فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۸ (۱۳۹۱)، شماره ۲: ۹۸-۹۱
www.appliedgeology.ir
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد زاهدان

# مطالعه ویژگی‌های مهندسی خاک‌های رسی به عنوان مصالح تولید آجر در استان همدان

غلامرضا خانلری*[۱]، عباس نمازی[۲] و یاسین عبدی‌لر[۳]

۱) استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، khanlari_reza@yahoo.com
۲) عضو هیأت علمی (مربی) گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳) دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان
*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/۲/۵ ؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/۶/۲۰؛ پذیرش: ۹۱/۶/۲۱؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۷/۲۰

## چکیده

**کانی‌های رسی، گروهی از کانی‌های ریزدانه می‌باشند که از نظر مهندسی دارای اهمیت زیادی می‌باشند. این گروه از کانی‌ها تأثیر زیادی بر روی رفتار خاک‌ها دارند. کانی‌های رسی شامل گروه‌های ریزدانه کائولینیت، ایلیت، اسمکتیت، ورمیکولیت و هالوئیزیت می‌باشند. در این پژوهش، ویژگی‌های مهندسی خاک‌های رسی مناطقی از استان همدان به منظور استفاده در تولید آجر، مورد مطالعه قرار گرفته است. از نقطه نظر مهندسی کانی‌های رسی به عنوان یک ماده ساختمانی مهم با کاربردهای مختلف حائز اهمیت بسیار هستند. لازم به ذکر است که در حال حاضر لالجین به عنوان یک مرکز شناخته شده تولید کاشی، سرامیک و سفال در ایران می‌باشد که محصولات آن به سایر کشورها صادر می‌گردد. برای انجام این پژوهش، ۳۶ نمونه خاک از نقاط مختلف استان همدان تهیه و آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مختلف بر روی آنها انجام شده است. بر اساس نتایج حاصله، ۱۳ نمونه از خاک‌هایی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، شرایط لازم برای تولید آجر را مطابق با استانداردهای مورد استفاده، دارا می‌باشند که در نهایت به عنوان خاک‌های مناسب جهت تولید آجر انتخاب گردیده‌اند.**

**واژه‌های کلیدی:** رفتار خاک، کانی‌های رسی، لالجین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی.

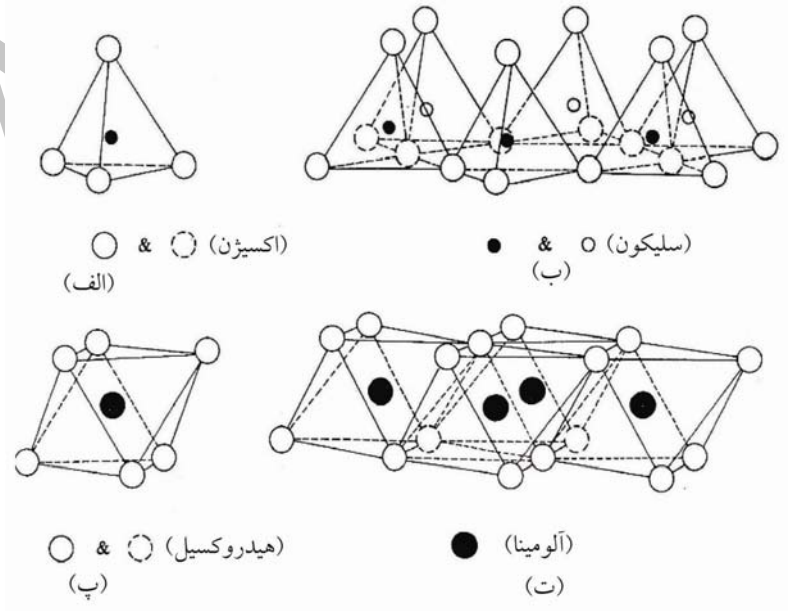
## ۱- مقدمه

حدود ۵۰۰۰ سال است که آجر به عنوان مصالح ساختمانی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Karaman & Esmeray 2006). امروزه نیز انواع مختلفی از آجر برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در چند دهه اخیر، با گسترش روزافزون مناطق شهری، تقاضا برای استفاده از آجر نیز بتدریج افزایش یافته است. در حقیقت آجر، فرآورده سرامیکی است که به عنوان مصالح ساختمانی در ساخت اجزای مختلف ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصرف آجر به صورت انبوه بستگی به دسترسی به آن دارد. یکی از عواملی که باعث گسترش مصرف محصولات آجری می‌شود، وجود ذخایر خاک‌های ریزدانه، ماسه شن‌دار و خاک رس خالص است (طاهونی ۱۳۷۶). در استان همدان، از آجر به عنوان یک ماده ساختمانی مهم به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. یکی از فاکتورهای بسیار مهم برای تولید آجر و سرامیک استاندارد، نوع خاکی است که مورد استفاده در این کار قرار می‌گیرد. آجر به وسیله حرارت دادن مخلوط رس و ماسه در کوره‌های مخصوص و بعد از مخلوط شدن با آب و قالب گیری، تولید می‌شود (Jackson 1975). اگرچه آجر یک ماده ساختمانی با دوام و با ماندگاری بالا می‌باشد، اما کیفیت آجر هنوز هم در اکثر نقاط دنیا، یک


