهار نمونه، شامل دو نمونه از منطقهٔ مسکونی شرقی شهر سوخته و دو نمونه از منطقهٔ کنار صندل جنوبی جیرفت انجام شد تا مقایسهٔ کمی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه‌ها صورت گیرد. هدف از پراش پرتو ایکس (X-Ray Diffraction) (XRD)، شناسایی بافت کریستالی موجود در نمونه برای مطابقت با تصاویر پتروگرافی است. از این دستگاه برای شناسایی کیفی انواع کانی‌های دارای ساختار بلوری در مواد استفاده می‌شود.

۴. شناسایی و مطالعهٔ بافت کریستالی بر اساس مشاهدات مبتنی بر پتروگرافی

از پتروگرافی برای مطالعات ساختارشناسی و به عنوان ابزاری برای مشاهدهٔ لایه‌های سنگ استفاده می‌شود (Reedy, 2008:97). میکروسکوپ پتروگرافی (میکروسکوپ پلاریزان نوری- عبوری) برای شناسایی ساختار کانی به کار می‌رود. این میکروسکوپ بیشتر در حوزهٔ کانی‌شناسی و کریستالوگرافی استفاده می‌شود و مهم‌ترین ویژگی آن، شناسایی کانی‌ها بر اساس اصول و جدول‌هایی است که کار با این میکروسکوپ را از سایر میکروسکوپ‌های نوری متمایز می‌کند. برای مطالعهٔ نمونه‌ها، ابتدا باید مقاطع نازک آنها به ضخامت استاندارد

۳۰ میکرومتر (۰/۰۳میلیمتر) تهیه شود. بافت نمونه در زیر نور قطبی شده (پلاریزه) مطالعه می‌شود. هدف از آزمایش پتروگرافی، اعتماد به نتایج آنالیزهای دستگاهی با استفاده از مشاهدهٔ بصری کانی‌هاست. آنالیزهای پتروگرافی مقطع نازک نمونه‌ها برای مطالعهٔ کانی‌شناختی اجزای تشکیل‌دهندهٔ سنگ‌ها، به عنوان روشی تکمیلی در کنار آنالیز XRF & XRD تحت نور پلاریزان با استفاده از میکروسکوپ نوری عبوری انجام گرفت و کانی‌های تشخیص داده شده در پتروگرافی در اکثر موارد با نتایج آنالیز XRD مطابقت داشت.

سنگ مرمرهای منطقهٔ جیرفت و شهر سوخته از نمونه‌های منحصربه‌فردی هستند که از کاوش‌های منطقهٔ کنار صندل جنوبی جیرفت و بخش مسکونی شهر سوخته به دست آمده‌اند (شکل۱-۴). استفاده از روش‌های پتروگرافی، XRF و XRD در شناسایی ساختار و عناصر این سنگ‌ها، ما را در شناخت هر چه بهتر سنگ مرمر کمک می‌کند و مقایسهٔ نتایج به دست آمده دربارهٔ هر یک از سنگ‌های منطقهٔ جیرفت و شهر سوخته، به این پرسش‌ها پاسخ می‌دهد که معادن سنگ مرمر در این دو منطقه چه تفاوت‌ها و شباهت‌هایی با هم دارند و آیا شرایط جغرافیایی در دو منطقهٔ مورد مطالعه تأثیری در نحوهٔ کاربری سنگ داشته است؟

جدول۱- مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه

کد نمونه	محل نمونه	رنگ	توضیحات
j-1	کنار صندل	سفید با رگه‌های پراکندهٔ زرد رنگ	قسمتی از یک ظرف
j-2	کنار صندل	سفید با رگه‌های پراکندهٔ زرد رنگ	قسمتی از یک ظرف
z-3	شهر سوخته-گورستان یادمانی	سفید با رگه‌های طیف زرد تا قهوه‌ای	قسمتی از یک ظرف
z-4	شهر سوخته- گورستان یادمانی	سفید با رگه‌های طیف زرد تا قهوه‌ای	قسمتی از یک ظرف

شکل۱: نمونهٔ سنگ مرمر شهر سوخته(Z-3)

شکل۲: نمونهٔ سنگ مرمر شهر سوخته(Z-4)

شکل۳: نمونهٔ سنگ مرمر منطقهٔ جیرفت(J-2)

شکل۴: نمونهٔ سنگ مرمر منطقهٔ جیرفت(J-1)

