

## بررسی مناطق دارای پتانسیل مواد اولیه آجر به منظور رفع مشکلات زیست محیطی در استان اصفهان

سید حسن طباطبایی، هوشنگ اسدی هارونی

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

فریماه آیتی

گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲

F\_aiaty@yahoo.com

### چکیده:

استان اصفهان از دیرباز بعنوان قطب آجر ایران محسوب می شده است. قرارگیری کارخانه های تولید آجر در حوالی اصفهان و مصرف بالای رس مناسب زمین های کشاورزی، مشکلات زیست محیطی زیادی در محدوده ای به وسعت ۲۰ کیلومترمربع در استان به وجود آورده است. با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق مواد اولیه آجرهای رسی، شیلی و مارنی در محدوده ای به وسعت ۱۲۵۰۰ کیلومتر مربع در استان اصفهان با کمک داده های ماهواره ای و نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و کنترل زمینی شناسائی شدند. با انجام آزمایشات لازم بر روی نمونه های مناطق شناسائی شده مشخص گردید که با اختلاط بهینه مواد رس و شیل می توان به آجری استاندارد با مقاومت فشاری و جذب آب مناسب دست یافت. از طرفی با شناسائی و اولویت بندی مناطق دارای پتانسیل بالای مواد اولیه آجر در خارج از محدوده شهری اصفهان، می توان کارخانه های آجر نزدیک شهر را در آینده به این مناطق تغییر مکان داد.

**کلمات کلیدی:** آجر، مواد اولیه، استان اصفهان

### مقدمه

طرفی به علت عدم وجود خاک رس مناسب، برای تولید آجرهای ساختمانی و دیگر مصالح از شیل های دارای ویژگی های فیزیکی و شیمیایی لازم استفاده می نمایند. گرچه در ایران استفاده از شیل برای تولید آجر چندان مرسوم نمی باشد، ولی پژوهش های پراکنده ای در پاره ای از نقاط انجام گرفته است. از آن جمله بررسی شیل های سازند امین را در منطقه خوزستان و شیل های سنندج را می توان نام برد (ایرانمنش، ۱۳۶۷ و مهندسین مشاور اپال، ۱۳۷۷). در این تحقیق سعی بر آن است تا مناطق دارای پتانسیل معدنی جهت مواد اولیه آجر در استان اصفهان شناسایی گردد و در نتیجه استفاده بهینه از مواد اولیه جایگزین رس در استان را موجب گردد و از طرفی در رفع مشکلات زیست محیطی ناشی از بهره برداری معادن رس در استان اصفهان نیز کمک نماید.

احداث ساختمانیها با مصالح آجری در سطح وسیعی از کشورهای جهان و از جمله در ایران در حال اجرا می باشد. علت آن وزن کم، قیمت ارزان، حمل و نقل آسان، قالب گیری در شکل و اندازه لازم و زیبایی خاص آجر برای نماسازی است. مواد اولیه آجر را میتوان از شیل، مارن و رس ها تامین کرد. کانی های مهم موجود در مواد اولیه آجر شامل کائولینیت، ایلیت، اسمکتیت و به میزان کمتر کلریت های منیزیم دار، آلومینیوم دار، اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیوم و آهن، کوارتز و مواد آلی می باشد (کریم پور، ۱۳۸۵). خاک رسی را که برای تهیه آجر انتخاب می کنند لازم نیست رس خالص باشد، فقط کافی است که ناخالصی هایی از قبیل ریشه گیاهان، چوب، ذغال و غیره در آن وجود نداشته باشد. زیرا این مواد هنگام پختن آجر در داخل کوره سوخته و تخلخل ایجاد می کند که از مقاومت آجر کم می کند (کباری، ۱۳۸۷). یکی از مباحث اساسی و مهم در جهان امروز در این میان، بحث برداشت بی رویه از منابع طبیعی و آلودگی های ایجاد شده توسط کارخانه های صنعتی در سطح جهان می باشد. در بسیاری نقاط جهان به واسطه جلوگیری از مصرف خاکهای کشاورزی و نابودی زمین های زراعی و از

## روش کار

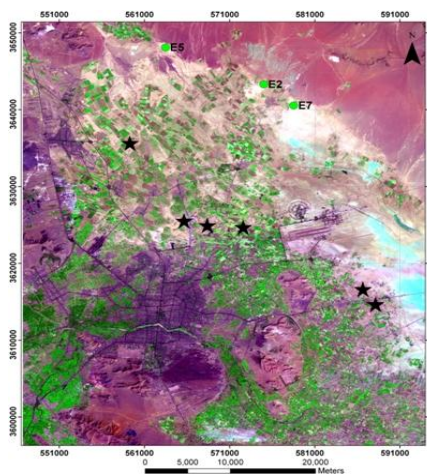
داده های ماهواره ای  $ETM^+$ ، کانی های رسی (کانیهای دارای بنیان OH) و اکسید های آهن سه ظرفیتی این مناطق تفکیک و سپس با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب (FCC) و اجرای فیلتر Median نقاط مشترک تعیین گردید. در روش برازش حداقل مربعات با استفاده از خصوصیات طیفی باندهای پیش بینی کننده و مقایسه آنها با یک باند خاص و یا مدل (modeled band) یک باند باقیمانده (LS-Fit residual) معرف کانیهای رسی و یا اکسیدهای آهن (با توجه به باند انتخابی مدل) ایجاد می شود (Asadi et al., 1999) (مالمیران، ۱۳۷۹) (اسدی و طباطبایی، ۱۳۸۶) (Crosta, 2003). با توجه به خصوصیات محل کارخانه های شناخته شده در مناطق دولت آباد، گز و سگزی، پیکسلهای مشترک دارای خصوصیات کانیهای رسی بنیان OH و اکسید های آهن سه ظرفیتی میتوانند دارای پتانسیل مواد اولیه آجر و بلوکهای سفالی باشند. در پایان، نتایج حاصل از پردازش داده های ماهواره ای  $ETM^+$  و استر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان با واحدهای لیتولوژیکی نقشه های زمین شناسی مقیاسه و ۷ نقطه امید بخش برای پی جویی صحرایی و اکتشافات بعدی مواد اولیه آجر و بلوکهای سفالی معرفی گردید (جدول ۱). قبل از بررسی داده های ماهواره ای، مختصات کارخانه های آجر استان در مناطق دولت آباد، سگزی و گز با استفاده از GPS برداشت و در تصاویر ماهواره ای نشان داده شد (شکل ۱). خصوصیات طیفی این مناطق مشخص و سپس با استفاده از این خصوصیات، مناطق مشابه در نواحی دورتر در ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ اصفهان شناسایی گردید. با توجه به خصوصیات طیفی نقاط فوق، ابتدا تصاویر ماهواره ای  $ETM$  مورد مطالعه قرار گرفت و مناطق حاوی مواد اولیه رسی آجر مشخص گردید. همانطور که در تصویر مذکور مشاهده می گردد محل کارخانه های آجر اصفهان در نزدیکی شهر اصفهان و در مناطق دولت آباد (مرکز تصویر)، گز (شمال تصویر) و سگزی (شرق تصویر) قرار دارند (شکل ۱). در این تصویر مناطق دارای پتانسیل بالای رس مورد استفاده در تولید آجر، با رنگ سفید و رس های آغشته به گچ با رنگ آبی روشن نشان داده شده اند. برای تفکیک کانی رسی حاوی اکسید آهن و فاقد گچ دارای پتانسیل مورد استفاده در تهیه آجر از روش برازش حداقل مربعات (LS-Fit) بر روی داده های ماهواره ای استر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ اصفهان استفاده گردید.

برای تشخیص و تفکیک کانیهای رسی، شیل، مارن، اکسیدهای آهن سه ظرفیتی و در نهایت تعیین پتانسیل معدنی مواد اولیه آجر، داده های ماهواره ای استر و  $ETM$  ورقه های ۱/۱۰۰۰۰۰ اصفهان، طرق، میمه، شهرضا و کوهپایه مورد پردازش و زونهای حاوی اکسید آهن و کانیهای دارای یون هیدروکسیل در رابطه با کانی های رسی مواد اولیه آجر شناسایی و مورد کنترل زمینی و نمونه برداری قرار گرفتند. شیل ها که امروزه از مهمترین مواد اولیه آجر محسوب می شوند با استفاده از نقشه های زمین شناسی و کنترل زمینی شناسایی شدند. جهت تعیین کیفیت آجر رسی و شیلی به دست آمده از نمونه های برداشتی از آزمایشات پراش اشعه ایکس (XRD) و فلورسانس اشعه ایکس (XRF) و نهایتاً آزمایش پخت (تعیین مقاومت فشاری و جذب آب) بر روی آجر و مقایسه آنها با استاندارد های ملی و بین المللی استفاده گردید.