Archive of SID
www.SID.ir

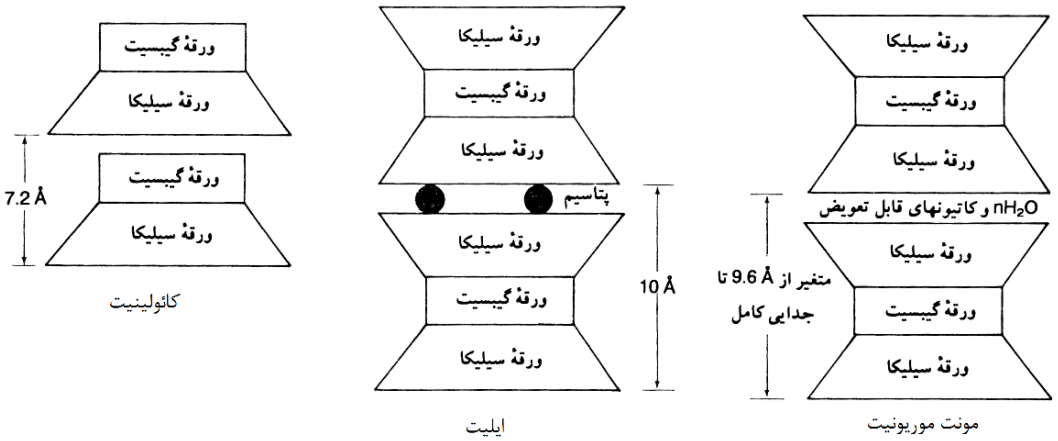
موضوع مهم و قابل بحث می‌باشد. نوع رس استفاده شده در تولید انواع مختلف آجر و سرامیک، نقش بسیار مهمی در استاندارد بودن آنها دارد. ماده خام تولید آجر که بخش مهمی از صنعت مصالح ساختمانی را تشکیل می‌دهد، در نقاط مختلفی از استان همدان از جمله قسمت‌های مرکزی، شرق و شمال شرق این استان یافت می‌شود. به موازات توسعه سریع صنعت، ساخت و سازهای ساختمانی در مناطق مختلف کشور، تقاضا برای تولید آجر به طور قابل ملاحظه‌ای رو به افزایش است. بنابراین چشم‌انداز این صنعت به گونه‌ای است که تلاش برای دستیابی به میزان آجر تولیدی مورد نیاز، رو به روز افزایش است.

بدیهی است که ویژگی‌های مکانیکی و کانی شناختی کانی‌های رسی، اهمیت بیشتری نسبت به ویژگی‌های شیمیایی آنها در انتخاب خاک مورد استفاده برای ساخت آجر دارند. مصالحی که می‌توانند در صنعت تولید آجر و سرامیک استفاده شوند، باید دارای یکسری ویژگی‌های مهندسی همچون پلاستیسیته کم تا متوسط و درصد تورم و انقباض کمی باشند. اگر خاک مورد استفاده غنی از کائولینیت، ایلیت، کلریت، تالک، ورمیکولیت و کوارتز باشد، در این صورت خاک مورد نظر بخشی از ویژگی‌های ذکر شده در بالا را دارا می‌باشد. خاکی که برای تولید آجر و سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل ۲۵ تا ۵۰ درصد گراول ریز دانه می‌باشد (Jackson 1975). کانی‌های رسی گروهی از سیلیکات‌های آلومینیوم پیچیده‌ای هستند که از یک واحد پایه چهاروجهی سیلیکا و یا هشت وجهی آلومینا تشکیل یافته‌اند (طاهونی ۱۳۷۵). مطابق تصویر۱–الف هر واحد چهار وجهی مرکب از چهار اتم اکسیژن می‌باشد که یک اتم سیلیکون را دربرگرفته‌اند. همچنین مطابق تصویر۱–ب، ترکیب واحدهای چهاروجهی سیلیکا تولید یک ورقه سیلیکا می‌کند. مطابق تصویر۱–پ، واحدهای هشت وجهی مرکب از شش اتم هیدروکسیل می‌باشند که یک اتم آلومینیوم را در برگرفته‌اند. ترکیب واحدهای هشت وجهی آلومینیوم هیدروکسیل تولید یک ورقه هشت وجهی می‌کند (تصویر۱–ت). این ورقه، ورقه گیبسیت نامیده می‌شود. سه اتم اکسیژن موجود در هر پایه چهاروجهی بین چهاروجهی‌های همسایه، مشترک قرار می‌گیرند. به طور کلی کانی‌های رسی با توجه به ساختمان سازنده آنها خود به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول شامل کانی‌های رسی می‌باشند که دارای ساختمان دو لایه می‌باشند که تشکیل یک واحد را می‌دهند و از تکرار این واحد ساختمانی، کانی رسی دو لایه شکل می‌گیرد مانند کائولینیت و هالوئیزیت. گروه دوم شامل کانی‌های رسی هستند که دارای ساختمان سه لایه می‌باشند که هر سه لایه تشکیل یک واحد را می‌دهند که در این صورت کانی‌های رسی مانند ایلیت، ورمیکولیت و اسمکتیت یا به عبارتی مونت موریونیت تشکیل می‌شوند. در واقع کائولینیت از تکرار لایه‌هایی از ورقه‌های سیلیکا – گیبسیت تشکیل می‌یابد که این لایه‌ها توسط پیوندهای هیدروژنی به هم نگهداشته می‌شوند (تصویر ۲–الف). ایلیت، مرکب از ورقه‌های گیبسیت است که به دو ورقه سیلیکا، یکی در بالا و یکی در پائین متصل شده‌اند. ایلیت گاهی مواقع میکای رس نامیده می‌شود. لایه‌های ایلیت توسط یون‌های پتاسیم به یکدیگر متصل می‌شوند (تصویر۲–ب). کانی مونت موریونیت دارای ساختمانی شبیه به ایلیت است. به عبارت دیگر، یک ورقه گیبسیت بین دو ورقه سیلیکا قرار دارد با این تفاوت که یون‌های پتاسیم همانند ایلیت ظاهر نمی‌شوند و به جای آن در فضای بین دانه‌ها، مقدار قابل توجهی آب ظاهر می‌شود (تصویر۲–پ).