۵. بحث و بررسی نتایج

۵-۱. نتایج پتروگرافی سنگ مرمر جیرفت و شهر سوخته

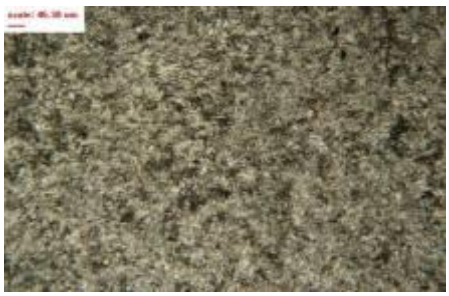
نمونهٔ شمارهٔ ۱ منطقهٔ جیرفت: مرمری با کیفیت عالی، متراکم و با ناخالصی بسیار کم و نیز تراکم ناخالصی آهن بسیار اندک است و کوارتز اصلاً دیده نمی‌شود (شکل۵). با توجه به تصاویر، هوازدگی بر اثر اکسیداسیون در آن روی نداده است که یکی از دلایل آن ممکن است این باشد که شیء از حفاری سطحی به دست نیامده است؛ به همین دلیل، تأثیر رطوبت بر آن کم بوده و سنگ در منطقهٔ خشک قرار داشته است. همچنین نداشتن تخلخل کافی باعث شده است انتقال رطوبت در بافت سنگ محدود باشد. بافت این مرمر ساختار متراکم و منسجمی دارد و ساختار جهت‌دار و کریستالیزاسیون آرام در بافت سنگ مشاهده نمی‌شود. بافت اصلی سنگ بیشتر شامل کالک آرنایت و سنگ رسوبی آهکی است که فسیل زیاد و کمی ماسه[۲] دارد.

نمونهٔ شمارهٔ ۲ منطقه جیرفت: هوازدگی این نمونه بیشتر از نمونهٔ قبلی است (شکل۶) و تجمع ذرات حاوی آهن نیز در آن بیشتر دیده می‌شود (شکل۷). احتمال داده می‌شود که در کنار ترک‌ها (با توجه به تصاویر) هوازدگی رخ داده است (شکل۸). این نمونه نیز مانند نمونهٔ شمارهٔ ۱ جیرفت، مرمری فشرده است. در این نمونه‌ها آهن در محل‌های خارجی و کناری نمونه و در ترک‌های سطحی مشاهده شد. نمونه‌های جیرفت، سنگ‌های متامورفیک و هوازده نیستند و مرمر خوبی هستند.

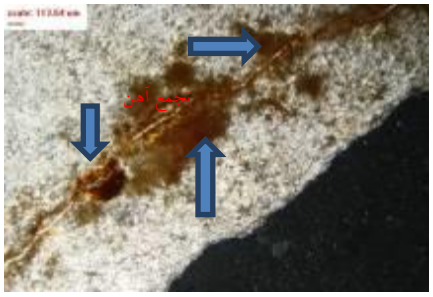
نمونهٔ شمارهٔ ۳ شهر سوخته: تغییرات آب‌وهوایی روی نمونه‌های سنگ مرمر این منطقه، از نمونه‌های منطقهٔ جیرفت تأثیر بیشتری داشته است. نمونه سنگ‌های مطالعاتی شهر سوخته، برخلاف نمونه‌های جیرفت که ساختاری دانه‌ریز داشتند، به صورت سنگ کلسیتی با ساختار رومبوئدرال[۳] (شکل۹) و با تخلخل زیاد و انحلال در محیط‌های رسوبی هستند (شکل۱۰). در این نمونه، تجمع آهن در کنار کلسیت (شکل۱۱) دیده می‌شود. تبدیل مگنتیت Fe_3O_4 (سیاه رنگ) به هماتیت Fe_2O_3 (قرمز) در این نمونه نشان می‌دهد که اکسیداسیون در آن روند مشخصی دارد (شکل ۱۵-۱۴-۱۳-۱۲). در نمونهٔ مورد بحث، کلسیت با ضریب شکست بالا و ایجاد رنگ‌های تفریقی، شامل رنگ‌های صورتی، سبز و بنفش دیده می‌شود (شکل۱۶). در نمونه‌های سنگ مرمر شهر سوخته، رگه‌های آهن نشان‌دهندهٔ تأثیر آب‌وهوا یا تخریب و اکسیداسیون متوالی نمونه‌هاست (شکل۱۳-۱۴). در این نمونه‌ها تجمع آهن به صورت مشابه با خط میخی است (شکل۱۷).

نمونهٔ شمارهٔ ۴ شهر سوخته: در این نمونه به دلیل درجهٔ حرارت بالا، مگنیت و هماتیت به صورت فشرده هستند (شکل۱۸). در برخی از قسمت‌ها کلسیت به صورت شعاعی (شکل۱۹) یا به شکل سوزنی (شکل۲۰) دیده می‌شود که به دلیل درجه حرارت زیاد و نوع دگرگونی است. بر حسب شرایط کریستالیزاسیون در محیط‌های رسوبی و به جهت پر کردن فضای خالی ناشی از به جای ماندن مواد آلی و فسیلی، ممکن است هر دو نوع به وجود بیایند. در نمونه‌های شهر سوخته مشاهده شد که رخ‌های[۴] کاملاً مشخص دارند و انعکاس رنگی به طور کامل در آنها مشاهده می‌شود. با توجه به بررسی این دو نمونه از سنگ مرمرهای شهر سوخته، این نتیجه حاصل شد که نمونه‌ها از یک نقطه به دست نیامده‌اند و از معادن مختلف هستند.