## بحث

## شناسایی مواد اولیه آجر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان

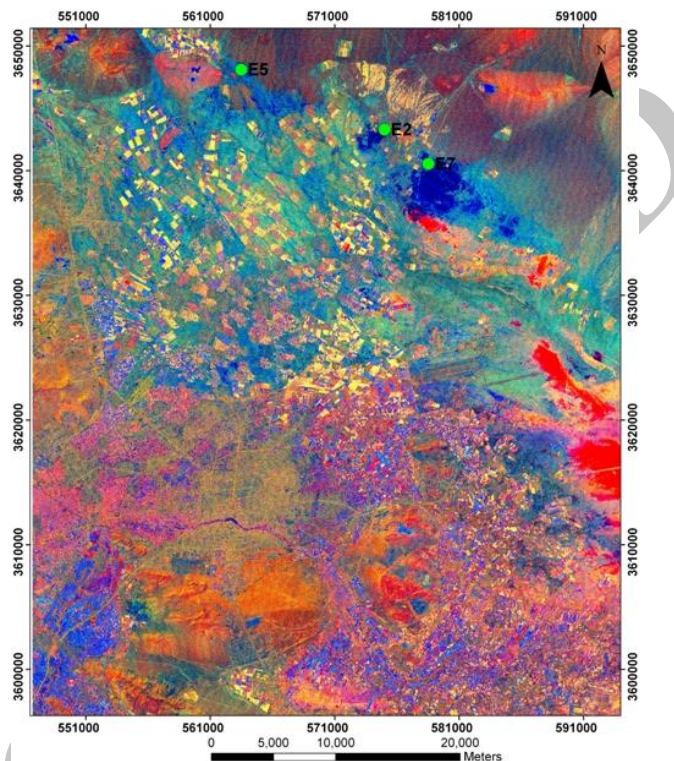
برگه زمین شناسی اصفهان در میان طولهای جغرافیایی  $30^{\circ} 51'$  تا  $00^{\circ} 52'$  و عرضهای جغرافیایی  $30^{\circ} 32'$  تا  $00^{\circ} 33'$  جای دارد. عمده واحدهای سنگی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان، آبرفتهای کواترنری، واحد رسی و سنگهای آهکی و دولومیتی کرتاسه و به مقدار کمتر شیل می باشد. بیشتر منابع آجر استان از واحدهای رسی منطقه دولت آباد، گز و سگزی استخراج می گردد. قرار گیری کارخانه های تولید آجر در این ورقه و مصرف مقادیر بالای رس مناسب برای زمینهای کشاورزی مشکلات زیست محیطی بسیار زیادی را به وجود آورده است. کانیهای رسی دارای بنیان هیدروکسیل نظیر کائولن، مونت موریلونیت، ایلپت به همراه اکسید های آهن سه ظرفیتی نظیر هماتیت، گوتیت و جاروسیت، کانی های اصلی تشکیل دهنده مواد اولیه آجر و بلوک های سفالی را تشکیل می دهند. در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان یک افق خاک رس قرمز رنگ حاوی کانی های رسی و انواع اکسید های آهن سه ظرفیتی وجود دارد که می تواند به عنوان ماده اولیه آجر با کیفیت بالا مورد استفاده قرار گیرد. در کلیه مناطق مورد مطالعه، با بررسی داده های ماهواره ای و با استفاده از روش برازش حداقل مربعات (LS-Fit) بر روی



شکل ۱. تصویر ترکیب رنگی RGB 741 داده های ماهواره ای  $ETM$  ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ اصفهان و موقعیت نقاط پر پتانسیل مواد اولیه آجر در این ورقه (محل کارخانه های آجر با ستاره و کانی های رسی با رنگ سفید نشان داده شده)

همچنین تلفیق این تصاویر با نقشه موجود زمین شناسی منطقه در محیط GIS ۷ نقطه برای پی جویی صحرایی معرفی گردید (جدول ۱). با نمونه برداری از عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتری از طریق حفر ترانشه و چاهک (حدود ۱۰ تا ۱۵ کیلوگرم برای هر نمونه) و بررسی های صحرایی و آزمایشات شیمیایی بر روی نقاط مورد بررسی (تعیین کیفیت) در ورقه اصفهان، در نهایت سه منطقه امید بخش معرفی گردید (جدول ۲). ماده معدنی هر سه منطقه از نوع خاک رس، فاقد شن و کربنات کلسیم بوده که با توجه به حفر ترانشه، وسعت زیاد خاک و وضعیت پخت این مناطق دارای الویت بالایی برای اکتشافات بعدی می باشند (شکل ۳ و ۴).

همانطوری که در شکل (۲) مشاهده می شود، کانیهای رسی حاوی اکسید آهن و فاقد گچ که دارای خصوصیات طیفی مناطق شناخته شده محل کارخانه های آجر می باشد با رنگ آبی و کانی های رسی آغشته به گچ با رنگ قرمز مشخص شده اند. همانگونه که مشاهده می گردد منطقه رسی وسیعی (فاقد زمین کشاورزی) به وسعت ۲۱ کیلومتر مربع در حدود ۳۵ کیلومتری مرکز شهر اصفهان و در مسیر جاده اردستان در حاشیه کوه وجود دارد و همانگونه که در ذیل اشاره می گردد با توجه به مثبت بودن کنترل زمینی و آزمایشات شیمیایی و پخت صورت گرفته، می تواند به عنوان یک منطقه وسیع و مناسب برای مواد اولیه آجر استان معرفی گردد. با توجه به تصاویر ماهواره ای پردازش یافته ASTER و ETM ورقه ی اصفهان و



شکل ۲. تصویر پردازش شده به روش برازش حداقل مربعات (LS-Fit) داده های ماهواره ای استر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان (رنگ آبی، مناطق دارای پتانسیل بالای رسی مواد اولیه آجر را نشان میدهد)



شکل ۴: حفر ترانشه جهت بررسی وضعیت خاک در شمال اصفهان

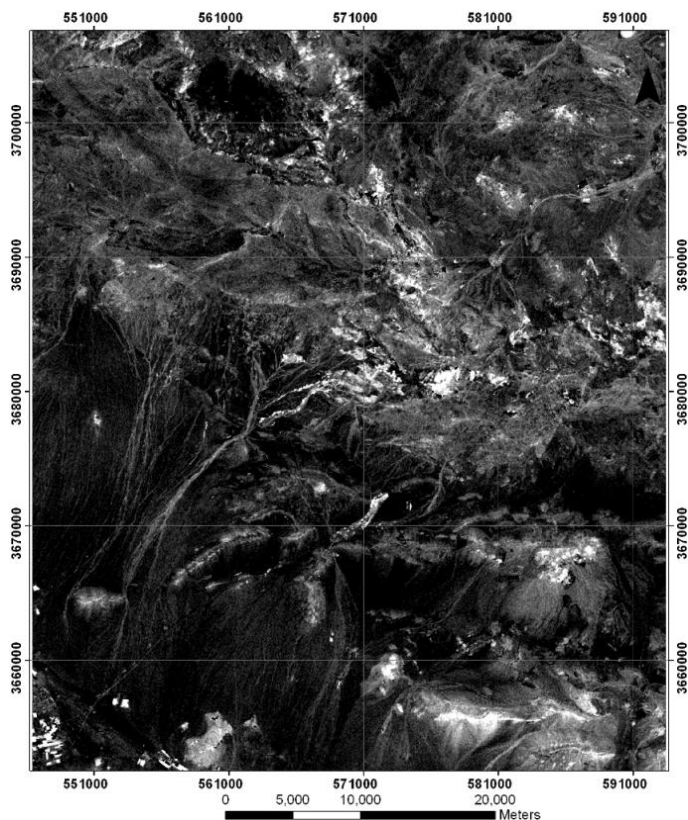


شکل ۳. پخت نمونه خاک رس اندیس شمال شرق اصفهان

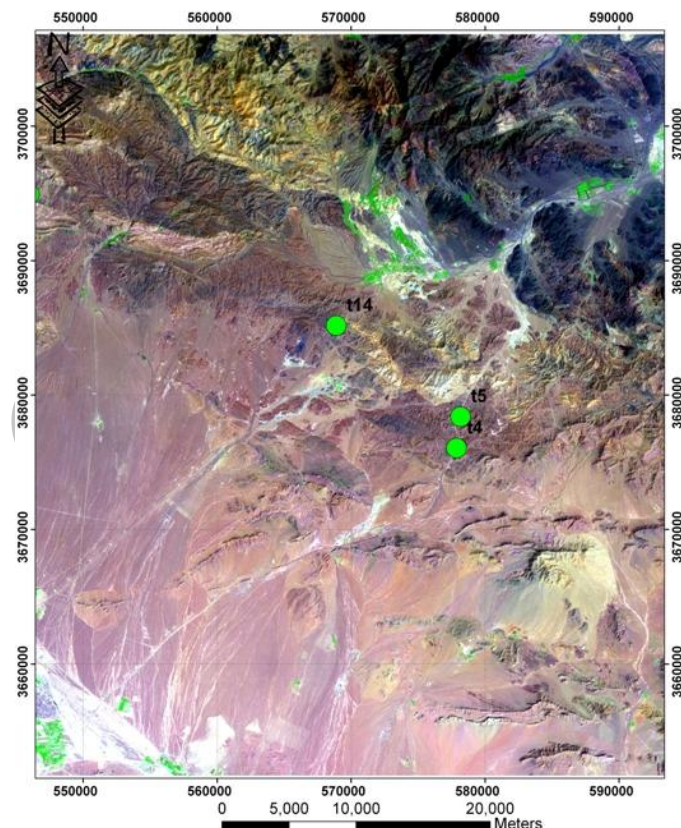
**شناسائی مواد اولیه آجر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق**