**تصویر ۱– نمایش (الف) چهاروجهی سیلیکا، (ب) ورقه سیلیکا، (پ) هشت وجهی آلومینا، (ت) ورقه هشت وجهی (گیبسیت)(طاهونی ۱۳۷۶).**


www.SID.ir




**تصویر ۲- نمودار ساختمانی (الف) کائولینیت، (ب) ایلیت و (پ) مونت موریونیت (طاهونی ۱۳۷٦).**

## ۲- ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

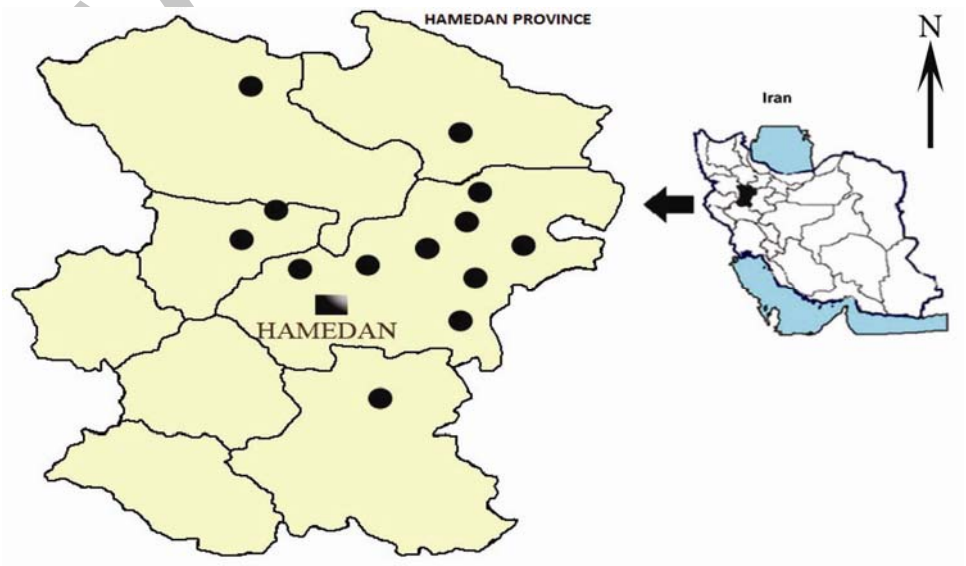
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بین طول جغرافیایی ´45 °47 و ´05 °49 شرقی و عرض جغرافیایی ´15 °34 و ´15 °35 شمالی واقع شده است. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱٦٤٤ متر می‌باشد (تصویر ۳).

آب و هوای منطقه مورد مطالعه نیمه خشک است و متوسط بارش سالیانه آن حدوداً ۳۲۱ میلی متر می‌باشد که حدود ۳۷ درصد آن در طی فصل زمستان رخ می‌دهد. زون سنندج- سیرجان به طول ۱۳۰۰ کیلومتر با امتداد شمال غرب– جنوب شرق، یک ویژگی ساختاری بسیار مهم می‌باشد. منطقه همدان که بخشی از زون سنندج–سیرجان می‌باشد، به وسیله حضور سنگ‌های دگرگونی با منشأ رسوبی و ماگماتیکی و همچنین حضور مجموعه گرانیتوئیدی الوند شناخته می‌شود (Mitchell 1976).

در واقع می‌توان گفت که قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که در منطقه مورد مطالعه حضور دارند، سنگ‌های دگرگونی متعلق به پرکامبرین می‌باشند که در نیمه شمال غربی شهر همدان واقع شده‌اند (تصویر٤). سنگ‌های دگرگونی موجود در این منطقه، شامل یک مجموعه از سنگ‌های با درجه دگرگونی کم تا زیاد از سکانس‌های رسوبی می‌باشند که به وسیله تعدادی از وقایع تکتونیکی و نئومورفیک تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. پی سنگ منطقه مورد مطالعه شامل گرانیت‌ها، فیلیت‌ها، دولومیت‌ها و سنگ‌های آهکی می‌باشند (میرهادی ۱۳۸٦).