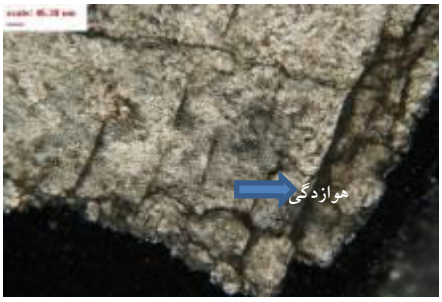
شکل۵: سنگ مرمر با ساختار متراکم و منسجم (نمونهٔ ۱ منطقهٔ جیرفت) با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



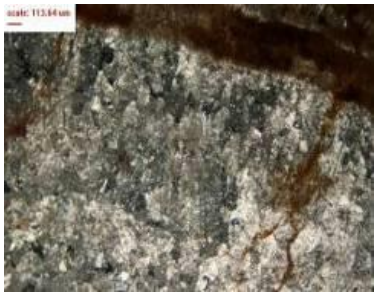
شکل۶: سنگ مرمر با شبکهٔ منظم و تخلخل کم (نمونهٔ ۲ منطقهٔ جیرفت) با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



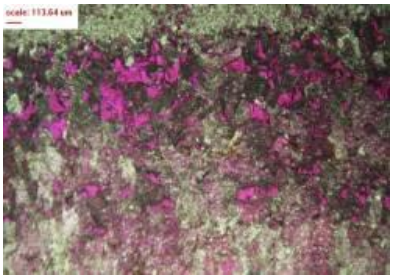
شکل۷: تجمع اکسیدهای آهن سنگ مرمر (نمونه ۲) منطقهٔ جیرفت (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



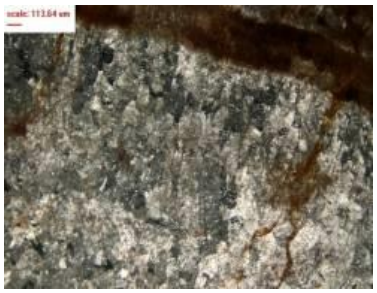
شکل۸: هوازدگی سنگ مرمر (نمونهٔ ۲) منطقهٔ جیرفت (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



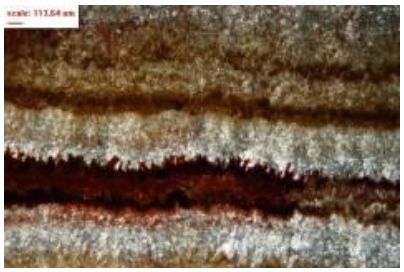
شکل۹: سنگ کلسیتی (نمونهٔ ۳ منطقهٔ شهر سوخته) با بزرگ‌نمایی۴۰۰ (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



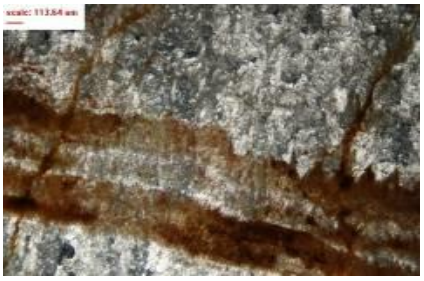
شکل۱۰: تخلخل زیاد سنگ مرمر (نمونهٔ ۳) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL+ تیغه ژیپس)



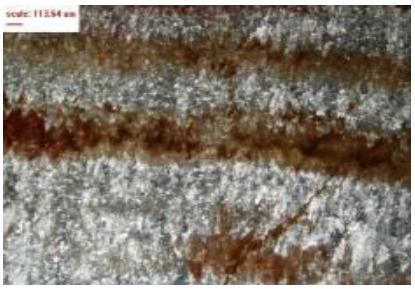
شکل۱۱: تجمع آهن (نمونهٔ ۳) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



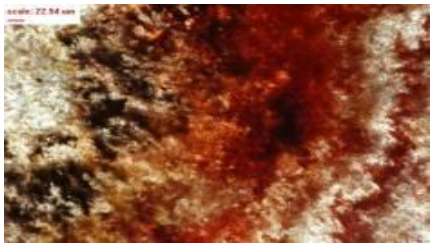
شکل۱۲: تبدیل مگنتیت به هماتیت (نمونهٔ ۳)منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



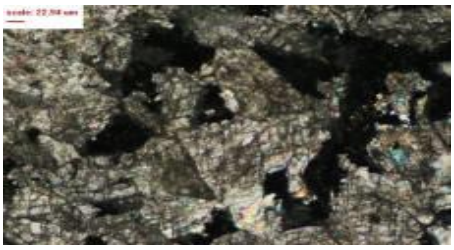
شکل۱۳: تجمع اکسیدهای آهن (نمونهٔ ۳) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



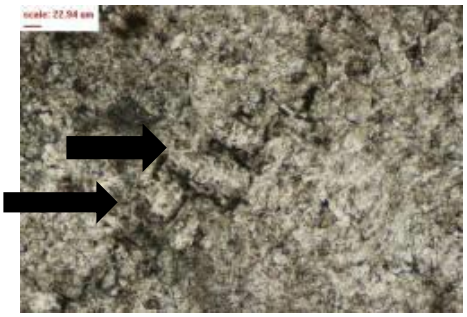
شکل۱۴: تجمع اکسیدهای آهن (نمونهٔ ۳) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