برگه زمین شناسی طرق در میان طولهای جغرافیایی  $۵۱^{\circ} ۳۰'$  تا  $۵۲^{\circ} ۰۰'$  و عرضهای جغرافیایی  $۳۳^{\circ} ۰۰'$  تا  $۳۳^{\circ} ۳۰'$  جای دارد. داده های ماهواره ای لندست  $ETM^{+}$  و استر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق برای تشخیص کانی های رسی، شیل، مارن و اکسید های آهن سه ظرفیتی و در نهایت تعیین پتانسیل معدنی مواد اولیه آجر مورد پردازش قرار گرفت. شکل (۵) ترکیب رنگی RGB741 داده های ماهواره  $ETM^{+}$  ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق را نشان می دهد. در این نقشه کانی های

رسی با رنگ سفید و پوشش گیاهی با رنگ سبز نشان داده شده است. شکل (۶) مناطق دارای پتانسیل بالای کانی های رسی را از طریق تصویر پردازش شده به روش برازش حداقل مربعات داده های ماهواره ای  $ETM^{+}$  به رنگ سفید نشان می دهد. در این ورقه نتایج حاصل از پردازش داده های ماهواره ای  $ETM^{+}$  و استر با واحدهای لیتولوژیکی نقشه های زمین شناسی (عمدتا واحد های شیلی) مقایسه و ۱۴ نقطه امید بخش برای پی جوئی صحرائی و اکتشافات بعدی مواد اولیه آجر و بلوکهای سفالی مشخص گردید.



شکل ۶. تصویر پردازش شده به روش برازش حداقل مربعات (LS-Fit) داده های ماهواره ای  $ETM^{+}$  ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق (رنگ سفید مناطق دارای پتانسیل بالای رسی مواد اولیه آجر را نشان میدهد)



شکل ۵. تصویر ترکیب رنگی RGB741 داده های ماهواره ای  $ETM^{+}$  ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق و موقعیت نقاط پتانسیل مواد اولیه آجر در این ورقه (کانی های رسی با رنگ سفید و پوشش گیاهی با رنگ سبز نشان داده شده اند)

جدول ۱. مشخصات نقاط با پتانسیل بالای معرفی شده در اندیسه‌های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان برای کنترل زمینی

نمونه	ملاحظات
E1	نامناسب: دارای آلونک و آهک بالا، نمونه پخت حاکی از آهکی بودن آجر می باشد
E2	مناسب و کیفیت خوب: نتیجه پخت قابل قبول می باشد.
E3	نامناسب: در این نقطه از سطح تا حدود ۳۰ سانتی متر خاک رس ماسه دار و در زیر حدود ۴۰ سانتی متر خاک رسی خوب مشاهده شد. نتیجه پخت: نامناسب
E4	نامناسب: از این نقطه نمونه ای برداشت شده که در نتیجه پخت از استحکام زیادی برخوردار نمی باشد (خاک حالت ماسه ای دارد) و رنگ آن کرمی خال دار می باشد.
E5	مناسب: خاک موجود در این نقطه همگن است. ناخالصی، شن درشت و آلونک قابل مشاهده نیست. از این نقطه نمونه ای برداشت شده که در نتیجه خاک پخته شده مرغوب و رنگ زرد قابل قبول دارد.
E6	اطراف روستای سین و مربوط به کارخانه آجر
E7	مناسب: از این نقطه نمونه ای برداشت شده که در نتیجه پخت نمونه مطلوب و به رنگ کرمی می باشد.

جدول ۲. مناطق امید بخش در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان

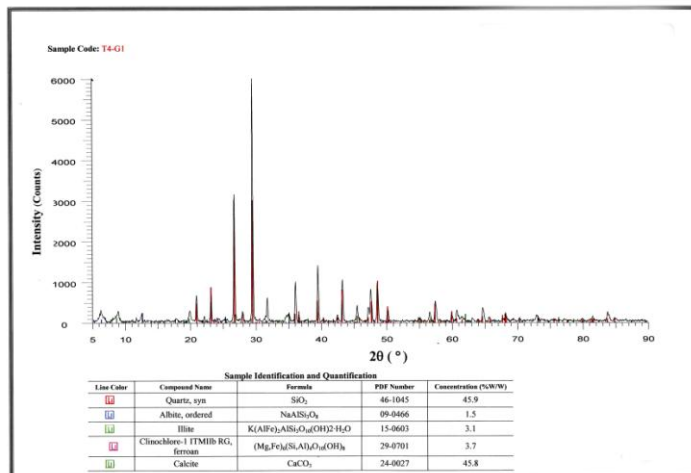
نام منطقه	نوع ماده معدنی / کانی های موجود	ابعاد ذخیره (m <sup>2</sup> )	سایر توصیفات	وضعیت آجر پخته شده	اولویت برای اکتشافات بعدی
اندیس شمال شرق اصفهان	خاک رس / عمدتاً رسی	۳۰۰۰×۳۰۰۰	خاک موجود در این نقطه همگن و فاقد ناخالصی، شن درشت و آلونک می باشد	مطلوب (شکل ۳)	با توجه به وسعت زیاد خاک رس، این منطقه از اولویت بالایی برای اکتشافات بعدی برخوردار می باشد.
اندیس شمال اصفهان (شمال شرق گرگاب)	رس	۱۵۰۰×۶۰۰	فاقد شن درشت	مطلوب	با توجه به نزدیکی آن به کارخانجات آجر و نزدیکی به اصفهان، دارای اولویت بالا (شکل ۴)
اندیس شمال شرق اصفهان	خاک رس همگن / عمدتاً رسی	۲۰۰۰×۱۰۰۰	فاقد شن درشت و آلونک	مطلوب / رنگ کرمی	با توجه به وسعت زیاد خاک رس، دارای اولویت بالا

جنوب غرب باغ رضوان (به دلیل حضور سیلیس بالا) در بقیه موارد، پخت قابل قبول شیل ها به واسطه ی  $K_2O$  بالاتر دمای پایین تری نسبت به خاک رس صورت گرفت که این می تواند در مصرف انرژی کمتر برای تولید آجر نیز مد نظر قرار گیرد و این مناطق از اولویت بالایی برخوردار می باشند(شکل ۸ تا ۱۰، جدول ۴).

بررسی های صحرایی و آزمایشات شیمیائی بر روی نقاط مورد بررسی (تعیین کیفیت) در ورقه طرق به صورت زیر خلاصه می گردد(جدول ۳). در این ورقه در دو بخش مرکزی و جنوب غربی، ماده معدنی عمدتاً رسی حاوی شن و ماسه همراه با آهک بوده که از لحاظ کیفیت پخت در درجات پایین قرار می گیرد(شکل ۷). در مناطق دیگر ماده معدنی از نوع شیل می باشد که نمونه برداری در امتداد ترانشه در کنار بزرگراه اصفهان - کاشان برداشت شده است که به غیر از منطقه

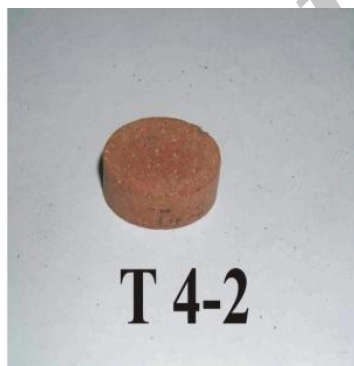
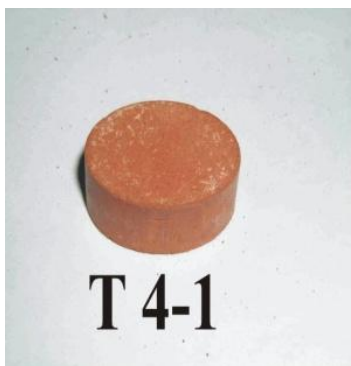
جدول ۳. نتایج بررسی های صحرایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق

نام منطقه	نوع ماده معدنی / کانی های موجود	ابعاد ذخیره ( $m^2$ )	وضعیت آجر پخته شده	سایر توصیفات	اولویت برای اکتشافات بعدی
اندیس جنوب-جنوب غرب رباط سلطان	خاک رس/ عمدتاً رسی	۱۰۰۰×۱۰۰۰	-----	رسهای پر شن و ماسه، با آهک زیاد همراه با هماتیت و گچ در کنار هم دیده می شود (شکل ۷)	با توجه به وجود آهک، ماسه، هماتیت و گچ فراوان، نمونه خاک قابل استفاده نبوده و لذا منطقه از اولویت چندانی برخوردار نمی باشد.
اندیس شمال شرق سروستان (۱)	شیل (ژوراسیک) به همراه آهک و اکسید آهن به صورت محلی / کوارتز، آلپیت، ایلیت و کلسیت (با توجه به آنالیز XRD) (شکل ۸)	۱۰۰۰×۱۵۰۰	پخت شیلها در ۹۵۰ درجه سانتی گراد دارای جذب آب کم، رنگ مسی روشن و بافت سرامیکی قابل قبول می باشد(شکل ۹).	نتایج آزمایش شیل جهت تعیین کیفیت، دلالت بر وجود $K_2O$ بالا در آن دارد(جدول ۴).	با توجه به وسعت محدوده و نتایج پخت و آزمایش شیلها و نزدیکی به اصفهان در برکه طرق، منطقه از اولویت درجه یک برخوردار می باشد.
اندیس شمال شرق سروستان (۲)	شیل (تریاس) / کوارتز، آلپیت و ایلیت	۳۰۰۰×۸۰۰۰	شیلها در ۹۵۰ درجه سانتی گراد با سوخت فسیلی، بافت سرامیکی قابل قبول و لطیف که مناسب تولیدات سرامیک پوششی می باشد را ایجاد می نماید.	نتایج آزمایش نمونه ها نشان از $K_2O$ بالا در شیل.	با توجه به وسعت منطقه، نتایج پخت و آزمایش شیلها، منطقه از اولویت درجه دو برخوردار می باشد.
اندیس جنوب غرب باغ رضوان	شیل سیلیسی (تریاس) با سختی بالا	۱۰۰۰×۳۰۰۰	به دلیل حضور سیلیس و سختی بالا، جهت تعیین کیفیت شیل نمونه ای آزمایش نگردید و نتیجه پخت آجر از این نمونه رضایت بخش نمی باشد(شکل ۱۰).	تاثیر آلتراسیون در محدوده شیلی مورد بررسی / حضور رگچه های سیلیسی در آن	فاقد اولویت
اندیس شیلی جنوب غرب طرق	شیل های سیاه رنگ (تریاس) حاوی مقدار کمی هیدرواکسید آهن و فاقد کربناتهای کلسیم / کوارتز، ایلیت و کلسیت	۱۰۰۰×۵۰۰۰	مطلوب	-----	با توجه به نتیجه پخت، به عنوان یکی از نقاط مرغوب پیشنهاد می گردد
اندیس مارنی جنوب غرب طرق	مارن رسی کراتسه / رسی	۱۰۰×۵۰۰	پخت این نوع مارنها کم و بیش قابل قبول / رنگ صورتی کم رنگ ( نشان از حضور آهک)	حضور حدود ۴۰ درصد آهک با توجه به نتایج آزمایش (جدول ۴)	با توجه به وسعت کم و نتایج پخت از لحاظ مرغوبیت در درجات پایین قرار دارد.



شکل ۸. آزمایش پراش اشعه ایکس شیل شمال‌شرق سروستان

شکل ۷. نقطه شماره دو اندیس جنوب-جنوب غرب رباط سلطان (در سطح خاک‌های شن و ماسه‌دار و در عمق ۱۰ cm لایه گچ و آهک دیده می‌شود)



شکل ۹. پخت نمونه های شیل شمال شرق سروستان



شکل ۱۰. پخت نمونه شیل جنوب غرب باغ رضوان

جدول ۴. نتایج آزمایش شیل های شمال شرق سروستان و مارن جنوب غرب طرق

Sample No.	M-T4-3	M-T4-1	T15 (Wt %)
Major elements	شمال شرق سروستان		جنوب غرب طرق
SiO <sub>2</sub>	۵۸/۱۵	۵۷/۸۱	۳۲/۶۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۰/۵۴	۲۰/۷	۱۳
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶/۵۶	۶/۸۶	۴/۸۲
K <sub>2</sub> O	۴/۲۸	۴/۱۴	۲/۷۱
MgO	۱/۹۹	۱/۹	۳/۳
Na <sub>2</sub> O	۱/۳۵	۱/۱۸	۰/۲۸۵
TiO <sub>2</sub>	۰/۸۲۲	۰/۹۶۱	۰/۴۷۵
CaO	۰/۴۶۷	۰/۴۲۳	۲۱/۱۵
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۱
MnO	۰/۰۸۷	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹
Rare elements			
SO <sub>3</sub>	۰/۰۸۷	۰/۰۵۱	۰/۰۷۸
BaO		۰/۰۴۷	
ZrO <sub>2</sub>	۰/۰۳	۰/۰۲۹	۰/۰۱۶
ZnO	۰/۰۱۷	۰/۰۲۳	۰/۰۱۳
Rb <sub>2</sub> O	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹
SrO	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۵۱
CuO	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		۰/۰۱۴	
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		۰/۰۰۴	
×LOI	۵/۳	۵/۵۵	۲۱/۲۱
Total	۹۹/۸۹	۹۹/۹۶	۹۹/۹۴

### شناسائی مواد اولیه آجر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میمه

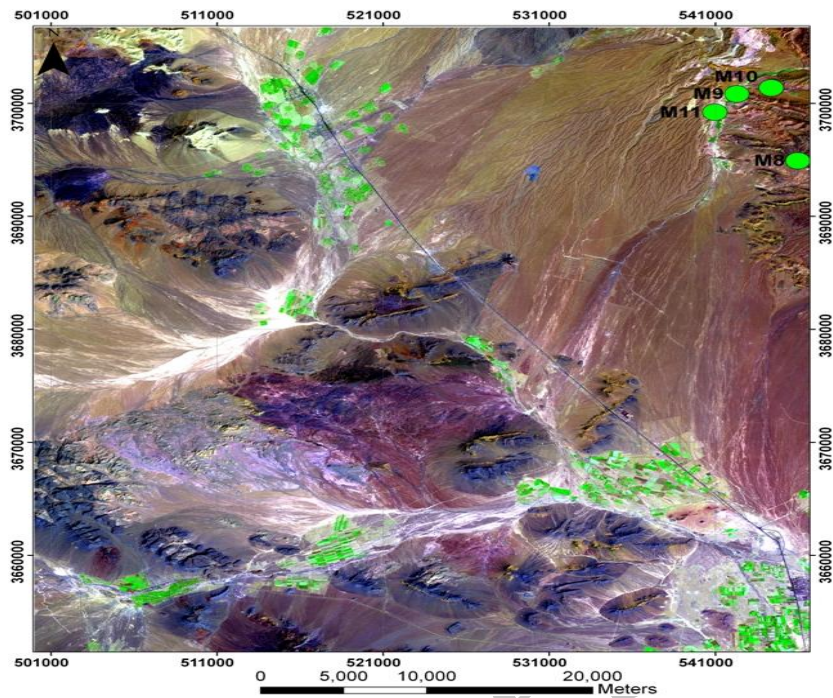
برخوردار نمی باشد. همچنین در بعضی مناطق آهک از نوع آرژیلی بوده که برای تولید آجر نیاز به اضافه کردن رس به آن دارد (شکل ۱۲). در مقابل در شمال شرق ورقه در مناطق بیدشک و سه، ماده معدنی از نوع شیل خالص تر بوده و با توجه به وسعت این مناطق و پخت مطلوب از اولویت بالایی برای تولید آجر برخوردار می باشند (شکل ۱۳ و ۱۴).

### شناسائی مواد اولیه آجر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرضا

برگه زمین شناسی شهرضا در میان طولهای جغرافیایی ۵۱° ۳۰ تا ۵۲° ۰۰ عرضهای جغرافیایی ۳۲° ۰۰ تا ۳۲° ۳۰ جای دارد. در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرضا نتایج حاصل از پردازش داده های ماهواره ای ETM<sup>+</sup> و استر با واحدهای لیتولوژیکی نقشه های زمین شناسی (عمدتاً واحد های شیلی) مقایسه و ۱۴ نقطه امید بخش برای پی جوئی صحرائی و اکتشافات بعدی مواد اولیه آجر و بلوکهای سفالی معرفی گردید. تمامی نقاط مذکور به دلایل قرار گرفتن در محدوده نظامی و یا محدوده معادن و مناطق مسکونی و نیز به دلیل وجود آهک، مارن و ماسه فراوان، برای صنایع آجر مناسب نمی باشند (جدول ۶).