## ۳- روش مطالعه و نمونه برداری

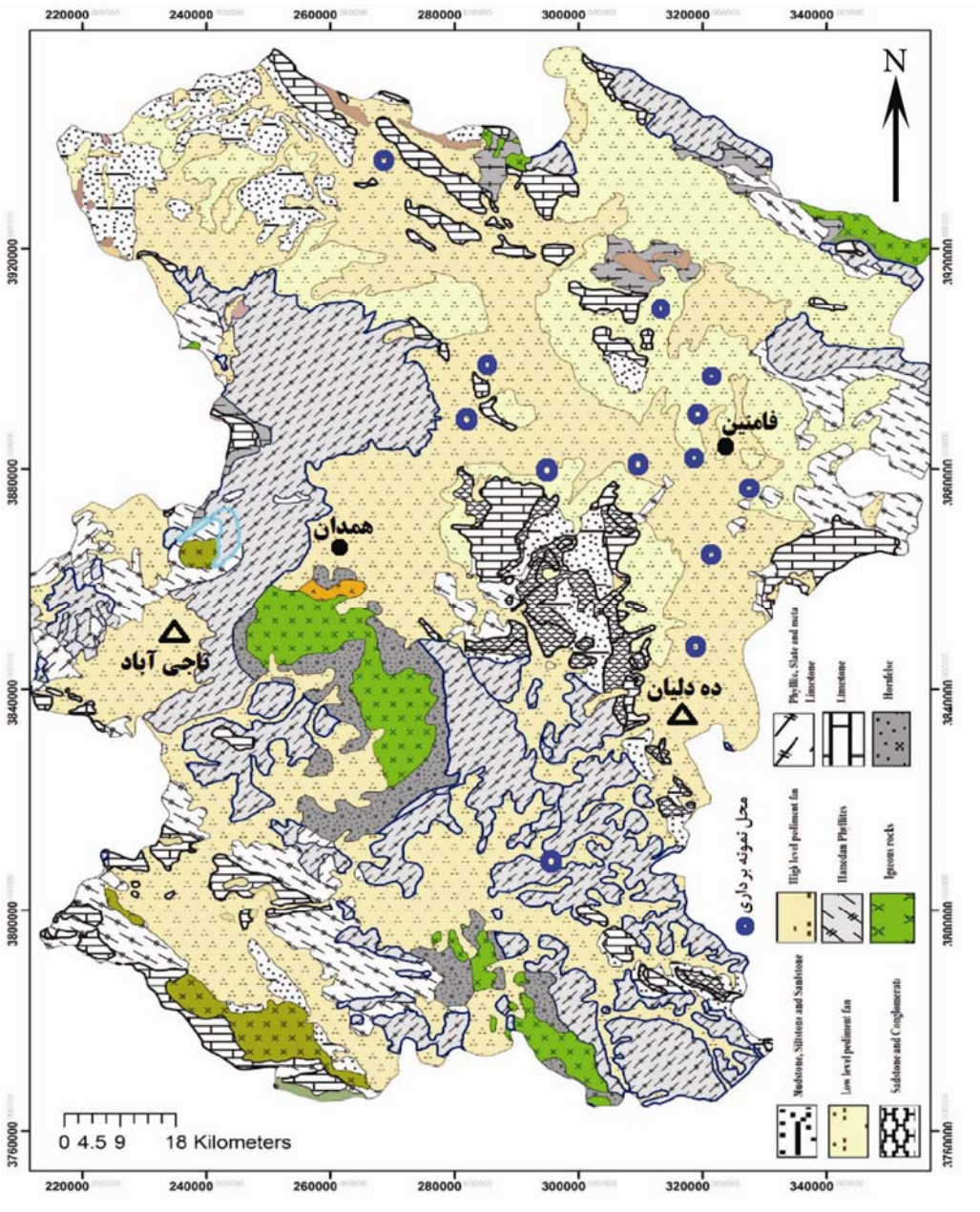
هدف از این مطالعه تعیین کیفیت مصالح خاکی موجود در مناطق مختلف استان همدان (شرق و شمال شرق) برای تولید آجر، با در نظر گرفتن شرایط تکنولوژیکی، شیمیایی و کانی شناختی آنها می‌باشد.




**تصویر ۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و محل نمونه برداری از خاک‌های رسی استان همدان برای تولید آجر.**



www.SID.ir




**تصویر ٤- نقشه زمین‌شناسی استان همدان و نمایش نقاط نمونه‌برداری.**

همانگونه که پیشتر بیان شد، برای انجام این پژوهش، تعداد ۳٦ نمونه خاک رسی از نقاط مختلف تهیه و بر اساس استانداردهای موجود مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که از میان آنها نهایتاً ۱۳ نمونه ویژگی‌های مهندسی و استاندارد لازم را برای تهیه آجر دارا بوده‌اند. علاوه بر این، به منظور بررسی مطابقت ویژگی‌های آجرهای تهیه شده، از هر نمونه خاک سه نمونه آجر نیز تهیه شده است. در این رابطه، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌های رسی بر اساس استاندارد ملی کشور ایران برای تهیه آجر و سرامیک (ISIRI-1162) (Institute of Standards and Industrial Research of Iran) تعیین شده است و با استانداردهای بین‌المللی نیز مقایسه شده است. در سال ۱۳۷٤ یک مطالعه تفضیلی از طرف اداره کل معادن و فلزات استان همدان در چهارچوب طرح مطالعات خاک‌های صنعتی استان همدان صورت گرفته است. حاصل اکتشافات و مطالعات انجام شده، شناسایی ۱۰۰ هزار تن خاک رس مرغوب در منطقه تاجی‌آباد گردنه اسدآباد در فاصله ۳۰ کیلومتری همدان بوده است. مطابق با ISIRI-1162 آجر تهیه شده از این خاک از نظر رنگ و استاندارد مقاومت فشاری از کیفیت خوبی برخوردار است، اما به علت وجود مواد قلیایی بالا پس از مدتی استفاده در ساختمان، شوره خواهد زد که به منظور رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود که ترکیب شیمیایی آن مورد فرآوری بیشتری قرار بگیرد. همچنین در منطقه ده دلیان ذخیره‌ای حدود یک میلیون و