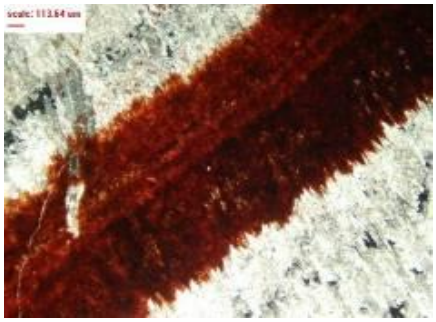
شکل۱۵: تبدیل شدن مگنتیت به هماتیت (نمونهٔ ۳) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



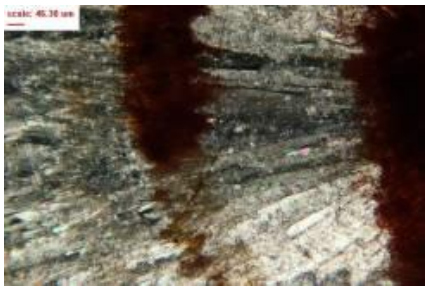
شکل۱۶: کلسیت با ضریب شکست بالا (نمونهٔ ۳) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطحPPL)



شکل۱۷: تجمع اکسیدهای آهن به صورت خط میخی(نمونهٔ ۳) شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



شکل۱۸: سنگ مرمر (نمونه ۴) شهر سوخته، مگنیت و هماتیت به صورت فشرده (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)



شکل۱۹: کلسیت به شکل شعاعی (نمونه ۴) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)

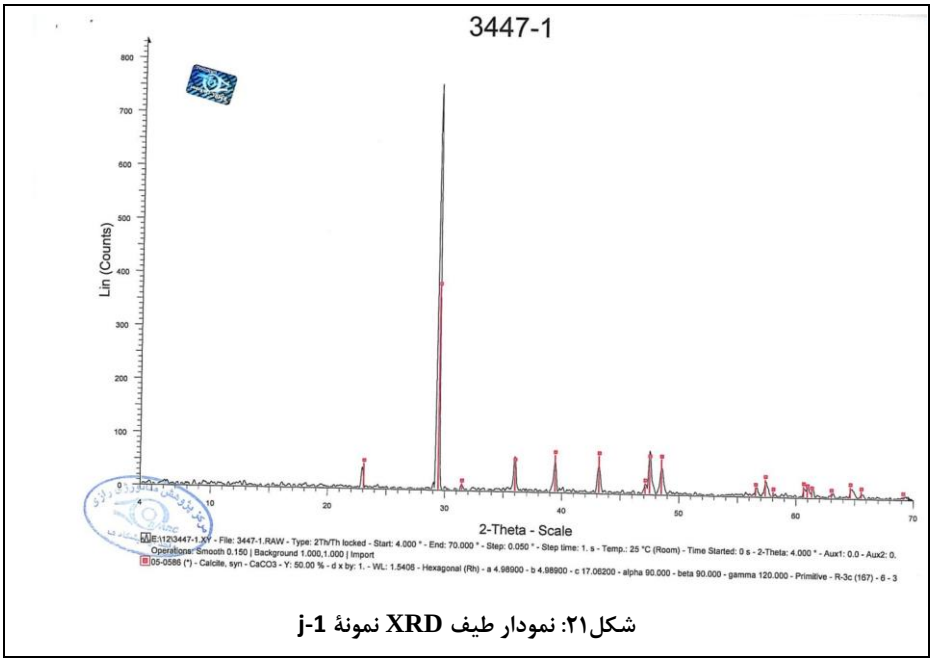
شکل۲۰: کلسیت به شکل سوزنی (نمونه ۴) منطقهٔ شهر سوخته (نور پلاریزهٔ مسطح PPL)

XRD .۲-۵

آزمایش پراش پرتو ایکس بر روی چهار نمونه از سنگ‌های مرمر مناطق جیرفت و شهر سوخته انجام گرفت.[۵] کانی اصلی تشکیل‌دهندهٔ سنگ مرمرهای مورد مطالعه کلسیت ($CaCO_3$) است. در نتایج آنالیز ترکیب Calcite, syn، فرمول شیمیایی $CaCO_3$، مقدار (نیمه‌کمی) 50/00 و سیستم تبلور Hexagonal (Rh) نمونه‌ها مشابه بود.