برگه ی زمین شناسی میمه در میان طولهای جغرافیایی ۵۱° ۰۰ تا ۵۱° ۳۰ و عرضهای جغرافیایی ۳۰° ۳۳ تا ۳۳° ۰۰ جای دارد. تعیین مناطق امید بخش رس و شیل برای پی جوئی صحرائی و نمونه برداری با استفاده از تفسیر داده های ماهواره ای و اطلاعات نقشه زمین شناسی انجام گرفت. شکل (۱۱) ترکیب رنگی RGB 741 داده های ماهواره ای ETM<sup>+</sup> ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میمه را نشان می دهد. در این نقشه کانی های رسی با رنگ سفید و شیلها، با رنگ آبی متمایل به بنفش نشان داده شده است. با توجه به مطالعات صورت گرفته، در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میمه ۱۲ نقطه امید بخش برای پی جوئی صحرائی و اکتشافات بعدی مواد اولیه آجر و بلوکهای سفالی معرفی گردید. بررسی های صحرائی و آزمایش های شیمیائی بر روی نقاط مورد بررسی (تعیین کیفیت) در ورقه میمه در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به جدول (۵) ماده معدنی در بخش غرب و جنوب غرب میمه در ناحیه علویجه عمدتاً شیل به همراه کوارتزیت بوده که به دلیل میزان پایین رس و حضور پیچ های کوارتزیت در آن (با توجه به هزینه های بالای خریداری و آسیاب کردن و تداخل سیلیس)، این منطق از اولویت چندانی





شکل ۱۱. تصویر ترکیب رنگی RGB 741 داده های ماهواره ای ETM ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میمه و موقعیت نقاط پرتانسسیل مواد اولیه آجر در این ورقه (کانی های رسی با رنگ سفید و شیل ها با رنگ آبی متمایل به بنفش مشخص است)



شکل ۱۳. پخت نمونه شیل اندیس شرق بیدشک در دمای بسیار بالا



شکل ۱۲. پخت آهک آرژیلی همراه با مارن شمال علویچه



شکل ۱۴. پخت نمونه شیل اندیس شمال سه

جدول ۵. نتایج بررسی های صحرایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میمه

نام منطقه	نوع ماده معدنی / کانی های موجود	ابعاد ذخیره (m <sup>2</sup> )	وضعیت آجر پخته شده	سایر توصیفات	اولویت برای اکتشافات بعدی
اندیس شرق علویچه	شیل کوارتزیت دار حاوی آهک و اکسید آهن / کانی های رسی، کربناته و کوارتز	۱۰۰۰×۱۰۰	-----	میزان پایین رس و میزان بالای سیلت در شیل / حضور پیچ های کوارتزیت در کنار شیلها و لذا دمای بالای ذوب و هزینه خردایش بالا	منطقه از اولویت چندانی برخوردار نمی باشد.
اندیس شمال علویچه	آهک آرژیلی همراه با مارن / فلدسپات و رس	۲۰۰۰×۲۰۰	ایجاد آجر سبز توسط پخت ماده معدنی در دمای ۹۰۰°C - ۸۵۰	ذوب آجر در دمای بالاتر از ۹۰۰ درجه و نیاز به اضافه کردن رس برای ساخت آجر در دمای بالاتر (شکل ۱۲)	
اندیس شیل سیلیسی شمال شرق علویچه	شیل (حاوی اکسید آهن به صورت محلی) و کوارتزیت / رس و کوارتز	۱۰۰×۵	پخت شیلها حتی در دمای ۱۱۰۰-۱۰۵۰ درجه هم به نقطه ذوب زینتر شدن نمی رسد / رنگ جالبی نداشته و آسیاب کردن نمونه سخت می باشد.	میزان پایین رس و میزان زیاد سیلت در شیلها / نقطه ذوب بالا به دلیل تداخل سیلیس با شیل	با توجه به موارد ذکر شده و نیز به دلیل تناوب کوارتزیت و شیل، منطقه از اولویت چندانی برخوردار نمی باشد.
اندیس شرق بیدشک	شیل سبز رنگ دارای اکسید آهن با سیلیس کم و بدون آهک / رسی	۱۰۰۰×۱۰۰۰	تبدیل شیل به آجر قرمز در دمای حدود ۸۰۰ درجه / ایجاد حالت پفکی در ۱۰۵۰ درجه با چگالی پایین ( نشان از میزان بالای پتاسیم ) (شکل ۱۳).	آلتره شدن شیلها در سطح و قرار گرفتن آهک و دولومیت در بالادست آنها	با توجه به ترکیب ظاهری و وسعت منطقه، استفاده این نوع شیل برای کارخانجات آجر / لذا منطقه از اولویت بالایی جهت تامین ماده اولیه آجر برخوردار است.
اندیس سه	شیل آلتره به همراه رگه های متقاطع آهکی به ضخامت ۰/۵ متر / رس	۱۰۰×۱۰۰	ایجاد آجر صورتی در دمای ۸۵۰ درجه و ایجاد حالت پفکی شیلها در ۱۱۰۰-۱۰۵۰ درجه	-----	با توجه به رگه های متقاطع آهکی و وسعت کم این نوع شیل، منطقه از اولویت متوسط برخوردار است.
اندیس شمال سه	شیل بدون سیلیس و آهک مناسب برای صنایع آجر	۱۰۰۰×۳۰۰	ایجاد حالت پفکی در شیلها در ۱۱۰۰-۱۰۵۰ درجه و لذا امکان استفاده به عنوان پوکه معدنی / در پخت با دمای پایینتر، ایجاد آجر با رنگ قرمز روشن (شکل ۱۴)	-----	با توجه به ترکیب ظاهری و وسعت زیاد این نوع شیل، منطقه از اولویت بالایی برخوردار می باشد.
اندیس غرب سه	شیل به همراه مارن و اکسید آهن	۱۰۰۰×۳۰۰	ذوب شیلها در ۱۰۵۰ درجه و ایجاد حالت پفکی و استفاده به عنوان پوکه صنعتی / در پخت با دمای ۹۰۰-۸۵۰°C تولید آجر با رنگ صورتی	-----	با توجه به ترکیب ظاهری و وسعت زیاد این نوع شیل، منطقه از اولویت بالایی (اولویت اول) برخوردار می باشد.

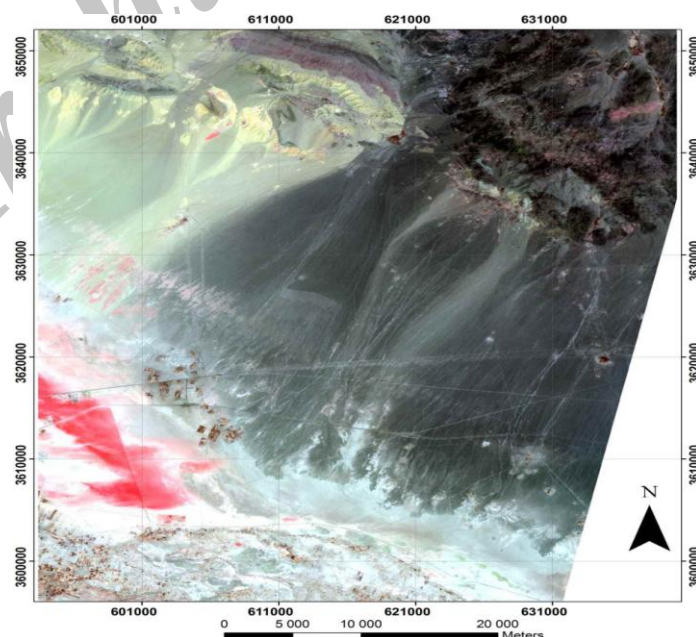
جدول ۶. مشخصات نقاط هدف اندیسه‌های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرضا

شماره نمونه	واحد	ملاحظات
۱	مارن آرژیلی و شیل سیاه با میان لایه آهکی	نامناسب
۲	شیل خاکستری کربناتی حاوی آمونیت	نامناسب
۳	شیل خاکستری کربناتی حاوی آمونیت	نامناسب
۴	آهک ماسه ای به همراه شیل حاوی آمونیت	نامناسب
۵	آهک ماسه ای به همراه شیل حاوی آمونیت	نامناسب
۶	شیل خاکستری کربناتی حاوی آمونیت	نامناسب
۷	شیل خاکستری کربناتی حاوی آمونیت	نامناسب
۸	مارن آرژیلی و شیل سیاه با میان لایه آهکی	نامناسب
۹	مارن آرژیلی و شیل سیاه با میان لایه آهکی	نامناسب
۱۰	مارن آرژیلی و شیل سیاه با میان لایه آهکی	نامناسب
۱۱	مارن آرژیلی و شیل سیاه با میان لایه آهکی	نامناسب
۱۲	مارن آرژیلی و شیل سیاه با میان لایه آهکی	نامناسب
۱۳	شیل خاکستری کربناتی حاوی آمونیت	نامناسب
۱۴	آهک ماسه ای به همراه شیل حاوی آمونیت	نامناسب

### شناسایی مواد اولیه آجر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهپایه

ETM<sup>+</sup> و استر، ۱۱ نقطه برای پی جوئی صحرایی و اکتشافات بعدی مواد اولیه آجر و بلوکهای سفالی معرفی گردید (جدول ۷). بررسی های صحرایی و آزمایشات شیمیائی بر روی نقاط هدف (تعیین کیفیت) در ورقه کوهپایه در جدول (۸) ارائه شده است. با توجه به بررسی های صحرایی در بخش مرکزی ورقه در ناحیه شمال غرب سگری، ماده معدنی از نوع رس همراه با آهک بوده مورد استفاده کارخانجات آجر منطقه بوده و به عنوان نقاط جدید مطرح نمی گردد. همچنین در بخش جنوب شرق سگری به دلیل سطح ایستابی بالا از اولویت چندان برخوردار نمی باشد.