www.SID.ir

چهارصد هزار تن خاک صنعتی مرغوب رسی گزارش شده است که آجر آن خوب و استحکام کافی را دارا می‌باشد، لیکن میزان درصد شن و ماسه موجود در طبقات رسی بالا بوده که با سرند و غربال‌های مخصوصی باید اقدام به حذف آنها نمود. علاوه بر آن درصد آهک بالای این خاک‌ها باید کاهش پیدا کند. بر اساس بررسی‌های اولیه صحرایی که از مناطق مورد مطالعه در استان همدان به عمل آمده است، نمونه‌های مورد نظر بر اساس ویژگی‌های ظاهری آنها انتخاب شده‌اند. بدین منظور چاهک‌هایی تا عمق حداکثر ۵ متر حفاری گردیده است. لازم به ذکراست که با توجه به یکنواختی خاک در بخش وسیعی از مناطق نمونه برداری شده، ویژگیهای مهندسی خاک‌ها علاوه بر عمق نمونه برداری، بخش قابل ملاحظه ای از وسعت و گسترش سطحی هر نمونه از خاک را در بر می گیرند. بعد از انتخاب و جمع آوری نمونه‌ها آنها در آزمایشگاه خشک و سپس خرد شده‌اند تا خاک کاملاً به صورت همگن درآید. پس از این مراحل، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های مختلف آماده شده اند. نمونه‌های آماده شده شامل ۱ کیلوگرم خاک برای آنالیزهای شیمیایی XRD (X-Ray Diffraction) و XRF (X-Ray Florescence)، حدود ۳ کیلوگرم برای انجام آزمایش‌های مختلف فیزیکی و ۱۵ کیلوگرم خاک برای تولید حداقل ۳ نمونه آجر می‌باشند. بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی، درصد SiO2, Al2O3, Fe2O3, CaO, MgO, K2O و Na2O و مقدار کاهش وزن ناشی از حرارت دادن در آون بر اساس استاندارد ISIRI-1162 برای نمونه‌های انتخاب شده به دست آمده است. آنالیز کانی شناختی نمونه‌ها با استفاده از روش ارائه شده توسط جکسون (Jakson 1975) انجام شده است و نوع کانی‌ها نیز با استفاده از روش تفرق اشعه X (XRD) تعیین شده است. همچنین حدود روانی و خمیری نمونه‌های خاک رس بر اساس استاندارد ASTM (American Society for Testing and Materials) (D4318 2005) اندازه گیری شده اند و نهایتاً، ارزیابی نتایج بر اساس استاندارد ISIRI-1162 انجام شده است.

## ۴- بحث و نتایج

فاکتورهای اصلی که مناسب بودن ویژگی‌های خاکهای رسی برای تولید آجر و سرامیک کنترل می‌کنند شامل ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و همچنین ویژگی‌های مهندسی خاک‌های رسی می‌باشد. نتایج آنالیز شیمیایی خاک‌ها، ترکیب کانی شناسی و نوع رس آنها را به طور غیر مستقیم نشان می‌دهد. برای تعیین نوع کانی‌های رسی مناسب جهت تهیه صنعتی آجر و سرامیک، باید ترکیب شیمیایی این کانی‌ها از جمله درصد سیلیس، آلومینیوم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات و همچنین درصد کاهش وزن بعد از فرایند حرارت دادن در آون را تعیین نمود. در جدول ۱ نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌ها و مقادیر مختلف آنها نشان داده شده است. همان گونه که در جدول ۱ نیز نشان داده شده است، حدود تغییرات مقادیر بدست آمده برای نمونه خاک‌های رسی آنالیز شده با محدوده مقادیر بیان شده توسط استاندارد ISIRI-1162 مطابقت دارد. علاوه بر این، درصد بالای Fe2O3 که از شواهد مورفولوژیکی نیز می‌تواند مشاهده شود، مشکل رنگ این مصالح را برطرف می‌کند.

**جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی خاک‌های رسی مورد مطالعه.**

| نمونه‌ها | $Na_2O$ (%) | $K_2O$ (%) | MgO (%) | CaO (%) | $F_2O_3$ (%) | $Al_2O_3$ (%) | $SiO_2$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H1 | ۰/۷۵ | ۳/۱ | ۳/۹ | ۱۱/٦ | ٦/۹ | ۱۱/۹ | ٤۸/۲ |
| H4 | ۰/۵ | ۲/۷ | ۳ | ۱۱/۵ | ۷/۸ | ۱٤ | ۵۰/۹ |
| H5 | ۰/٦۵ | ۲/۵ | ۳/٦ | ۱٤/۱ | ٦/٦ | ۱۲/٤ | ٤٦/۵ |
| H11 | ۱/۳ | ۲/۲ | ٤/٦ | ۹/۸ | ۷/۱ | ۱۳/۲ | ۵۱/۲ |
| H12 | ۱/۲ | ۲/۲ | ٤/۷ | ۱۷/۳ | ٦/٦ | ۱۰/٦ | ٤۳/٦ |
| H14 | ۱/۵ | ۲/۹ | ٤/۷ | ۷/٦ | ۷/۳ | ۱۳ | ٤۸/٦ |
| H15 | ۰/٦ | ۲/٦ | ۳/۷ | ۱٦/۳ | ٦/۹ | ۱۲/۹ | ٤۳ |
| H24 | ۱/۱ | ۲/۸ | ۳/۲ | ۱۰/٤ | ٦/۳ | ۱۲/۲ | ۵۳/٤ |
| H28 | ۱/۳ | ۲/٤ | ٤/۱ | ۱۵/۱ | ٦/۱ | ۱۰/۲ | ٤٤/۳ |
| H29 | ۰/۹ | ۲/۳ | ۵/۲ | ۱۷/٦ | ۵/۹ | ۱۱/۳ | ٤۳/۲ |
| H30 | ۱/۱ | ۲/۵ | ٦/۳ | ۱۷/۵ | ٦/۷ | ۱۱/۵ | ٤۹/۵ |
| H32 | ۲/۱ | ۲/۲ | ۲/۵ | ۱۰/۵ | ۵/۹ | ۱۱/٦ | ۵۲/۸ |
| H33 | ۱/۱ | ۲/۳ | ۳/۵ | ۱۰/۷ | ٦/۸ | ۱۲/۱ | ۵۰/۵ |
| محدوده مطلوب بر اساس ISIRI-1162 | < ٦ | ۰/٦–۱/۷ | ۰/۸–٦/۲ | ۰/۷–۹/۵ | ۲/۸–۷ | ۱٦/۳–۲۰/٦ | ٤۲/۷–٦٤/۵ |