جدول۲-توصیف و تشریح نمونهٔ j-1 به همراه طیف XRD

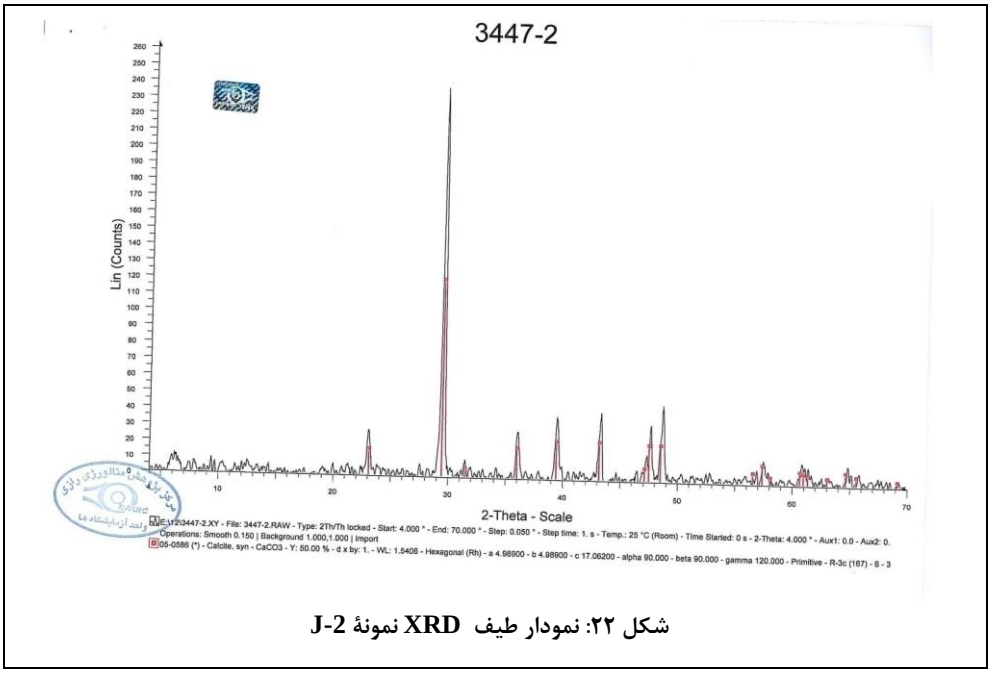
بارکد نمونه	رنگ	توصیف ماکروسکپی	توصیف میکروسکپی	نتایج XRD	فرمول شیمیایی
۱- j یا نمونهٔ شمارهٔ ۱ منطقهٔ جیرفت	سفید- زرد	سطح صیقلی و رگه‌های خیلی کم به رنگ زرد	مرمر با ساختار فشرده	کلسیت	$CaCO_3$



شکل۲۱: نمودار طیف XRD نمونهٔ j-1

جدول۳- توصیف و تشریح نمونهٔ J-2 به همراه طیف XRD

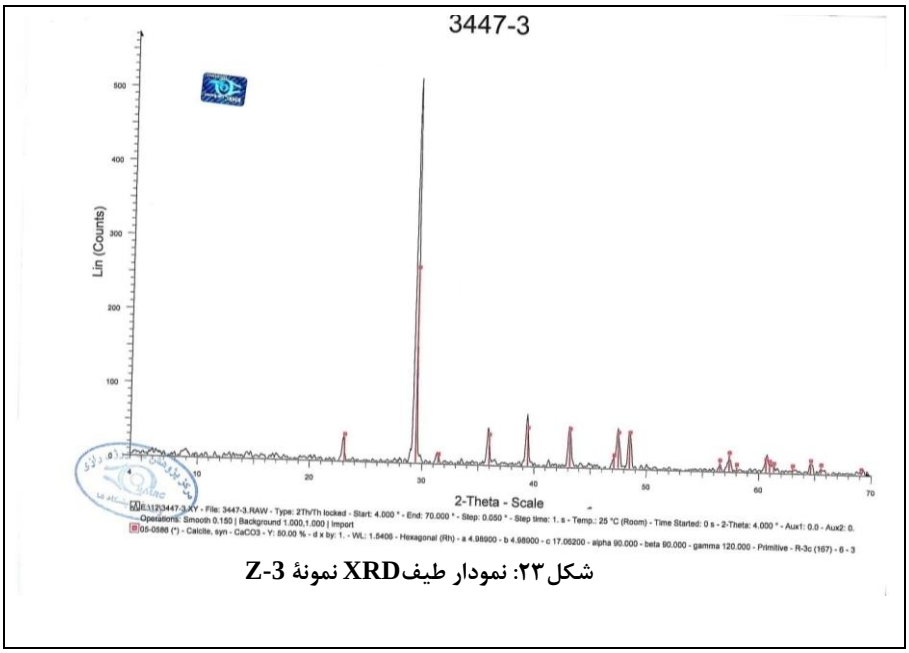
بارکد نمونه	رنگ	توصیف ماکروسکپی	توصیف میکروسکپی	نتایج XRD	فرمول شیمیایی
j-2 یا نمونهٔ شمارهٔ ۲ جیرفت	سفید-زرد	سطح صیقلی با رگه‌های خیلی کم- زرد	مرمر فشرده	کلسیت	$CaCO_3$