برگه زمین شناسی کوهپایه در میان طولهای جغرافیایی ۵۲°۰۰ تا ۵۲°۳۲ و عرضهای جغرافیایی ۳۰°۳۳ تا ۳۳°۰۰ جای دارد. در این تحقیق داده های ماهواره ای لندست ETM<sup>+</sup> و استر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کوهپایه برای تشخیص کانی های رسی، شیل، مارن و اکسید های آهن سه ظرفیتی و در نهایت تعیین پتانسیل معدنی مواد اولیه آجر مورد پردازش قرار گرفت. شکل (۱۵) تصویر ترکیب رنگی RGB 468 داده های ماهواره ای استر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کوهپایه را نشان می دهد. در این نقشه کانی های رسی با رنگ سفید تا قرمز نشان داده شده است. در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کوهپایه توسط پردازش داده های ماهواره ای



شکل ۱۵. تصویر ترکیب رنگی RGB468 داده های ماهواره ای استر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کوهپایه (کانی های رسی با رنگ سفید تا قرمز نشان داده شده است)

جدول ۷. مناطق امید بخش در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهپایه

شماره نمونه	ملاحظات
kp1	مناسب (اما به مصرف کارخانه آجر میرسد)
kp2	(رس گچ دار)
kp3	(رس پر ماسه)
kp4	(شیل سیلیس دار)
kp5	(شیل با ذخیره بسیار کم)
kp6	(شیل پر سیلیس)
kp7	(شیل سیاه پر ماسه با ذخیره کم)
kp8	(خاک رس حاوی آهک و نمک)
kp9	(رس گچ دار)
kp10	(رس گچ دار ماسه ای)
kp12	(خاک رس حاوی گچ و نمک)

جدول ۸. نتایج بررسی های صحرایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهپایه

نام منطقه	نوع ماده معدنی / کانی های موجود	ابعاد ذخیره (m <sup>2</sup> )	سایر توصیفات	وضعیت آجر پخته شده	اولویت برای اکتشافات بعدی
اندیس شمال غرب سگری	رس به ضخامت ۲ متر و پس از آن رس پر ماسه حاوی آهک / کانی های رسی، کربناته و کوارتز	۱۰۰۰×۱۰۰۰	-----		خاک رس منطقه به مصرف کارخانه آجر می رسد و لذا منطقه از اولویت چندانی برای اکتشافات بعدی جهت تامین مواد اولیه آجر برخوردار نمی باشد.
اندیس جنوب شرق سگری	خاک رس همراه با نمک و آهک / رس، نمک و کلسیت	۲۰۰×۲۰۰	-----		در خصوص پتانسیل اندیس جهت تامین مواد اولیه آجر، از آنجا که منطقه سریعاً به آب می رسد لذا از اولویت چندانی برخوردار نمی باشد.

### بررسی اطلاعات تکمیلی از مناطق امید بخش

تجربه نشان داده است که قبل از احداث کارخانه تولید آجر و پیش از بهره برداری از یک معدن جدید، خصوصیات رس های تولید آجر را باید به درستی شناخت. خاک مناسب، مهمترین عامل کیفی در تولید آجر به شمار می آید. ماده اولیه تولید آجر بیشتر از خاک های رسی، شیل و مارن تامین می شود که در سطح زمین از گسترش زیادی برخوردار هستند. کوارتز و کانیه های رسی اجزای اصلی این مواد بوده که با دیگر کانیه ها و قطعات سنگی همراه می باشند. شناخت خواص مکانیکی و فیزیکی به منظور بهبود کیفی مصالح ساختمانی مورد نیاز کشور لازم و ضروری می باشد. لذا در این قسمت، با انجام آزمایشات مختلف، میزان مقاومت فشاری، جذب آب، ابعاد و کیفیت آجرهای تولید شده، تعیین و با ویژگیهای استاندارد ملی آجر مقایسه گردید. مطابق با استاندارد ملی شماره ۷ (جدول ۹)، پارامترهایی همچون تعیین ابعاد، پیچیدگی بر اثر تحذب و تقعر، تعیین مقاومت

فشاری، تعیین جذب آب و اندازه گیری مواد محلول، جهت بررسی کیفی آجرها تعیین شده است. مطابق استاندارد مذکور بدیهی است هر چه قدر مقاومت فشاری آجر بالاتر و میزان جذب آب، شوره زدگی، میزان املاح محلول و پیچیدگی آجر کمتر باشد کیفیت آجر مذکور بهتر و در درجات مرغوبتری قرار می گیرد (کباری، ۱۳۸۷).

### بررسی کیفی آجرهای تولیدی در مناطق مختلف

در جدول (۱۰) مشخصات نقاط دارای پتانسیل بالا که اکثراً در ورقه های ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان، طروق و میمه متمرکز گردیده اند، مشخص گردیده است. پس از بررسی معیارها و استاندار ملی آجر لازم است که بر روی آجر هر منطقه در مناطق امید بخش، آزمایش های لازم صورت پذیرد و با توجه به استاندارد مذکور تجزیه و تحلیل بر روی داده های گردآوری شده انجام پذیرد و کیفیت آجر در هر منطقه تعیین گردد.

جدول ۹. ویژگیهای مختلف انواع آجر مطابق استاندارد ملی شماره ۷

آجر معمولی (توکار)	آجر نما		آجر مهندسی مرغوب			آزمایشهای مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی		
	درجه دو	درجه یک	درجه سه	درجه دو	درجه یک			
۶۰	۱۰۰	۱۲۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۵۰	مقاومت فشاری $\text{kg/cm}^2$ (حداقل)		
لزومی ندارد	۲۳	۲۰	۱۸	۱۶	۱۵	میزان جذب آب درصد وزنی (حداکثر)		
متوسط	متوسط	کم	کم	کم	کم	شوره زدگی (حداکثر)		
لزومی ندارد	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۵	املاح محلول: درصد وزنی (حداکثر)		
						سولفات		
						کلسیم		
						منیزیم		
						سدیم+پتاسیم		
لزومی ندارد	۵	۲	۲	۲	۱	تحدب	بزرگترین سطح	پیچیدگی میلیمتر (حداکثر)
	۵	۲	۲	۲	۱	تقعر		
	۲	۱	۱	۱	۰/۵	تحدب	سطح متوسط	
	۲	۱	۱	۱	۰/۵	تقعر		

ادامه جدول ۹. ویژگیهای مختلف انواع آجر مطابق استاندارد ملی شماره ۷

آجر معمولی (توکار)	آجر مهندسی مرغوب درجه سه و آجر نمای درجه یک و دو								آجر مهندسی درجه یک و دو	ابعاد میلیمتر	
	دستی- فشاری	ماشینی- نیمه ماشینی	آجر نمای ۳۰		آجر نمای ۴۰		آجر نمای ۵۵ میلیمتری				
			دستی	ماشینی	دستی	ماشینی	دستی	پرسی			ماشینی
$\pm 5$	$\pm 3$	$\pm 3$	$220 \pm 2$	$\pm 3$	$\pm 2$	$\pm 3$	$220 \pm 3$	$\pm 2$	$\pm 2$	طول	
۲۱۰	۲۱۰	۲۱۰	$105 \pm 1$	$\pm 1/5$	$\pm 1$	$\pm 1/5$	$\pm 1/5$	$\pm 1$	$\pm 1$	عرض	
$\pm 2/5$	$\pm 1/5$	$\pm 1/5$	$100$	$100$	$105$	$100$	$105$	$105$	$105$	ارتفاع	
$55 \pm 2$	$\pm 1/5$ ۵۵	$30 \pm 1$	$30 \pm 1$	$40 \pm 1$	$\pm 1$ ۴۰	$\pm 1/5$ ۵۵	$55 \pm 1/5$	$55 \pm 1$	$55 \pm 1$		

جدول ۱۰. مشخصات نقاط دارای پتانسیل بالا در ورقه های ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان، طرق و میمه