www.SID.ir

این در حالی است که درصد آهک که به عنوان یک مشکل جدی در تهیه و تولید آجر و سرامیک شناخته می‌باشد، بین ۹/٦ تا ۱۷/٦ درصد تغییر می‌کند که این نیز با مقادیر مطلوب و مجاز بیان شده در استاندارد مورد استفاده نیز مطابقت دارد. نتایج بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که درصد کلسیم و منیزیم در آجرها نباید بالا باشد، زیرا که این فرایند منجر به فرسایش و شسته شدن آجرها در حضور آب می‌شود (Grim 1962).

فرایند آنالیز درصد منیزیم و آهک بر اساس دستورالعمل ISIRI-1162 انجام شده است. نتایج به دست آمده، نشان می‌دهند که نمونه‌های آجر تولید شده فاقد هرگونه ترک خوردگی و یا شکستگی می‌باشند. آنالیز درصد رس نمونه‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد که کانی‌های کلسیت و کوارتز بیش ترین سهم را در بین کانی‌های تشکیل دهنده نمونه‌های خاک تهیه شده، دارا می‌باشند. در این بین، کانی‌های آلبیت، مسکویت، کلریت و اسمکتیت مقادیر کمتری را در نمونه‌های مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دهند.

از آنجایی که کانی رسی اسمکتیت در نمونه‌های خاک مورد مطالعه، به عنوان یک کانی رسی غالب نمی باشد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که ساختار کانی شناختی خاک‌های رسی مورد استفاده در این مطالعه، برای تهیه آجر مناسب می‌باشد. بر اساس میتچل (Mitchell 1976) در خاک‌هایی که کانی رسی غالب، ایلیت و کلریت است، حدود آتربرگ (حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری) در مقایسه با خاک‌هایی که کانی‌های رسی آنها از نوع اسمکتیت می‌باشد، خیلی کمتر است. بر این اساس، حد خمیری بین ۱۹ تا ٤۰ درصد تغییر می‌کند که مناسب بودن شرایط نمونه‌های مورد آزمایش برای تولید آجر را نشان می‌دهد. همچنین حد روانی نمونه‌های خاک مورد آزمایش بین ۳۰ تا ۹۰ درصد می‌باشد. آنالیزهای مکانیکی نشان می‌دهند که مصالح استفاده شده در این مطالعه، مقادیر حد خمیری و حد روانی پائینی دارند. بر اساس نتایج حاصل شده، میانگین حد روانی ۳۳ درصد، حد خمیری ۱۵/٦۵ درصد و شاخص خمیری ۱۱/۷۹ درصد بدست آمده است. نتایج مربوط به حدود آتربرگ نمونه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

**جدول ۲- میانگین نتایج آنالیز ژئوتکنیکی خاک‌های رسی مورد مطالعه.**

| نمونه‌ها | (LL) (%) | (PL) (%) | (PI)(%) | اندازه ذرات (درصد) | | | طبقه بندی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ماسه | سیلت | رس | |
| H1 | ۳٤/٦ | ۱۵ | ۱۹/٦ | ۲۵ | ٤۳ | ۳۲ | CL |
| H4 | ۳۲/۳ | ۲۰ | ۱۲/۳ | ۱۹ | ۵۲ | ۲۲ | CL |
| H5 | ۲۹ | ۱۹ | ۱۰ | ۳۰ | ۵۸ | ۱۲ | CL |
| H11 | ٤۱/۹ | ۱۸ | ۲۳/۹ | ۱۰ | ٦۰ | ۳۰ | CL |
| H12 | ۳۰/۱ | ۲۱/۵ | ۸/٦ | ۱۲ | ٦۵ | ۲۳ | CL |
| H14 | ۳۷/۹ | ۲۵ | ۱۲/۹ | ۸ | ۷۹ | ۱۳ | CL |
| H15 | ۳٤/۵ | ۲۵ | ۹/۵ | ۱٦ | ٤۸ | ۲۰ | CL |
| H24 | ۲۷ | ۱۹ | ۱۲ | ۳۸ | ۵۸ | ٤ | CL |
| H28 | ۳۲ | ۲۱/۵ | ۱۱/۱ | ٤۰ | ۵٤ | ٦ | CL |
| H29 | ۳۳ | ۱۷/۵ | ۱۵/۵ | ۱۳ | ٦٤ | ۲۳ | CL |
| H30 | ٤٦/۵ | ۲٤/۵ | ۲۱/۹ | ٤ | ۵٦ | ٤۰ | CL |
| H32 | ۳۱/۲٤ | ۱۳ | ۱۸/۲٤ | ۳۳ | ٤۳ | ۲٤ | CL |
| H33 | ۲۹/۵ | ۲۱/۵ | ۸ | ۲۲ | ٦۲ | ۱٦ | CL |
| محدوده مطلوب بر اساس ISIRI -1162 | ۲۵ – ۵۵ | ۱۷ – ۳۰ | ۸ –۲۵ | - | - | - | - |