شکل ۲۲: نمودار طیف XRD نمونهٔ J-2

جدول۴- توصیف و تشریح نمونهٔ Z-2 به همراه طیف XRD

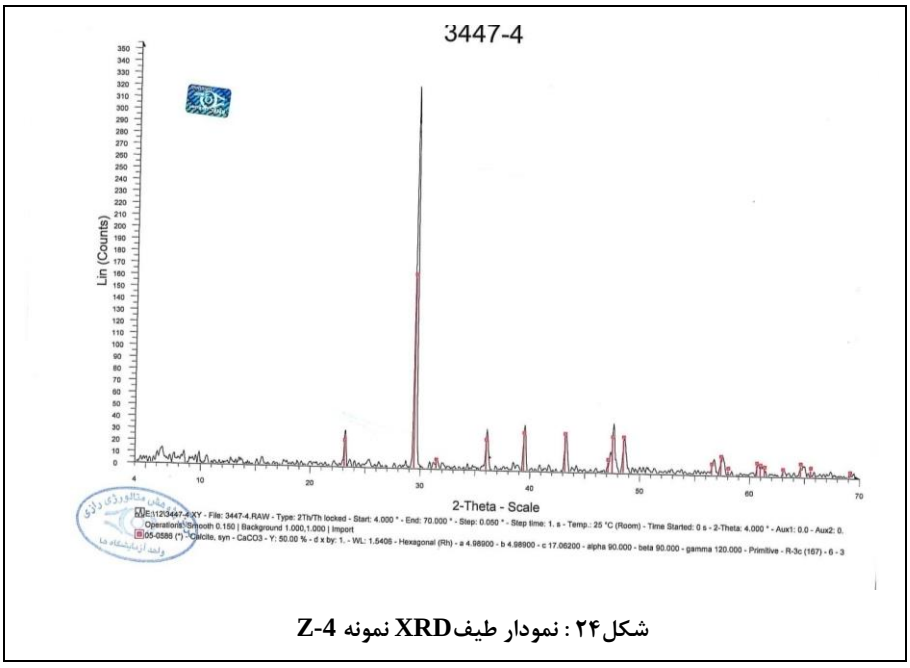
بار کد نمونه	رنگ	توصیف ماکروسکپی	توصیف میکروسکپی	نتایج XRD	فرمول شیمیایی
Z-3 یا نمونهٔ شمارهٔ ۳ شهر سوخته	زرد- نارنجی	سطح صیقلی با رگه‌های زیاد در طیف نارنجی قهوه‌ای	سنگ کلسیت تجمع آهن	کلسیت	$CaCO_3$



شکل۲۳: نمودار طیفXRD نمونهٔ Z-3

جدول۵- توصیف و تشریح نمونهٔ Z-3 به همراه طیف XRD

بارکد نمونه	رنگ	توصیف ماکروسکپی	توصیف میکروسکپی	نتایج XRD	فرمول شیمیایی
Z-4 یا نمونهٔ شماره ۴ شهر سوخته	زرد- نارنجی	سطح صیقلی-رگه‌های بسیار زرد- طیف نارنجی-قهوه‌ای	سنگ کلسیتی به شکل شعاعی و سوزنی- تجمع آهن	کلسیت	$CaCO_3$



شکل۲۴ : نمودار طیفXRD نمونه Z-4

XRF .۳-۵

آنالیز به صورت نیمه‌کمی (Semi Quantitative) انجام شده است. نتایج XRF به صورت جدول (شمارهٔ ۶ و ۷) ارائه شد.[۶] بیشترین عنصر و ترکیباتی که در نتایج نمونه سنگ‌های مرمر جیرفت و شهر سوخته مشخص شد، کلسیم (Ca) و CaO بود. این آنالیز بر روی دو نمونه از سنگ مرمر جیرفت و دو نمونه از شهر سوخته برای مقایسهٔ کمی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج این آزمایش نشان‌دهندهٔ نزدیکی عناصر تشکیل‌دهندهٔ نمونه‌های جیرفت و شهر سوخته است.

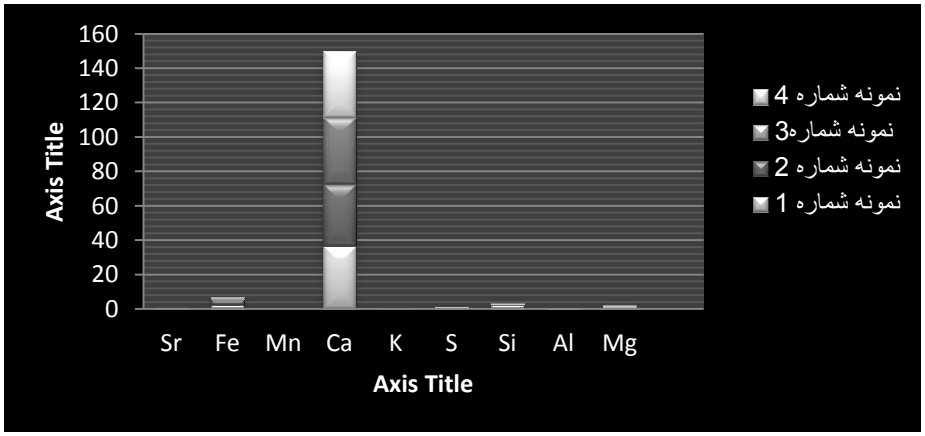
جدول۶- نتایج XRF نمونه سنگ‌های منطقهٔ جیرفت بر حسب درصد وزنی

Mg	Al	Si	S	K	Ca	Mn	Fe	Sr	
0/40	0/08	2/7	0/5	شناسایی نشده	36/7	شناسایی نشده	2/7	0/084	نمونهٔ شماره ۱
0/31	0/11	0/10	0/34	0/052	36/1	شناسایی نشده	3/2	0/079	نمونهٔ شماره ۲