شماره نمونه	ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰	مواد اولیه	ملاحظات
E7	اصفهان (۴۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان مسیر جاده اردستان)	رس	مناسب (اولویت ۱): محدوده به وسعت حدود ۱۰۰۰ هکتار و اقع در شمال شرق ورقه اصفهان در مسیر شهرستان اردستان، از این نقطه نمونه برداری شده که در نتیجه پخت نمونه مطلوب و به رنگ کرمی می باشد.
E5	اصفهان (۴۰ کیلومتری شمال اصفهان)	رس	مناسب (اولویت ۱): محدوده به وسعت حدود ۱۰۰ هکتار و اقع در شمال ورقه اصفهان ، خاک رس موجود در این نقطه همگن است. ناخالصی، شن درشت و آلونک قابل مشاهده نیست. از این نقطه نمونه ای برداشت شده که در نتیجه خاک پخته شده مرغوب و رنگ کرم قابل قبول دارد.
E2	اصفهان (۴۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان)	رس	مناسب (اولویت ۱): محدوده به وسعت حدود ۲۰۰ هکتار و اقع در شمال ورقه اصفهان، از این نقطه نمونه برداری شده که در نتیجه پخت نمونه مطلوب و به رنگ کرمی می باشد.
t4-1	طرق (۱۳ کیلومتری شمال شرق روستای سروستان)	شیل	مناسب (اولویت ۱): برای تعیین کیفیت شیل چند نمونه برای آزمایش اخذ شده است. که نتایج آزمایش دلالت بر وجود $K_2O$ بالا در این نوع شیل دارد. پخت در ۹۵۰ درجه سانتی گراد دارای جذب آب کم، رنگ صورتی مایل به حنایی (مسی روشن) و بافت سرامیکی قابل قبول. ابعاد شیل حدود ۱۱۰۰ هکتار.
t4-2		شیل	
t4-3		شیل	
t5	طرق (۱۵ کیلومتری شمال شرق روستای سروستان)	شیل	مناسب (اولویت ۲): برای تعیین کیفیت شیل یک نمونه برای آزمایش اخذ شده است. که نتایج آزمایش دلالت بر وجود $K_2O$ بالا در این نوع شیل دارد. این نوع شیلها در ۹۵۰ درجه سانتی گراد با سوخت فسیلی دارای بافت سرامیکی قابل قبول و لطیف که مناسب تولیدات سرامیک پوششی می باشد را ایجاد می نماید. با توجه به وسعت و نتایج پخت و آزمایش شیلها منطقه از اولویت درجه دو برخوردار می باشد. حدود ۲۴۰۰ هکتار
t14	طرق (۹ کیلومتری جنوب غرب روستای طرق)	شیل	مناسب (اولویت ۱): در مراحل بازدید صحرایی به عنوان یکی از نقاط مرغوب پیشنهاد شده است. ابعاد ذخیره ۵۰۰ هکتار. پخت مناسب و دارای رنگ قرمز روشن
M8	میمه (۱۰ کیلومتری شرق روستای بید شک و ۹۲ کیلومتری اصفهان)	شیل	مناسب (اولویت ۱): با توجه به ترکیب ظاهری و وسعت این نوع شیل را می توان برای کارخانجات آجر استفاده نمود و منطقه از اولویت بالایی برخوردار می باشد. در دمای حدود ۸۰۰ درجه این شیل به آجر قرمز تبدیل میشود. حدود ۱۰۰ هکتار
M10	میمه (۳ کیلومتری شمال روستای سه، حدود ۹۰ کیلومتری اصفهان)	شیل	با توجه به ترکیب ظاهری و وسعت زیاد این نوع شیل، منطقه اولویت اول را دارا می باشد. رنگ قرمز بعد از پخت
M11	میمه (غرب روستای سه، حدود ۹۰ کیلومتری اصفهان)	شیل	مناسب (اولویت ۱): پخت این نوع شیلها در ۱۰۵۰ درجه ذوب شده و حالت پفکی پیدا کرده که به دلیل سبکی میتواند به عنوان پوکه صنعتی مورد استفاده قرار گیرد و در پخت با دمای ۹۰۰-۸۵۰ آجر با رنگ صورتی را می دهد با توجه به ترکیب ظاهری و وسعت زیاد، منطقه اولویت بالایی را دارا می باشد. حدود ۳۰ هکتار.

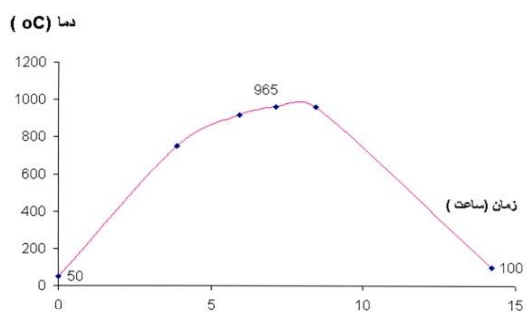
### ویژگی های آجر در اندیس های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان

مقدار مقاومت فشاری و جذب آب آجرهای این ورقه در جدول (۱۱) نشان داده شده است. در مقایسه با ویژگیهای استاندارد ملی شماره ۷ نتایج زیر مشخص میگردد: آجر منطقه E2 مقاومت پایین و جذب آب بالا دارد که جهت آجر توکار باربر و غیر باربر قابل کاربرد می باشد. این آجر در پخت بالای  $1065^{\circ}C$  ترک خورده است (شکل ۱۶). دمای پخت بهینه آن مطابق منحنی حرارتی پخت

(شکل ۱۷)  $965^{\circ}C$  می باشد. آجر منطقه E7 جهت آجر توکار باربر و غیر باربر مورد مصرف دارد ولی جذب آب آن جهت آجر نما جواب نمی دهد. پخت بهینه آن در دماهای  $1030^{\circ}C$  و  $1065^{\circ}C$  به پخت کامل رسیده و رنگهای متفاوت دارد. آجر منطقه E5 جهت آجر توکار باربر و غیر باربر مورد مصرف دارد (شکل ۱۸). پخت بهینه آن مطابق منحنی حرارتی پخت (شکل ۱۹) دمای  $1065^{\circ}C$  می باشد.

جدول ۱۱. نتایج آزمایشات نمونه‌های آجر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اصفهان

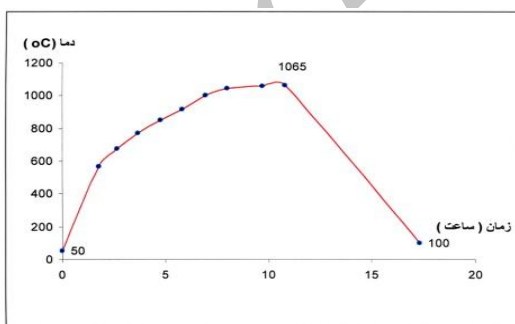
شماره نمونه	E2	E5	E7-1	E7-2		
مقاومت فشاری ۲kg/cm	۱۲۰/۷۵	۲۸۰/۶	۲۱۶/۸۷	۲۱۹/۵		
درصد جذب آب	۳۰/۸۹	۲۶/۱۶	۲۳/۷۶	۲۵/۶۷		
بعد از پخت	ارتفاع mm	۲۳/۸۵	۲۱/۶۹	۲۰/۹۶	۲۳/۰۹	
	عرض mm	۳۹/۳۵	۳۹/۶۲	۴۰/۱۸	۴۰/۲۴	
	طول mm	۱۹۹/۷۵	۲۰۰/۵۶	۲۰۳/۱۲	۲۰۳/۶	
قبل از پخت	وزن gr	۲۵۸/۵۷	۲۵۱/۴۳	۲۶۵/۷۵	۲۸۶/۸	
	ارتفاع mm	۲۳/۵۷	۲۲/۰۴	۲۱/۷۵	۲۲/۹۵	
	عرض mm	۳۹/۲۵	۴۰/۱۷	۴۰/۷۵	۴۰/۱۶	
	طول mm	۱۹۸/۸۵	۲۰۲/۷۵	۲۰۲/۲۱	۲۰۲/۹	
	وزن gr	۳۲۹/۶	۳۲۴/۲	۳۲۸/۵۶	۳۵۳/۳	



شکل ۱۷. منحنی حرارتی پخت نمونه E2



شکل ۱۶. پخت آجر از خاک رس اندیس شمالشرق اصفهان



شکل ۱۹. منحنی حرارتی پخت نمونه E5



شکل ۱۸. پخت آجر از خاک رس اندیس شمال اصفهان

**ویژگی های آجر در اندیس های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق**

مقدار مقاومت فشاری و جذب آب آجرهای این ورقه در جدول (۱۲) نشان داده شده است. در مقایسه با ویژگیهای استاندارد ملی شماره ۷ نتایج زیر مشخص می گردد: آجر منطقه T4 مقاومت و جذب آب خوبی دارد این آجر در هر دو دمای ۱۰۶۵ °C و ۱۰۳۰ °C از نظر پخت و رنگ مناسب می باشد (اشکال ۲۰ تا ۲۲).

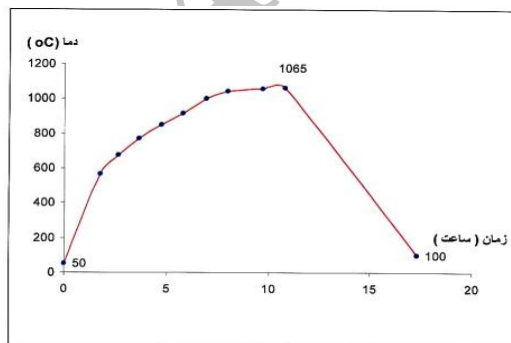
جذب آب آجر منطقه T5 در دمای ۱۰۶۵ °C کمتر از ۸ درصد بوده و لذا مطابق استاندارد نمی باشد. پخت بهینه آن ۱۰۳۰ °C می باشد. آجر منطقه T14 در هر دو دمای ۱۰۶۵ °C و ۱۰۳۰ °C از مقاومت خوبی برخوردار بوده و فقط جذب آب آن در دمای ۱۰۶۵ °C خارج از استاندارد می باشد.