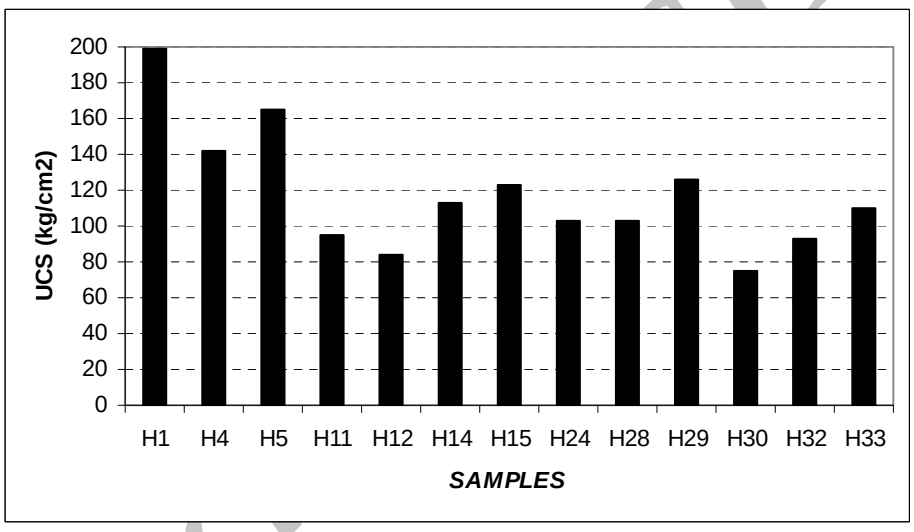
بر اساس استاندارد ISIRI-1162، نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاک‌های با شاخص خمیری بین ۸ تا ۲۵ درصد و خاک‌های رسی با حد خمیری بین ۱۷ تا ۳۰ درصد، برای تولید آجر مناسب می‌باشند. با در نظر گرفتن این استاندارد، مقادیر حد خمیری و حد روانی برای نمونه‌های مورد مطالعه، تعیین شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که مقادیر مورد نظر در محدوده مطلوب برای تولید آجر مناسب می‌باشند. همچنین به دلیل پائین بودن اختلاف مقادیر حد روانی و حد خمیری، شاخص خمیری نمونه‌ها نیز پائین و در اغلب نمونه‌ها بین ۸ تا ۲۵ است که برای تولید اجر با کیفیت بالا، مناسب می‌باشد. همچنین آنالیز توزیع اندازه ذرات بر اساس استاندارد (ASTM 1993) انجام شده است که بر اساس نتایج به دست آمده خاک‌های رسی مورد مطالعه شامل ۲۲/۵۳ درصد ماسه، ۵۷/۰۷ درصد سیلت و ۱۸/٦۹


www.SID.ir

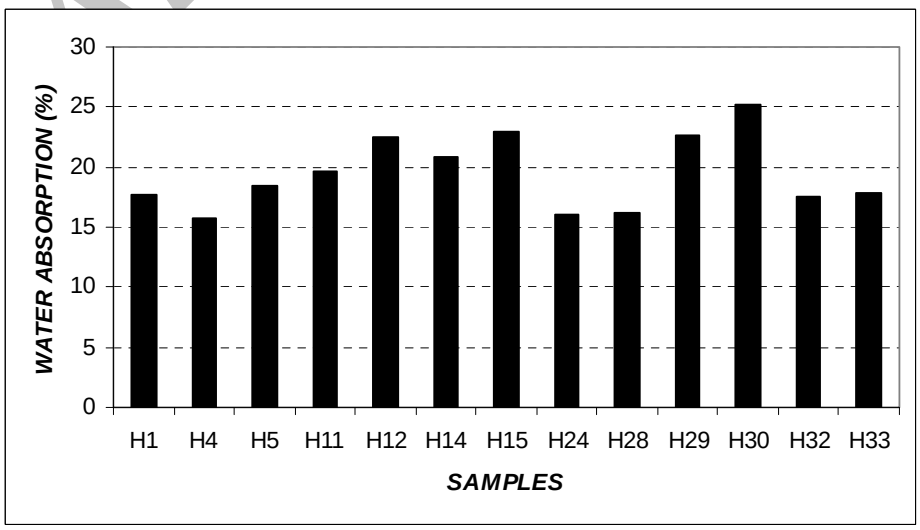
درصد رس می‌باشند. علاوه بر شاخص‌های بالا، مقاومت فشاری تک محوری و درصد جذب آب برای آجرهای تولید شده نیز محاسبه شده است. بر اساس استاندارد ISIRI-7، درصد مناسب جذب آب برای نمونه‌های آجر باید بین ۸ تا ۲۰ درصد باشد (Grim 1962). نتایج مربوط به جذب آب و مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که برای اکثریت نمونه‌ها، مقادیر جذب آب و مقاومت تراکمی تک محوری، با مقادیر تعریف شده توسط استانداردها مطابقت دارد. علاوه بر آن، حد استاندارد مقاومت فشاری تک محوری نیز حداقل ۸۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع می‌باشد. تصویرهای ۵ و ٦ مقادیر مختلف بدست آمده را برای نمونه‌های آجر تولید شده در این مطالعه نشان می‌دهند.