جدول۷- نتایجXRF نمونه سنگ‌های منطقهٔ شهر سوخته بر حسب درصد وزنی

Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Sr	
0/8	0/09	0/21	0/19	38/7	0/036	0/24	نمونهٔ شماره ۳
0/7	0/04	0/06	0/28	38/2	0/9	0/22	نمونهٔ شماره ۴

نمودار ۱: مقایسهٔ تمرکز عناصر (برحسب درصد وزنی) در نمونه‌های مناطق جیرفت و شهر سوخته



از دلایل ساختار خوب و منسجم سنگ مرمرهای منطقهٔ جیرفت می‌توان به این موضوع اشاره کرد که هوازدگی بر اثر اکسیداسیون رخ نداده است؛ به همین دلیل، تأثیر رطوبت کم و قرار داشتن در منطقهٔ خشک و همچنین نداشتن تخلخل باعث شده است انتقال رطوبت در بافت سنگ محدود باشد. همان‌طور که از تصاویر پتروگرافی مشاهده می‌شود، بافت این مرمر ساختار متراکم و منسجمی دارد و ساختار جهت‌دار و کریستالیزاسیون آرام در بافت سنگ مشاهده نمی‌شود و علت آن به این دلیل است که، این سنگ‌ها در عمق زمین دگرگون شده‌اند و هر چه از عمق به سطح زمین انتقال یابند، سرعت واکنش آهسته‌تر و متامورفیسم کندتر است. بافت اصلی سنگ بیشتر شامل تالک و آرنالیت (با توجه به آنالیزهای پتروگرافی و پراش اشعه ایکس) است. سنگ مرمر با کیفیت بالا، متراکم و با ناخالصی بسیار اندک و همچنین با تراکم ناخالصی آهن در حد بسیار کم قابل مشاهده بود و در تصاویر، کوارتز اصلاً دیده نمی‌شود.

در نمونه‌های جیرفت با تهیهٔ عکس‌های پتروگرافی می‌توان اظهار کرد که سنگ‌های مرمر، سنگ متامورفوژیک و هوازده نیستند و مرمرهای جیرفت ریزدانه، فشرده با لایه‌های رنگی و رگه‌های کوارتزی و فلسی‌شکل هستند. دربارهٔ سنگ‌های شهر سوخته گفته شد که کلیستی هستند؛ یعنی شرایط محیطی بر آنها تأثیر گذاشته است و به سنگ‌های کلسیتی تبدیل شده‌اند. نتایج در سنگ‌های جیرفت هم کلسیت را نشان می‌داد، اما تفاوت آن در نوع متامورفیسم و سرعت دگرگونی است. در نمونه‌های شهر سوخته، سنگ‌های کلسیتی به شکل شعاعی و سوزنی است که از دلایل آن می‌توان به شرایط محیطی قرارگیری نمونه‌ها اشاره کرد.

۶. نتیجه

دو منطقهٔ شهر سوخته و جیرفت از مناطق باستانی در جنوب شرق ایران هستند که آثار متعددی از جنس سنگ دارند که از جملهٔ آنها، سنگ مرمر است که به اشکال مختلفی ساخته شده‌اند. ظروف سنگ مرمر این دو منطقه که از محوطه‌های باستانی کنار صندل جنوبی در جیرفت و از منطقهٔ بناهای یادمانی در شهر سوخته به دست آمده‌اند، از نظر ویژگی‌های ظاهری تفاوت‌های زیادی داشتند. ظروف سنگ مرمر منطقهٔ جیرفت رگه‌های کمی داشتند و به رنگ سفید بودند، اما در مقابل، سنگ مرمرهای شهر سوخته رگه‌های متعددی به رنگ‌های قهوه‌ای و نارنجی داشتند. این تفاوت ظاهری کاملاً گویای تفاوت‌های ساختاری و شرایط شکل‌گیری این سنگ‌ها بود؛ به همین دلیل، با به‌کارگیری آنالیزهای XRF-XRD و استفاده از تصاویر پتروگرافی، ساختار سنگ‌های این دو منطقه تحلیل شد.

با توجه به نتایج آزمایش‌های XRF- XRD و تصاویر پتروگرافی، این نتیجه حاصل شد که نمونه‌های دو منطقه نمی‌تواند متعلق به یک معدن باشد و حتی در نمونه‌های شهر سوخته نیز نمونه‌ها متعلق به یک بخش مشترک نیستند. نمونه سنگ‌های مرمر جیرفت از نوع مرمر بسیار خوب و منسجم است، در صورتی که نمونه سنگ‌های شهر سوخته به شکل سنگ‌های کلسیتی هستند و کاملاً گویای شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی حاکم بر آنهاست. نکتهٔ حائز اهمیت، تفاوت ساختار نمونه سنگ‌های مرمر این دو منطقهٔ باستانی است؛ همان‌طور که اشاره شد، نمونه‌های جیرفت ساختاری به هم فشرده دارند، اما در نمونه‌های شهر سوخته ساختار کلسیتی به شکل سوزنی و شعاعی دیده می‌شود.