جدول ۱۲. نتایج آزمایشات نمونه های آجر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق

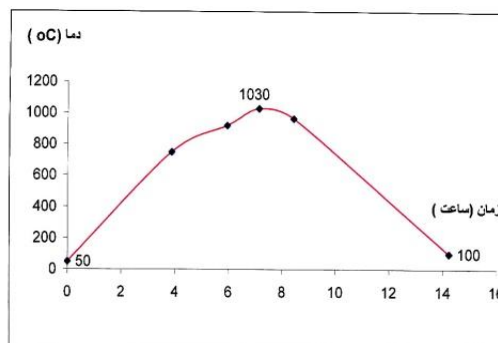
شماره نمونه					شماره نمونه	
T4	T5	T5-1	T14	T14-1	مقاومت فشاری ۲kg/cm	
۱۸۴/۸	۲۷۷/۴	۳۴۴	۲۳۹	۵۰۷/۲۵	درصد جذب آب	
۱۶/۲۲	۱۱/۶۹	۷/۳۲	۱۰/۴۹	۷/۲	بعد از پخت	
۲۲/۴	۲۰/۸۱	۲۰/۵۲	۲۳/۷	۲۳/۲		ارتفاع mm
۴۰/۴	۴۰/۰۴	۳۹/۲۴	۳۹/۶۶	۳۹/۱۷		عرض mm
۲۰۴/۳	۲۰۲/۵۷	۱۹۹/۹۸	۲۰۰/۹	۱۹۸/۹۷		طول mm
۳۳۱/۱۹	۳۱۰/۱۴	۳۱۱	۳۳۸/۴	۳۳۵	وزن gr	قبل از پخت
۲۲	۲۱/۱۷	۲۱/۲۲	۲۳/۹۲	۲۳/۶۲	ارتفاع mm	
۴۰/۲۹	۴۰/۲۵	۴۰/۱۸	۴۰/۱۸	۴۰/۱۷	عرض mm	
۲۰۳/۹	۲۰۳/۳	۲۰۳/۳	۲۰۳/۳	۲۰۳/۲	طول mm	
۳۴۷/۶	۳۲۶/۶	۳۲۷	۳۷۹	۳۸۱/۳۵	وزن gr	



شکل ۲۰. پخت آجر از شیل اندیس شمال شرق سروستان



شکل ۲۲. منحنی حرارتی پخت نمونه T4



شکل ۲۱. منحنی حرارتی پخت نمونه T4



**ویژگی های آجر در اندیس های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میمه**

مقدار مقاومت فشاری و جذب آب آجرهای این ورقه در جدول (۱۳) نشان داده شده است. در مقایسه با ویژگیهای استاندارد ملی شماره ۷ نتایج زیر مشخص می گردد: آجر منطقه M8 مقاومت فشاری و جذب آب خوبی دارد البته جذب آب آن در دمای  $1065^{\circ}\text{C}$  کمتر از ۸ درصد بوده که غیر استاندارد به نظر می رسد. در دمای  $1030^{\circ}\text{C}$  رنگ ظاهری بهتری دارد. آجر منطقه M10-1 در دمای  $1030^{\circ}\text{C}$  متورم شده و نیاز به مواد جدید و آزمایش جدید دارد. در دمای  $1065^{\circ}\text{C}$  از مقاومت فشاری بالا و جذب آب کمی برخوردار بوده و احتمالاً اگر

مجدداً مورد آزمایش قرار گیرد و در دمای حدود  $1050^{\circ}\text{C}$  پخت گردد، آجر کاملی خواهد شد. آجر منطقه M10-2 در هر دو دمای  $1065^{\circ}\text{C}$  و  $1040^{\circ}\text{C}$  از مقاومت فشاری بالا و جذب آب خوبی برخوردار میباشد. با توجه به رنگ، پخت در هر دو دما مناسب می باشد. آجر منطقه M11 نیز در هر دو دمای  $1065^{\circ}\text{C}$  و  $1040^{\circ}\text{C}$  از نظر مقاومت و جذب آب قابل قبول می باشد و با توجه به رنگ، هر دو پخت مناسب می باشد. با توجه به موارد فوق مشخص می گردد که استفاده از شیل، مقاومت فشاری آجر را افزایش و جذب آب آن را کاهش می دهد و لذا ماده اولیه مناسبی برای تولید آجر می باشد.

جدول ۱۳. نتایج آزمایشات نمونه های آجر ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میمه

M8		M10-1		M10-2		M11		شماره نمونه	
مقاومت فشاری $\gamma\text{kg/cm}$		۴۹۹/۲۵	۵۲۱/۷۵	۷۱۱/۶۶	۵۸۶/۲	۴۴۶/۸	۲۹۳/۳	۴۸۰	
درصد جذب آب		۹/۵۵	۶/۸۵	۶/۳۳	۱۳/۱۷	۱۱/۷۹	۱۸/۵۷	۱۵/۶۷	
بعد از پخت	ارتفاع mm	۲۰/۴۷	۲۰/۸	۱۷/۰۶	۱۷/۶۱	۲۱/۶۲	۲۳/۳۴	۲۳/۱	
	عرض mm	۳۹/۵۲	۳۹/۱	۳۸/۲۱	۳۹/۹۳	۳۹/۴۶	۴۰/۵۳	۴۰/۴۵	
	طول mm	۱۹۹/۶۷	۱۹۹/۳۲	۱۹۳/۴۵	۲۰۱/۷۵	۲۰۰/۱۲	۲۰۴/۳۶	۲۰۴/۰۵	
	وزن g	۳۱۴/۹	۳۱۵/۳	۲۴۹/۵۸	۲۴۸/۲	۳۱۱/۷	۳۱۵/۱۱	۳۱۷	
قبل از پخت	ارتفاع mm	۲۰/۹	۲۱/۱	۱۷/۹۶	۱۷/۷۷	22	۲۳/۰۸	۲۳	
	عرض mm	۴۰/۰۷	۴۰/۰۵	۴۰/۰۸	۴۰/۲۱	14/40	۴۰/۳	۴۰/۳	
	طول mm	۲۰۲/۷	۲۰۲/۷	۲۰۲/۲۶	۲۰۲/۷	۲۰۲/۸	۲۰۳/۶	۲۰۳/۷۵	
	وزن g	۳۳۵	۳۳۵/۶	۲۶۹/۲۱	۲۸۸/۹	۳۶۰/۸	۳۵۳/۴	۳۵۸/۲	

**نتیجه گیری**

آجر یکی از مصالح مهم و عمده ساختمانی در ایران است. مواد اولیه مصرفی آجر اصولاً خاک رس می باشد. در بسیاری از نقاط جهان به دلیل جلوگیری از مصرف خاکهای کشاورزی و نابودی زمین های زراعتی، برای تولید آجر از مصالحی همچون شیل استفاده می شود. در این مطالعه جهت شناسایی و معرفی مناطق حاوی مواد اولیه آجر در استان اصفهان اطلاعات زمین شناسی و داده های ماهواره ای از پنج ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق، اصفهان، میمه، کوهپایه و شهرضا مورد بررسی قرار گرفت. از بین این مناطق سه ورقه طرق، اصفهان و میمه دارای ۹ منطقه امید بخش با مشخصات خلاصه شده در (جدول ۱۰) دارای پتانسیل بالا برای اکتشافات بعدی و تامین مواد اولیه آجر استان اصفهان می باشد و لذا می توان کارخانه های آجر نزدیک شهر را در آینده به این نقاط انتقال داد. از طرفی با مقایسه ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی و بررسی نتایج پخت نمونه های امید بخش ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰

اصفهان که همگی خاک رس هستند با ورقه های ۱:۱۰۰۰۰۰ طرق و میمه که اکثراً شیل می باشند می توان نتیجه گرفت که استفاده از شیل مقاومت فشاری آجر را افزایش و از طرفی میزان جذب آب و میزان مصرف انرژی جهت پخت آجر را کاهش می دهد لذا با اختلاط بهینه این مواد می توان به آجری استاندارد دست یافت که در عین داشتن مقاومت فشاری مطلوب، میزان جذب آب آن نیز در حد استاندارد باشد و از طرفی باعث کاهش مصرف رس و مشکلات زیست محیطی ناشی از آن شود.

**قدردانی**

نگارندگان از حمایت های مالی خوشه آجر استان اصفهان و شرکت درسا پردازه برخوردار بوده اند، لذا بدین وسیله نهایت سپاس و قدردانی خود را از مدیریت این دو مجموعه ابراز می نمایند.

## منابع:

- کریم پور، م.ح.، ۱۳۸۵، کانی ها و سنگهای صنعتی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۹۷ صفحه.
- کباری، س.، ۱۳۸۷، مصالح شناسی، انتشارات دانش و فن، ۲۶۲ صفحه.
- ایرانمنش، ح.، ۱۳۶۷، گزارش مختصر رس دشت آزادگان و شیل های زاگرس برای تولید آجر، سازمان زمین شناسی کشور.
- مهندسین مشاور اپال، ۱۳۷۷، گزارش مطالعه و تحقیق در مورد آجرهای شیلی و مارنی استان چهار محال و بختیاری.
- مالمیران، ح.، ۱۳۷۹، اصول مبانی سنجش از دور و تعبیر و تفسیر تصاویر هوایی و ماهواره ای، انتشارات دانشگاه تهران.
- اسدی هارونی، ه.، طباطبایی، ح.، ۱۳۸۶، کاربرد داده های ماهواره ای لندست ETM<sup>+</sup> برای شناسایی مواد اولیه آجر و بلوکهای سفالی رنگی و خاک نسوز در زاگرس مرتفع، مجموعه مقالات اولین همایش آجر و بلوکهای سفالی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Asadi, H., Hale, M., 1999, Integrated analysis of aeromagnetic, Landsat TM and mineral occurrence data for epithermal gold exploration in northwest Iran, Proceedings of the thirteenth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing, Vancouver, British Columbia, Canada, 1-3 March, 8 pp.

Crosta, C. R., 2003, Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia - Argentina using ASTER imagery and principal component analysis, Geosciences Institute, University of Campinas.

Archive of SID