**جدول ۳- مقادیر مقاومت فشاری تک محوری و درصد جذب آب نمونه‌های آجر.**

| پارامتر \ نمونه‌ها | H1 | H4 | H5 | H11 | H12 | H14 | H15 | H24 | H28 | H29 | H30 | H32 | H33 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UCS ($kg/cm^2$) | ۱۹۹ | ۱٤۲/۲ | ۱٦٥ | ۹٤/٥ | ۸٤/٥ | ۱۱۳/۳ | ۱۲۳/۱ | ۱۰۳/۲ | ۱۰۳/٤ | ۱۲٦/۳ | ۷٥/۲۳ | ۹۲/٥٦ | ۱۰۹/۷ |
| جذب آب (٪) | ۱۷/۷ | ۱٥/۸ | ۱۸/٤ | ۱۹/٦ | ۲۲/٥ | ۲۰/۸ | ۲۲/۹ | ۱٦/۱ | ۱٦/۲ | ۲۲/٦ | ۲٥/۲ | ۱۷/٥ | ۱۷/۹ |




**تصویر ۵- هیستوگرام مقادیر مقاومت تراکمی تک محوری آجرهای تهیه شده از خاک‌های رسی مورد مطالعه.**




**تصویر ٦- هیستوگرام مقادیر درصد جذب آب آجرهای تهیه شده از خاک‌های رسی مورد مطالعه.**


www.SID.ir

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی ۳۶ نمونه از خاک‌های رسی استان همدان، می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس ویژگی‌های کانی شناسی و شیمیایی، خاک‌های رسی شمال شرق همدان (دشت فامنین)، برای تولید آجر و سرامیک مناسب تراز خاک‌های شمال، مرکز و بخش‌های جنوبی استان می‌باشند. بر این اساس، نتایج مطالعات کانی شناسی خاک‌های رسی مورد نظر نشان می‌دهد که کانی‌های رسی غالب این خاک‌ها به ترتیب ایلیت، کلریت و اسمکتیت می باشند. از انجائیکه کانی اسمکتیت کانی غالب نیست و برای تهیه آجر نامناسب می باشد، این موضوع باعث مناسب تشخیص دادن این خاک‌ها برای تهیه آجر شده است. علاوه بر این نتایج آنالیزهای شیمیایی نشان می‌دهد که خاک‌های دشت فامنین در مقایسه با سایر مناطق، از مقادیر کلسیم و منیزیم کمتری برخوردارند که این موضوع باعث افزایش کیفیت آنها شده است. همچنین با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی ویژگی‌های تکنولوژیکی این خاک‌ها از قبیل خصوصیات خمیری، مقاومت فشاری تک محوری و درصد جذب آب، حدود آتربرگ غالب آجرهای تهیه شده از خاک‌های رسی مورد مطالعه در سطح استان، در محدوده مجاز و مطلوب برای تهیه آجر قرار می‌گیرند. همچنین این خاک‌ها از مقامت فشاری مناسبی برای تهیه آجر برخوردار هستند (بیش از ۸۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع)، اما از نظر میزان جذب آب، خاک‌های بخش‌های شرق و شمال شرق و یا به عبارتی خاک‌های موجود در دشت فامنین شرایط مناسب‌تری را دارا می‌باشند. بر این اساس، این خاک‌ها عمدتاً دارای درصد جذب آب بین ۸ تا ۲۰ درصد می باشند که با استانداردهای رایج مطابقت دارند.

## مراجع


**سپاهی، ا.، ۱۳۷۸،** "پترولوژی مجموعه پلوتونیک الوند با تأکید بر گرانیتوئیدها"، *رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.*

**طاهونی، ش.، ۱۳۷٦،** " اصول مهندسی ژئوتکنیک (جلد اول: مکانیک خاک)"، *ویرایش دوم، مؤسسه انتشارات پارس آئین، ۸۳۱ ص.*

**میرهادی، ب.، ۱۳۸٦،** "تئوری و فناوری سرامیکهای ساختمانی (مصالح ساختمانی) "، *نشر شهاب، ۲۵۱ ص.*

**ASTM, 1993b,** "Standard method for particle size analysis of soils (standard D422-63)", *In: Annual Book of ASTM Standards: 93-99.*

**ASTM Standard D4318, 2005,** "Standard Test Methods for Liquid Limit Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils", *ASTM International.*

**Baharifar, A., Moinevaziri, H., Bellon, H., & Pique, A., 2004,** "The crystalline complexes of Hamadan (Sanandaj–Sirjan zone, western Iran): Metasedimentary Mezoic sequences affected by Late Cretaceous tectono-metamorphic and plutonic events", *Comptes Rendus Geoscience, 336 pp.*

**Grim, R.E., 1962,** "Applied clay mineralogy", *McGraw-Hill Com., Inc., New York, 422 pp.*

**ISIRI, 2006,** "Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Clay brick-Specification and Test methods", *4th- Revision, No. 7.*

**ISIRI, 2005,** "Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Soil – Soil clay for making clay brick – Specification and test method", *2th- Revision, No. 1162.*

**Jackson, M. L., 1975,** "Soil Chemical Analysis", *Adv. Course Dept. Soil Sci., Madison, Wisc, 121 pp.*

**Karaman, S. & Esmeray, A., 2006,** "Determining the Conformity to Standards of Clay Deposits in Tokat-Zile Region As Raw Material In Brick-Tile Production", *Kahramanmaras Sutcu Imam University, Journal of Science and Engineering, Vol. 9 (1): 130-134.*

**Karaman, S., Gunal, H. & Ersahin, S., 2006,** "Assessment of clay bricks compressive strength using quantitative values of color components", *Journal of Construction and Building Materials, Vol. 20: 348–354.*

**Mitchell, J. K., 1976,** "Fundamentals of Soil Behavior", *John Wiley Sons Inc, New York: 84-99.*


Archive of SID



www.SID.ir