با وجود اینکه هر دو نمونه از خانوادهٔ سنگ‌های کلسیتی هستند، از نظر ساختاری تفاوت‌هایی عمده دارند. هوازدگی بر اثر اکسیداسیون در نمونه‌های جیرفت رخ نداده است، اما در نمونه‌های شهر سوخته هوازدگی دیده می‌شود که مربوط به محل به دست آوردن نمونه‌ها (نمونه‌های شهر سوخته از روی زمین به دست آمده‌اند) است. حاصل این پژوهش نشان‌دهندهٔ این است که شرایط محیطی در ساختار سنگ‌های مرمر این دو منطقه که هر دو در جنوب شرق ایران باستان قرار دارند، نقش تعیین‌کننده‌ای داشته است. بر اساس نتایج آنالیزها عناصر و ترکیبات تشکیل دهنده، سنگ‌های مطالعاتی مشابه بودند، اما از نظر ساختارهای درونی تفاوت‌های فاحشی داشتند.

تشکّر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانیم از آقایان مهدی رازانی، نادر سلیمانی و آقای دانشی از پایگاه جیرفت به دلیل همکاری بسیار صمیمانه تشکر کنیم. بدون شک بدون کمک آنان این تحقیق مقدور نبود.

پی‌نوشت

۱. منطقهٔ بناهای یادمانی واقع در شمال غرب شهر سوخته بین منطقهٔ مسکونی شرقی و منطقهٔ صنعتی واقع شده است. درهٔ کوچک رسوبی این بخش را از منطقهٔ صنعتی در غرب تفکیک می‌کند، در حالی که در جنوب و شرق با بخش‌های دیگر هم‌مرز است. این منطقه از تعدادی تپهٔ کوچک تشکیل شده است که هر یک به احتمال قوی نشان‌دهندهٔ ساختمان‌ها و بناهای متعلق به دوره‌های مختلف هست (شیرازی، ۱۳۸۸: ۲۸۲). کاربری اصلی این بنا هنوز مشخص نشده است، اما بر اساس برخی شواهد این ساختمان در دورهٔ دوم استقرار بنایی همگانی بوده است و بعداً در دورهٔ سوم، بخش‌هایی از آن متروک شده و بخش‌های دیگری از آن به شکل کارگاه‌های صنعتی کوچکی در آمده است (سیدسجادی، ۱۳۸۸: ۴۱۵).

۲. طرح طبقه‌بندی بسیار ساده‌ای که در بسیاری اوقات به کار می‌رود و سنگ‌های آهکی را بر اساس اندازهٔ دانه به کلسی رودایت (calcirudite) (بیشتر دانه‌ها بزرگتر از ۲میلی‌متر)، کلسی آرنایت (calcarenite) (بیشتر دانه‌ها بین۲ میلی‌متر و ۶۲ میکرون) و کلسی لوتایت (calcilutite) (بیشتر دانه‌ها کمتر از ۶۲ میکرون) تقسیم می‌کند (تاکر، ۱۳۷۳:-۲۶۵).

۳. نوعی شبکهٔ کریستال.

۴. رخ عبارت است از خصوصیت شکست و تورق کانی در امتداد سطوح سست.

۵. شرایط محیطی آزمایشگاه شامل دمای ۲۳۰C ° و رطوبت برابر با ۵۰ ٪ بود.

۶. شرایطی محیطی آزمایشگاه شامل دمای ۲۵ °C و رطوبت برابر با ۳۰٪ بود.

منابع

حصاری، مرتضی و صدیقه پیران (۱۳۸۴)، *فرهنگ حاشیهٔ هلیل رود و جیرفت*، تهران، موزهٔ ملی ایران.

رحیمی، حسن (۱۳۸۸)، *مصالح ساختمانی*، تهران، دانشگاه تهران.

سیدسجادی، منصور (۱۳۸۸)، *مجموعه مقالات شهر سوخته*، تهران، سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.

شیرازی، روح‌الله (۱۳۸۸)، *شهر سوخته*، سیستان و بلوچستان، اداره کل میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری.

تاکر، موریس ای (۱۳۷۳)، *سنگ‌شناسی رسوبی، مقدمه‌ای به منشأ سنگ‌های رسوبی*، ترجمهٔ سیدرضا موسوی حرمی و اسدالله محبوبی، مشهد، جهاد دانشگاهی.

Gauri, K.L., Bandyopadhyay, J.K. 1999. *Carbonate stone: chemical behavior, durability and conservation*, John Wiley & Sons.

Madjidzadeh, Y., Pittman, H., 2008. Excavations at Konar Sandal in the region of Jiroft in the Halil Basin: first preliminary report (2002–2008), *Iran*, vol. XLVI: 69-103.

Madjidzadeh, Y. 2011. The six seasons of excavations at KonarSandal: Jiroft, Programme-Final. Accessed August 04, 2011. http://www.arch.cam.ac.uk.

Sajjadi, M. M., S. 2003. ,Excavation at Shahr-I Sokhta, *Iran* XL: 21.

Reedy, Chandra L. 2008. ,*Thin-section petrography of stone and ceramic cultural materials*, Archetype Publications, London.

Tosi, M. 1976. A topographical and stratigraphical periplus of Sahr-e Suxteh, Proceedings of the IVth Annual Symposium on Archaeological Research in Iran, pp. 130-158.